

revue de géomorphologie dynamique

géodynamique externe
étude intégrée du milieu naturel



XXXIII^e N^o 1 - 1984

SONDAGES ÉLECTRIQUES SUR QUELQUES GLACIERS ROCHEUX ET MORAINES DES ALPES DU SUD (FRANCE)

Michèle EVIN*

avec la collaboration d'Alain ASSIER*

Mots-clés : Résistivité électrique. Structure interne des moraines et des glaciers rocheux. Pergélisol.

Key-words : Electrical resistivity. Internal structure of moraines and rock-glaciers. Permafrost.

RÉSUMÉ

Des sondages électriques ont été effectués sur des glaciers rocheux inactifs et des moraines Tardiglaciaires des Alpes du Sud.

Ces mesures ont permis de déduire la structure interne des formes héritées que sont les glaciers rocheux et les moraines. Les glaciers rocheux comportent une importante masse limoneuse dégelée (60-600 ohm-m) sous une couche (ou plusieurs couches) de matériel plus grossier. La structure interne des moraines n'est pas très différente.

Au toit du substratum se trouve une dizaine de mètres de matériel fin très humide à saturé (650-1000 ohm-m).

Un seul glacier rocheux inactif semble contenir un peu de glace à 2250 m d'altitude au front (Résistivité supérieure à 100 000 ohm-m).

ABSTRACT

Electrical resistivity soundings were carried out on inactive or ancient rock glaciers and Lateglacial moraines in the southern Alps (France).

These soundings furnish geophysical information about the internal structure of alpine rock-glaciers and moraines. It is shown that the rock-glaciers of the present study consist in unfrozen debris (60-650 ohm-m) under one or several layers of blocks. The internal structure of moraines is not very different.

An unfrozen debris-layer very rich in water occurs at 10-15 m depth in both cases near the bed-rock (650-1000 ohm-m).

Ice may be present into only an inactive rock-glacier at 2250 m a.s.l. (resistivity above 100 000 ohm-m).

Dans les Alpes du Sud, le modelé des milieux sub-alpin et supra-forestier est caractérisé par la multiplicité des accumulations rocheuses qui tapissent le plancher des cirques ou en garnissent les flancs. Ces formations héritées pour la plupart se rattachent à deux grands groupes : glaciers rocheux et moraines.

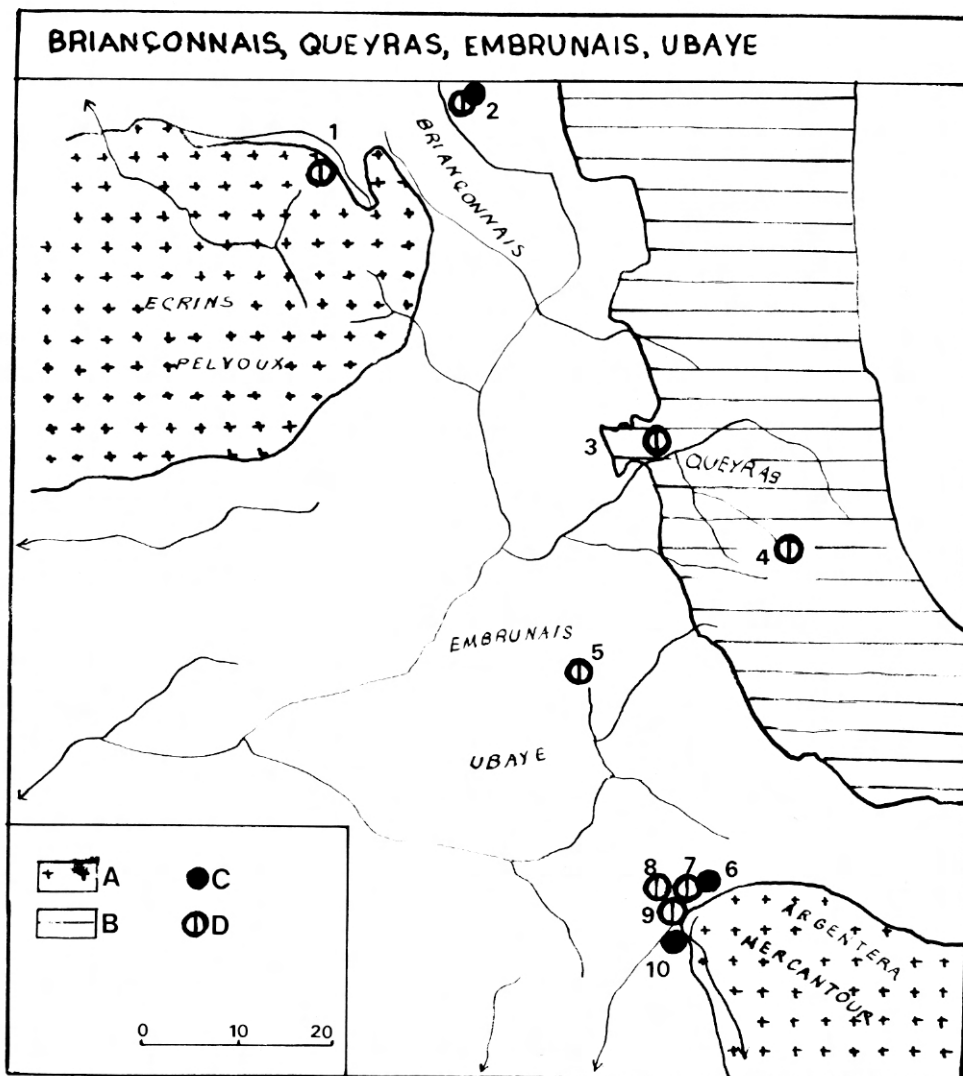
De nombreux auteurs se sont attachés à rechercher de la glace enfouie dans les accumulations à l'aide de différentes méthodes géophysiques : sismique ou résistivité électrique. La première méthode ne permet pas de préciser si l'on se trouve en présence de glace massive (dead ice, buried glacier ice) ou de pergélisol (frozen ground) ; la seconde est plus adaptée à notre recherche (Haerberli, 1978). Les valeurs de résistivité électrique sont bien différentes dans un substratum rocheux (2000 à 12 000 ohm-m), du pergélisol (10 000 à 300 000 ohm-m) ou de la glace de glacier (10 millions à 100 millions d'ohm-m) (Fisch et al. (1978), Haerberli (1978), Röthlisberger (1967), Röthlisberger et al. (1967)).

Nous avons recherché la présence de glace dans un grand nombre de moraines et glaciers rocheux des Alpes du Sud (Evin, 1983). La glace ne semble probable qu'au-dessus de 2850 m pour l'ensemble des accumulations. Les moraines et les glaciers rocheux situés plus bas en altitude qui font l'objet de cette étude se disposent dans les Grandes Alpes méridionales du Galibier au Nord au Mercantour au Sud (carte hors texte), dans l'étage de la pelouse alpine. La lithologie est variée, allant des calcaires et dolomies de la zone briançonnaise aux schistes lustrés en passant par les grès dits d'Annot de l'autochtone ou des roches du socle.

L'interprétation des courbes de résistivité dans un assez grand nombre de formes nous a permis de déduire la structure interne et l'épaisseur des différents éléments qui constituent les formes d'accumulation héritées, en l'absence de glace.

* Institut de géographie Alpine. Grenoble.

Courrier à adresser à :
Michèle EVIN
B.P. 123
F-88300 NEUCHATEAU



Les Alpes du Sud : situation des sondages électriques.

Distribution of the soundings in the southern french Alps.

1 - Lautaret ; 2 - La Clapière ; 3 - Izoard ; 4 - Agnel Sud ; 5 - Vars ; 6 - Camp des Fourches ; 7 - Raspaillon ; 8 - Lac Verdet ; 9 - Cayolle Nord ; 10 - Esteng ; A - socle ; B - schistes lustrés ; C - moraines ; D - glacier rocheux.

1 - Lautaret ; 2 - La Clapière ; 3 - Izoard ; 4 - Agnel Sud ; 5 - Vars ; 6 - Camp des Fourches ; 7 - Raspaillon ; 8 - Lac Verdet ; 9 - Cayolle Nord ; 10 - Esteng ; A - granitic basement ; B - chloritic schist ; C - moraines ; D - rock-glacier.

I - LA PROSPECTION ELECTRIQUE

Exposé de la méthode :

La prospection électrique utilise le fait que les milieux naturels sont inégalement conducteurs. L'étude de la répartition des résistivités permet la reconnaissance des structures profondes par le biais des sondages électriques. La lecture sur l'appareil de mesures donne des résistivités cumulées des différents terrains rencontrés lors du sondage. Il s'agit de résistivités apparentes (R_a). L'utilisation d'abaques ou de programme-

ordinateur (méthode utilisée ici) est nécessaire afin d'obtenir les résistivités réelles du terrain et de déterminer l'épaisseur des différentes couches traversées. La profondeur atteinte lors d'un sondage dépend du type de terrains rencontrés. Plus les terrains sont conducteurs, plus profond peut être réalisé le sondage.

Appareil utilisé :

Il s'agit d'un ohm-mètre électronique à affichage numérique ELER 2 V3 du centre d'Études techniques de l'équipement (C.E.C.P.) de Rouen. L'injection du

courant se fait de 2,5 à 250 milliampères (mA) et est alternée manuellement. L'appareil étant monobloc, la tension (V) se lit sur un millivoltmètre électronique à affichage numérique. Cet appareil est relié à un quadripôle de mesure. Deux électrodes d'injection du courant A et B se disposent de part et d'autre de deux électrodes de mesure du potentiel M et N (Dispositif Schlumberger). Sur le terrain, les points AMNB doivent être alignés et symétriques deux à deux par rapport au centre du dispositif (appareil de mesure et d'injection du courant). Dans le dispositif Schlumberger MN est inférieur ou égal à AB (fig. 1).

L'intensité du courant (i) est mesurée entre A et B et la différence de potentiel entre M et N. On appelle résistance apparente (R_a) le rapport de ces deux grandeurs. La résistivité apparente se calcule selon la formule (Antoine et Fabre 1980) :

$$R_a = \frac{\Delta V}{i} = \frac{1}{i} [V(M) - V(N)] = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

De cette expression, on tire la valeur de résistivité :

$$\rho = \frac{2\pi R_a}{\frac{1}{AM} + \frac{1}{BN} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BM}}$$

Le coefficient K ou coefficient de géométrie du système AMNB est donné dans la notice de l'appareil pour différentes valeurs de AB/2 et d'écartement de MN.

Utilisation sur le terrain :

Les formes sondées qui font l'objet de cet article s'étagent entre 2070 m et 2550 m pour les glaciers rocheux et 1950 m et 2280 m pour les moraines. Les sondages ont été effectués 15 à 20 m en arrière du front et les électrodes alignées perpendiculairement à l'axe d'écoulement (fig. 1). Les valeurs obtenues permettent donc d'apprécier la structure frontale d'une moraine ou d'un glacier rocheux.

Le choix des accumulations à sonder a été guidé par la conception de l'appareil qui convient bien au sondage électrique dans des formations assez minces, à matériel fin important, bien compact en apparence et recouvertes d'une couche de sol suffisante (20cm) pour planter solidement les électrodes et assurer un bon contact.

Chaque fois que cela a été possible ; l'accumulation et le substratum sur lequel elle repose ont fait l'objet de mesures afin de disposer d'un ordre de grandeur de la résistivité du lit rocheux.

Les sites :

Il nous a semblé intéressant de comparer des glaciers rocheux avec des moraines Tardiglaciaires.

Les glaciers rocheux :

Il s'agit de formes inactives recouvertes de pelouse alpine. Le glacier rocheux de la Clapière (Galibier Nord) est issu de matériel morainique puisqu'il existe encore à l'amont le petit glacier de la Clapière. Il est possible qu'un glacier ait existé à l'amont du glacier rocheux d'Agnel Sud. Les autres formes sont toutes du type « ice-cemented rock glacier ». (tabl. 1).

Les moraines de l'étude :

Il s'agit de moraines tardiglaciaires. Celle d'Esteng est rapportée au stade de Molières (Schweizer, 1968) par M. Julian (1977), ce qui correspond à un abaissement du niveau des neiges de 900 m environ (Schlem des Alpes orientales). Couverte d'une forêt de mélèzes elle représente le stade terminal du glacier de Sanguinières (Kuyper, 1966) à 1950 m d'altitude.

Les deux autres moraines sont recouvertes de pelouse alpine. (tabl. 2).

II - LES SONDAGES ÉLECTRIQUES

La majorité des diagrammes obtenus apparaît perturbée, soit par des conditions superficielles hétérogènes, soit par des effets latéraux. Leur interprétation en terme de résistivité-épaisseur des formations électriques est de ce fait difficile.

Les diagrammes obtenus à la Cayolle et à Vars ont fait l'objet d'une interprétation quantitative (C.i.) ; les autres sont comparés à ces premiers diagrammes pris comme référence.

Les glaciers rocheux :

Diagrammes interprétés quantitativement :

Les diagrammes ont été interprétés par comparaison et ajustement d'un diagramme calculé pour une coupe électrique donnée avec le diagramme expérimental selon un programme du Département Géophysique du B.R.G.M. (Orléans) sur un ordinateur Hewlett-Packard 41C.

Le diagramme du glacier rocheux de Cayolle Nord (fig. 2, N° A) présente une alternance de formations résistantes et conductrices (300 à 4 000 ohm-m) reposant sur un substratum à 1500-2000 ohm-m N° C fig. 2 : bed-rock en grès d'Annot, courbe légèrement montante avec la profondeur).

Le substratum rocheux semble situé à une assez grande profondeur (15-20m), le front apparent du glacier rocheux étant inférieur à 8 m. L'ensemble supérieur apparaît assez résistant, la base du glacier rocheux à 500-1000 ohm/m est saturée en eau, en tous cas très humide. Il ne reste aucune glace en profondeur, ce qui était prévisible vu l'altitude du glacier rocheux (2150 m).

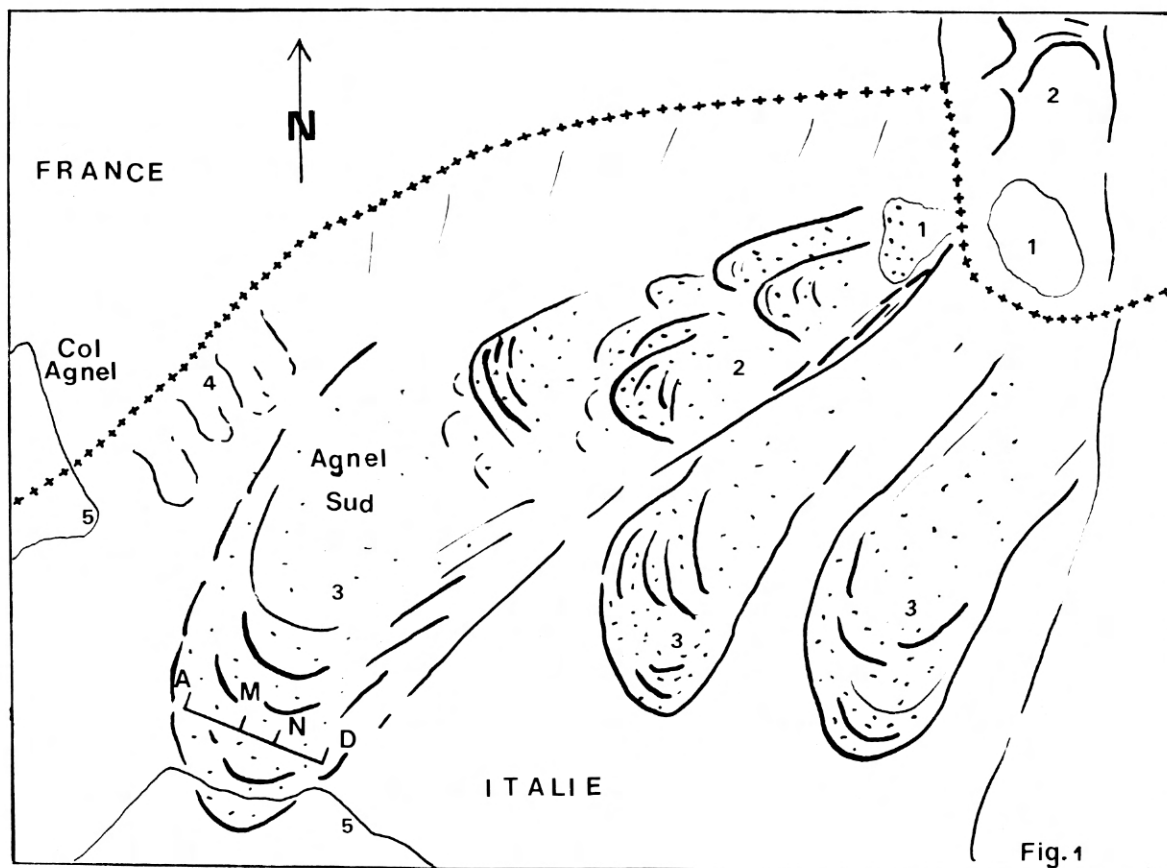


Fig. 1.— Montage du dispositif Schlumberger et localisation du sondage d'Agnel Sud (26.08.1981).

1 - névé pérenne ; 2 - Glacier rocheux actif ; 3 - ancien glacier rocheux ; 4 - coulées de solifluxion ; 5 - route.

Fig. 1.— Schlumberger equipment configuration and location of the Agnel Sud sounding.

1. perennial snowbank ; 2 - active rock-glacier ; 3 - former rock-glacier ; 4 - solifluxion lobes ; 5 - road.

Deux sondages ont été effectués au col de Vars (fig. 3). Le substratum rocheux constitué par du flysch noir présente une résistivité bien inférieure à celle du grès d'Annot de la Cayolle, de l'ordre de 200-300 ohm/m.

Le glacier rocheux (fig. 3) présente à la partie supérieure une couche à 800 ohm/m (gros blocs enrobés de sables et de limons visibles en coupe le long de la route) surmontée de 0,60 m de sol. Sous cette couche à matériel grossier on retrouve des éléments plus fins (fig. 7) et secs, sur 0,70 m d'épaisseur avec une résistivité de 90 ohm/m. Ceci correspond bien à l'abondance du matériel limoneux dans le glacier rocheux de Vars mis en évidence, par ailleurs (Evin, 1983). En dessous, on retrouve à nouveau des séries très grossières peu ou presque pas humides (450 ohm/m). Au toit du socle à 300 ohm/m se situerait une dizaine de mètres à 60 ohm/m qui indique une concentration des limons à la base de l'accumulation.

Série de diagrammes de glaciers rocheux des Alpes du Sud (fig. 4).

Les diagrammes obtenus (Lautaret, Col Izoard, Raspailon, lac Verdet, Agnel Sud) peuvent être comparés aux diagrammes de la Cayolle et de Vars interprétés ci-dessus.

Toutes les accumulations reposent sur un substratum plus conducteur (3000 ohm/m au Lautaret, 1000-1500 ohm/m à Izoard, 300-400 ohm/m à Raspailon et au lac Verdet où l'on retrouve les basses valeurs des schistes). Sur le substratum, l'accumulation apparaît plus ou moins résistante en fonction de sa nature et de sa plus ou moins grande saturation en eau. Des résistivités de plusieurs dizaines de milliers d'ohm/m sont observées au Lautaret, elles ne sont plus que de 10-15.000 ohm/m à l'Izoard et de quelques milliers d'ohm/m à Raspailon ou au lac Verdet. Nulle part la présence de glace dans ces accumulations ne paraît évidente puisque les résistivités ne semblent pas atteindre 100 000 ohm/m.

Nom	Age	Roche	Région	Lieu	Expo.	Courbes
Lautaret 2070 m	Tardigl. (°)	socle	Brian- çonnais	col du Lautaret	N	C. Ra
Vars 2100 m		flysch	Ubaye	col de Vars	N	C.i
Cayolle 2150 m		grès d'Annot	Ubaye	col de la Cayolle	N	C.i
Clapière 2250 m		calcaires	Brian- çonnais	col du Galibier	N	C.i
Izoard 2315 m		calcaires et gypses	Queyras	col d' Izoard	N	C. Ra
Raspailon 2400 m		schistes	Haute Tinée	col de Restefond	N	C. Ra
Lac Verdet 2550 m		flysch	Ubaye	col de Restefond	N	C. Ra
Agnel Sud 2550 m		schistes lustrés	Queyras	col Agnel	S	C.i

(°) Francou (1981).

C.i : courbes interprétées

C.Ra : courbes de résistivité apparentes.

Tableau 1 : Les glaciers rocheux.

Nom	Age	Roche	Région	Lieu	Expo.	Courbes
Esteng 1950 m	Tardigl. (Molières)	grès d'Annot	Haut-Var	col de la Cayolle	S	C.i
Clapière 2250 m		Calcaire dolomitiq.	Brian- çonnais	Col du Galibier	N	C.i
Camp des Fourches 2280 m		grès d'Annot	Haute Tinée	col de Restefond	SE	C.i

Tableau 2 : Les moraines.

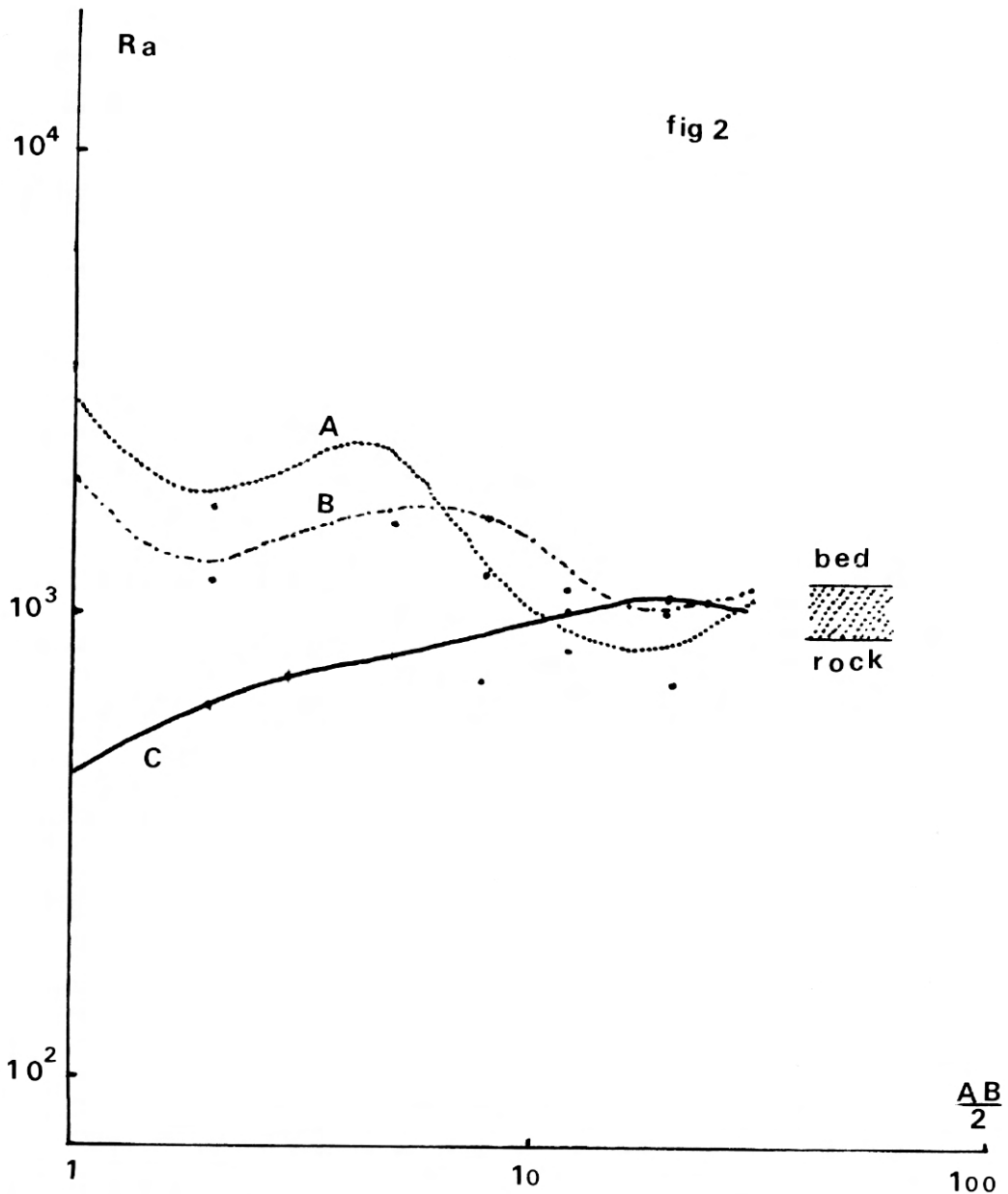


Fig. 2.— Courbes électriques des résistivités mesurées à la surface du glacier rocheux, de la moraine et du substratum à la Cayolle.

A - glacier rocheux ; B - moraine ; C - substratum ; Ra - Résistivité apparente ; AB/2 - écartement des électrodes (Configuration Schlumberger).

Fig. 2.— Resistivity curves measured at the surface of rock-glacier, moraine and bed-rock at the Cayolle.

A - rock glacier ; B - moraine ; C - bed-rock ; Ra - apparent resistivity ; AB/2 - the space between the electrodes (Schlumberger configuration).

La courbe particulièrement aplatie de Raspailon (N° 3) laisse penser que sous un faible recouvrement (0,40m) se trouve une accumulation assez homogène, en matériel fin, tassé, présentant peu de vides, dont la puissance serait de 5 m. Ceci correspondrait bien à l'évolution d'un petit glacier rocheux lobé à matériel essentiellement schisteux, les schistes fournissant d'é-

normes quantités de limon (Legros et al., 1980) et ce limon n'est pas évacué.

Le sondage électrique du col Agnel (N° 5) montre d'abord 1,30 m de terrain à 800 ohm/m, sol et matériel fin de surface (pas d'éluviation des fines en surface) enrobant de gros blocs, surmontant une formation résistante à 8000 ohm/m que l'on peut attribuer

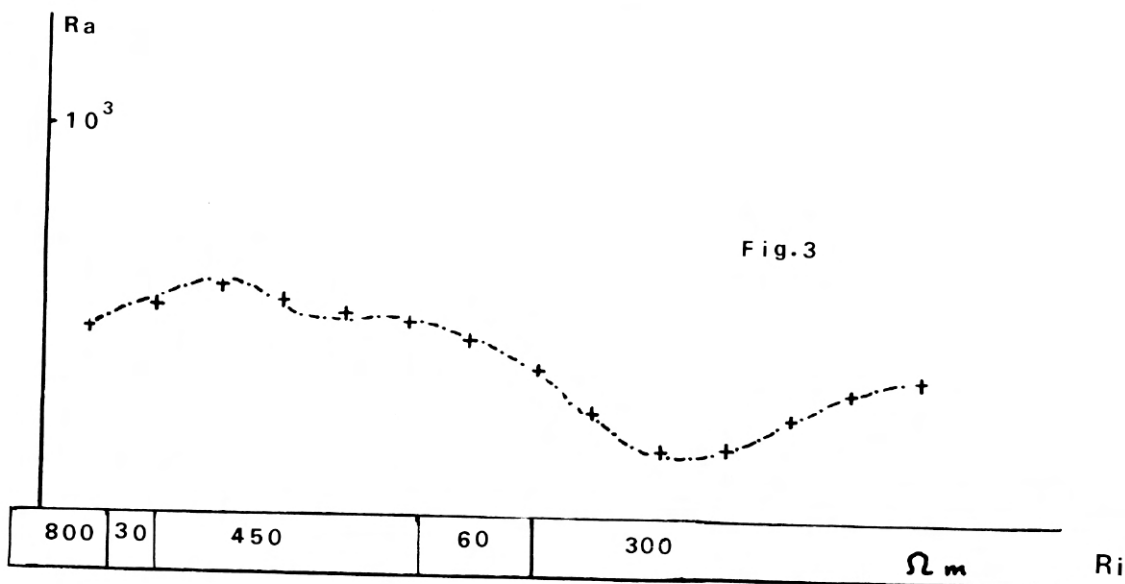


Fig. 3.— Courbe de résistivité interprétée du glacier rocheux de Vars
 Ra - résistivité apparente (apparent resistivity)
 Ri - résistivité interprétée (interpreted resistivity).

Fig. 3.— Interpreted resistivity curve of the Vars rock-glacier.
 Ra - apparent resistivity ;
 Ri - interpreted resistivity.

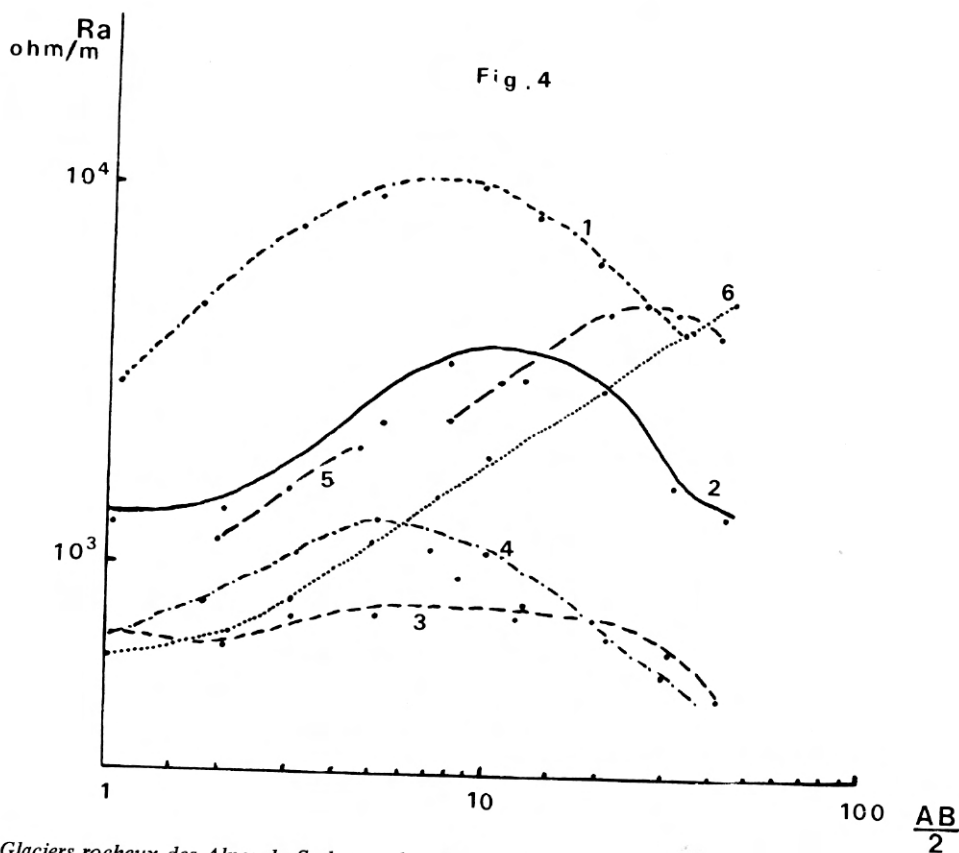


Fig. 4.— Glaciers rocheux des Alpes du Sud : courbes de résistivité
 1 - Lautaret ; 2 - Izoard ; 3 - Raspailon ; 4 - Lac Verdet ;
 5 - Agnel Sud ; 6 - Substratum ; Ra - résistivité apparente en ohm-m ; AB/2 - Distance des électrodes dans le dispositif de Schlumberger.

Fig. 4.— The rock-glaciers of the southern Alps : resistivity curves.
 1 - Lautaret ; 2 - Izoard ; 3 - Raspailon ; 4 - Lac Verdet ;
 5 - Agnel Sud ; 6 - Bed-rock ; Ra - apparent resistivity in ohm-m ; AB/2 - the space between the electrodes in the Schlumberger configuration.

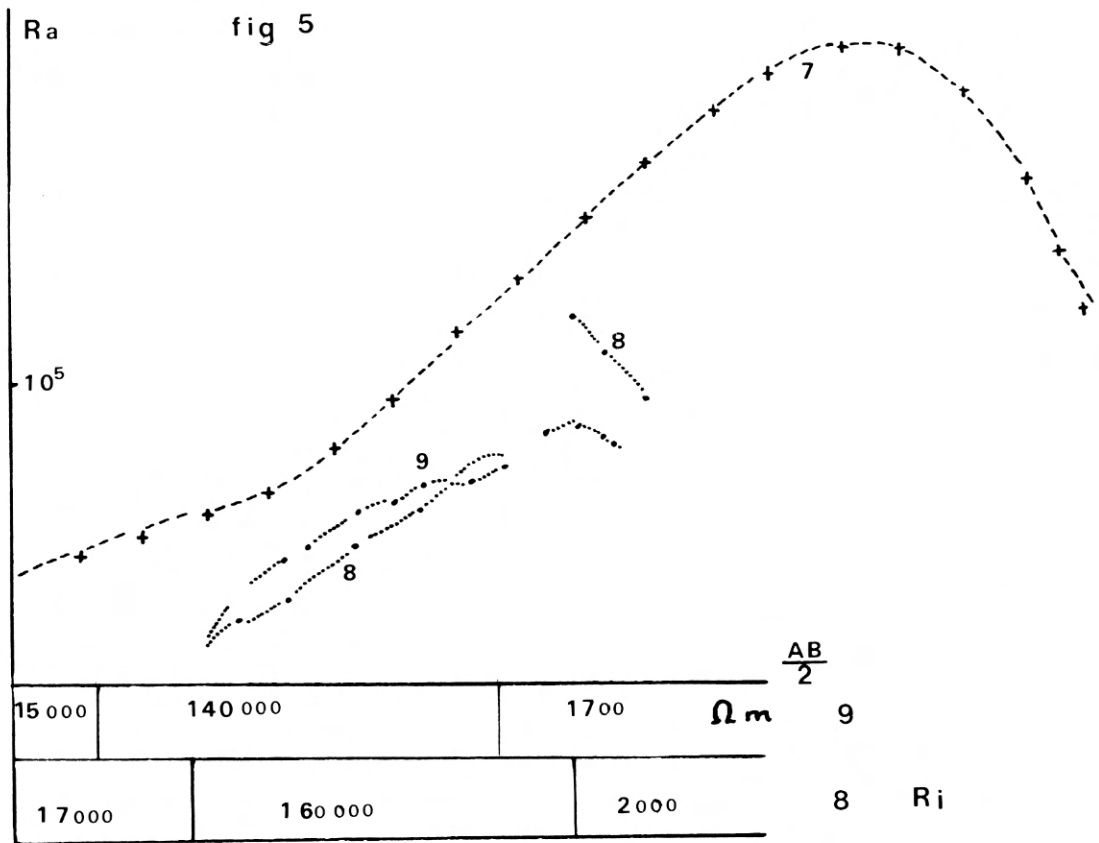


Fig. 5.— Courbes de résistivité avec glace interne

Fig. 5.— Resistivity curves with internal ice.

7 - Vars : courbe théorique ; 8 - Glacier rocheux de la Clapière : glace probable ; 9 - Moraine de la Clapière.

7 - Vars : theoretical curve ; 8 - rock-glacier of the Clapière : probable ice ; 9 - the moraine of Clapière.

à du matériel plus sec et plus tassé auquel succède directement en profondeur soit le substratum, soit une accumulation de même structure plus ou moins saturée.

Glaciers rocheux et glace interne :

Le diagramme obtenu pour le glacier rocheux de la Clapière (fig. 5, N° 8) présente des résistivités particulièrement élevées (plus de 100 000 ohm/m) qui indiquent peut-être la présence de sédiments gelés au cœur du glacier rocheux. La valeur encore faible par rapport à celles obtenues sur les glaciers rocheux helvétiques nous incite à penser qu'il ne reste qu'un très faible pourcentage de glace au sein du matériel de l'accumulation inactive.

Afin d'identifier l'effet du pergélisol à l'intérieur du glacier rocheux sur l'allure des courbes, un diagramme a été calculé pour Vars (fig. 5, N° 7) en conservant la même succession que pour la fig. 3 mais en admettant que la résistivité des sédiments gelés serait de 300 000 ohm/m au lieu de 450 ohm/m sur 5 m d'épaisseur. Ces sédiments gelés (ice-cemen-

ted) seraient donc protégés par une couche active dégelée de 2 m d'épaisseur (résistivité à 250, 800 et 90 ohm/m). Nous pouvons nous rendre compte que la courbe est fort différente de celles des formations à blocs, rochers, graviers, sables et limons telles qu'elles peuvent être rencontrées à des altitudes où la présence de pergélisol, même hérité, ne peut être que rarement envisagée.

Les Moraines :

Moraine d'Esteng (Cayolle Sud). (fig. 6, N° 10). La moraine tardiglaciaire d'Esteng, en grès d'Annot, présente une structure fort voisine de celle du glacier rocheux, en même matériel lithologique de Cayolle Nord (fig. 2, N° A).

La coupe électrique la plus probable serait la suivante : (fig. 7).

- de 0 à 0,40 m : 3600 ohm/m
- de 0,40 à 1,60 m : 900 ohm/m
- de 1,60 à 3,00 m : 4 000 ohm/m
- de 3 m à 11 m : 650 ohm/m
- 11 m : 1500 ohm/m.

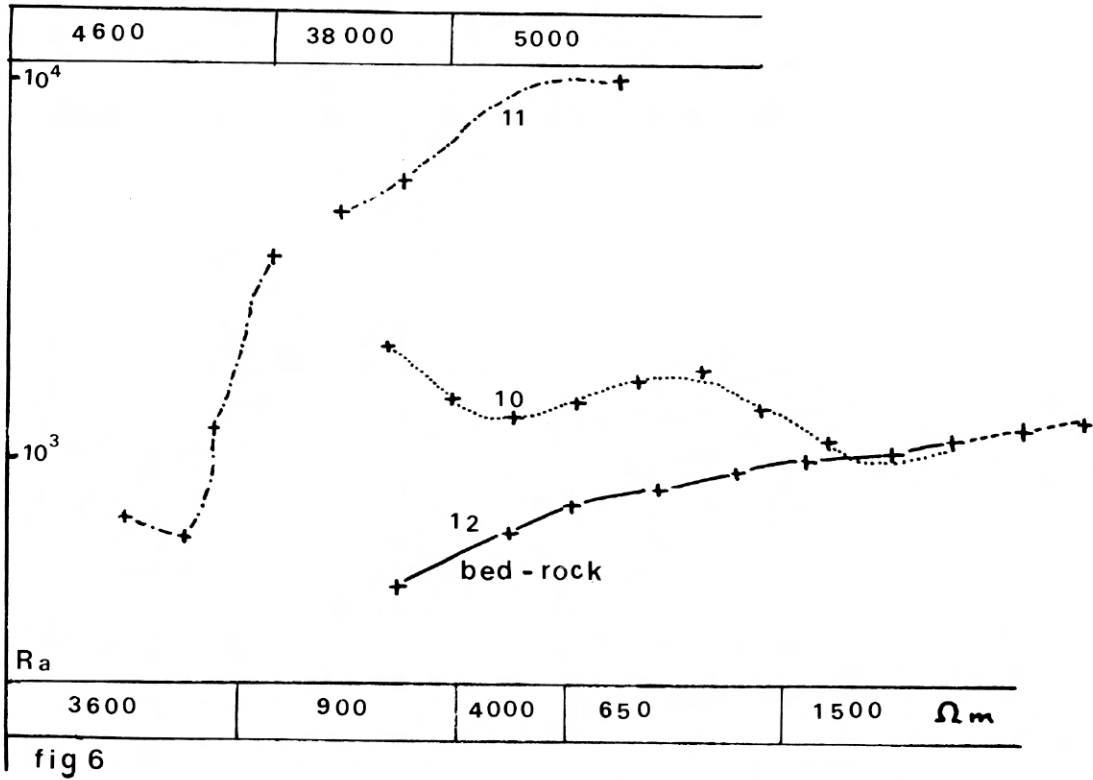


Fig. 6.— Courbes de résistivité des moraines.
10 - Esteng ; 11 - Camp des Fourches ; 12 - bed-rock ;
R_a - résistivité apparente ; *R_i* - résistivité interprétée.

Fig. 6.— Resistivity curves of the moraines.
10 - Esteng ; 11 - Camp des Fourches ; 12 - bed-rock ;
R_a - apparent resistivity ; *R_i* - interpreted resistivity.

Le substratum rocheux à 1500 ohm/m se situerait vers 11 m de profondeur et la moraine comporterait quatre ensembles électriques. Les trois premiers peuvent être interprétés comme des variations de la granulométrie et de l'humidité dans la partie supérieure de la moraine, la base correspondrait à la partie saturée ou presque saturée en eau.

Il est visible sur les diagrammes de la Clapière (N° 9, fig. 5) et du Camp des Fourches (N° 11, fig. 6) que les moraines Tardiglaciaires ont une structure fort voisine de celle des anciens glaciers rocheux.

CONCLUSIONS

En matériel lithologique semblable, moraines tardiglaciaires et anciens glaciers rocheux suivent une évolution parallèle. La structure interne de ces accumulations déduite des sondages électriques montre que l'éluviation des fines est loin d'être systématique,

comme on le pense trop souvent, même dans les parties frontales.

Il existe sous une ou plusieurs couches sèches à gros blocs enrobés de matériel fin une couche humide, voire saturée, véritable nappe, dans toutes les accumulations sondées, en dessous de 10-15 m de profondeur.

Dans les glaciers rocheux, cette couche consiste en matériel fin, sablo-limoneux, ce qui correspond bien aux observations faites dans les « ice-cemented rock-glaciers » d'un béton de glace duquel les gros éléments sont exclus, mais qui consiste en sables et limons gelés. Dans les moraines, il s'agit de matériel plus grossier enrobé de limons tassés qui retiennent l'eau. Du matériel exclusivement grossier se comporterait en passoire. Plus que d'éluviation des fines dans les moraines tardiglaciaires il faut parler de descente des fines dans la masse de débris.

La glace est improbable au sein des glaciers rocheux sondés, sauf peut être à la Clapière (face Nord du Massif du Grand Galibier) à 2250 m d'altitude où un pergélisol résiduel, à faible teneur en glace peut persister dans la masse immobilisée du glacier rocheux.

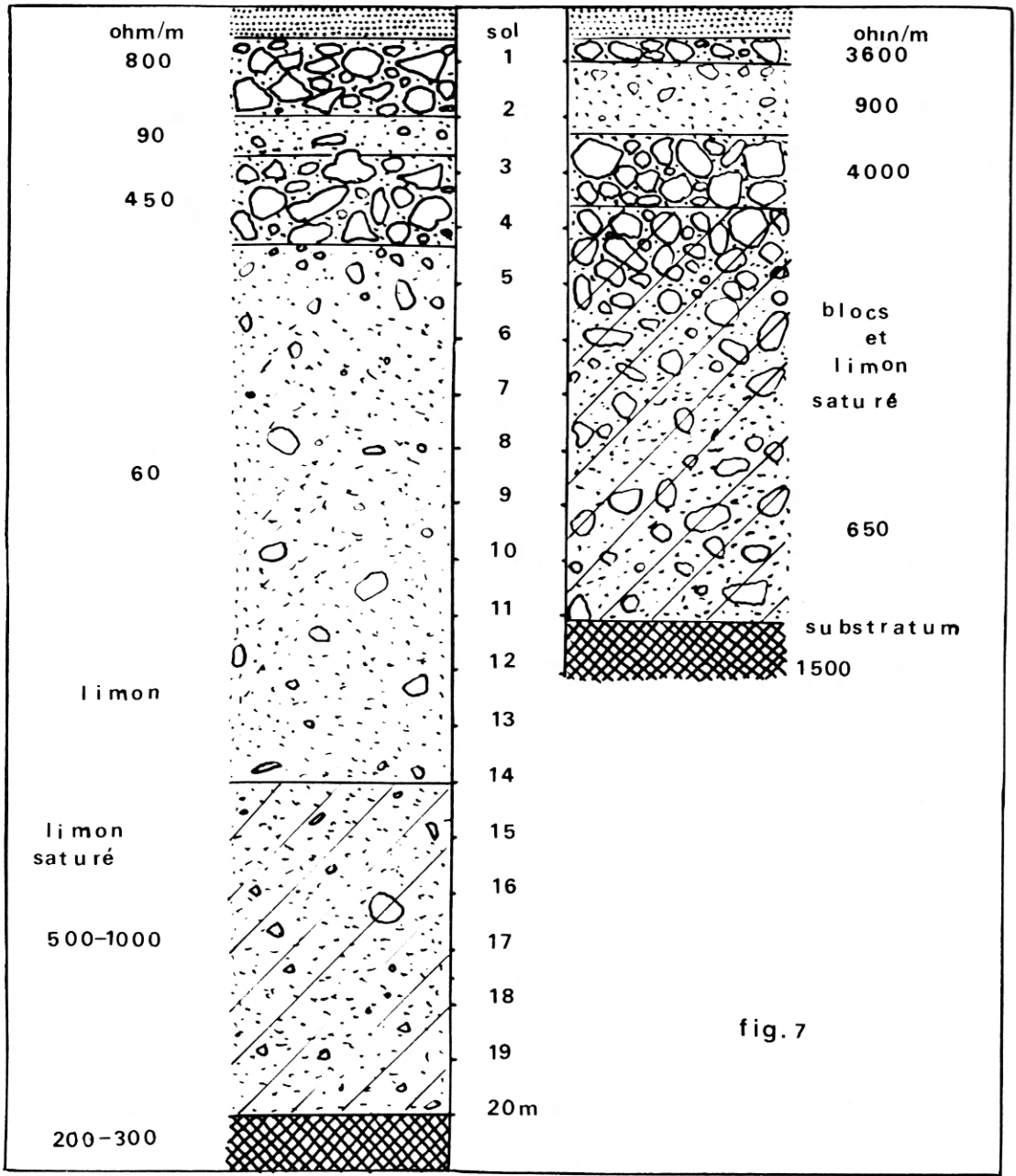


fig. 7

Fig. 7.— Coupe de terrain dans un glacier rocheux et une moraine avec valeurs indicatives de résistivité, d'après les sondages électriques.

Fig. 7.— Sections through a rock-glacier and a moraine with indicative resistivity values, from resistivity soundings.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le B.R.G.M. (1) Orléans pour l'interprétation des courbes de résistivité.

Manuscrit reçu le 2 mai 1984. Accepté après mise au point le 22 mai 1984.

(1) Bureau de recherches géologiques et minières.

BIBLIOGRAPHIE

- Antoine (P.), Fabre (D.), 1980 : Géologie appliquée au génie civil. Masson. 304 pp. 126 fig.
- Andrieux (P.), 1964 : Sondages électriques sur glace (Thèse). Paris, non publiée.
- Barnes (D.F.), 1965 : Geophysical methods for delineating permafrost. in Proceedings of the Permafrost Int. Conf. NAS-NRC Washington p. 349-355.
- Borovinskiy (B.A.), 1958 : Application des méthodes géophysiques aux investigations du glacier et de la moraine Touyukso. Union Géodésique et géog. Internat. Ass.Int. d'Hydrologie scientifique. Symposium de Chamonix. 16-24 Sept. 1958. p. 328-335.
- Cagniard (L.), 1959 : Abaque pour sondages électriques sur glace *Annales de géophysique* vol. 15, N° 4. p. 561-563.
- Chaillou (A.), Vallon (M.), 1964 : Étude de la zone corticale des glaciers tempérés par prospection électrique avec un potentiomètre d'impédance d'entrée infinie. *Annales de Géophysique*. Vol. 20 N° 2. p. 201-205.
- Chapel (P.), 1980 : Géophysique appliquée. Dictionnaire et plan d'étude. Masson. 421 pp.
- Evin (M.), 1983 : Structure et mouvement des glaciers rocheux des Alpes du Sud. Thèse 3e cycle. Institut de Géographie Alpine. Grenoble. 343 pp. 148 fig. non publié.
- Fisch (W.), sen. Fisch (W., Jun), Haerberli (W.), 1978 : Electrical D.C. resistivity soundings with long profiles on rock glaciers and moraines in the Alps of Switzerland. *Zeit. für Gletsch. und Glazialgeol.*, 13. H 1/2. p. 239-260.
- Francou (B.), 1981 : Géodynamique des éboulis et formes associées dans la combe de Laurichard (Hautes-Alpes). Thèse de 3e cycle. Grenoble. 153 p. 1 carte H.T.
- Gletscher, 1983 : Collection Schweiz Grün. *Das Gelbe Heft*. Zürich. 23 p.
- Haerberli (W.), 1978 : Special aspects of high mountain permafrost methodology and zonation in the Alps. Third Int. Conf. on Permafrost. NRC Ottawa Vol 1, p. 378-384.
- Hochstein (M.), 1967 : Electrical resistivity measurements on ice sheets. *Journal of Glaciol.* Vol. 6 N° 47. p. 623-633.
- Hoekstra (P.), Mc. Neill (D.), 1973 : Electromagnetic probing of Permafrost. Permafrost 2th Int. Conf. North American contribution. NAS. Washington. p. 517-526.
- Julian (M.), 1977 : Une carte géomorphologique des Alpes Maritimes franco-italiennes au 1:200 000 e en couleurs. Présentation succincte. *Méditerranée*. 1. p. 45-54.
- Kuyper (M.de), 1966 : Étude morphologique des hauts vallons glaciaires du Var Supérieur en amont du Pont Saint-Roch. D.E.S. Nice.
- Legros (J.P.), Robert (M.), Van Oort (F.), 1980 : Caractères principaux de la pédogénèse sur les calcshistes en montagne. *Bull. Assoc. F. pour l'étude des sols*. N° 4. p. 297-313.
- Meyer (A.U.), Röthlisberger (H.), 1962 : Electrical D.C. resistivity measurements on glacier near Thulé. Greenland. U.S. cold regions research and engineering laboratory. Technical report. 87.
- Malenfant (M.), Couêteaux (M.), Cauvin (J.), 1970 : Le gisement Chasséen de Francin (Savoie). *Gallia préhistoire*. T XIII 1. p. 25-52.
- Østrem (G.), 1967 : Laboratory measurements of the resistivity of ice. *Journal of Glaciol.* Vol. 6. N° 47. p. 643-650.
- Röthlisberger (H.), 1967 : Electrical resistivity measurements and soundings on glaciers : introductory remarks. *Journal of glaciol.* Vol. 6 N° 47, p. 599-605.
- Röthlisberger (H.), Vöggtli (K.), 1967 : Recent D.C. resistivity soundings on Swiss glaciers. *Journal of glaciol.* Vol. 6 N° 47, p. 607-621.
- Schweizer (G.), 1968 : Der Formenschatz des Spät- und postglazials in den hohen Seealpen. Aktual-geomorphologische Studien im Oberen Tinéetal. *Zeit. geomorph. Suppl.* Vol. 6.
- Seguin (M.K.), 1978 : Temperature electrical resistivity relationship in continuous permafrost at Purtunig. Ungava Peninsula. in 3th International Conf. on Permafrost. N.R.C. Ottawa. Vol. 1. p. 137-144.
- Vöggtli (K.), 1967 : D.C. resistivity soundings on Devon Island. NWT. Canada. *Journal of Glaciol.* Vol. 6 N° 47. p. 635-642.