

## Observations sur quelques formes et processus périglaciaires dans le Massif du Chambeyron (Alpes de Haute-Provence)

*Mots clés :* Alpes Françaises - Chambeyron - Périglaciaire d'altitude.

**RÉSUMÉ.** — *Le massif du Chambeyron, dans les Alpes Françaises du Sud, est bien connu pour l'abondance des phénomènes périglaciaires d'altitude : sols géométriques, cercles de pierres, polygones, sols striés, gradins, thufurs, etc..., au-dessus de 2 500 m d'altitude. Ils sont le résultat d'intensives actions du froid avec un grand nombre de cycles gel-dégel mais sans permafrost. Cette étude, faite en commun par nos deux laboratoires, donne les observations de terrains effectuées depuis plusieurs années, en particulier sur des sites de mesures complétés par l'analyse de nombreux échantillons en laboratoire. Les phénomènes de gélifluxion dans la partie supérieure de la pelouse alpine conduisent à proposer des explications complémentaires sur les origines de ces formes et les variations climatiques récentes.*

**SUMMARY.** — *The Chambeyron mountain, in the French South Alps, give a great abundance of actual periglacial phenomena above 2 500 metres without permafrost : patterned grounds as circles, polygons, sorted and non sorted stripes, steps... are characteristic of mantle subject to intensive frost action and frequent freeze - thaw cycles. This study is a common work by our two geomorphological laboratories since several years, chiefly on the gelifluxion phenomena in the upper part of the*

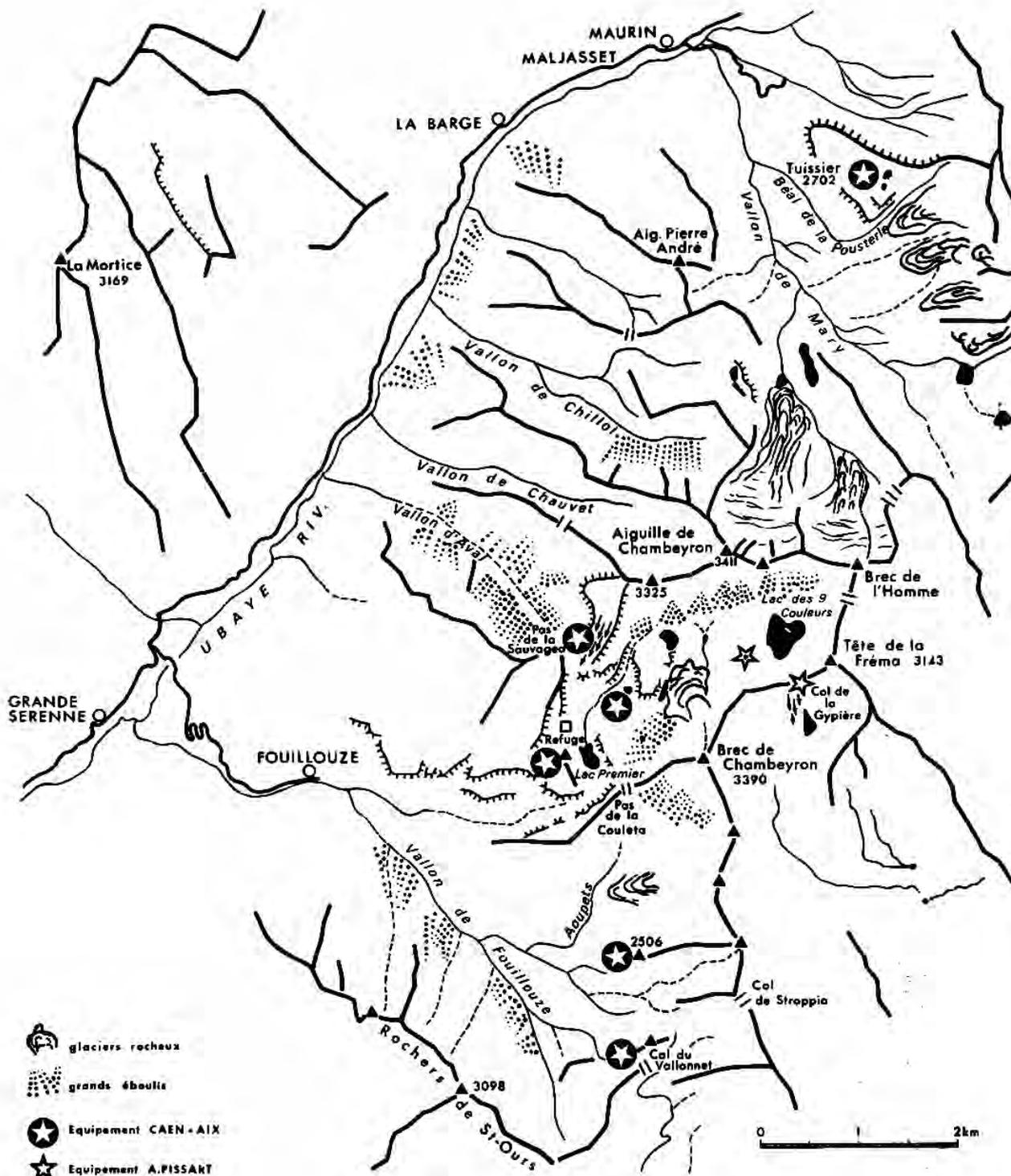
\* L'équipe de recherche a été constituée pour le Centre de Caen par J.-P. Coutard, M. Helluin, E. Helluin-Quinejure, A. Journaux, J.-P. Lautridou, J.-C. Ozouf, J. Pellerin. Pour Aix par P. Gabert et M. Igout. Avec la collaboration de Mme B. Van Vliet-Lanoe du Centre de Pédologie Biologique, C.N.R.S. de Vandœuvre (54500) et, pour les analyses au laboratoire de Caen par M. Levant et M. N. Le Coustumer.

*alpine grass : earth hummocks, solifluction slopes, and, higher up 2 700 metres, large sorted stripes. The observations on these slopes during several years and many analysis in laboratory, allow to propose complementary explanations for these periglacial processes and, perhaps, recent climatic modifications.*

Le massif du Chambeyron, en Haute Ubaye, prend place dans le domaine interne des Alpes du Sud franco-italienne et plus précisément en zone briançonnaise, aux confins orientaux des nappes du flysch à Helminthoïdes (flysch de l'Embrunais) et sur la marge occidentale des Schistes Lustrés. Localement cette zone briançonnaise est composée de séries de roches calcaires du Trias, du Jurassique et du Crétacé (calcaires, calcaires dolomitiques, calcschistes) et porte en outre la marque du passage des nappes sous forme de klippes de flysch disséminées çà et là tandis que le socle métamorphique et siliceux apparaît plus nettement dans le secteur septentrional du massif (vallon Mary).

Le modelé glaciaire est très net dans le massif du Chambeyron, avec en particulier les accumulations morainiques du vallon de Fouillouse, les verrous et les roches polies de la vallée des Lacs, les épaulements et roches moutonnées du plateau de Tuissier. Un glacier subsiste au-dessus des lacs du Marinet sur le versant nord des Aiguilles. Plus tardivement des glaciers rocheux importants se sont mis en place en épisodes successifs : Brec de Chambeyron, plateau de Tuissier, Le Marinet...

Toutefois le but des recherches menées conjointement par le Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. de Caen et le Laboratoire de Géographie Physique de l'Institut de Géographie de l'Université d'Aix-en-Provence, n'était pas de dresser un inventaire géomorphologique complet du Massif du Chambeyron, celui-ci ayant été déjà bien avancé par M. Igout (1971), mais d'essayer, grâce à l'implantation d'un minimum d'équipements dans quelques sites choisis, d'étudier un certain nombre de processus périglaciaires et de les quantifier. Dans le vallon de Fouillouse un champ de buttes gazonnées, des coulées de gélifluxion et des coulées de pierraille ont retenu notre attention et, dans la Vallée adjacente des Lacs, des marquages ont été réalisés sur des coulées proches du Lac Premier et sur les sols striés du Pas de la Sauvagea. Dans le vallon Mary, au plateau de Tuissier des lobes de gélifluxion avec ostioles et des sols polygonaux ont fait aussi l'objet d'observations. Nous nous proposons pour chaque site, de donner une description aussi précise que possible et de regrouper les données chiffrées recueillies entre 1975 et 1979. Ensuite, nous aborderons quelques problèmes d'ensemble, tels que l'origine de la fraction fine, le rapport eau - glace - gélifluxion, l'activité des phénomènes en fonction de l'altitude.



Massif de Chambeyron : croquis de localisation des sites étudiés.

### A. — Sites avec sols structurés

Trois types de sols structurés ont été l'objet d'observations, d'analyses et de mesures : des buttes gazonnées, des sols striés et des sols polygonaux.

#### 1. Champ de buttes gazonnées du col du Vallonnet.

En contrebas de la Tête de Plate Lombarde, au col du Vallonnet, entre 2 500 et 2 510 m, un petit champ de buttes gazonnées s'est établi sur le matériel de désagrégation du Flysch schisto-gréseux de l'Embrunais dans une position légèrement déprimée.

Les buttes ont 1 m à 1,25 m de diamètre (photo 1) ; leur hauteur est de l'ordre de 50 à 60 cm. Quelques buttes sont crevées à leur sommet ou portent des fissures de dessiccation. Par contre, aucune fente n'a été observée dans les rigoles qui séparent les buttes. Plusieurs d'entre elles ont été ouvertes pour en étudier la structure et la texture. L'étude micro-morphologique a été menée par Mme Van Vliet Lanoe.



Phot. 1. — Col du Vallonnet : coulées de gélifluxion disséquées.

La couche superficielle humifère gris-noir (A1 - A2) mesure 8 à 15 cm d'épaisseur ; elle est plus irrégulière, plus mince et parfois déchirée dans les chenaux situés entre les buttes ; sa structure est granulaire (diamètre moyen des agrégats 0,5 mm), sa texture est sablo-argileuse (30 à 34 % de fraction inférieure à 2 microns), ce qui est le cas également de lambeaux d'horizons plus ou moins organiques enfouis. Dans ces horizons A1 - A2, les traces de bioturbation sont nombreuses, la structure microgranulaire est due au brassage des agrégats lamellaires fins par l'activité biologique : développement des racines, activité des insectes fouisseurs dont on retrouve des fragments d'exuvie (pièces buccales).

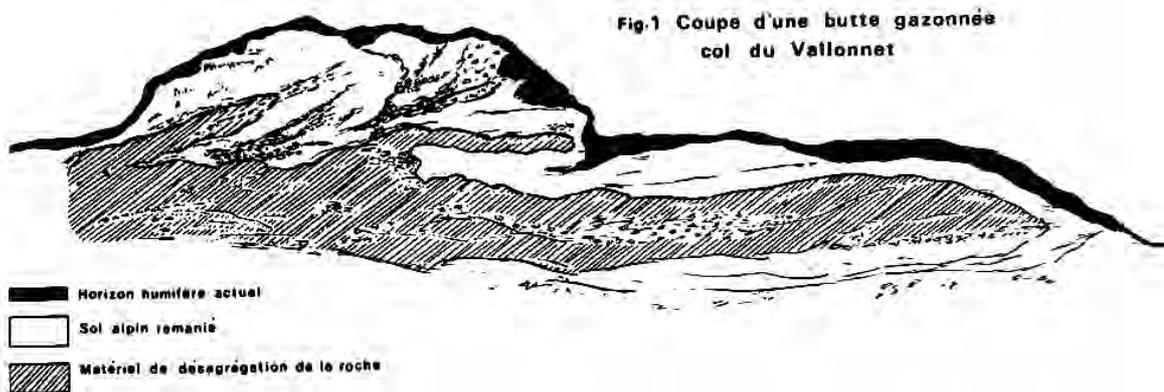


Fig. 1. — Coupe d'une butte gazonnée, col du Vallonnet.

Le cœur de la butte a une coloration générale beige à brun clair recoupée par des bandes grisâtres et rouille. Les couleurs plus mélangées de la base, au voisinage de la roche, sont liées à l'hydromorphie (Stagnogley). La texture est sablo-limoneuse (fraction inférieure à 2 microns : 16 à 22 %, limons et sables fins de 2 à 50 microns : 50 %, le reste en sables moyens et grossiers). La charge graveleuse et pierreuse faible dans l'ensemble du profil s'accroît rapidement à l'approche de la roche substrat.

La structure est nettement lamellaire et lenticulaire avec une réorientation mécanique des argiles bien exprimée qui traduit l'action des cycles gel-dégel (confirmée par l'observation de minces lentilles de glace en juin 1977) et peut-être une influence modérée des cycles humectation-dessiccation.

Les teneurs en eau des buttes gazonnées ont été mesurées au cours du dégel de l'été 1977. Les teneurs en eau très élevées en juin, au moment où elles émergeaient de la neige, reflétaient la ségrégation de la glace qui avait eu lieu pendant l'hiver, mais on remarque aussi que ces teneurs importantes se sont maintenues plusieurs mois. Cela est normal compte tenu de la texture du matériau relativement fin et homogène et explique les caractères hydromorphes des buttes. La ségrégation de glace dans les buttes a pu prendre une ampleur non négligeable car la situation déprimée de la zone où elles se trouvent favorise la concentration des eaux de ruissellement, abondante dans les chenaux une bonne partie de l'année, et des eaux de sous-écoulement.

*Teneurs en eau*

22 Juin 1977		18 Juillet 1977		11 Août 1977	
0 - 10 cm	67,9 %	0 - 20 cm	58,6 %	5 - 20 cm	54,3 %
10 - 20 cm	61,0 %	20 - 40 cm	32,8 %	20 - 40 cm	31,9 %
20 - 25 cm	52,9 %	40 - 60 cm	31,4 %	40 - 55 cm	31,7 %
30 - 40 cm	50 %	60 - 80 cm	33,8 %	55 - 75 cm	33,8 %
55 - 60 cm	35 %				



Phot. 2. — Col du Vallonnet : buttes gazonnées.

En coupe apparaissent des structures en crochet, des ondulations et des petites injections au contact entre le cœur et les horizons de surface humifères, ainsi que le redressement de nombreuses plaquettes et lamelles de roche qui indiquent aussi l'action des gels-dégels et une déformation modérée dans le sens de la pente.

Dès lors, on peut envisager le schéma d'évolution suivant proposé par A. Jahn (1956) :

- gélifluxion d'un matériel déjà riche en fraction fine ; développement d'un sol alpin mince et peu différencié sur ce matériau qui présente des bombements et des bourrelets ; faible évolution continue actuelle avec rôle du gel et du ruissellement permettant la conservation et éventuellement l'amplification des structures bombées ; il faut y ajouter le rôle du gel « à cœur » en hiver des buttes déneigées par le vent sur ces sites de cols très ventés.

Dans la partie aval du grand versant nord qui domine le lac de Plate Lombarde, de nombreux passages progressifs entre des coulées étirées et relativement minces et des buttes gazonnées, tendent à confirmer le schéma d'évolution proposé.

## **2. Le champ de sols striés du Pas de la Sauvagea.**

De beaux sols striés ont été décrits par A. Marzeny (1977) au cours d'une étude détaillée du vallon de la Rocheure (Massif de la Vanoise). D'autres sont connus au col de la Gypièrre, massif du Chambeyron, dont les mouvements ont été suivis par A. Cailleux et J. Michaud (1950) et par A. Pissar (1964-1973). Nous en avons découvert également dans le massif du Bric de Rubren et sur les pentes de la Mortice (massif de la Font Sancte), et nous nous sommes particulièrement intéressés à un ensemble de sols striés, situé vers l'extrémité ouest de la chaîne des Aiguilles du Chambeyron, près du Pas de la Sauvagea (2 889 m).

Les sols striés s'étendent entre 2 900 et 2 950 m au pied d'un versant descendant de la Pointe d'Aval (extrémité ouest de la chaîne des Aiguilles de Chambeyron) exposé au S.-O. et souvent balayé par les vents. L'ensemble est limité vers l'Est par une échine rocheuse et effectue une courbe vers l'Ouest pour atteindre un petit torrent qui alimente le Lac Premier et qui sert de limite occidentale.

A partir de la Pointe d'Aval, on peut décomposer le versant en trois parties : la partie amont où, dès les crêtes et chicots rocheux, s'étale un manteau de gélifracts. Très vite le matériel s'organise et apparaissent

des lobes de gélifluxion pierreux dont le front raide haut de 2 à 3 m est formé de plaquettes redressées disposées en arc de cercle. Enfin dans la partie aval, les lobes s'étirent et passent à des stries tandis que la pente s'atténue passant de 18° en amont des stries à 12 à 15° au niveau des sols striés et 5 à 6° dans une zone intermédiaire plus plate ; la pente augmente de nouveau vers le ruisseau jusqu'à 10° puis 15°.

La largeur des bandes hétérométriques à matrice fine abondante est de l'ordre de 80 à 110 cm. Les cloisonnements caillouteux cunéiformes ont une largeur de 30 à 50 cm en surface et une hauteur de 25 à 30 cm ; en-dessous on retrouve le matériel hétérométrique différencié (stries flottantes). Une sorte de mince dallage de plaques de calcschistes vient recouvrir en de nombreux endroits les sols striés. Le matériel grossier est formé de plaquettes et d'aiguilles de calcshiste, pour l'essentiel, mais également de marbre, de dolomie et de quartzo-phyllades. La granulométrie de la fraction fine et moyenne jusqu'à 20 mm indique qu'il n'y a aucun classement de matériel. La teneur en argile est faible, 6 à 14 ‰<sup>1</sup>. La fraction sablo-silteuse renferme une quantité élevée de mica. Une comparaison entre la granulométrie de la matrice des sols striés et celle des remplissages de fissures, des bourrages de diaclases prélevés à la Pointe d'Aval et sur la crête qui domine les sols montre que le matériel présente partout les mêmes caractéristiques et dérive, sans processus de sélection, de la désagrégation des roches, très peu altérées chimiquement, par gélifraction et frottement des débris les uns contre les autres.

Deux échantillons prélevés dans une bande fine ont été examinés en détail :

a) *Echantillon prélevé entre 2 et 8 cm de profondeur.* Cet échantillon renferme 30 à 40 % de fragments rocheux en position sub-horizontale (les petites esquilles sont fréquemment transportées à plat par le ruissellement diffus pendant les périodes de fonte de la neige ou des pipkrakes du sol). La matrice fine est sablo-silteuse, pauvre en argile, en humus et en débris organiques. L'aspect feuilleté de l'échantillon est confirmé par l'analyse micromorphologique (Mme Van Vliet-Lanoe) qui met en évidence une structure lamellaire discontinue. On observe également de nombreux vésicules de dégazage. Ces structures sont typiquement liées à l'action du gel.

<sup>1</sup> La nature minéralogique des argiles des échantillons prélevés au plateau Tuissier (ostioles sols polygonaux) au Pas de la Sauvagea (sols striés) et au lac Premier (coulée) montre l'illite dominante, une bonne représentation de la chlorite et une faible quantité de kaolinite la coulée du lac Premier a une faible quantité de smectite.

b) *Echantillon prélevé entre 20 et 26 cm de profondeur.* Les fragments rocheux sont moins nombreux qu'en sub-surface (20 % du matériel). A l'œil nu l'aspect est feuilleté et poreux. Au microscope on distingue une structure lamellaire à lenticulaire et des pores concaves abondants. Les argiles (14 % de la fraction inférieure à 20 mm) ont été réorientées selon des directions subhorizontales. Quelques grains présentent un petit encroûtement calcité comme dans les sols arctiques. Dans cet horizon, également, le rôle du gel a été important.

Les conditions naturelles de La Sauvagea sont favorables à une activité actuelle des phénomènes périglaciaires. L'alimentation en eau est favorable toute l'année car après la fonte de la neige et le dégel du sol, les sous-écoulements restent abondants. Le gel est long, parfois intense, bien que les minima soient très variables d'une année sur l'autre en fonction de l'importance du manteau neigeux. A deux reprises, des thermomètres maxi-mini ont pu être placés dans le sol. Les valeurs relevées ont été les suivantes :

Entre Septembre 1975  
et le 27 Août 1976

Prof.	Mini	Maxi
5-10 cm ...	- 28° C	+ 22
30-35 cm ...	- 11°	+ 10
50 cm ...	- 9°	+ 10

Entre Septembre 1976  
et Août 1978

Prof.	Mini	
10 cm .....	- 3,5	+ 11
20 cm .....	- 3	+ 11
30 cm .....	- 2	+ 9
40 cm .....	- 1,25	+ 9

Des marquages à la peinture et la mise en place de colonnes de petites sections de tube longues de 15 cm ont permis de suivre les mouvements du sol. L'essentiel des phénomènes paraît se placer au début de l'été, pendant quelques jours, quand la neige fond et que le sol est incomplètement dégelé. Le 19 juillet 1977 des plaques de neige résiduelles alimentaient un ruissellement actif dans les bandes pierreuses, certains filets d'eau entraînant parfois la formation de stries secondaires. Le matériel des bandes fines, dégelé sur 10 cm d'épaisseur et gorgé d'eau solifluait lentement sur son substrat englacé.

Il n'y a pas eu de mouvement d'ensemble pendant la période allant de la fin Août 1976 à la fin Août 1979 ; cependant des déplacements ponctuels ont été notés (gélifluxion dans des bandes de matériel fin). Deux tubes se sont inclinés dans des bandes relativement grossières, ce qui suppose un déplacement de la partie superficielle du matériel sur 7 à 8 cm. Il est à noter que presque tous les tubes proches de la surface étaient expulsés par le gel et dépassaient de 3 à 7 cm la surface du sol ; ils ont pu être remis à leur place initiale.

Les éléments peints selon une ligne continue perpendiculaire aux stries se sont localement déplacés en particulier lorsqu'ils se trouvaient sur des bandes fines. En deux points, des petits éléments ont avancé de 3 cm vers l'aval, en un autre point un ensemble de petits fragments s'est déplacé de 5 à 6 cm et surtout dans une bande fine les petits cailloux peints se sont disposés selon un triangle, la pointe dirigée vers l'aval, le fragment le plus éloigné se trouvant à 14 cm de son point de départ.

L'évolution des sols striés semble donc se faire par retouches successives, localisées, touchant tantôt une bande, tantôt une autre. Les mouvements sont tout au plus de quelques centimètres par an, ce qui est en accord avec les résultats de A. Pissart obtenus pour les sols striés du Col de la Gypière.

### **3. Les sols polygonaux du plateau de Tuissier.**

Les sols polygonaux du plateau de Tuissier occupent le fond d'une cuvette située à 2 700 m au Nord du Béal de la Pousterle.

Les polygones mesurent 0,8 à 1,5 m de diamètre ; les cloisonnements grossiers caillouteux cunéiformes ont une largeur de 20 à 40 cm en moyenne et une hauteur de 20 à 35 cm. En-dessous, le même matériel hétérométrique à matrice abondante existe tout à la fois sous le cœur boueux des cellules et sous les cloisonnements pierreux. Dans les cloisons, la matrice lavée est peu abondante et sablo-graveleuse. Par contre, dans la partie centrale terreuse des cellules, la teneur en argile peut atteindre 16 % de la fraction inférieure à 20 mm, et la partie limon et sables fins (2 à 50 microns) 30 à 35 % de cette fraction. Le matériel fin provient du lavage des pentes qui entourent la cuvette où la roche est souvent proche de la surface, mais néanmoins recouverte par un sol, parfois épais d'une cinquantaine de centimètres, assez largement colonisé par la végétation qui tend à gagner le champ de polygones.

Les polygones de Tuissier sont une bonne partie de l'année sous la neige puis l'eau, un lac temporaire se formant au moment de la fonte printanière et se vidant lentement par soutirage karstique et par évaporation. Ceci interdit la croissance de la végétation dans la partie centrale de la cuvette et explique certainement en grande partie la fraîcheur des structures. En effet, la comparaison de photos prises entre 1975 et 1979 et des repérages faits à l'aide de cailloux peints ont montré que les grandes cellules ne subissaient aucune évolution. Seules quelques pierres

enfouies sous quelques centimètres de terres sont réapparues sous l'action conjuguée des pipkrakes et du ruissellement. Contrairement à ce que nous avons pu observer sur d'autres sites, la matrice des sols polygonaux de Tuissier ne présente que très rarement de belles micro-structures feuilletées ou bulbeuses liées au gel.

Nos résultats sont en accord avec ceux de A. Pissart qui considère que les grands polygones sont aujourd'hui des formes figées et que seuls les polygones décimétriques dérivant de réseaux de fentes de dessiccation sont actuellement actifs.

Sur trois années nous avons relevé les températures minima et maxima des sols dans la partie centrale pierreuse d'une cellule :

Entre Août 1975 et Août 1976			Entre Août 1976 et Août 1977			Entre Août 1977 et Août 1978		
Prof.	Mini	Maxi	Prof.	Mini	Maxi	Prof.	Mini	Maxi
10 cm ...	- 7,5	+ 17,5	10 cm ...	- 1	+ 17	10 cm ...	- 4	+ 19
30 cm ...	- 4	+ 14	30 cm ...	- 1	+ 13	30 cm ...	- 1	+ 15
55 cm ...	- 1,5	+ 11	55 cm ...	- 1	+ 11	55 cm ...	- 1	+ 11

L'homogénéité des températures dans le profil d'une part, et le fait que le gel ait pénétré jusqu'à 55 cm au moins chaque hiver d'autre part, indiquent que le froid n'a pas été intense dans le sol peut-être en raison de la présence d'une mince couverture neigeuse mais, par contre, il a été continu sur un nombre de jours important de façon à ce que le front de gel puisse atteindre une profondeur notable. Les expériences menées au Centre de Géomorphologie montrent ainsi qu'avec un air à  $-10^{\circ}\text{C}$  il faut au moins 15 jours de froid continu pour geler 40 à 50 cm de matériau bien alimenté en eau.

Il serait intéressant de connaître à travers les Alpes la répartition des sols polygonaux en altitude et leur degré d'activité. De nombreux sites ont déjà été signalés. Aux polygones situés près du Lac des Neuf Couleurs (Chambeyron) étudiés par M. Gignoux (1936), J. Michaud (1950) et A. Pissart (1964-1973), il faut ajouter ceux découverts par A. Allix (1923) au Mont de Lans (Oisans), au Col de La Leysse, près de Tignes, par A. Gignoux (1931), dans le Queyras par J.-N. Jennings (1960) et dans la Vanoise par A. Marnezy (1977). Nous complétons cette liste avec le site du plateau de Tuissier qui vient d'être présenté, ceux du Massif du Bric de Rubren (3 200 m) et deux des replats de la Mortice (Font Sancte - 3 200 m) en cours d'étude.

## B. — Les coulées de gélifluxion et de blocailles

Les coulées qui ont fait l'objet de marquages sont de types divers, mais à l'exception d'une coulée linéaire de gros blocs marquée sur le plateau de Tuissier, il ne s'agit jamais de formes isolées ; les versants où elles se situent sont entièrement tapissés soit par des lobes et des langues de gélifluxion minces et plus ou moins allongés, soit par de multiples coulées et trainées de pierraille. Des coulées sont suivies grâce à des repères peints et à des tubes enfoncés dans le sol ; sont concernées, une coulée de blocaille située au Col du Vallonnet, une coulée de gélifluxion descendant sur le flanc d'une échine (cote 2506) qui s'accroche à la face nord du Massour et une coulée située sur la pente S.-S.O. du verrou du Lac Premier.

### 1. La coulée de blocs du plateau de Tuissier.

Une coulée de gros blocs occupe entre 2 660 et 2 633 m le talweg du Béal de La Pousterle et se termine sous forme d'un dallage en bordure du Lac Rond de Tuissier (2 633 m). Les blocs de la coulée ont de 0,8 à 1,5 m de côté. Plusieurs alignements peints sont contrôlés depuis 1970. Il n'y a pas eu de mouvement d'ensemble. Seuls deux blocs ont subi un déplacement de 2 à 3 cm, simple réajustement individuel qui est certainement lié à l'ablation du matériel fin sous-jacent par le Béal, ce matériel venant colmater progressivement la cuvette du lac. On peut se demander si les phases d'activités de cette coulée n'ont pas été contemporaines de celles du glacier rocheux voisin considéré aujourd'hui comme mort.

### 2. Les lobes à ostioles.

Les lobes de gélifluxion prennent naissance au pied d'une petite paroi dont la crête est à 2 720 m. Les lobes sont entre 2 715 et 2 705 m avec une pente de 7 à 10° environ en surface. Le dessin des ostioles, flaques terreuses entourées de matériel plus grossier, n'est que superficiel, ce qu'avait déjà constaté A. Marnezy dans la Vanoise ; en-dessous de 5 cm de profondeur, le corps des coulées est partout formé du même matériel. De grandes plaquettes sont repoussées en arc de cercle et en position relevée au front de chaque lobe.

La paroi amont très diaclasée fournit du matériel cryoclastique. Le faciès conglomératique parfois à aspect de verrucano donne des blocs et des grosses plaques ; le grès micacé schistoïde se débite en minces plaquettes, esquilles et lamelles de 1 à 2 cm de longueur et de quelques mm d'épaisseur. Un fosse ouverte au milieu d'un lobe a montré l'hétérogénéité du matériel, bien que la pierrosité soit faible : toutes les fractions sont représentées entre 0 et 20 mm sans qu'aucune ne soit dominante. Toutefois, la teneur en argile croît en profondeur passant de 8 à 10 % de la fraction inférieure à 20 mm en surface, à 18-20 % entre 40 et 50 cm de profondeur.

Une autre coupe creusée 70 cm en arrière d'un front de coulée donne une meilleure idée des structures : 0-7 cm horizon noirâtre, sablo-limoneux, très humifère ; 7-11 cm horizon plus brun, structure grenue, plus sableux, et plus graveleux, encore organique ; 11-42 cm horizon brun-beige, sablo-graveleux avec de nombreuses plaquettes et dalles en position relevante ; 42-65 cm horizon brun sombre avec peu de débris grossiers et beaucoup de restes de racines ; lambeaux d'un ancien sol ; 65-95 cm éboulis altéré avec beaucoup de débris micacés.

L'évolution des ostioles se fait sous l'action des pipkrakes, du ruissellement au printemps et aussi par une solifluxion limitée à cette saison ; les coulées sont alors très imbibées d'eau d'autant plus facilement qu'un névé persiste assez longtemps au pied de la paroi. Le 21 Juillet 1977, les teneurs en eau des horizons superficiels étaient de l'ordre de 33 %.

Les mouvements enregistrés grâce à deux alignements de cailloux peints l'un vers le revers d'une coulée, l'autre plus près du front, restent très modérés.

Les marquages remontent à 1970, ils ont été contrôlés pour la dernière fois en Août 1979. Trois pierres de la ligne amont ont individuellement migré de 4,5, 2,5 et 6 cm vers l'aval. Plus intéressant est le déplacement de deux groupes de cailloux lié à la déformation de deux ostioles ; dans un groupe le déplacement a été de 1, de 2 et 2,5 cm pour trois pierres ; dans l'autre groupe de 1, de 2 et de 20 cm pour trois pierres également. Le déplacement au niveau de la ligne aval, proche du front a été plus général car toutes les pierres marquées ont migré vers l'aval respectivement de 3 - 10 - 13 - 7 - 11 - 5 - 3 - 7 cm. Le front paraît donc avoir progressé mais le mouvement reste très faible, puisque la moyenne va, selon les points, de quelques mm à 1 cm par an.

### 3. La coulée pierreuse du col du Vallonnet

Plusieurs coulées de pierraille descendent, entre 2 737 et 2 727 m sur une pente exposée au N.-E. qui s'abaisse vers le col du Vallonnet. Elles ont un fonctionnement assez semblable à celui des coulées de gélifluxion à la différence près qu'elles sont alimentées en blocs par le versant rocheux ou par les petites corniches placés en amont.



Phot. 3. — Col du Vallonnet : coulée pierreuse.

La coulée étudiée se subdivise en deux lobes. Le premier mesure 15 m de longueur ; la pente de la partie amont est de  $22^{\circ}$ , celle de la partie aval de  $14^{\circ}$ , celle du front de  $24^{\circ}$ . Ce lobe vient s'étaler, en poussant un bourrelet de matériel fin, sur une pente de  $9^{\circ}$  ; sa forme générale est concave et il n'est plus que très faiblement alimenté en matériel par l'amont.

Le second lobe mesure 22 m de longueur ; sa pente amont est de 27°, celle de l'aval 25° et celle du front 30°. La pente du versant est de 16° en aval du lobe. La forme générale de ce lobe est convexe et il est encore bien alimenté en blocs et gélifracsts. Il possède aussi un bourrelet frontal terreux.

Le matériel provient de la gélivation d'une petite corniche de flysch gréseux et calcaireux qui surmonte des faciès plus schisteux. Le flysch gréseux fournit les gros éléments ; le faciès schisteux, sorte d'ardoise bleutée libère des petites plaquettes, des esquilles et une grande partie de la fraction fine. Les gros blocs déchaussés peuvent se mettre sur la tranche et rouler jusqu'à l'aval des coulées.

A part un pourcentage restreint de petits blocs ayant une longueur inférieure à 8 cm ou de gros blocs ayant une longueur supérieure à 40 cm, tous les autres (70 %) ont des dimensions relativement bien groupées, longueur comprise entre 9 et 26 cm et largeur 6 à 18 cm. Ces dimensions sont en rapport avec l'espacement des diaclases du flysch gréseux.

Une coupe a été ouverte dans le front d'une des coulées pour en examiner la structure :

*0-20 cm* : Couche pierreuse de plaques et de blocs, nombreux sont ceux qui sont redressés. A la base de cette couche horizon AO - A1 raviné et pelouse détruite par le glissement des pierres, racines étirées ;

*20-38 cm* : Matériel grisâtre, structure granuleuse à grumeleuse et texture sablo-limoneuse, débris de roche dispersés (taille 2 à 5 cm). Ce matériel est très humide et nettement feuilleté par le gel ;

*38-54 cm* : Couche gris-noirâtre, structure micro-grumeleuse à granulaire, sablo-limoneux, blocs de roche de 4 à 12 cm de longueur dont certains sont redressés. Accumulation de fer et de manganèse ;

*54 cm* : Grandes dalles, partiellement altérées d'aspect jaunâtre liées entre elles par une matrice ocre-jaune, sablo-argileuse.

En profondeur, le dépôt est obturé ce qui permet une rétention en eau non négligeable, même en été, ce qui favorise la ségrégation de glace dès le début de l'hiver. Les coulées pierreuses apparaissent comme un phénomène récent ; elles sont venues localement détruire un sol

pré-existant et en d'autres lieux proches de l'endroit étudié recouvrir des coulées de solifluxion laminaire épaisses de 40 à 70 cm.

En 1975 plusieurs lignes ont été peintes à la partie aval et en travers des deux lobes choisis comme exemples afin d'en suivre les mouvements. Entre l'été 1975 et l'été 1976 il n'y a pas eu de déplacement. Entre août 1976 et août 1977 quelques blocs de la ligne placée la plus en amont ont migré vers l'aval de 1,5 à 2 cm. Une avancée du même ordre a été enregistrée pour plusieurs blocs proches du front des lobes.

Globalement, le bilan entre août 1976 et août 1979 est le suivant :

- Ligne A B, front du lobe le moins alimenté en matériel, avancée de 2,5 à 4 cm selon les points ;
- Ligne E F, partie aval du même lobe, avancée générale de 1 cm et déplacement plus accusé pour quelques blocs de la partie centrale, respectivement 4, 2, 6 et 4 cm ;
- Ligne C D, partie située sur le même lobe un peu plus en amont ; seule la bordure qui est en contact avec le lobe le mieux alimenté en débris a bougé avec pour sept blocs, 5, 12, 1, 7, 13, 4 et 3 cm de déplacement ;
- Ligne C D, partie située sur l'extrémité aval du lobe le mieux alimenté en débris ; mouvement général avec des déplacements de 1 à 7 cm selon les blocs.

On constate donc que les coulées de pierraille, d'aspect très frais, évoluent irrégulièrement et lentement avec, pour les parties qui ont bougé, un déplacement vers l'aval de 0,2 à 4 cm par an.

#### **4. Coulées de la crête 2 506 m, Vallon des Aoupets**

Le versant N. - N.-O. d'une crête de calcschistes et de calcaires, près du point coté 2 506 m, voisin de la Tête de Plate Lombarde, a été choisi pour y étudier des coulées de solifluxion, anciennes, colonisées par de la végétation subalpine (rhododendrons, saules nains, etc...), et y déceler la présence ou non de mouvements actuels.



Phot. 4. — Vallon des Aoupets : coulée de la cote 2 506 m, gélifluxion.

#### *Description de la coulée équipée et équipement*

Sur un versant dont la pente est de  $30^\circ$ , s'étend une couche de formations superficielles dont l'épaisseur est quasi constante, 80 cm à 1 m ; elle est continue, dans la partie est sur une vingtaine de mètres de dénivellation, puis découpée en trois coulées nettement individualisées, allongées et présentant un front bien net ; plus à l'Ouest la couverture de formations a été modelée en nombreuses loupes très aplaties. Un recouvrement de pierrailles de la partie amont des coulées se trouve accentué, là où la crête laisse apparaître la roche à nu.

Une de coulées a été équipée de 10 colonnes-repères composées de cinq tubes en PVC de 15 cm de hauteur et 25 mm de diamètre enfoncés l'un après l'autre de façon à obtenir, sur 75 cm de profondeur, une sorte de tige articulée susceptible de se déformer avec les mouvements du sol.

L'opération de mise en place se décomposait en trois temps : forage d'un trou à l'aide d'une barre à mine enfoncée à force verticalement ; introduction des tronçons de tube remplis de terre afin de retrouver une densité correspondant à celle du matériel encaissant ; marquage des têtes des colonnes à la peinture et repérage au cordeau et au théodolite.

Six points sont alignés longitudinalement, depuis le haut de la coulée, en-dessous du recouvrement par la pierraille, jusqu'au niveau d'un premier bourrelet situé à 2,63 m du premier point, puis d'un deuxième bourrelet à 4,71 m au-delà, et jusqu'au front de la coulée, la longueur totale de celle-ci étant de 9,63 m.

Une ligne transversale composée de 4 points supplémentaires recoupe transversalement la coulée à la base du 2<sup>e</sup> bourrelet. La largeur à cet endroit est de 3,10 m. Elle était de 5,75 m dans la partie supérieure. Depuis trois points fixes d'observation, les mesures d'angles ont été effectuées au théodolite, en 1975 lors de la mise en place de l'équipement, en 1976 lors d'une première vérification et en 1978.

Si, dans quelques années, les mesures de surface indiquent les mouvements nettement marqués, le creusement de petites fosses rendra possible l'observation des déplacements des diverses sections de tube et l'estimation de l'importance des déformations subies en profondeur par la coulée.

#### *Description des formations superficielles*

Une coupe dans une des coulées montre la succession suivante, depuis la surface :

*0-4 cm* : Horizon humifère à feutrage de racines (rhododendron, saule nain, etc...), représentatif du sommet de l'étage subalpin. La structure du matériel sablo-limoneux est micro-grenue ;

*4-19 cm* : Le matériel dont la structure est grenue, contient de nombreux gravillons calcaires. Les racines sont abondantes ;

*19-40 cm* : La matrice sablo-limoneuse enrobe granules et graviers calcaires. Cet horizon est plus riche en graviers que le précédent ;

*40-55 cm* : De nombreux graviers atteignent 6 cm de longueur et donnent un aspect plus ouvert à la formation sablo-limoneuse dans laquelle l'humus reste diffus ;

Vers *60 cm* de profondeur un pavage est composé de plaques de calcaire atteignant 20 cm de longueur et 4 à 5 cm d'épaisseur ;

*60-75 cm* : Un horizon de 20 cm d'épaisseur environ, formé par la tourbe (sol organique tourbeux de pente enterré). Entre 60 et 70 cm de profondeur des passées plus claires sont intercalées dans ce matériel de texture très fine ;

*A partir de 75 cm* : Une pierraille, à structure « open-work » très ouverte est formée de débris de 2 à 4 cm de longueur, ainsi que par de la blocaille atteignant 8 cm de longueur.

### *Evolution actuelle*

#### *1° Evolution actuelle et mise en place des formations superficielles*

Les observations effectuées en 1978 (mesures d'angles) ne font apparaître aucun mouvement certain des points - repères, compte tenu des erreurs possibles d'observation. Mais les 2 tiges extérieures de la ligne perpendiculaire et situées dans le creux ceinturant la coulée ont glissé de quelques centimètres (2 à 3 cm).

Les seules marques d'activité sont les nombreuses déchirures affectant soit la couverture végétale, soit la végétation et le sol lui-même. Ces déchirures, ces glissements par mottes et paquets, l'enfouissement progressif de la végétation au front de la coulée, indiquent des processus d'évolution différents de ceux qui ont présidé à la mise en place des formations superficielles. En effet, à l'étalement d'un éboulis plus ou moins calibré, sans matière fine, a succédé la mise en place d'un horizon tourbeux plus remanié par ruissellement. Le pavage par des plaques de calcaire, positionnées à plat et le grand axe dirigé dans le sens de la pente indique qu'un substrat gelé et que la liquéfaction d'une mince couche à partir de la surface étaient nécessaires au transit de ces matériaux (type Head). L'horizon qui fossilise ces strates est composé d'un mélange de granules et graviers calcaires emballés dans une matrice sablo-limoneuse. Parfois les éléments grossiers sont orientés par petites couches dans le sens de la pente. Une mise en place sous forme de coulées fines, avec intervention de gels et de dégels semble avoir été prédominante : gélifluxion avec gélisol saisonnier ou permanent.

#### *2° L'évolution actuelle et les gélifracsts de recouvrement*

Les gélifracsts qui recouvrent l'amont des coulées sont fournis soit par la crête de roche nue qui domine la partie est du versant (seules les portions verticales des pointements calcaires semblent immunisées), soit, la couverture végétale étant déchirée sur tout le sommet de la crête, par la remise en mouvement d'un stock initial d'éclats correspondant à la couche d'éboulis localisée en profondeur.

Trois classes principales ont été observées : 20 - 30 cm ; 5 - 10 cm ; et 2 - 4 cm. Le matériel est lavé sur 1 cm d'épaisseur, en surface, mais en-dessous la matrice limono-sableuse est abondante. Les éléments les plus grands sont disposés en long et en piles d'assiettes. Les plus petits sont placés en un demi-cercle, le centre des coulées de pierrailles glissant plus vite que les côtés. La couverture végétale recule devant l'avancée de ces recouvrements de pierrailles et n'a pas repris possession de ces coulées de pierre.

### 3° *Evolution actuelle et teneurs en eau*

En juin 1977, la principale condition nécessaire pour assister à une mobilisation éventuelle des premières couches existe : la forte humidité contenue dans le sol au moment de la fonte de la neige : 116 % entre 10 et 20 cm et plus de 200 % de 0 à 10 cm (conjugaison d'un pourcentage de matière organique important et accumulation d'eau sous forme de fines lentilles de glace). Bien qu'assez élevée, 49,8 %, la limite d'Atterberg WL est donc largement dépassée. Mais d'autres conditions s'opposent à tout mouvement généralisé de la couche de formations superficielles : une fonte trop lente et trop progressive de la glace de ségrégation des horizons superficiels, alors que dans les formations du dessous dégelées, le drainage s'effectue rapidement. A cette même date les formations du dessous ne contenaient que 26,8 % et 32,6 % d'eau. La saturation n'était pas atteinte. La couche filtrante des éboulis était là pour évacuer tout surplus d'eau. La neige ayant disparu, au cours des 2 mois suivants, les couches supérieures se sont asséchées rapidement ; dès le mois de juillet on ne trouve plus qu'un taux d'humidité de 14 % ; il était stabilisé à 11 % en août. De plus la végétation, par le feutrage des racines, empêche tout mouvement de grande ampleur. Seules quelques déchirures, à l'occasion, peuvent se produire lorsque la surcharge en eau de fonte est trop importante.

## 5. **Coulée du lac Premier**

A 2 630 m, un peu plus haut en altitude que pour le site précédent, dans une exposition différente, S. - S.-O., regardant vers le vallon de Fouillouse, une coulée recouverte par de la végétation discontinue a été également équipée.

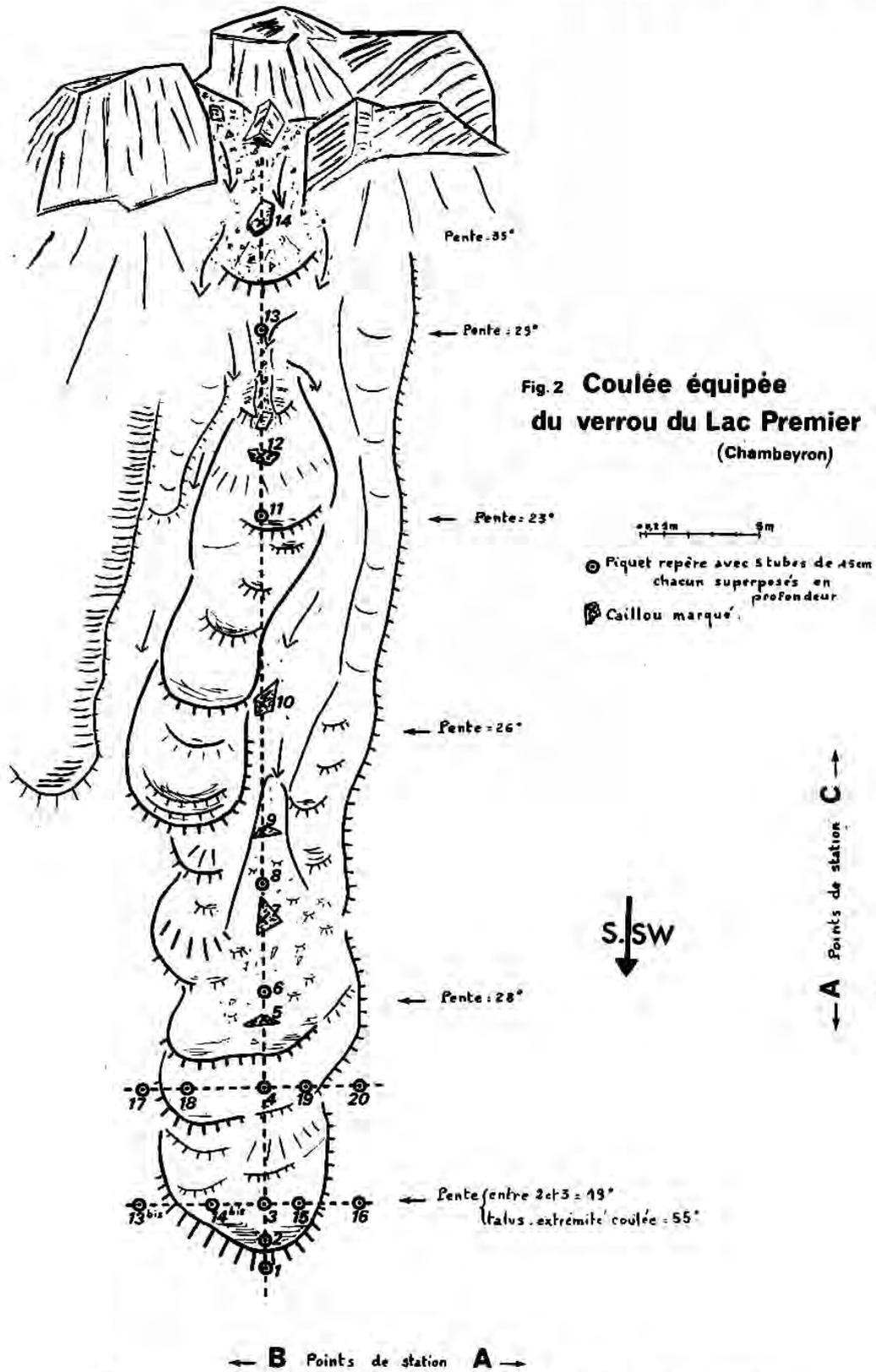


Fig. 2. — Coulée équipée du verrou du Lac Premier (Chambeyron).

a) *Description de la coulée*

Elle fait partie d'un ensemble de coulées étroites et allongées présentant un front bien marqué. Sortant d'un petit couloir formant une échancrure dans la crête de calcschistes, elle s'étire en une langue de 60 m de longueur ; la pente à l'amont est de 35° à 29° dans la partie moyenne et de 19° à l'aval. L'épaisseur du matériel est de 90 cm environ.

Sa forme est plus complexe que celle de la coulée de la cote 2 506. L'encoche de l'amont joue le rôle d'un collecteur à la fois pour les blocs et les débris tombant de la crête de roche à nu et pour les éléments fins entraînés pendant la fonte de la neige. La partie moyenne, se divise en 2 éléments latéraux, modelés en bourrelets, encadrant une zone déprimée qui donne naissance à une langue, à l'aval, elle-même constituée de bourrelets successifs. Les espaces entre les coulées de gélifluxion et l'amont de certaines d'entre elles sont envahis par des coulées pierreuses.

b) *Le matériel - formations superficielles*

Les analyses granulométriques effectuées sur plusieurs sondages indiquent : à peine 2 % d'éléments en-dessous de 2 microns ; 30 % de 20 à 50 microns ; 40 à 60 % compris entre 2 et 20 mm.

Les courbes, bimodales, dénotent 2 stocks distincts, sable fin et sablon d'une part, et gravier et cailloux d'autre part. La masse de la coulée inclut de nombreuses blocailles, petits et gros blocs descendus de la corniche qui la surplombe. La surface elle-même en est parsemée.

Bourrelets et matériel lui-même, non évolué pédologiquement, et mélange d'éléments de toutes tailles, plaideraient en faveur de remaniements successifs en nombreuses loupes. De plus il n'a pas été possible par des sondages de repérer en profondeur une couche humifère fossilisée, comme on pouvait en apercevoir dans une coupe frontale.

Trois stations fixes permettent d'effectuer des relevés d'angles au théodolite sur 15 piquets-repères et sur 6 grosses pierres marquées au burin et à la peinture. La mise en place des colonnes-repères disposées selon une ligne longitudinale et deux lignes transversales, s'est opérée de la même façon que pour la coulée de la cote 2 506.

d) *Evolution actuelle*

L'équipement a été placé en 1975, et des vérifications d'angles ont été faites en 1976 et 1978, et au cordeau en 1979. Les mesures ne sont pas encore assez nombreuses pour pouvoir affirmer avec certitude

les avancées de chacun des points, compte tenu des erreurs d'observations possibles.

Cependant, en se basant à la fois sur les mesures d'angles et celles effectuées au cordeau, on peut distinguer 3 ensembles dans la coulée :

La partie amont, reçoit les gélifractions des parois. Cette nouvelle charge renferme un gros bloc qui a progressé de 10 à 12 cm, soit de 3 à 4 cm par an ; les piquets-repères placés dans l'un des 2 bourrelets longitudinaux séparés par un couloir central, montrent une stabilité relative de cette partie moyenne de la coulée, soit 2 à 3 cm de déplacement pour les 4 années ; les mouvements les plus importants affectent la partie inférieure de la coulée. En effet, après une petite rupture de pente, le couloir central s'élargit, et les points de mesure ont enregistré une avancée de 10 à 15 cm de 1976 à 1979. Sur le premier bourrelet transversal qui succède à cette zone on a également noté une avancée de 10 à 15 cm sur l'ensemble des repères placés perpendiculairement à la ligne de plus grande pente. L'ampleur des mouvements est amortie dans le dernier bourrelet : valeurs 3 à 7 cm. La première colonne qui marque la base frontale de la coulée n'a pas bougé.

L'évolution actuelle à partir de la mise en place d'une première coulée semble se dérouler de la façon suivante : les parois de roche qui surplombent le versant alimentant en gélifractions le petit bassin de réception. La progression très lente des débris a lieu par les couloirs qui isolent les 2 bourrelets longitudinaux. Les débris amassés au bas de ce couloir exercent une poussée sur les bourrelets terminaux de la coulée. Les mouvements ne sont pas uniformes pour l'ensemble des points-repères. Les bourrelets eux-mêmes sont fragmentés et les vitesses d'avancée des repères disparates. De plus la colonne-repère stable, située à la base du front de la coulée, prouve que les mouvements affectent principalement la surface des formations superficielles.

#### *e) Evolution et teneur en eau des formations superficielles*

Les prélèvements d'échantillons par tarière à main dans la coulée du Lac Premier, montrent que les sols s'assèchent très vite. Si le 24 juin 1977 la neige était encore présente, les teneurs en eau n'atteignaient que 14 à 17 % ; elles n'étaient plus que de 12 % au mois de juillet et de 10 % au mois d'août. Bien que la limite de liquidité soit située relativement bas (dans les notations d'Atterberg) soit  $WL = 23$  à  $25$  % ; la pénétration et l'infiltration rapide de l'eau à travers les formations superficielles a empêché tout mouvement de masse important en l'absence d'un substrat imperméabilisé par le gel ; mais localement et un peu partout en surface, très temporairement, ces limites de liquidité

et de plasticité basses et très proches l'une de l'autre ( $I_p = 0$ ) ont été atteintes ; des arrachements et des mouvements de faible ampleur ont pu avoir lieu.

### C. — L'origine de la fraction fine

D'où vient la fraction fine silteuse et argileuse accumulée dans les cuvettes du plateau de Tuissier et de la vallée des Lacs de Fouillouse et parfois à faible profondeur sous les dallages nivals, les ostioles et les sols structurés où elle forme une matrice quelquefois abondante ? Dans les sites étudiés, la roche a été débarrassée des moraines ; les roches polies sont souvent proches et seul le lavage des glaciers rocheux et des grands éboulis semble capable de fournir localement une faible part des silts.

Un essai de gel en laboratoire a été effectué sur des calcschistes du Pas de la Souvagea et de la Pointe d'Aval (cf. Livret guide Excursion 1979). Après 1 100 cycles gel-dégel avec une température descendant jusqu'à  $-8^{\circ}\text{C}$  et une bonne alimentation en eau, sur 14 échantillons, trois restent intacts, six autres se sont fissurés et ont donné très peu de débris, deux se sont fragmentés en gros débris et trois seulement, qui étaient partiellement altérés, se sont désagrégés assez rapidement.

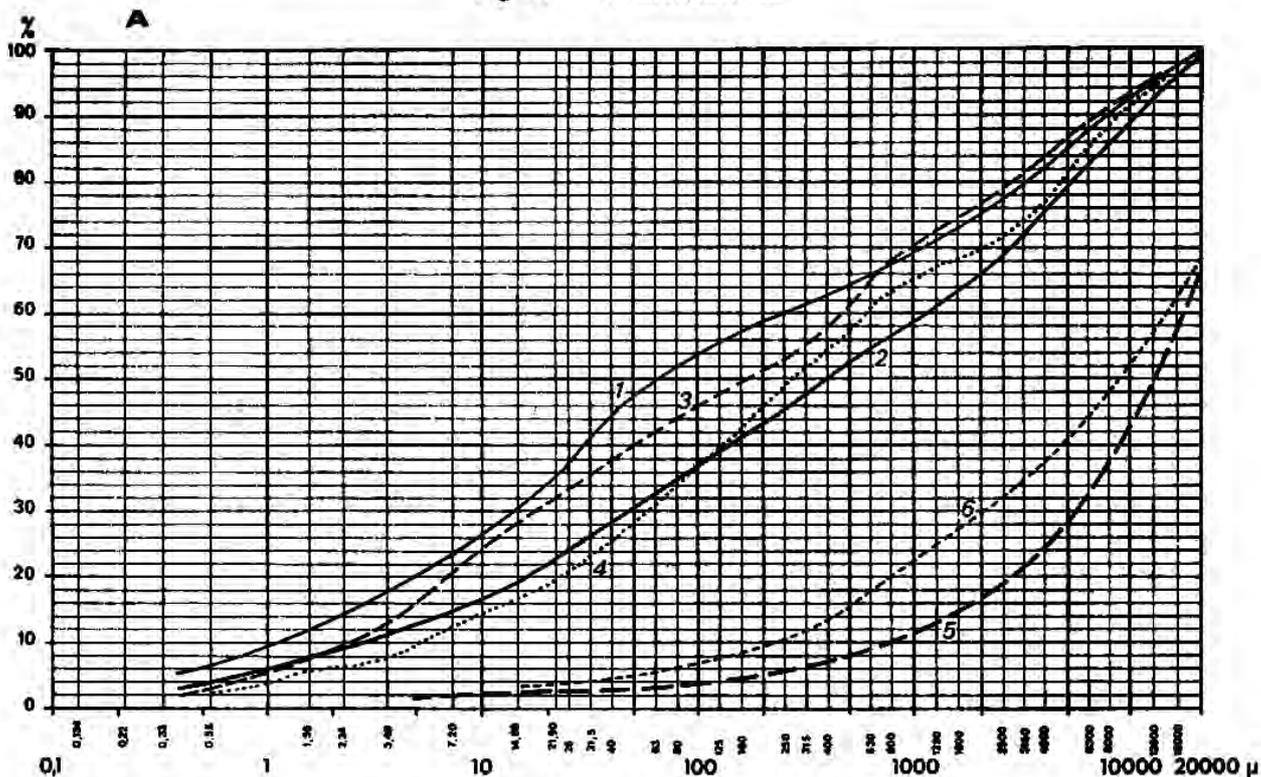
La granulométrie des débris est dans l'ensemble assez étalée et grossière, la médiane dépassant en général 0,7 cm (calcul sur la fraction inférieure à 2 cm). On retrouve ce matériel aplati et hétérométrique sur le terrain. La fraction fine (moins de 50 microns) est faible et ne dépasse pas 5 %, même pour les deux échantillons les plus nettement altérés ; la fraction comprise entre 5 et 50 microns prédomine et les fractions plus petites sont très peu représentées ce qui se rapproche de la granulométrie du matériel des sols. Toutefois, si on compare la fraction inférieure à 2 mm obtenue par la gélifraction expérimentale des calcschistes du Pas de la Souvagea et celle des sols du même site, on observe une différence dans la proportion de sables fins, de silts et d'argiles : le gel des calcschistes sains ou altérés libère sensiblement moins de ces fractions granulométriques.

Par conséquent, s'il s'avère que le gel seul est capable de fournir les blocs, les plaquettes et les esquilles, il faut faire appel à d'autres processus physico-chimiques (pédogénèse, dissolution, hydrolyse) pour obtenir la fraction fine de la matrice des dépôts. On observe que lorsque les plaquettes de calcschistes sont prises dans des horizons pédologiques ou contenues dans des couches sujettes à une hydromorphie quasi permanente, elles sont altérées superficiellement et selon leurs principales

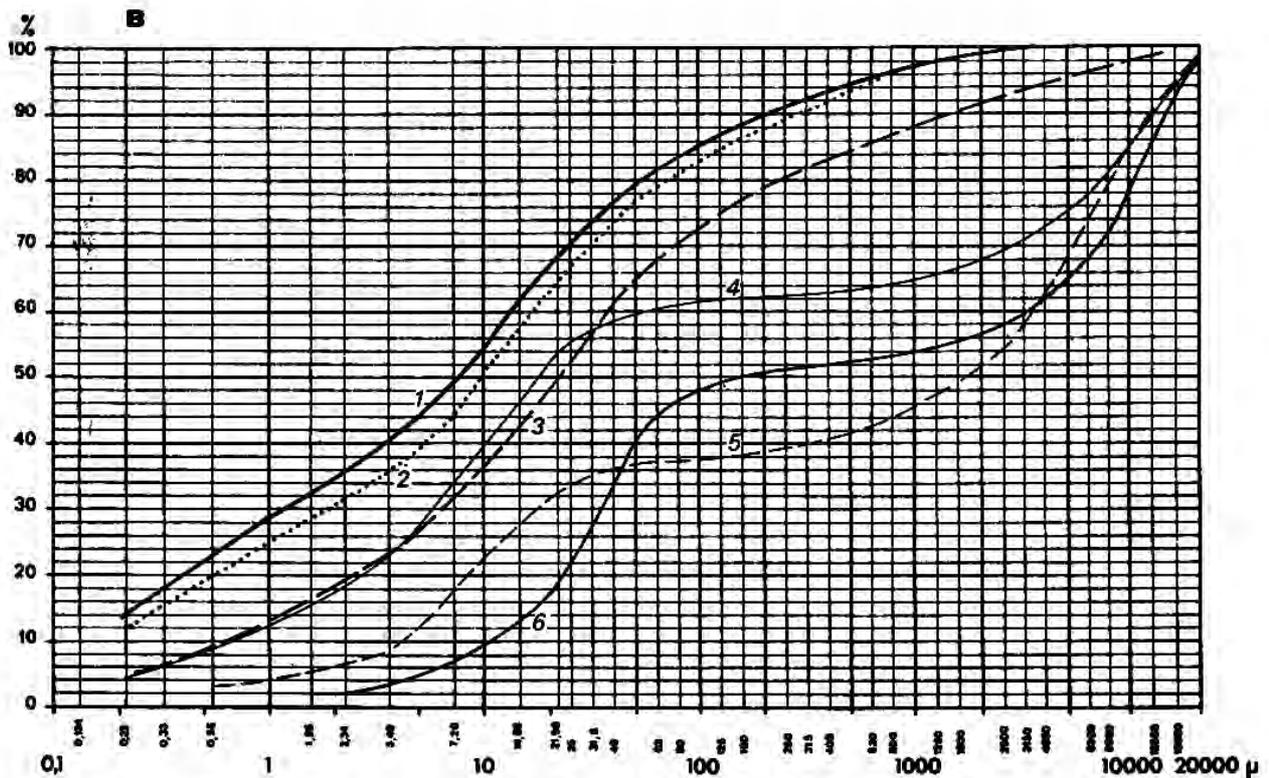
fissures et possèdent une pellicule de couleur jaunâtre qui se désagrège facilement. Dans les mouvements liés au gel du type gonflement-rétraction, glissement, éboulement, ces plaquettes peuvent libérer du matériel fin par frottement. Il existe aussi dans le massif du Chambeyron des faciès plus schisteux de teinte sombre qui s'amenuisent davantage que les calcschistes en libérant d'infimes particules de mica (exemple au Col du Vallonnet).

L'examen attentif des courbes granulométriques des divers matériaux constitutifs des sols et des coulées montre bien le rôle de la pédogénèse. Lorsque le matériel dérive des roches essentiellement par gélifraction, les courbes très tendues traduisent l'hétérogénéité du matériel, c'est le cas des coulées à ostioles de Tuissier et plus encore de la matrice remplissant les fissures des roches autour de la Pointe d'Aval et entrant dans la composition des sols striés du Pas de la Souvagea et des sols polygonaux et striés du Bric de Rubren.

Fig. 3. — Granulométries.



- A. — 1. 1713- 2, Souvagea, matrice sol strié, prof. 30 cm.  
 2. 1713- 3, Pointe d'Aval, 3 300 m, matrice de dépôt de pente.  
 3. 1455- 1, Plateau de Tuissier, matrice coulée à ostioles.  
 4. 2016-10, Rubren, matrice de dépôt de pente.  
 5. éch. 10 Gélifraction expérimentale, 890 cycles, — 8° C + 15° C.  
 6. éch. 12 Idem.



- B. — 1. 1595- 1, Col du Vallonnet, buttes gazonnées, horizon humifère, surface.  
 — 2. 1595- 6, Col du Vallonnet, buttes gazonnées, horizon humifère, enterré, 30 cm.  
 — 3. 1595- 4, Col du Vallonnet, buttes gazonnées, horizon sableux, 12-15 cm.  
 — 4. 2014- 8, Coulée cote 2506, Plate Lombarde, horizon humifère, enterré.  
 — 5. 2014- 7, Coulée cote 2506, Plate Lombarde, horizon sablo-graveleux, 35-50 cm.  
 — 6. 2015- 8, Lac Premier, horizon 40-60 cm de la coulée.

Par contre (fig. 3), on s'aperçoit que les coulées du Lac Premier et de la cote 2 506 (vallon des Aoupets) mêlent au matériel grossier dû à la gélifraction, un stock sablo-silteux du démantèlement de sols (aspect bimodal des courbes). Enfin, on remarque que les courbes indiquant une teneur assez élevée en argile et toutes les fractions fines inférieures à 50 microns correspondent à des horizons humifères actuels ou à des horizons Ao - Al fossilisés. C'est le cas pour les buttes gazonnées et le matériel situé sous les coulées de pierraille du col du Vallonnet et pour les horizons pédologiques enfouis sous certaines coulées du Lac Premier et de la cote 2 506. La micromorphologie a montré par ailleurs que dans les buttes gazonnées il y a eu et il y a encore une activité biologique importante qui ne peut que favoriser l'amenuisement du matériel.

On remarquera aussi que les sites où le matériel dérive pour l'essentiel d'un amenuisement mécanique (Souvagea, Rubren) sont au-dessus

de 2 900 m d'altitude ; les autres sont compris entre 2 500 et 2 700 m là où le tapis végétal est relativement important et où la pédogénèse a joué un plus grand rôle.

#### D. — Les conditions d'activité des phénomènes périglaciaires

Ces conditions sont tout à la fois liées au contexte climatique régional, température de l'air et précipitations et aux conditions stationnelles car, comme nous l'avons remarqué en décrivant chaque site, les températures du sol, la porosité, donc les capacités de rétention de celui-ci, la formation de glace de ségrégation varient d'un point à un autre.

##### 1° *Les températures*

Son altitude moyenne supérieure à 2 000 m, sa situation dans la région interne des Alpes du Sud et sa proximité du Golfe de Gênes, valent à la Haute-Ubaye un climat montagnard à tendances continentales et à affinités méditerranéennes.

D'après la carte climatique détaillée de la France (feuille de Gap), le domaine est alpin avec une température moyenne annuelle de 4 °C au moins et 10 à 11 mois ayant une température moyenne inférieure à 7 °C sauf pour l'adret de Fouillouse où seulement 8 à 9 mois ont une moyenne inférieure à 7 °C.

Dans sa thèse E. Bénévent donne quelques précisions pour la Haute-Ubaye. L'isotherme annuelle 0 °C est à 2 400 m ; l'isotherme annuelle + 5 °C est à 1 700 m. Aux baraquements de Viraysse, 4 km à l'E. - S.-E. de la Tête de Plate Lombarde, à une altitude de 2 520 m, la moyenne annuelle est de — 1,1 °C.

En hiver, l'isotherme — 5 °C se situe à 1 550 m en ubac et 1 800 m en adret. Au printemps, l'isotherme 0 °C est à 2 000 m ; en été, elle est à 3 500 m, nettement au-dessus des plus hauts sommets du Chambeyron ; en automne elle redescend vers 2 600 m.

L'examen des températures journalières montre qu'en mai, juin, le début de juillet, octobre et novembre, les oscillations autour du zéro peuvent être fréquentes<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> P. Gabert (1971) a montré, dans l'Embrunais voisin que vers 2 500 m d'altitude on pouvait compter 270 jours de gel par an. A cette altitude, correspond le maximum de cycles gel-dégel : 165 par an en moyenne sous abri. Au sol, à l'adret, en tenant compte du tapis neigeux le nombre se ramène à 85 cycles à 3 000 m d'altitude, mais sur les versants raides on retrouve 180 cycles au sol à l'Adret.

Les conditions thermiques générales paraissent donc propices à une poursuite de l'activité des phénomènes périglaciaires au-dessus de 2 500 m d'altitude. Encore faut-il nuancer cette appréciation. En effet, les températures enregistrées dans le sol sont différentes de celles de l'air ambiant. D'une part, l'épaisseur et la persistance du manteau neigeux, l'abondance des pluies jouent un rôle dans le bilan thermique du sol et d'autre part la formation de glace de ségrégation sur une tranche de sol de 40 à 50 cm suppose une continuité du gel pendant de nombreuses journées. Les quelques relevés de températures et les observations du sol faites au début du dégel en divers lieux de la Haute-Ubaye prouvent que cette dernière condition existe parfois autour de 2 500 m - 2 700 m (cote 2 506, Tuissier, col du Vallonet) et est annuellement remplie entre 2 900 et 3 100 m (La Souvagea, Bric du Rubren, La Mortice).

## 2° *Les précipitations*

Les montagnes de la Haute-Ubaye font figure d'îlot relativement sec au milieu de montagnes plus arrosées comme celles de la Vésubie, de la Tinée, du Mercantour et du Pelvoux. Le régime pluviométrique a un caractère nettement méditerranéen avec un maximum d'automne (septembre - octobre), un maximum secondaire de printemps et un minimum d'hiver. Les pluies tombent sous forme d'averses violentes. En automne, les averses journalières atteignent souvent 25 à 40 mm. Il en est de même en fin de printemps où elles peuvent provoquer une accélération brutale de la fonte des neiges et entraîner une érosion active par ruissellement. Des précipitations exceptionnelles peuvent se produire, même en début d'été, comme celles du 8 au 13 juin 1957, avec 200 mm pour la seule journée du 13 juin, qui provoquèrent des crues catastrophiques.

A Fouillouse, la neige peut couvrir le sol de novembre à mai, parfois juin, mais l'épaisseur excède rarement un mètre.

En se référant aux chiffres des stations pluviométriques voisines de notre domaine : Embrun, Ceillac, Arvieux, Champcella, Saint-Paul (en Ubaye) et Allos on s'aperçoit que pendant la période 1975-1979, celle de nos mesures, les précipitations ont subi des variations importantes. En 1974 et 1975, les hauteurs recueillies étaient inférieures à la normale calculée sur 30 ans. En 1976, les précipitations ont été voisines de la normale. Le retour à des hauteurs plus importantes s'est fait au cours de l'automne 1976-1977 ; les précipitations sont restées supérieures à la normale en 1977 et 1978 et pendant l'automne 1978-1979.

La mise en place de nos équipements a donc eu lieu pendant une période où la région était déficitaire en eau ; les mouvements ont été nuls en 1975 et 1976. Par contre, ensuite l'approvisionnement en eau des sols (pluies, fonte des neiges) s'améliore. Les déplacements modestes que nous avons mesurés ont eu lieu entre l'été 1977 et l'été 1979.

### 3° *L'eau dans le sol*

Même lorsque les précipitations sont globalement abondantes, d'autres conditions doivent être remplies pour que des mouvements aient lieu dans les sols structurés et les coulées. Tout mouvement suppose un engorgement en eau suffisant pour qu'une rupture d'équilibre ait lieu, ce qui n'est pas souvent le cas.

#### a) *Conditions à l'engel*

Nous avons noté qu'au-dessus de 2 500 m et plus particulièrement entre 2 900 et 3 100 m les températures sont souvent favorables au gel du sol sur une épaisseur de l'ordre de 40 à 50 cm. Pour que la ségrégation de glace soit active, il faut encore un bon approvisionnement en eau en automne et au début de l'hiver. Plus il y a de glace dans le sol au moment du dégel printanier plus l'imbibition des matériaux est forte et plus les mouvements de solifluxion sont possibles.

Plusieurs cas se sont présentés :

— Ou bien le matériel est suffisamment fin pour avoir une bonne rétention, c'est le cas des buttes gazonnées et du matériel qui supporte les coulées de pierraille du Vallonet ;

— Ou bien les sols sont dans une cuvette ou au pied d'un long versant où de l'eau est apportée par sous-écoulement toute l'année : sols polygonaux de Tuissier, sols striés du Pas de la Souvagea ;

— Ou bien des névés persistent longtemps ce qui est le cas souvent au-dessus de 2 900 m autour du Bric de Rubren ou à la Mortice.

Par contre, en ce qui concerne les coulées du Lac Premier ou de la cote 2 506 les conditions sont moins favorables. Il n'y a pas de long versant ni de névé persistant au-dessus de ces coulées. De plus, le matériel des coulées du Lac Premier est très perméable et la déperdition d'eau rapide ; à l'automne, elles sont sèches. Les coulées de la cote 2 506 reposent sur un éboulis « open work » très filtrant ; toutefois les horizons superficiels très humifères et un horizon limoneux et humifère enfoui peuvent retenir une quantité d'eau non négligeable.

### b) *Conditions au dégel*

Deux facteurs entrent en ligne de compte au moment du dégel : la rapidité de celui-ci et la présence ou non de glace dans le sol fournissant de l'eau et limitant l'infiltration. Les trois missions effectuées au cours de l'année 1977, du 21 au 24 juin, du 17 au 22 juillet et du 10 au 15 août nous ont permis de mettre en évidence les combinaisons suivantes :

#### 1) *Absence de glace dans les formations superficielles*

— Lorsque la fonte est rapide, le ruissellement de surface est très actif, même sur la pelouse alpine, mais il n'y a pas saturation du profil du sol (observations de juillet pendant une semaine de fort ensoleillement). L'imbibition n'est élevée que sur 1 à 2 m en aval des plaques de neige tant que celles-ci subsistent.

— Lorsque la fonte de la neige est lente et le matériel poreux (cas des coulées du Lac Premier) l'infiltration se fait immédiatement et au fur et à mesure de l'apport d'eau. Ce fut le cas le plus fréquent en juin et jusqu'au 10 - 15 juillet 1977 à cause de la forte nébulosité et des températures fraîches. Le sol ne se sature pas dans son ensemble sauf très localement si des circonstances topographiques favorisent la concentration des eaux. Dès que la neige est totalement disparue, le terrain s'assèche rapidement : cas des coulées du Lac Premier.

#### 2) *Présence de glace dans les horizons superficiels*

Dans ce cas, il y a une certaine ségrégation de glace dans la couche la plus superficielle mais il n'y a pas de glace en profondeur susceptible d'obturer le réseau poreux du sol. Au moment de la fonte, il y a temporairement une imbibition très forte de la partie supérieure du sol mais très tôt ensuite l'ensemble du profil s'égoutte. Ce fut le cas des coulées de la cote 2 506. L'exemple des buttes gazonnées du Col du Vallonnet fut un peu différent en raison de l'importance de la fraction fine qui confère au matériel une capacité de rétention assez notable.

#### 3) *Gel et ségrégation de glace en profondeur*

A des altitudes voisines et supérieures à 2 900 m nous avons déjà signalé l'abondance de l'eau au moment de l'engel. De plus, le froid pénètre profondément et la ségrégation de glace a lieu dans tout le profil du sol. Il s'ensuit une imperméabilisation en profondeur. Au début du dégel, aux heures les plus chaudes de la journée, une mince

couche dégèle et se sursature d'eau, celle-ci ne pouvant s'écouler en profondeur. Une gélifluxion laminaire peut avoir lieu. C'est le cas des bandes terreuses des sols striés de la Souvagea, des sols et des coulées en plusieurs points élevés du massif du Bric de Rubren et de la Mortice. La période favorable ne dure que quelques jours car ensuite, le dégel progressant, l'eau peut à nouveau s'infiltrer et circuler dans les cloisonnements grossiers ou en sous-écoulement.

### E. — La zonation altitudinale des processus

Dans le massif du Chambeyron comme dans ceux du Bric de Rubren et de la Font-Sainte (La Mortice) où nous avons poursuivi nos recherches, c'est seulement à partir de 2 900 m que nous avons pu observer le processus de gélifluxion, c'est-à-dire le glissement d'une mince couche de matériel gorgé d'eau sur un substrat encore gelé ; le glissement se traduisant parfois par la naissance de fissures de décollement dans la pente. A cette altitude, la végétation est quasi inexistante et n'entrave pas l'évolution des formes. Ces dernières ont toujours un aspect très frais. Nous avons là une raison de déplacer notre champ principal d'étude vers des altitudes de l'ordre de 3 000 m, choix déjà réalisé avec le début des travaux sur la Mortice.

Les autres formes concernées par les recherches menées depuis 1975 se situent entre 2 500 et 2 700. Sauf très localement en fonction de la topographie et de la granulométrie des matériaux, les conditions favorables aux mouvements de solifluxion ne sont pas remplies. Encore s'agirait-il d'une solifluxion normale et non d'une gélifluxion sur plan gelé. A cette altitude, la formation de nouvelles coulées est rarement possible et seuls des réajustements limités ont été constatés. Les grands sols polygonaux sont figés et apparaissent comme un héritage ; des formes mineures évoluent néanmoins dérivant des fissures de dessiccation car l'action des pipkrakes labourant le sol et du ruissellement n'est pas absente. La végétation entrave fréquemment l'action des divers processus.

Les coupes et les analyses granulométriques effectuées tendent à démontrer que le matériel des coulées de solifluxion laminaire aujourd'hui peu actives provient du démantèlement de sols alpins. Il faut donc supposer qu'à une période favorable à la formation des sols jusqu'à une altitude élevée a succédé un retour à des conditions climatiques plus rigoureuses, les processus périglaciaires devenant actifs beaucoup

plus bas qu'ils ne le sont aujourd'hui. D'où une multiplication des coulées et une dénudation des sommets de crêtes qui fourniront tardivement les éléments grossiers des coulées de pierraille.

Selon M. JORDA (1978), la période Atlantique a été la plus favorable à la pédogénèse et à l'altération avec une remontée très nette de la limite de la forêt. Au Sub-Boréal et au Sub-Atlantique au contraire la tendance était à nouveau à un abaissement des températures au recul de la végétation et à la formation de petits glaciers rocheux et d'éboulis fluants. Peut-être est-ce à ces époques que les phénomènes de type périglaciaires furent actifs jusqu'à 2 500 m. De nos jours, avec le réchauffement qui a suivi les derniers froids du « petit âge glaciaire », la limite de pleine activité des processus périglaciaires a été reportée vers 2 900 m. Nous espérons que des études palynologiques entreprises nous permettront de préciser ce point.

## CONCLUSION

Les cinq années d'observations et de mesures menées dans le massif du Chambeyron nous permettent d'aboutir aux conclusions suivantes :

La production de la fraction fine des sols et des coulées est essentiellement liée à la pédogénèse et à une altération modérée des roches qui facilitent l'action du gel. La gélifraction seule n'est pas susceptible de fournir une quantité élevée d'éléments fins.

Bien que la plupart des formes étudiées présentent un grand état de fraîcheur, celles-ci ne subissent pas d'évolution globale mais seulement des réajustements successifs. Les mouvements enregistrés vont de quelques millimètres à quelques centimètres par an. Ces valeurs sont comparables à celles obtenues sur des pentes semblables par A. PISSART (1964 et 1973) dans le même massif du Chambeyron, les chiffres étant de 1,5 cm/an pour le matériel grossier et 7 cm/an pour le matériel fin des sols striés du Col de la Gypière. Pour le Groenland, A.L. WASHBURN (1967) donne 0,9 cm/an dans les zones qui se dessèchent en été et 3,7 cm/an dans les zones saturées en eau. J.B. BENEDICT (1970) a mesuré des déplacements de 2,5 à 3 cm/an dans la région alpine du Colorado.

En étudiant des pentes de 18 à 26° entre Narvik et Kiruna, A. RAPP et L. STROMQUIST (1979) ont enregistré des mouvements de 0,8 à

6 cm/an pour divers lobes de gélifluxion. Quelques exemples d'évolution plus rapide sont connus mais dans un contexte climatique et lithologique différent. C'est ainsi qu'aux Canaries, P. W. HOLLERMANN (1979) a calculé des chiffres moyens de 6 cm/an pour les zones bien exposées qui s'assèchent en été et 30 cm/an pour les zones constamment imbibées d'eau.

Nous confirmons l'opinion de A. PISSART selon laquelle les grands sols polygonaux n'évoluent pratiquement plus et que les grands sols striés solifluent très lentement. D'une manière générale nous avons expliqué que les coulées et les sols structurés situés entre 2 500 et 2 700 m d'altitude ne peuvent évoluer que de manière discontinue dans des périodes exceptionnellement favorables au point de vue froid et humidité et qu'à ces altitudes les conditions locales : position topographique, granulométrie des matériaux, structures des formations superficielles jouent un rôle important. Ce n'est que vers 2 900 à 3 100 m que la gélifluxion (solifluxion en minces couches sur un substrat gelé) peut avoir lieu plusieurs jours chaque année et dans ce cas il n'y a plus de végétation susceptible d'entraver les mouvements.

Il apparaît également que le matériel des coulées provient en grande partie du démantèlement d'anciens sols, ce qui fait envisager des fluctuations climatiques en haute montagne. Selon JORDA (1978) pour les Alpes et A. KOTARBA et L. STARKEL (1972) pour les Carpathes un optimum climatique favorable à la pédogénèse et la remontée des limites de la forêt a eu lieu pendant la période Atlantique. Ensuite, l'érosion aurait repris entre le Sub-Atlantique et le début du XIX<sup>e</sup> siècle à la faveur de plusieurs récurrences froides. Nous serions tentés de situer au cours de cette dernière période la mise en place des coulées et gélifluxion d'altitude comprise entre 2 500 et 2 700 m. Les hauts de pente dénudés auraient fourni ensuite le matériel de macrogélifraction des coulées de blocaille qui viennent recouvrir ou déchirer la pelouse alpine et se superposer parfois aux coulées de gélifluxion.

Pour parfaire l'étude des processus périglaciaires d'altitude, il serait nécessaire de concentrer nos efforts sur la tranche d'altitude 2 900 - 3 100 m et surtout, de disposer d'appareils d'enregistrement des températures tant dans les parois que dans les sols et de multiplier les mesures de teneur en eau des formations. Une cartographie très minutieuse des versants avec leurs successions de formes et de matériaux serait également indispensable pour bien comprendre l'enchaînement des processus. Le site de La Mortice (massif de la Font Sancte - 3 000 - 3 100 m d'altitude) où nous avons déjà fait quelques observations offre des conditions climatiques et stationnelles qui nous paraissent propices à la gélifluxion.

## BIBLIOGRAPHIE

- ALLIX (A.). 1923. Nivation et sols polygonaux dans les Alpes Françaises. La Géographie XXXIX, p. 431-438.
- BENEDICT (J.B.). 1970. Downslope soil movement in a Colorado alpine region, rates, processes and climatic significance, Arctic and Alpine Research 2 (3), p. 165-226.
- BENEVENT (E.). 1926. Le climat des Alpes Françaises, Paris, Chiron, 435 p.
- Commission pour l'Etude des phénomènes périglaciaires. Etudes de terrain dans les Alpes du Sud. Massif du Chambeyron. Journées du 6 et 7 septembre 1979. Livret guide, Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., 39 p. multigraphié.
- GABERT (P.). 1971. Les modelés supra-forestiers dans les flyschs des montagnes de l'Embrunais. Colloque de Perpignan, 1971, p. 71-87.
- GIGNOUX (M.). 1931. Les sols polygonaux dans les Alpes et la genèse des sols polaires. Ann. de Géographie, vol. 40, n° 228, p. 610-619.
- GIGNOUX (M.). 1936. Un bel exemple de sol polygonal dans les Alpes Françaises. Bull. Soc. Scient. du Dauphiné, Grenoble, tome 56, p. 453-464.
- HOLLERMANN (P.W.). 1979. Geomorphological field experiments in a subtropical mountain environment. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, vol. XIII, p. 41-53.
- IGOUT (M.). 1971. Le massif du Chambeyron méridional (Alpes de Haute Provence). Etude morphologique. Mem. de Maîtrise, Univ. Aix-en-Provence, Institut de Géographie, 146 p. dactyl., 1 carte h.t.
- JAHN (A.). 1956. Some periglacial problems in Poland. Biuletyn Peryglacjalny, n° 4, p. 169-183.
- JENNINGS (J.N.). 1960. On an unusual occurrence of stone polygons in the French Alps. Biuletyn Peryglacjalny n° 7, p. 169-173.
- JORDA (M.). 1978. Les formations à blocs des milieux sub-alpins et alpins des Alpes de Haute-Provence. Essai d'interprétation génétique et chronologique. Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords. Strasbourg, Univ. Louis Pasteur, 12 - 14 Mai 1977. Publ. Ass. Geogr. d'Alsace. Février 1978, p. 31-44.
- KOTARBA (A.) and STARKEL (L.). 1972. Holocene morphogenetic altitudinal zones in the Carpathians. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, vol. VI, p. 21-33.
- MARNEZY (A.). 1977. Aspects du modelé périglaciaire dans le vallon de La Rocheure (Massif de La Vanoise), Rev. Geogr. Alpine, Tome LXV, n° 4, p. 367-384.
- MICHAUD (J.). 1950. Emploi des marques dans l'étude des mouvements du sol. Rev. Geom. Dyn. 1<sup>re</sup> année, n° 4, p. 180-189.
- PISSART (A.). 1964. Vitesses des mouvements du sol au Chambeyron, Basses-Alpes, Biuletyn Peryglacjalny, n° 14, p. 303-309.
- PISSART (A.). 1973. L'origine des sols polygonaux et striés du Chambeyron, Basses-Alpes, Bull. Soc. Geogr. Liège, 9<sup>e</sup> année, n° 9, p. 33-53.
- RAPP (A.) and STROMQUIST (L.). 1979. Field experiments on mass movements in the scandinavian mountains with special reference to Kärkevagge, Swedish Lapland. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, vol. XIII, p. 23-38.
- WASHBURN (A.L.). 1967. Instrumental observations of mass-wasting in the Mesters Vig District, Northeast Greenland, Medd. om Grønland 166, 4, 318 p.

# Persée

<http://www.persee.fr>

## Observations sur quelques formes et processus périglaciaires dans le Massif du Chambeyron (Alpes de Haute-Provence)

Centre de Géomorphologie C.N.R.S.-Caen; Institut de Géographie d'Aix-en-Provence

Revue de géographie alpine, Année 1980, Volume 68, Numéro 4  
p. 349 - 382

[Voir l'article en ligne](#)

Résumé. — Le massif du Chambeyron, dans les Alpes Françaises du Sud, est bien connu pour l'abondance des phénomènes périglaciaires d'altitude : sols géométriques, cercles de pierres, polygones, sols striés, gradins, thufurs, etc., au-dessus de 2 500 m d'altitude. Ils sont le résultat d'intensives actions du froid avec un grand nombre de cycles gel-dégel mais sans permafrost. Cette étude, faite en commun par nos deux laboratoires, donne les observations de terrains effectuées depuis plusieurs années, en particulier sur des sites de mesures complétés par l'analyse de nombreux échantillons en laboratoire. Les phénomènes de gélifluxion dans la partie supérieure de la pelouse alpine conduisent à proposer des explications complémentaires sur les origines de ces formes et les variations climatiques récentes.

### Avertissement

L'éditeur du site « PERSEE » – le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation – détient la propriété intellectuelle et les droits d'exploitation. A ce titre il est titulaire des droits d'auteur et du droit sui generis du producteur de bases de données sur ce site conformément à la loi n°98-536 du 1er juillet 1998 relative aux bases de données.

Les oeuvres reproduites sur le site « PERSEE » sont protégées par les dispositions générales du Code de la propriété intellectuelle.

#### Droits et devoirs des utilisateurs

Pour un usage strictement privé, la simple reproduction du contenu de ce site est libre.

Pour un usage scientifique ou pédagogique, à des fins de recherches, d'enseignement ou de communication excluant toute exploitation commerciale, la reproduction et la communication au public du contenu de ce site sont autorisées, sous réserve que celles-ci servent d'illustration, ne soient pas substantielles et ne soient pas expressément limitées (plans ou photographies). La mention Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation sur chaque reproduction tirée du site est obligatoire ainsi que le nom de la revue et- lorsqu'ils sont indiqués - le nom de l'auteur et la référence du document reproduit.

Toute autre reproduction ou communication au public, intégrale ou substantielle du contenu de ce site, par quelque procédé que ce soit, de l'éditeur original de l'oeuvre, de l'auteur et de ses ayants droit.

La reproduction et l'exploitation des photographies et des plans, y compris à des fins commerciales, doivent être autorisés par l'éditeur du site, Le Ministère de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche, Direction de l'enseignement supérieur, Sous-direction des bibliothèques et de la documentation (voir <http://www.sup.adc.education.fr/bib/>). La source et les crédits devront toujours être mentionnés.