



**HAL**  
open science

# Etude géologique de la stabilité des versants de la rive droite de l'Arc entre Saint-Michel de Maurienne et La Praz (Savoie)

Joël Martin-Cocher

## ► To cite this version:

Joël Martin-Cocher. Etude géologique de la stabilité des versants de la rive droite de l'Arc entre Saint-Michel de Maurienne et La Praz (Savoie). Géomorphologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1984. Français. NNT : . tel-00511863

**HAL Id: tel-00511863**

**<https://theses.hal.science/tel-00511863>**

Submitted on 26 Aug 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

# THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE  
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

**Joël MARTIN-COCHER**

SUJET

**ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE LA STABILITÉ  
DES VERSANTS DE LA RIVE DROITE DE L'ARC  
ENTRE SAINT-MICHEL DE MAURIENNE ET LA PRAZ  
(SAVOIE)**

---

Soutenue le 12 Octobre 1984 devant la Commission d'Examen

M. P. VIALON	Président
M. P. ANTOINE	Rapporteur
M. Y. BOISSET	Invités
M. J. LETOURNEUR	

GRENOBLE

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

# THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE  
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

**Joël MARTIN-COCHER**

S U J E T

**ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE LA STABILITÉ  
DES VERSANTS DE LA RIVE DROITE DE L'ARC  
ENTRE SAINT-MICHEL DE MAURIENNE ET LA PRAZ  
(SAVOIE)**

---

Soutenu le 12 Octobre 1984 devant la Commission d'Examen

M. P. VIALON	Président
M. P. ANTOINE	Rapporteur
M. Y. BOISSET	Invités
M. J. LETOURNEUR	

GRENOBLE

## AVANT PROPOS

Au terme de cette étude, je tiens à remercier tout particulièrement :

- Monsieur VIALON qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury,
- Monsieur ANTOINE qui m'a accueilli dans son équipe et permis de réaliser cette thèse,
- Monsieur BOISSET du service de Restauration des Terrains en Montagne (O.N.F.) de la Savoie qui m'a fait l'honneur d'accepter de participer à mon jury,
- Monsieur LETOURNEUR qui, à force d'abnégation, est venu à bout de la lecture de mon manuscrit,
- au personnel technique du laboratoire et en particulier Messieurs GARNIER et GUIGUET, ainsi qu'à tout le personnel de l'I.R.I.G.M.

Merci enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé à la réalisation de ce travail : Hervé, Jean-Roger, Marc...

INTRODUCTION

PREMIÈRE PARTIE : LE MILIEU NATUREL

- CHAPITRE I : CADRE GÉOLOGIQUE
- CHAPITRE II : CLIMAT
- CHAPITRE III : HYDROLOGIE

DEUXIÈME PARTIE : ETUDE GÉOLOGIQUE

- CHAPITRE I : GÉOLOGIE RÉGIONALE
- CHAPITRE II : GÉOLOGIE DU SECTEUR
- CHAPITRE III : MORPHOLOGIE DES VERSANTS - STRUCTURE DU RECOUVREMENT QUATERNAIRE.
- CHAPITRE IV : LA FRACTURATION
- CHAPITRE V : HYDROGÉOLOGIE

TROISIÈME PARTIE : LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

- CHAPITRE I : RAPPELS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN
- CHAPITRE II : ETUDE PHOTO-INTERPRÉTATIVE ET DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ANCIENS.

QUATRIÈME PARTIE : LES RISQUES NATURELS

- CHAPITRE I : LES CARTES ANALYTIQUES
- CHAPITRE II : SYNTHÈSE DES CONDITIONS DE STABILITÉ VIS-À-VIS DES MOUVEMENTS DE TERRAIN.

CONCLUSION

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

TABLE DES MATIERES

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'équipe de géologie appliquée de l'I.R.I.G.M.\* s'est intéressée d'une part à l'étude des mouvements gravitaires (A-M. MALATRAIT : 1975) ; et d'autre part, à l'étude des formations régionales susceptibles de poser des problèmes d'ordre géotechnique (J.-R. PAOLILLO: 1984).

Aussi, en relation avec le service de Restauration des Terrains en Montagne de la Savoie, préoccupé par les désordres occasionnés par les mouvements gravitaires surtout dans les zones domaniales et sur les berges des cours d'eau, nous avons cherché un territoire sur lequel une telle étude pourrait être réalisée.

Après quelques brèves hésitations, nous avons opté pour les terrains du Houiller briançonnais de moyenne Maurienne, lesquels sont le siège d'instabilités profondes (désordre de la voie ferrée) et superficielles (laves boueuses) reconnues depuis fort longtemps.

Le cadre géographique de la présente étude fut réduit au versant de rive droite de l'Arc entre Saint-Michel-de-Maurienne et la Praz, secteur paraissant, à priori, le plus critique pour des raisons lithologiques et structurales.

Cette étude comprend quatre parties :

- la première est une description rapide du milieu naturel apportant quelques précisions sur le climat et l'hydrologie de la région,

- la seconde est plus principalement axée sur l'aspect géologique. Les documents existants sur la géologie locale sont peu nombreux (carte géologique au 1/50 000 en cours d'élaboration) ormis l'étude très fouillée de J. FABRE (1958).

\* Institut de Recherches Interdisciplinaires de Géologie et de Mécanique.

Il a donc fallu, avant toute chose, réaliser une cartographie détaillée (substratum et terrains de couverture) et une étude de la fracturation qui ont permis, par la suite, d'apporter des précisions sur la structure du Houiller et le mécanisme des déformations les plus récentes.

Enfin, l'aspect hydrogéologique est abordé rapidement.

- dans la troisième partie, nous en venons aux mouvements gravitaires en détaillant les différents mécanismes rencontrés à l'aide de monographies des principaux grands glissements anciens,

- la quatrième partie consiste en un essai de synthèse des conditions de stabilité vis-à-vis des mouvements de terrain aboutissant à un document synthétique.

En annexe, enfin, figurent les résultats des analyses effectuées au laboratoire (granulométrie, limites d'Atterberg, cisaillements) ainsi que les différentes cartes élaborées (cartes géologiques...).

PREMIÈRE PARTIE

---

LE MILIEU NATUREL

---

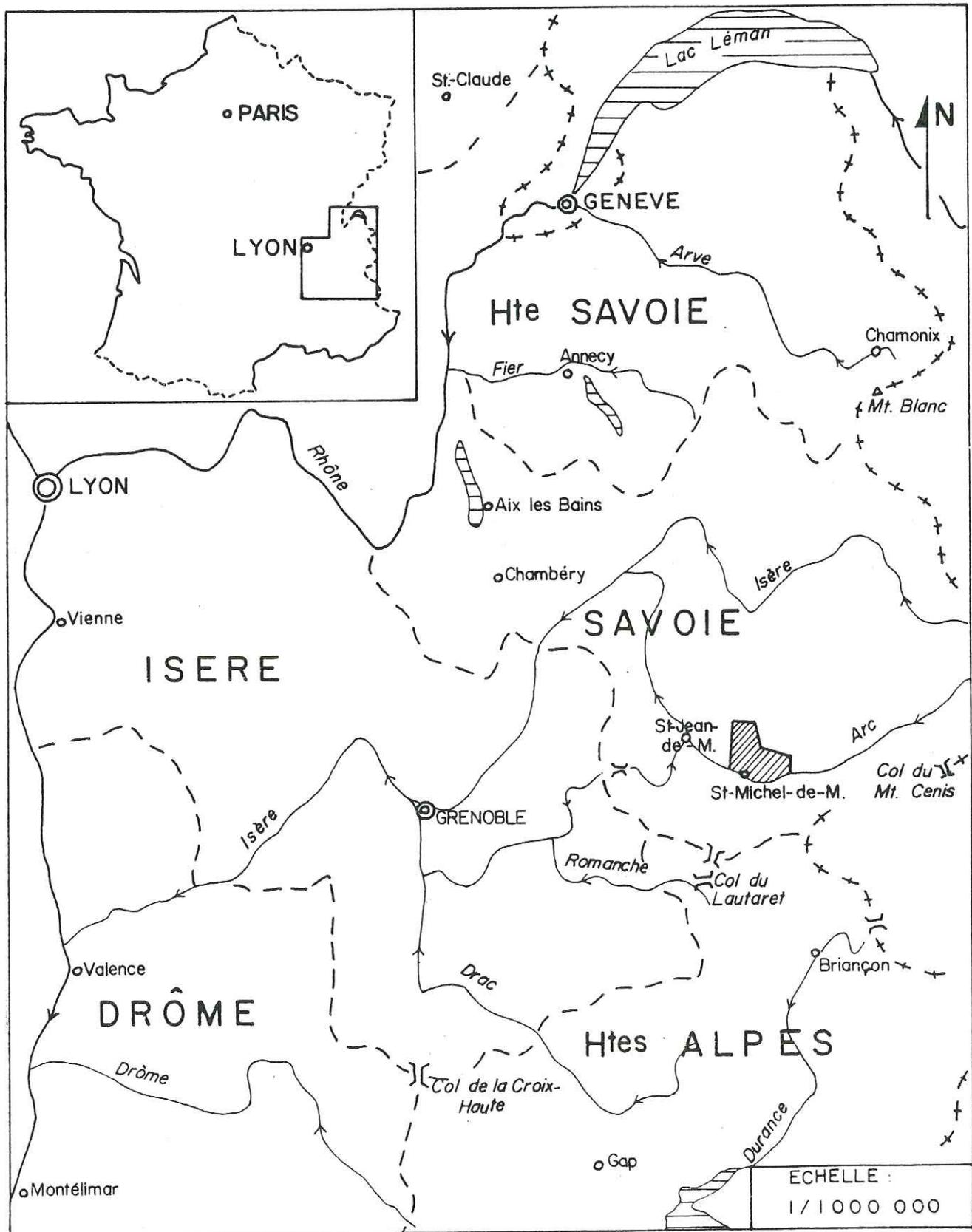
CHAPITRE I : CADRE GÉOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : CLIMAT

CHAPITRE III : HYDROLOGIE

---

Fig. 1.1 : Situation géographique de la zone étudiée



## CHAPITRE I

CADRE GEOGRAPHIQUE

Le secteur étudié, situé au coeur des Alpes françaises (département de la Savoie), appartient à la moyenne Maurienne (fig. 1.1 et cartes I.G.N. au 1/50 000 - Modane et St-Jean-de-Maurienne).

Plus précisément, il s'étend sur le versant de rive droite de l'Arc, entre ce torrent qui le limite au Sud et la ligne de crête jalonnée par le Perron des Encombres, le Mont Brequin, Grosse Tête et le Rocher Rénod au Nord. Sa limite amont est matérialisée par la ligne de pente joignant le Rocher Rénod au village de la Praz et sa limite aval par le cours du torrent Saint-Bernard issu du Petit col des Encombres et s'écoulant vers St-Martin-de-la-Porte.

A - OROHYDROGRAPHIE (fig. 1.2)1°) Les vallées

Celle de l'Arc est l'une des vallées maitresse des Alpes, qui permet leur pénétration jusqu'à la frontière italienne. Profondément encaissée dans le massif, l'Arc se fraie un chemin à travers une alternance d'ombilics et de verrous, tels le bassin de St-Michel-de-Maurienne et l'échine du Pas-du-Roc.

Les vallées affluentes, orientées Nord-Sud, sont en gros perpendiculaires au cours de l'Arc. La plus importante est celle des Encombres, issue du col du même nom (2 325 m). A l'amont de celle-ci, on note encore les vallées du Poucet et du Bonrieu, dont le bassin est moins vaste.



## 2°) Le relief

Nous nous trouvons ici dans la bordure occidentale du massif de la Vanoise. A une certaine distance de celui-ci (versant Est du torrent des Encombres) on rencontre surtout des formes assez molles, le haut des pentes étant seulement couronné de rochers ruiniformes. Au contraire, en se rapprochant du haut massif, on voit surgir des reliefs plus escarpés et plus élevés (Mont-Brequin - 3 130 m, Rocher Rénod - 2 872 à 3 100 m) dominant des versants relativement raides.

## B - ACTIVITES ECONOMIQUES ET PEUPEMENT

Quoique région de montagne, la Maurienne est restée relativement peuplée à la faveur d'une implantation industrielle assez dense. A sa fonction naturelle de voie de passage vers l'Italie (col routier du Mont-Cenis, puis tunnel ferroviaire et enfin tunnel routier du Fréjus) est venue se joindre dès la fin du siècle passé une fonction usinière, égrenée le long du cours de l'Arc et entraînée par l'essor des aménagements hydroélectriques. Il en est résulté le développement de plusieurs petites agglomérations (dont St-Michel-de-Maurienne), qui ont d'ailleurs, pour l'essentiel, accru leur population aux dépens des communes rurales du voisinage.

Le vallon des Encombres, affecté au surplus par la fermeture d'une modeste mine de charbon, témoigne de cette désertion. Pourtant, les vieux villages, implantés sur des replats bien exposés (Beaune, La Traversaz, Le Thyl, La Buffaz), y sont assez nombreux. Mais ils n'abritent plus qu'une population en lent déclin, adonnée seulement à l'agriculture et à l'élevage. Il en est de même pour les autres bassins, à Orelette ou Bonvillard. Pis encore, les hameaux des Bois (Dessus et Dessous) ont été abandonnés depuis la dernière guerre.

Au-dessus de 1 600 m subsistent des chalets d'alpage, dont quelques-uns seulement sont encore occupés au cours de l'été.

Il faut dire qu'aucun coup de fouet n'a été donné à l'activité de ces montagnes par la pratique des sports de neige - bien qu'un projet d'aménagement entre Beaune et le Mt-Brequin soit à l'étude - et que le tourisme d'été y est fort réduit, contrairement à ce qui s'est passé dans certains secteurs du versant opposé de la vallée, qui compte d'importants centres de séjour tels que Valloire et Valmeinier.



## C - LA VEGETATION

Sa nature, son développement et sa densité doivent être examinés en raison de l'influence qu'ils peuvent avoir sur la stabilité des terrains. La végétation joue en effet, en ce domaine, des rôles divers et parfois opposés : un rôle positif, par la protection qu'elle assure au sol contre le gel par son couvert, et contre l'érosion, par le lacin des racines, et un rôle négatif, quand des arbres trop grands et surchargés de neige basculent en laissant nue la terre qui les portait.

La végétation naturelle est étagée selon l'altitude : la vallée de l'Arc est occupée par le chêne pubescent et par des phréatophytes tels que le saule, le frêne et l'aulne blanc ; jusqu'à 800 m environ, on trouve des chênes pubescents et sessiles ; plus haut, on rencontre des feuillus (hêtres) et des résineux (épicéas, sapins, pins) alternant avec des prairies jusqu'à 1 800 m ; au-dessus, c'est le domaine des pâturages avec des landes de genévriers nains et rhododendrons, enfin, au-delà de 2 300 m, on trouve des "pelouses".

## D - CONCLUSIONS

Le fait essentiel à retenir dans le cadre d'une étude sur la stabilité du versant est le dépeuplement, voire l'abandon des villages de montagne et la raréfaction des activités agricoles. Ceci entraîne, aux alentours des villages (Beaune, Le Thyl, hameaux des Bois...) un abandon de l'entretien des versants (murets de pierres, défrichage, canalisation des eaux) et une reprise de la végétation sauvage constituée la plupart du temps de broussailles et d'arbustes ce qui modifie localement les conditions hydrologiques (ruissellement ou rétention de l'eau). Cette évolution est bien visible sur les photographies aériennes où l'on peut distinguer de très importantes modifications du couvert végétal entre 1953 (date de la première mission Modane-Lanslebourg) et 1980 (la plus récente).

## C H A P I T R E    I I

### C L I M A T

Il est de type continental humide.

L'essentiel des informations présentées ci-dessous provient de la Thèse de J.-P. VACHER (1971) : "Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant de l'Isère". Les tableaux de mesures de précipitation et de température proviennent des publications de la Météorologie Nationale et de bulletins de commissions météorologiques départementales.

#### A - LES VENTS

Ce sont plutôt des vents locaux canalisés par les vallées. En général, les vents du Sud sont plus chauds que ceux du Nord (bise) et les vents du Sud-Ouest apportent les précipitations. Il faut faire une place particulière au foehn, vent chaud et sec du Sud-Est qui souffle pendant la saison froide et peut provoquer la fonte accélérée du manteau neigeux.

Enfin, il faut signaler les vents diurnes produits par les différences de températures avec l'altitude pendant la journée, qui soufflent de l'aval vers l'amont (brise) ou de l'amont vers l'aval lorsqu'on se trouve à proximité des glaciers (brise de montagne).

#### B - LES PRECIPITATIONS

Comme nous venons de le voir, ce sont les vents du Sud-Ouest qui apportent les précipitations, mais la plus grande partie de celles-ci est arrêtée par les reliefs précédemment rencontrés (Belledonne) ce qui fait que la pluviosité diminue vers l'Est et ne dépasse guère 700 mm par an au fond de la vallée de l'Arc, pour n'atteindre 1 000 mm par an qu'à partir de 1 400 m d'altitude dans la région étudiée (fig. 1.3)

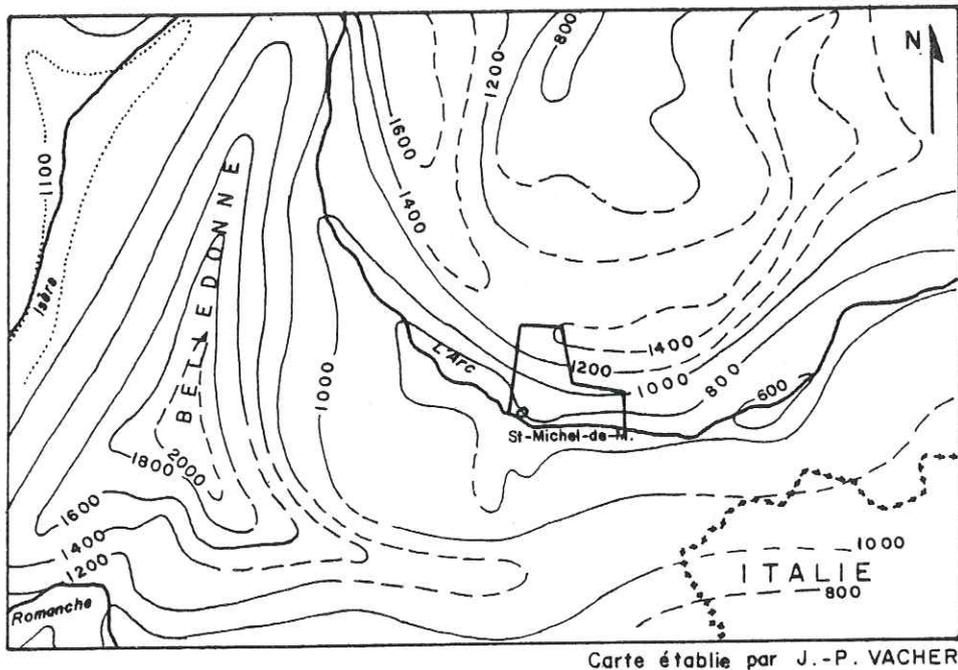


Fig. 1.3 : Carte des isohyètes moyennes (1963-1967)

Sur le terrain étudié, nous disposons de trois stations pluviométriques situées à St-Martin-de-la-Porte (altitude 820 m), au Thyl (1 380 m) et à Orelle-Prémont (830 m).

Très proche du terrain étudié, nous disposons de deux autres stations à St-Julien-de-Maurienne (620 m) et Valmeinier (1 470 m).

Pour ces cinq stations, nous possédons des chiffres de précipitations moyennes annuelles entre 1936 et 1967 (Tableau 1.1), les cinq dernières années (1963-1967) sont détaillées dans le Tableau 1.2.

	ALTITUDE (m)	1936-65	1956-65	1963-67	T° moy. 63-67 (°C)
Orelle-Prémont	830	-	741	727	-
St-Martin-de- la-Porte	820	752	723	686	-
Le Thyl	1380	943	899	863	6,89
Valmeinier	1470	850	849	781	6,12
St-Julien- de-Maurienne	620	-	-	715	-

Tableau 1.1. - Précipitations moyennes annuelles (mm)

	1963	1964	1965	1966	1967
Orelle-Prémont	778	561	941	761	593
St-Julien-de- Maurienne	746	540	993	746	551
St-Martin-de- la-Porte	721	497	939	742	529
Le Thyl	863	651	1143	940	714
Valmeinier	835	583	1033	852	599

Tableau 1.2. - Hauteur de précipitation (mm)

Si l'on s'intéresse aux moyennes mensuelles de précipitations entre 1936 et 1965 (Tableau 1.3), on remarque un maximum en hiver (novembre à février) et deux minimums, au printemps (mars-avril) et en été (juillet).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
St-Martin-de-la-Porte	75	68	44	44	51	68	55	65	68	61	74	75	752
Le Thyl	97	93	60	63	68	75	59	72	77	81	93	99	943

Tableau 1.3. - Précipitations moyennes mensuelles entre 1936 et 1965 (mm)

Mais une moyenne sur dix années récentes (1963-1972) (Tableau 1.4. et fig. 1.4) montre des maximums de début d'hiver (novembre-décembre) et de printemps (mars-avril) alors que l'on trouve des minimums (par ordre décroissant d'importance) en début d'été (mai à juillet) et en fin d'hiver (janvier-février).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
Le Thyl	74	75	88	77	62	58	53	76	55	44	97	102	868

Tableau 1.4. - Précipitations moyennes mensuelles entre 1963 et 1972 (mm)

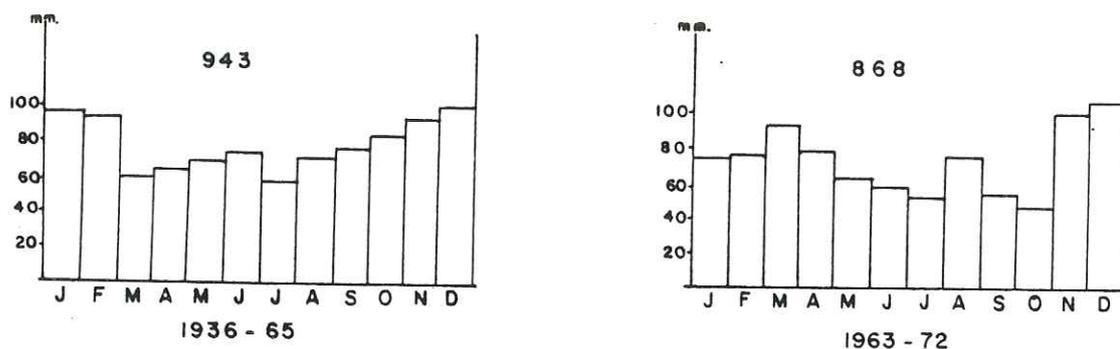


Fig. 1.4 : Histogramme de répartition des précipitations moyennes mensuelles (station du Thyl)

Dans ce secteur montagneux, la plupart des précipitations hivernales (novembre-avril) se fait sous forme de neige. Pour étudier ce phénomène, nous disposons de différents paramètres dont le plus important, pour les problèmes qui nous intéressent, est la durée du manteau neigeux et son épaisseur qui conditionne la protection des terrains contre le gel. Elle est fonction de l'altitude selon une formule empirique :

$$N(\text{jour/an}) = 0.088 h (\text{altitude}) + 3 \text{ (établi par J.-P. VACHER)}$$

qui nous donne, entre 1 500 et 3 000 m d'altitude, une valeur variant entre 135 et 165 jours par an ; mais il existe des variations sensibles selon l'exposition, l'adret étant beaucoup moins enneigé que l'ubac.

De ces observations, on peut tirer plusieurs enseignements. Durant les dix années récentes (1963-1972), le manteau neigeux a pris un départ identique à celui de la période de référence (1936-1967) (novembre : 97 mm contre 93 mm, décembre : 102 mm contre 99 mm), mais n'a pas été renforcé comme à l'accoutumé (janvier : 74 mm contre 97 mm, février : 74 mm contre 93 mm). Donc la couverture nivale fut en moyenne moins épaisse entre 1963 et 1972 en fin d'hivers. De plus, durant cette même période, on observe un maximum de printemps (mars-avril) qui fait que le surplus d'eau dû à ces fortes précipitations intervient en même temps que celui dû à la fonte du manteau neigeux.

### C - LES TEMPERATURES

Elles varient également avec l'altitude et l'exposition, et influent beaucoup sur la durée de la couverture nivale, sur l'évapotranspiration, la présence ou non d'une couverture végétale, le gel et le développement de glaciers.

En général, la moyenne annuelle se situe aux alentours de 9 °C au fond de la vallée de l'Arc. Elle est encore supérieure à 6 °C à 1 400 m d'altitude (Tableau 1.5 et 1.6).

	1963	1964	1965	1966	1967	Moyenne
Valmeinier	4,7	6,3	5,4	6,7	7,5	6,1
Le Thyl	5,8	7,7	6,3	7,1	7,6	6,9

Tableau 1.5 - Températures moyennes annuelles (°C)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy.	Ampli. annuel
Le Thyl	-1,4	-0,9	3,0	6,0	10,2	13,0	15,6	14,8	12,3	7,5	3,1	0,1	6,0	17,0

Tableau 1.6 - Températures moyennes mensuelles et annuelles de 1936 à 1972 (mm)

On peut remarquer que le mois de janvier est le plus froid et le mois de juillet le plus chaud.

Mais il ne faut pas perdre de vue que l'un des facteurs les plus importants à considérer pour ce qui concerne la dégradation mécanique des terrains est le gel et les alternances gel/dégel.

Le nombre des cycles gel/dégel est en moyenne supérieur à cent par an au-dessus de 1 200 m mais il faut tout de même tenir compte du fait qu'ils n'agissent pas tous sur le terrain de par la présence, pendant la saison hivernale, d'une couverture nivale suffisante qui joue le rôle d'isolant thermique. C'est donc surtout à l'automne et au printemps que ces cycles auront une action destructive sur les terrains.

#### D - CONCLUSION

Quatre points essentiels sont à retenir :

- Les précipitations sont relativement faibles dans le secteur ce qui est dû au fait qu'amenés par les vents du Sud-Ouest, les nuages conduisent d'abord sur les reliefs de Belledonne,

- Dans les dix années récentes (1963-1972), la moindre épaisseur de la couverture nivale en altitude se traduit par une protection moins efficace du terrain contre le gel. Puis au printemps, ces terrains ayant subi une gélifraction importante sont saturés d'eau par l'abondance des précipitations à laquelle vient s'ajouter l'eau de fonte des neiges. La conjugaison de ces deux phénomènes est plutôt défavorable à la stabilité des versants en facilitant le ravinement de surface et la mise en mouvement de coulées boueuses (c'est le cas du Poucet) ou de glissements superficiels,

- La différence que l'on peut observer suivant l'exposition des versants. En effet, les adrets sont moins enneigés (fonte du manteau neigeux durant les journées ensoleillées) et beaucoup plus vite "assainis" au printemps que les ubacs où l'humidité persiste pendant six mois. Il résulte que, sur les adrets, le terrain est soumis plus fréquemment aux cycles journaliers gel/dégel que les versants exposés au Nord où le manteau neigeux joue parfaitement son rôle de régulateur thermique.

D'autre part, la profondeur atteinte par le gel d'hiver est plus faible sur les versants Sud (quelques dm), alors que sur les ubacs, elle dépasse un mètre. La déstabilisation des terrains engendrée par ces phénomènes thermiques sera donc plus forte mais n'intéressera qu'une épaisseur moindre de matériaux sur les adrets par rapport aux ubacs. Par contre, c'est

sur les versants exposés au Nord-Ouest et au Nord-Est que l'on pourra trouver un gélisol.

- Le foehn, vent chaud du Sud-Est, soufflant pendant la saison froide peut provoquer, en plein hiver, une forte diminution voire la disparition totale du manteau neigeux (sur les adrets surtout) qui aura ensuite bien du mal à se rétablir normalement. Cette altération du manteau neigeux diminue voire supprime la protection du terrain contre les effets du gel.

## C H A P I T R E    I I I

H Y D R O L O G I E

Le réseau hydrographique est simple avec une exutoire unique l'Arc orienté Est-Ouest puis tournant à la Saussaz jusqu'à devenir SE-NW, et des affluents coulant en gros vers le Sud.

A - L'ARC

Il entre dans le secteur à la Praz (cote 930 m) en sort à St-Martin-de-la-Porte (cote 680 m). La pente de son lit varie de 10 à 15 %.

Nous n'avons pas d'indications locales sur son débit mais à 20 km à l'aval, après avoir reçu la Valloirette, le torrent de St-Julien, l'Arvan, le torrent de la Ravoire, il a été jaugé au pont de la Madeleine (cote 476 m) ce qui donne au moins une idée assez satisfaisante de son régime, typiquement nival (la pointe de fonte n'est guère prolongée sur le plein été faute de réservoirs glaciaires suffisamment étudiés (fig. 1.5.)).

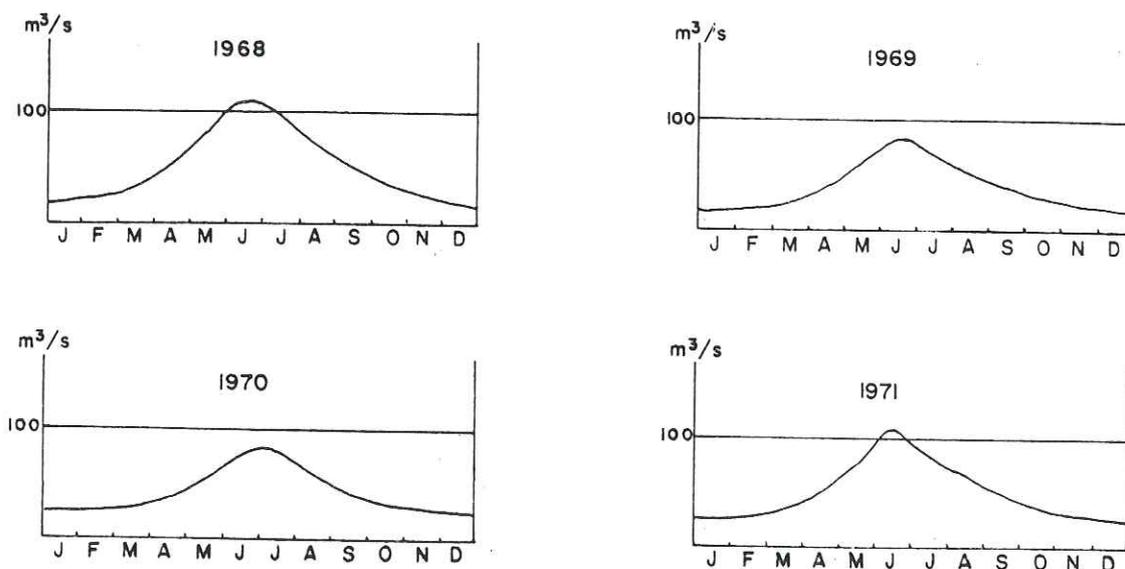


Fig. 1.5 : Débits moyens mensuels en  $m^3/s$  de l'Arc au Pont-de-la-Madeleine (476 m)

B - LES AFFLUENTS

Dans le secteur étudié, l'Arc reçoit successivement, en rive droite, cinq affluents principaux. Les principales caractéristiques de ceux-ci sont résumées dans le Tableau 1.7 ci-dessous.

NOM	AFFLUENTS	PROVENANCE	DEBOUCHE dans VALLEE L'ARC	LONG. (km)	SURF. B.V. (km <sup>2</sup> )	PENTES %		DEBITS (m <sup>3</sup> /s)		
						Moy.	Max.	Etiage	eaux norm.	crues
Torrent du Bonrieu	Ruisseau du Bouchet	col de Chateau Bourreau 2400m glacier du Bouchet 2750m	Francoz	8	16	24	60	-	-	-
Torrent du Poucet	Ruisseau de l'Arpont	Genevret 2100m	Le Poucet	3	8	42	60	plus de 0.5	-	plusieurs dizaines
Torrent de Vigny	Ruisseau de La Grole	Mt Brequin 2200m	St-Michel-de Maurienne	5,5	6,5	30	60	-	0,250	-
Ruisseau de La Grollaz	-Torrent de Bellecombe -Torrent de Péclet -Ruisseau de La Pérousaz	Plateau de Bellecombe 2400m	St-Michel-de-Maurienne	7,5	6,5	23	60	0,135	0,500	10,25
Ruisseau de St-Bernard	-Ruisseau de La Bachel- lerie -Ruisseau de Champieu	Les Encombres 2250m	St-Martin-de-la-Porte	7,5	21	22	50	-	0,550	-

Tableau 1.7 - Caractéristiques des torrents affluents de l'Arc

Voir également Tableau 1.8 de prélèvement en ruisseau sur les bassins versants de St-Martin-de-la-Porte, de la Grollaz et du Vigny.

Tab

Rui

Rui

Rui

Rui

Rui

Rui

Torr

Tore

Ruis

Ruis

\* : l

Tableau 1.8 : Prélèvements en ruisseaux sur les bassins versants de Saint-Martin-de-la-Porte, de la Grollaz et du Vigny

LOCALISATION	N°	COORDONNEES			DEBIT l/s	RESISTIVITE $\Omega \text{ cm}^{-1}$
		X	Y	Z		
Ruisseaux de la Bachellerie et de Bonrieu	1	924,18	3339,84	1990	5	-
	* 2	924,26	3339,85	1990	15	-
	3	924,15	3338,64	1770	8	-
	4	924,10	3338,15	1670	100	-
	5	924,20	3338,50	1750	15	-
	6	924,28	3338,55	1760	30	-
	7	924,32	3338,54	1760	50	-
Ruisseau Saint-Bernard	8	923,50	3338,08	1700	30	-
	9	923,58	3338,02	1690	6	-
Ruisseau de Champieu	10	925,18	3339,00	2000	6	10900
	* 11	925,00	3338,83	1970	8	11500
	12	924,62	3337,85	1690	14	-
	13	924,50	3337,52	1620	40	-
Ruisseau de la Pérousaz	14	924,98	3337,53	1750	60	-
	15	926,00	3335,85	1820	15	-
Ruisseau de la Pérousaz	16	926,24	3335,70	1870	30	-
	* 17	925,45	3336,80	1750	100	-
	18	925,50	3336,65	1700	80	-
	19	925,48	3336,40	1669	10	-
Ruisseau des Chalets de Beaune	20	925,08	3335,45	1431	20	-
	21	925,05	3335,15	1420	40	-
Torrent du Vigny	22	925,35	3336,70	1700	50	-
	23	925,30	3336,60	1650	30	-
	* 24	925,20	3336,40	1600	15	-
	25	925,20	3336,30	1560	10	-
	26	926,10	3335,40	1790	2	-
	27	926,12	3335,37	1790	60	-
Torrent du Vigny	28	926,05	3335,30	1750	80	-
	* 29	925,95	3335,25	1710	50	-
	30	925,90	3335,20	1670	100	-
Torrent du Vigny	31	925,10	3334,60	1338	250	-
Ruisseau de Pré Bérard	32	926,50	3334,10	1800	4	-
	* 33	926,50	3334,05	1780	4	-
Ruisseau de Pré Bérard	34	926,20	3333,20	1400	15	-

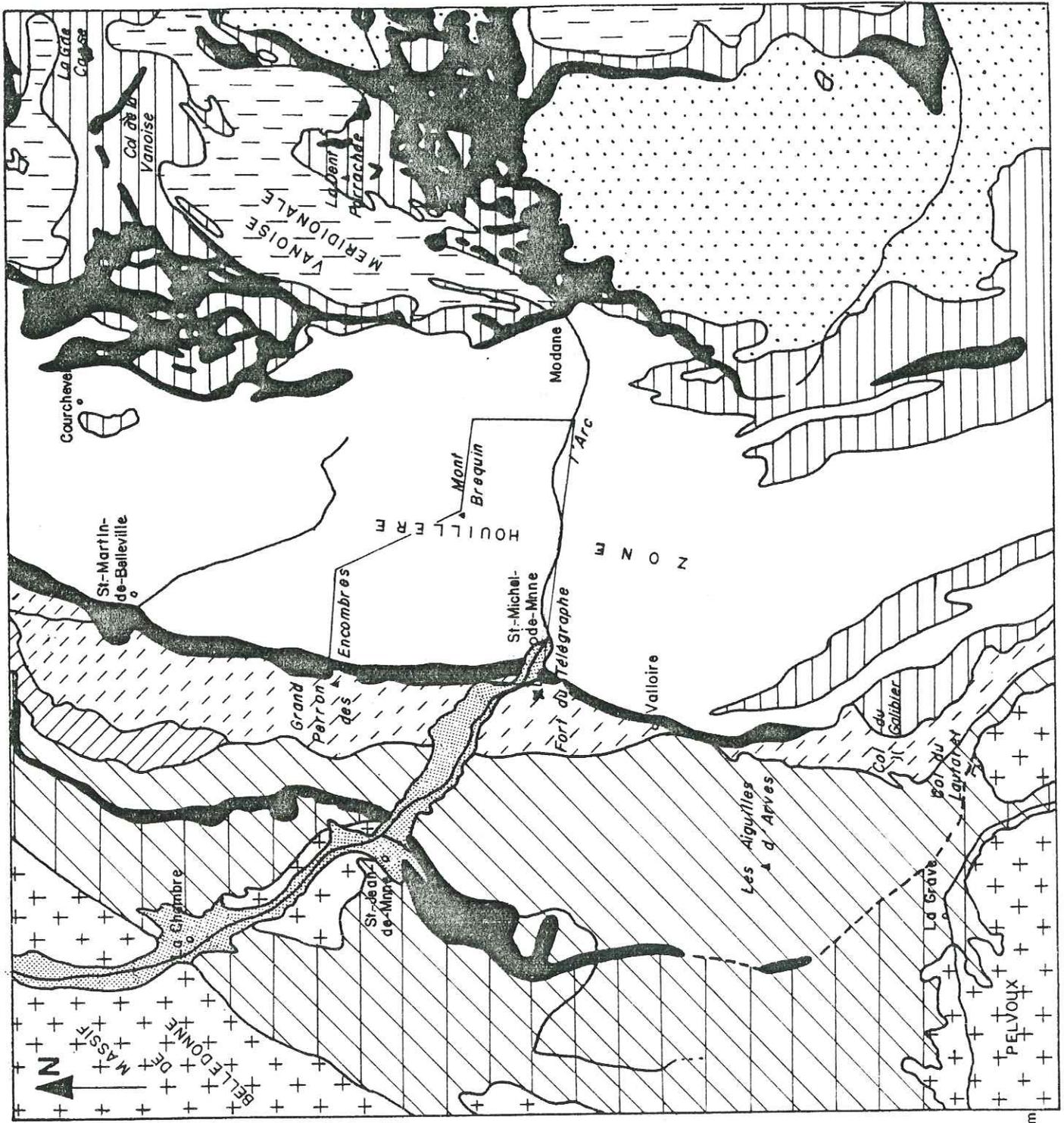
\* : Petits ruisseaux annexes. Se reporter à la carte du réseau hydrographique et des sources.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE GÉOLOGIQUE

- CHAPITRE I : GÉOLOGIE RÉGIONALE
- CHAPITRE II : GÉOLOGIE DU SECTEUR
- CHAPITRE III : MORPHOLOGIE DES VERSANTS -  
STRUCTURE DU RECOUVERMENT QUATERNAIRE
- CHAPITRE IV : LA FRACTURATION
- CHAPITRE V : HYDROGÉOLOGIE
-

2.1 : Schéma structural régional



**Légende**

- ZONE DAUPHINOISE**

Massifs cristallins externes
- ZONE ULTRADAUPHINOISE**

Autochtone  
Parautochtone
- ZONE SUBBRIANÇONNAISE**

Unité des brèches de Tarentaise  
Nappe du Pas du Roc
- ZONE BRIANÇONNAISE**

Couverture mésozoïque-éocène  
1- Briançonnais externe  
Socle permio-houillier  
2- Briançonnais interne  
Socle métamorphique
- ZONE PIEMONTAISE**

Nappe des schistes lustrés

Gypses



ECHELLE

## CHAPITRE I

GEOLOGIE REGIONALE

Le secteur étudié fait partie des zones alpines internes et plus particulièrement de la zone briançonnaise. Celle-ci est formée de deux unités qui diffèrent essentiellement par la stratigraphie de leur série anté-triasique (fig. 2.1 et 2.2).

La zone briançonnaise externe, ou zone houillère, qui comprend une énorme masse de Permo-Carbonifère limnique productif. Vers le Nord, l'axe de cette unité se relève, si bien que son socle finit par apparaître (massif du Rutor), tandis que vers le Sud, la couverture secondaire et tertiaire est bien conservée. On décrit habituellement cette zone comme un anticlinal à double déversement vers l'Ouest et vers l'Est ("éventail briançonnais"). Cet éventail, considéré autrefois comme la zone axiale des Alpes, est aujourd'hui expliqué par un rétrocharriage tardif vers l'Est d'une unité déversée d'abord vers l'Ouest.

La zone briançonnaise interne, ou zone Ambin-Vanoise-Mont-Pourri, dont la série anté-triasique est constituée par du volcano-détritique à nombreuses coulées basiques auquel se surimpose un métamorphisme assez fort donnant des faciès de gneiss et d'amphibolites. Cette unité vient s'enrouler à l'arrière de la zone houillère; le front d'involution (synclinal séparateur) est marqué par une masse importante de gypses et cargneules enrobant des écailles de couverture.

La couverture secondaire et tertiaire de ces deux zones est identique et comporte un Trias très puissant (quartzites, gypses, cargneules et dolomies) et une série post-triasique mince et lacuneuse. Elle est presque toujours décollée en nappe de couverture au niveau des gypses triasiques ou même des schistes sériciteux du Permien supérieur.

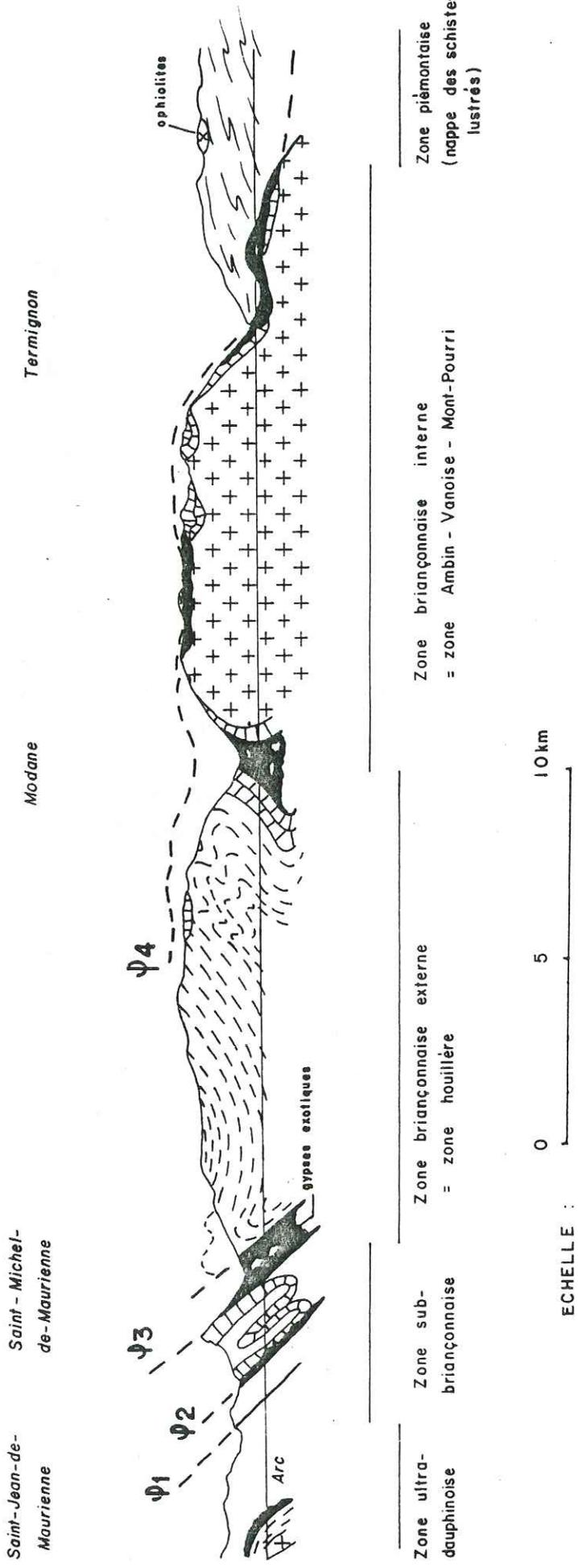


Fig. 2.2 : Coupe schématique de la Maurienne en rive droite de l'Arc

A l'Ouest, la zone briançonnaise, et plus particulièrement sa zone houillère, chevauche, par l'intermédiaire d'un important matelas de gypses et cargneules, la zone subbriançonnaise, elle-même constituée de plusieurs unités tectoniques (unité des Brèches de Tarentaise, nappe du Pas-du-Roc,...).

A l'Est, la nappe des schistes lustrés à ophiolites (zone piémontaise), vient recouvrir la zone Ambin-Vanoise-Mont-Pourri également avec interposition d'un niveau gypseux.

## C H A P I T R E    I I

G E O L O G I E   D U   S E C T E U R   E T U D I E

Il se situe entièrement dans l'unité briançonnaise externe et ne comprend, du point de vue stratigraphique, que des terrains permio-houillers, triasiques et quaternaires.

A - STRATIGRAPHIE (carte géologique en annexe)1°) Les terrains de couverturea) Les éboulis

Ce sont des formations de versants, présentant un certain classement, situées en général au pied des falaises ou des barres rocheuses qui les alimentent. On peut distinguer plusieurs types :

- les éboulis vifs, alimentés en permanence,
- les éboulis à gros blocs, encore appelés "chaos de blocs", que l'on rencontre au pied de gros bancs de grès massifs, et qui se différencient des précédents par le fait qu'ils contiennent des blocs de grande taille (supérieure à un demi-mètre cube),
- les éboulis stabilisés ou légèrement entretenus. Ce sont des éboulis, parfois à gros blocs, qui sont totalement ou partiellement colonisés par la végétation et qui ne reçoivent pas ou très peu d'apports nouveaux.

Les éboulis sont toujours constitués à partir d'éléments locaux c'est-à-dire ici par des fragments plus ou moins gros de grès et schistes houillers. Dans les secteurs où les schistes sont abondants, ils contiennent une forte proportion d'éléments fins et même argileux qui peuvent les faire passer pour des moraines.

b) Les alluvions

- les alluvions torrentielles, cônes de déjections.

On les trouve à la confluence des tributaires latéraux avec la vallée de l'Arc (Bonrieu, Poucet, Ruisseau de La Grollaz..). L'activité humaine peut les avoir complètement stabilisés comme à St-Martin-de-la-Porte. Le torrent est en effet aujourd'hui entièrement endigué dans la partie terminale de son cours, pour protéger le village de ses inondations ou de ses laves.

Par contre d'autres sont encore actifs, tel le torrent du Poucet, qui déverse annuellement (au printemps) des laves sur son cône de déjection. Certaines de ces venues peuvent même aller jusqu'à obstruer totalement le lit de l'Arc comme ce fut le cas au printemps 1978.

- les alluvions de fond de vallée

Elles se rencontrent uniquement dans la vallée de l'Arc sur les sections du profil à pente faible comme, par exemple, entre La Saussaz et Le Poucet..

- le glaciaire et le fluvio-glaciaire

Il est constitué de moraines récentes frontales ou latérales, plus ou moins remaniées par les eaux de ruissellement et disposées en épanchages ou placages d'épaisseur variable mais parfois importante.

On peut distinguer les moraines du glacier de l'Arc que l'on ne rencontre que sur les flancs de la vallée de l'Arc jusqu'à 1 800 m d'altitude environ. Elles contiennent essentiellement des éléments locaux, c'est-à-dire des schistes et grès du houiller, mais on y rencontre également quelques éléments provenant de zones plus internes (par exemple des gneiss provenant de la zone Ambin-Vanoise-Mont-Pourri ou de la zone Grand-Paradis), le tout emballé dans une matrice argileuse.

En prenant de l'altitude et en s'enfonçant dans les vallées latérales (vallée des Encombres, par exemple), on rencontre des moraines ne renfermant plus que des éléments houillers (toujours emballés dans une matrice argileuse) et qui indiquent la présence de glaciers locaux descendant du Mont-Brequin ou du Col des Encombres.

Enfin, on peut distinguer en quelques endroits (Ouest du Mont-Brequin) des glaciers rocheux, c'est-à-dire de vastes épandages de blocs, pouvant avoir une très grande taille, situés immédiatement sous les sommets mais néanmoins à une distance telle qu'elle ne peut être expliquée uniquement par la chute gravitaire et qu'il faut invoquer un transport supplémentaire par un petit glacier résiduel, la glissade sur un névé ou par reptation ou solifluxion.

#### c) Les colluvions

Elles proviennent de l'altération sur place, sans grand transport, des terrains sous-jacents.

#### d) Les tufs

Ils se présentent sous forme de placages en quelques endroits (Chalets de Beaune, Le Thyl dessous...). Ce sont des tufs carbonatés, englobant des galets de quartz, de grès ou de schistes, et qui présentent de nombreuses empreintes végétales. Ils reposent indifféremment sur les autres terrains mais en général sur de la moraine ; leur extension est réduite et leur épaisseur n'excède jamais quelques mètres.

Leur origine est énigmatique, car la série houillère est remarquablement démunie de termes carbonatés, si l'on excepte quelques filons de sidérose. J. FABRE avance trois hypothèses :

- lessivage de filons carbonatés divers,
- lessivage de formations aujourd'hui disparues (par exemple la couverture mésozoïque des formations permo-houillères et les moraines en provenant),
- décalcification des plagioclases, toujours en cours.

Je n'ai rencontré au cours de mes campagnes de terrain, aucun argument me permettant de trancher entre ces trois hypothèses ; mais la deuxième me paraît néanmoins la plus vraisemblable.

#### 2°) Le Trias

Situé sur la bordure Ouest de notre terrain, il est formé ici uniquement de gypses affleurant en une bande qui sépare la zone houillère de

la digitation du Pas-du-Roc. Ces gypses, associés à des cargneules, emballent quelques blocs klippees.

Ils sont la trace d'une zone de contact anormal chevauchant.

### 3°) Le Permien

On le rencontre uniquement au Perronnet des Encombres où il est formé de schistes, grès (moyens et fins) et conglomérats verts et violets. On y trouve également quelques bancs de quartz feuilleté.

### 4°) Le Carbonifère

A la suite de J. FABRE, on y distingue en gros trois séries que l'on peut replacer dans l'échelle géologique des temps d'après les déterminations de plantes fossiles de ZEILLER, de P. CORSIN et de C. GREBER :

- un Carbonifère supérieur conglomératique et stérile daté du Stéphanien supérieur (assise de Courchevel),
- un Houiller productif daté du Westphalien C, D et Stéphanien inférieur (assise de la Madeleine, assise de Tarentaise),
- un Houiller stérile daté du Namurien, Westphalien A (grès de La Praz).

#### a) Le Carbonifère supérieur

On rencontre cette formation dans le secteur du Plateau de Bellecombe et jusqu'à Roche-Jaille environ. Elle montre des bancs de grès grossiers et conglomérats, plus nombreux et plus épais, bien que présentant les mêmes faciès que le Houiller productif (que nous décrirons plus loin), associés à quelques bancs de schistes versicolores rappelant les faciès du Permien du Perronnet, mais que l'on ne peut lui attribuer car ils sont intercalés dans la série houillère.

#### b) Le Houiller productif

Il est caractérisé par l'existence de nombreuses veines d'antracite, dont l'épaisseur varie de 0,5 à 6 m et dont l'extension latérale est très variable. Cet antracite a été exploité industriellement dans plusieurs mines (La Saussaz, Les Sordières...) et localement par de petits grattages paysans.

Outre le charbon, cet ensemble comporte essentiellement une alternance de schistes et grès avec quelques conglomérats.

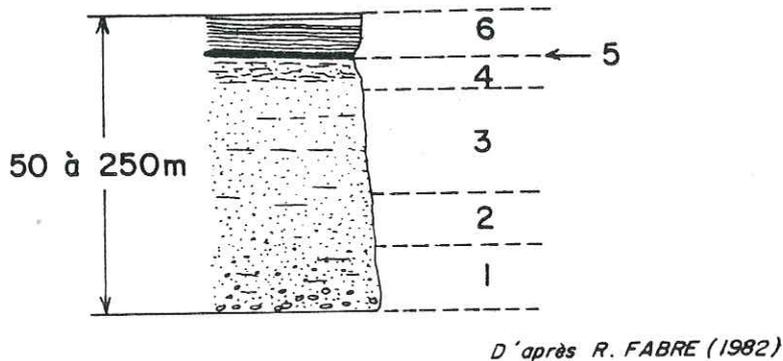
De façon plus détaillée, les principaux faciès que l'on rencontre sont :

- des conglomérats :
  - . gris clair renfermant de nombreux galets de quartz blanc et parfois des éléments de gneiss,
  - . blancs, formés essentiellement de galets de quartz et de feldspath, où l'altération rouille se voit particulièrement bien,
- des grès grossiers :
  - . gris clair à quartz blancs renfermant en outre biotite, muscovite, séricite,
  - . noirs, contenant quelques grains de quartz mais surtout de la biotite,
  - . gris sombre très micacés,
- des grès moyens à fins :
  - . gris sombre,
  - . noirs à quartz et biotite, présentant une altération rouille,
  - . gris clair à séricite, beiges en patine,
- des schistes :
  - . noirs à altération rouille,
  - . beiges, à quartz séricite et chlorite, présentant une altération rouille,
  - . noirs charbonneux.

Ces schistes peuvent être plus ou moins gréseux c'est-à-dire contenir des grains relativement grossiers.

Une analyse assez fine de la stratigraphie du Houiller briançonnais a été fournie par R. FABRE (1982) sous la forme de nombreuses analyses séquentielles. A la suite de cette étude, il a pu schématiser la mésoséquence complète de base (fig. 2.3). Mais celle-ci ne se retrouve que

très rarement sous cette forme car certains termes peuvent manquer ; néanmoins, on peut souvent observer le passage progressif des grès aux schistes par l'intermédiaire de grès à grains fins présentant une schistosité marquée ou de schistes plus ou moins gréseux.



LEGENDE :	6	Schistes noirs
	5	Veine de charbon
	4	Grès schisteux
	3	Grès fins
	2	Grès moyens à fins
	1	Grès grossiers à moyens avec une base plus ou moins conglomératique

Fig. 2.3 : La mésoséquence de base et ses différents termes lithologiques

Dans le secteur du Perronnet, le Houiller productif passe en continuité au Permien par l'intermédiaire de deux bancs de schistes noirs intercalés dans des schistes et grès verts.

### c) Le Houiller stérile

On y trouve surtout une alternance de faciès de grès, schistes et conglomérats identiques à ceux du Houiller productif. On observe toutefois une augmentation de la proportion des grès due surtout à l'augmentation de

l'épaisseur des bancs comme par exemple dans le massif situé au Sud de Combe Noire où l'on peut voir une succession de sept bancs de grès d'une épaisseur variant entre cinq et dix mètres, séparés par des vires schisteuses ayant au maximum un mètre d'épaisseur.

B - STRUCTURE DU SUBSTRATUM (voir coupes géologiques sériees fig. 2.5)

Comme nous l'avons déjà vu dans la présentation de la géologie régionale, la zone houillère briançonnaise se présente comme un éventail à double déversement.

En détaillant un peu plus, J. FABRE distingue d'Ouest en Est quatre zones (fig. 2.4) :

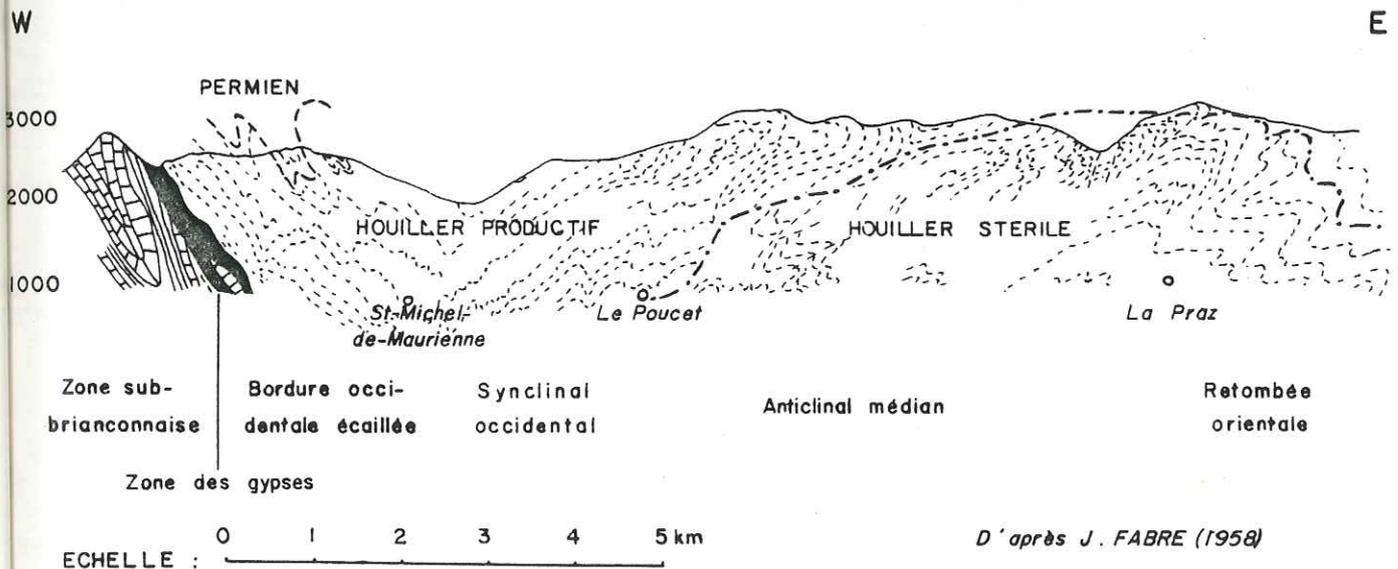


Fig. 2.4 : Coupe schématique à travers la zone houillère

- la bordure occidentale, où le Briançonnais chevauche le Subbriançonnais par l'intermédiaire d'un puissant niveau de gypses emballant de nombreux débris de la couverture mésozoïque briançonnaise,

- le synclinal occidental, qui correspond à la grande échancrure de la vallée des Encombres. C'est là que l'on rencontre, au niveau de l'Arc, le Houiller productif,

- l'anticlinal médian qui, dans la vallée de l'Arc, se situe en amont du Poucet. C'est ici qu'émergent les couches les plus profondes du Houiller stérile,

- la retombée orientale, qui correspond à l'enfoncement de la zone houillère sous le front de la zone Vanoise-Ambin-Mont-Pourri sera laissée de côté car elle se trouve en dehors du terrain étudié.

### 1°) La bordure occidentale

Nous avons affaire à un contact anormal chevauchant entre le Subbriançonnais à l'Ouest et la zone houillère à l'Est par l'intermédiaire d'une zone de gypses.

Ce plan de chevauchement qui présente un pendage d'environ 45° vers l'Est, tranche obliquement les structures de la couverture mésozoïque Subbriançonnaise et celle du Permo-Houiller briançonnais. Ce contact n'est que très rarement visible sur le terrain, parce que masqué par les formations de couverture, sauf en quelques endroits comme, par exemple, au-dessus du hameau de La Porte, où des couches sombres charbonneuses viennent au contact du gypse ; mais l'endroit où l'on peut le mieux l'étudier se situe au Petit col des Encombres, dont nous allons détailler la coupe.

Contre les gypses qui affleurent au Petit col des Encombres, on trouve une centaine de mètres de schistes et grès sombres - plus ou moins grossiers - pouvant même aller jusqu'à des conglomérats à grains de quartz (fig. 2.6).

Puis on passe à quelques bancs de grès clairs à blancs, présentant une schistosité très marquée qui font la transition avec le Houiller classique constitué de grès et schistes sombres parfois charbonneux entrecoupés de quelques bancs de grès gris clair à verdâtres.

Au sommet du Perronnet, un accident met au contact avec ce Houiller le Permien formé de schistes et grès d'abord blancs puis violets et verts.

Enfin, à la cote 2 336 m, on repasse, sans discontinuité apparente au Houiller formé de schistes et grès noirs, alternés, entrecoupés de grès grossiers clairs.

Toute cette zone montre un style tectonique particulier : il s'y dessine une succession de plis pincés déversés vers l'Ouest. En effet, les quelques bancs de grès clairs feuilletés et l'affleurement de Permien, forment

Fig. 2.5 : COUPES GEOLOGIQUES INTERPRETATIVES (Le quaternaire n'est pas représenté)

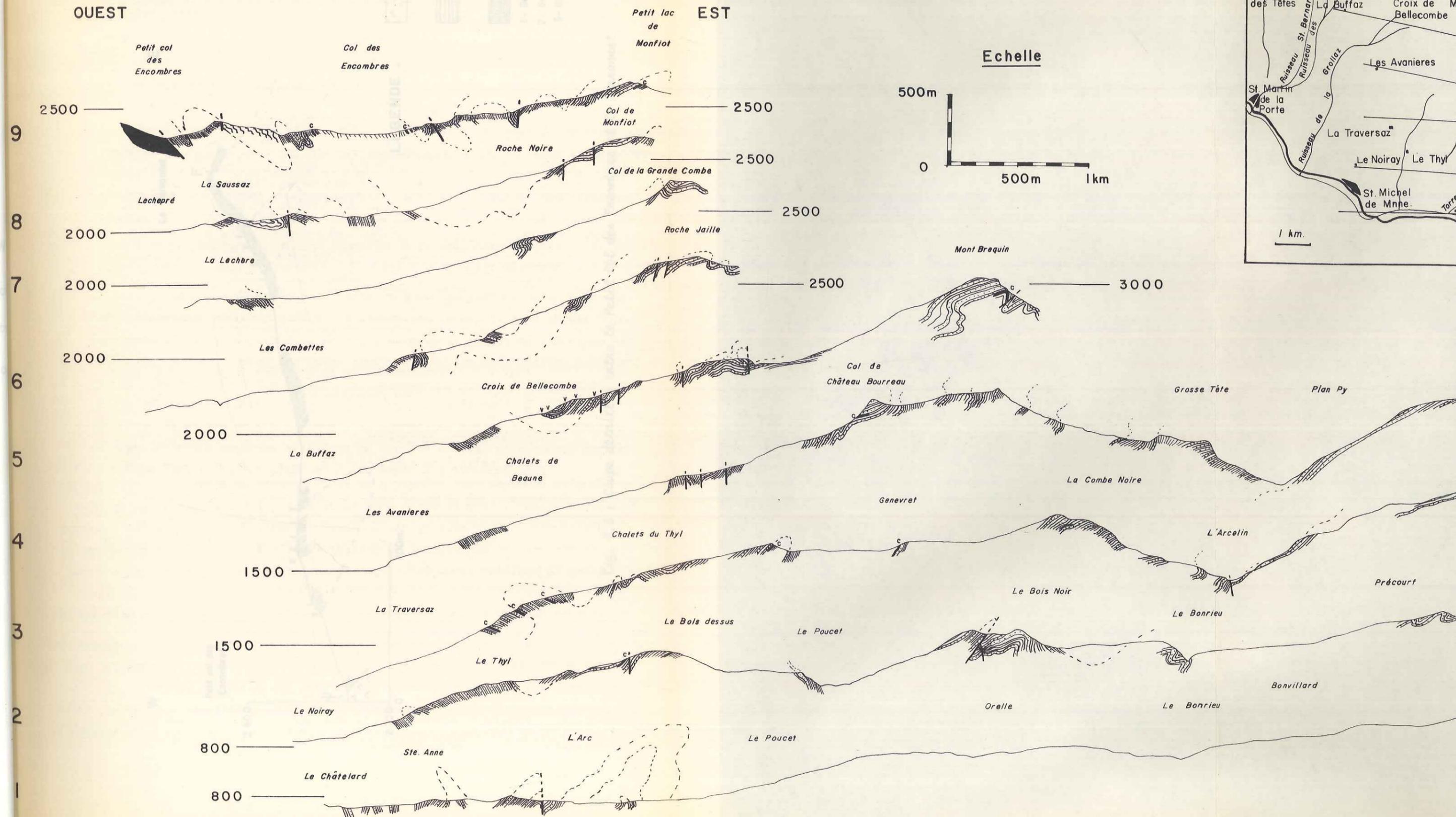
**Légende :**

Trias : gypse

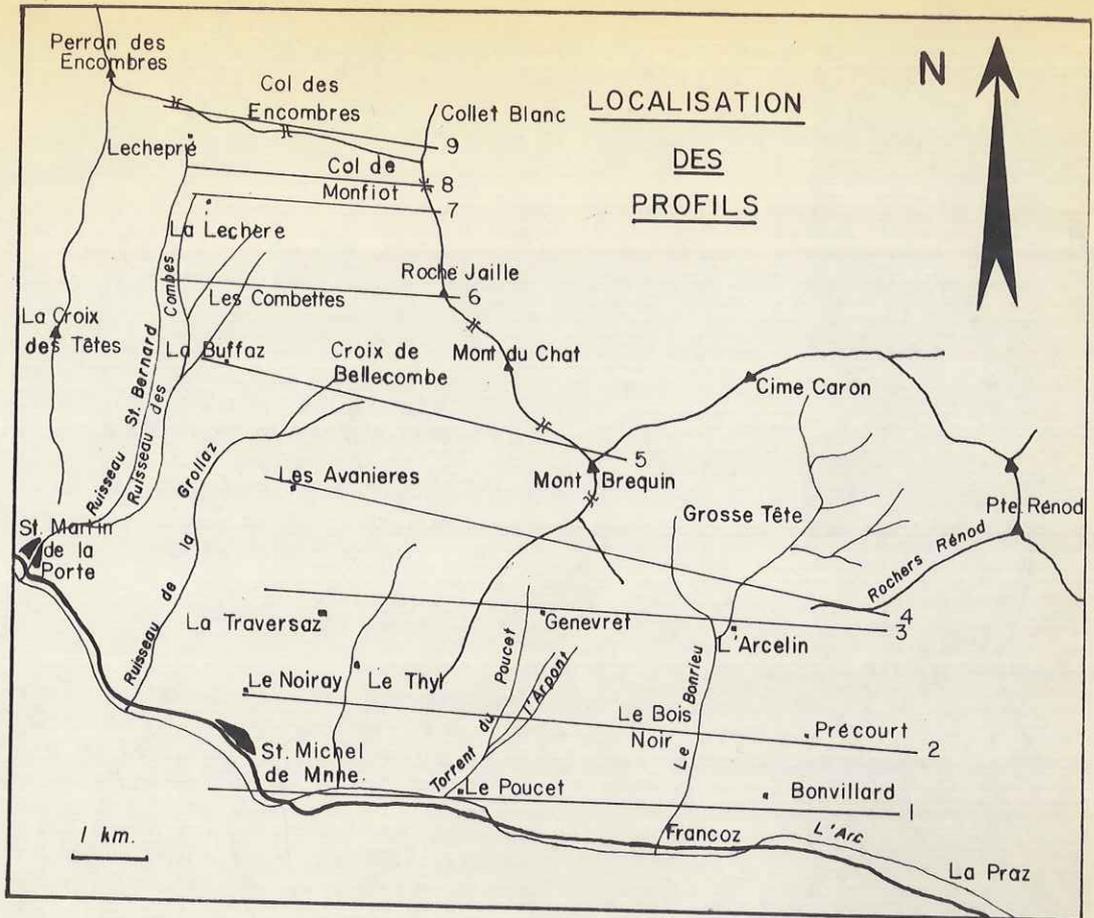
Permien : schistes versicolores

Houiller : schistes et grès

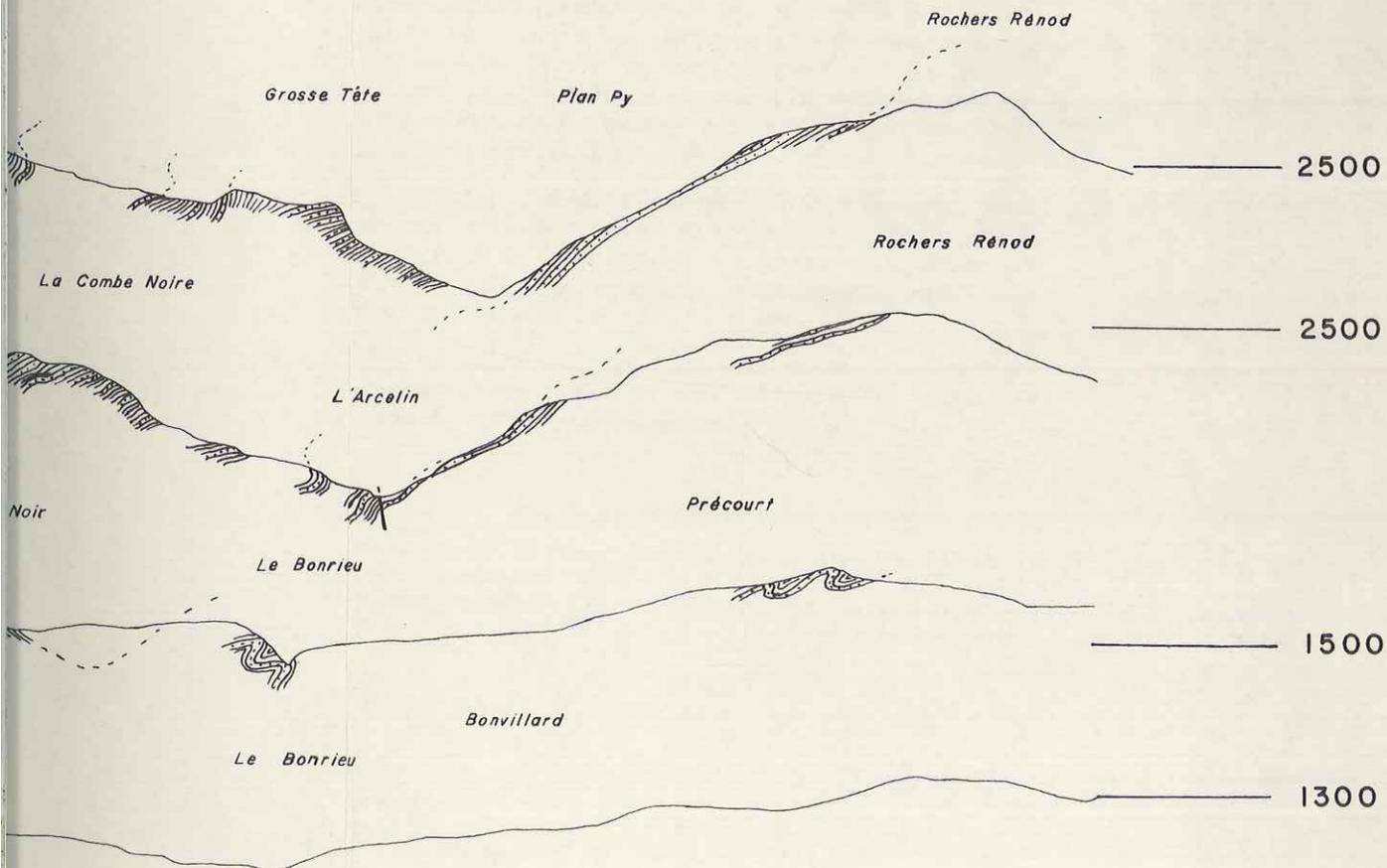
v: schistes versicolores  
c: anthracite



v: schistes versicolores  
c: anthracite



3000



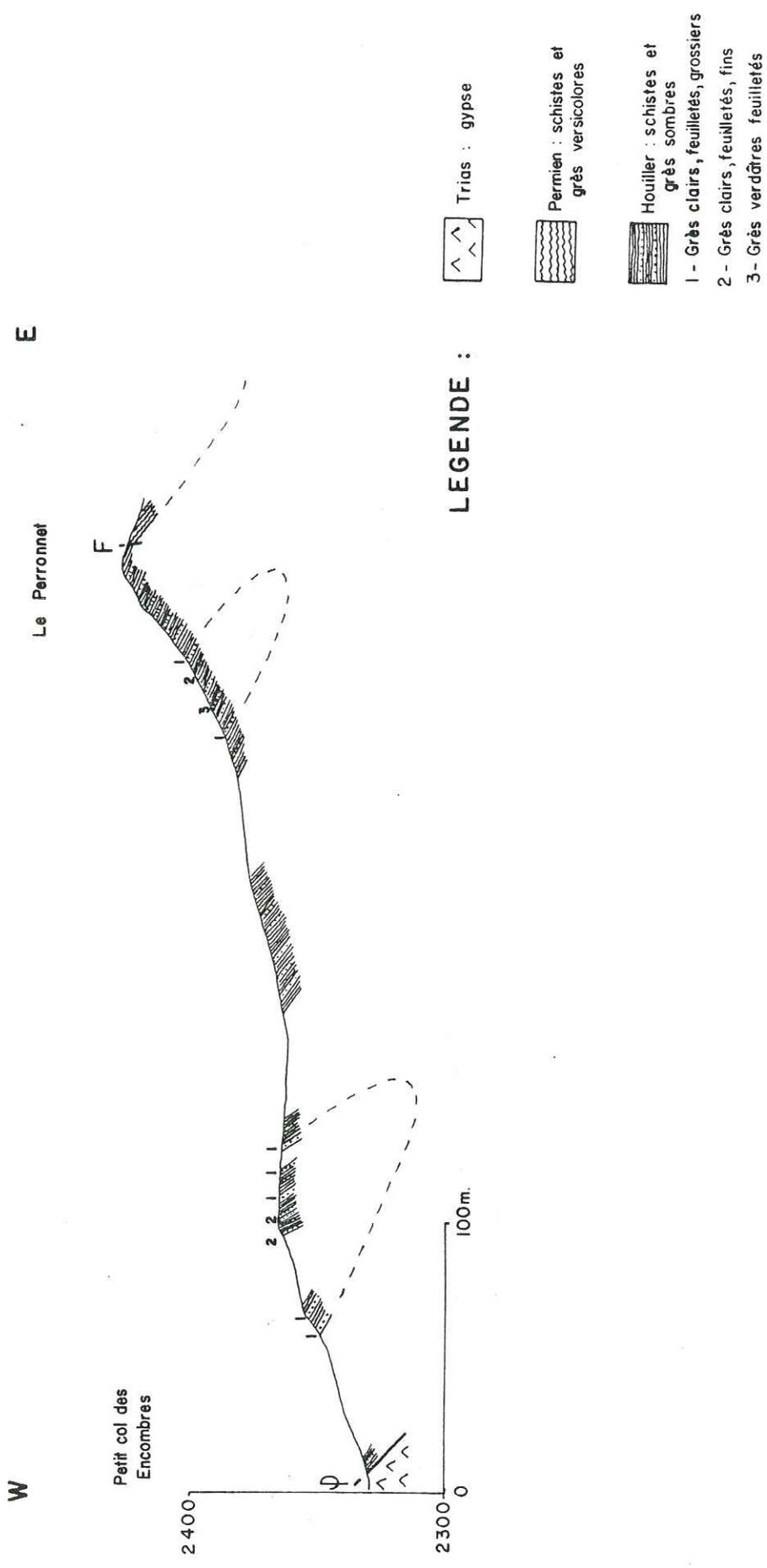


Fig. 2.6 : Coupe détaillée entre le Petit Col des Encombres et le Perronnet

le coeur de trois synclinaux déversés vers l'Ouest (fig. 2.6). Un peu plus loin vers l'Est on voit, dans les escarpements, au Sud de la ligne de crêtes, deux plis de même style intéressant uniquement le Houiller (coupe géologique n° 9 fig. 2.5. et fig. 2.7).

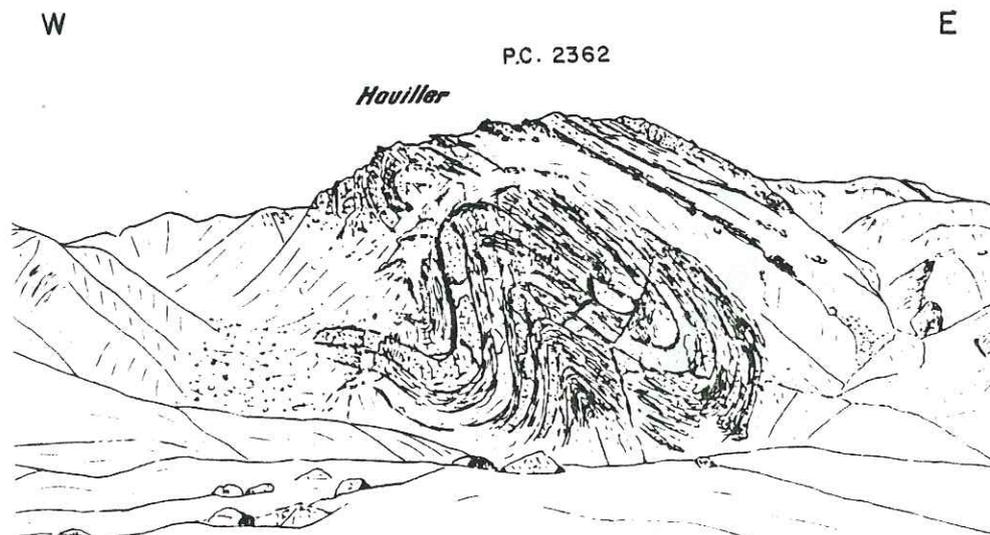


Fig. 2.7 : Plissement dans le houiller au Sud du P.C. 2362  
(d'après photographie)

## 2°) Le synclinal occidental

Dans cette zone synclinoriale, nous observons le passage d'un style de plis déversés vers l'Ouest à un style de plis déversés vers l'Est (au Mont-Brequin) par l'intermédiaire d'un secteur montrant une succession de plis droits qui ont été décrits par J. FABRE à partir de levés dans les galeries des concessions minières de La Saussaz (fig. 2.4). C'est là en effet que se situe le Houiller productif, exploité autrefois dans plusieurs concessions (La Saussaz, Sordière...), où l'on rencontre des couches d'une épaisseur moyenne de deux à cinq mètres avec des amandes pouvant atteindre huit mètres.

Ailleurs, de nombreux grattages sont encore visibles (au-dessus des ruines de Lozière, à Genevret...) et même parfois encore exploités par les paysans pour leur consommation personnelle (La Traversaz, La Buffaz, Le Thyl-dessus...). Les veines sont minces mais nombreuses : en effet, il est possible d'en dénombrer neuf entre 2 300 et 3 000 m sur la croupe montant de Bois-dessus au Mont-Brequin).

Le coeur de cette zone synclinale peut être matérialisé, dans le secteur de la Croix de Bellecombe, par quelques couches de grès et schistes versicolores, intercalés dans des niveaux de schistes noirs et de grès gris, qui affleurent sur la croupe à l'Est de cette croix (cote 2 183) et qui se ferment de façon synclinale vers le Sud.

### 3°) L'anticlinal médian

Au niveau de la vallée de l'Arc, il est représenté par les termes les plus anciens de la série houillère c'est-à-dire les grès du Houiller stérile (grès de La Praz). Bien que peu différents globalement de ceux du Houiller productif, les niveaux "stériles" s'en distinguent toutefois par la quasi-disparition des niveaux charbonneux (très amincis) et par un épaissement général des bancs de grès.

Le Houiller productif se retrouve en haut des versants, à la voûte du pli, notamment au Mont-Brequin où cette dernière est déversée vers l'Est.

Le style tectonique de cette zone est en général caractérisé par des plis pincés déversés vers l'Est pouvant par endroits montrer des "contournements" très complexes, bien visibles en rive gauche de l'Arc, en face d'Orelle, et même, en un peu moins spectaculaire, en rive droite, à l'Ouest du Bois Noir (le fait que ces deux affleurements, situés de part et d'autre de la vallée, présentent une analogie structurale tendrait à prouver que le tracé de la vallée de l'Arc, même s'il correspond à la trace d'un grand accident invisible sous les alluvions du fond de vallée, n'introduit pas de décalage important, pas plus horizontalement que verticalement).

Enfin, il est intéressant, pour la suite de l'exposé, de noter qu'en rive gauche du torrent du Bonrieu, entre l'Arcelin et le Rocher Rénod, les couches se présentent en dalles structurales sur la pente.

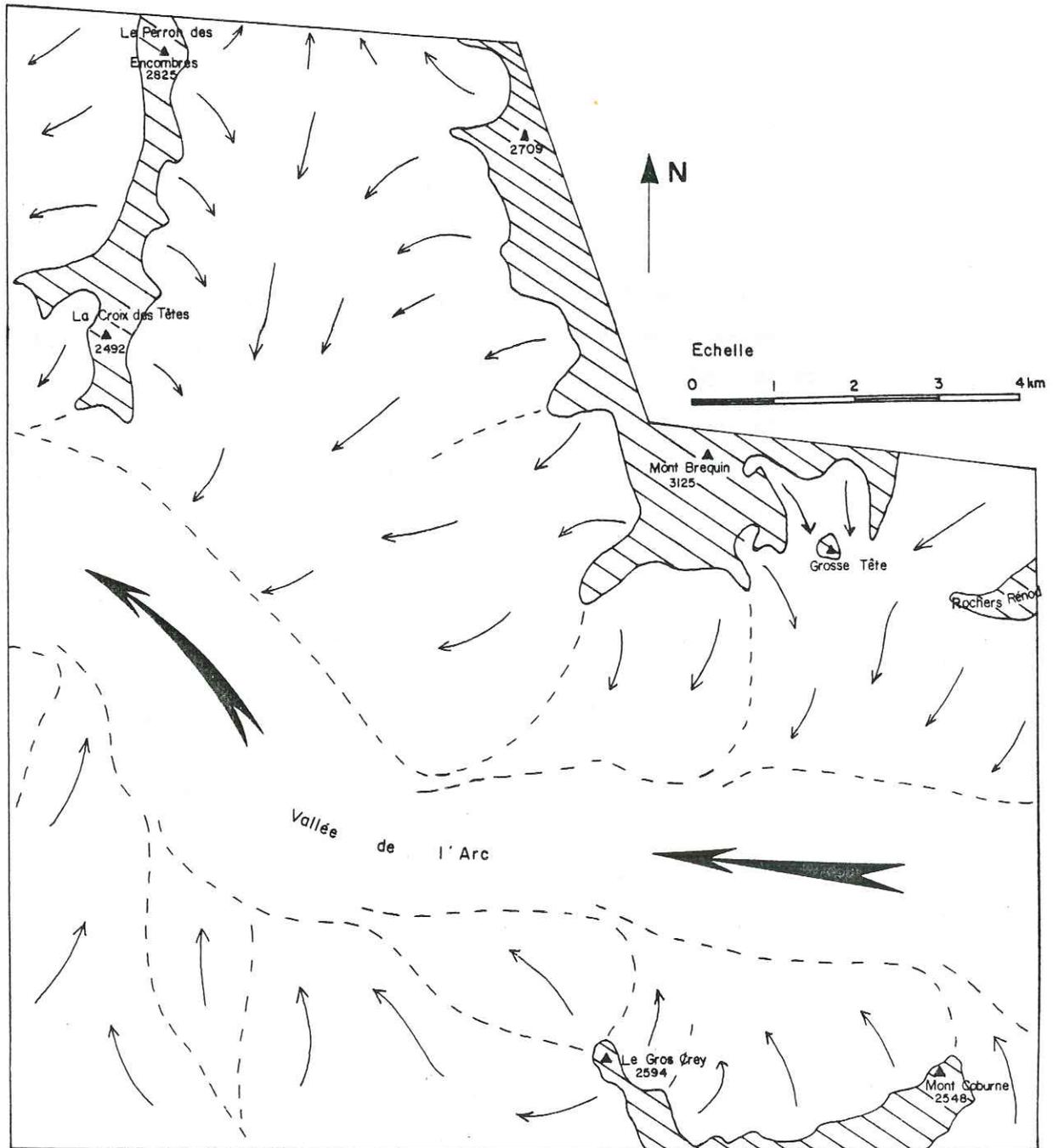


Fig. 2.8 : Carte schématique des courants glaciaires au début du retrait würmien

## C H A P I T R E    I I I

MORPHOLOGIE DES VERSANTS - STRUCTURE DU RECOUVREMENT QUATERNAIRE

Une bonne compréhension de la morphologie des versants est nécessaire, au même titre que celle de la lithologie, de l'hydrologie, etc, pour aborder l'étude de leur stabilité. Or, il apparaît qu'ici, cette morphologie n'est que peu guidée par les structures propres du Houiller, mais porte surtout l'empreinte alternative d'une érosion ou d'une accumulation dont les agents principaux furent les glaciers qui recouvraient la région dans un passé très récent, sans préjuger de l'action d'autres facteurs, classiques en montagne.

A - LES PHENOMENES GLACIAIRES1°) Les Glaciers

Dans les temps géologiques récents, plusieurs cycles de glaciation se sont succédés (Mindel, Riss, Würm) dont seul le dernier, avec ses stades de retrait croissants a laissé des traces nettes.

Durant le dernier épisode glaciaire (Würm 3 : - 30 000, - 10 000 ans), notre secteur d'étude, à l'exception des plus hauts sommets, était recouvert de glaces. Un glacier principal, ayant quelques centaines de mètres d'épaisseur, s'écoulait dans la vallée de l'Arc. Il était alimenté par des glaciers locaux affluents venus du Nord (col des Encombres, Mont-Brequin...) et du Sud (fig. 2.8)

C'est il y a au moins 10 000 ans que la déglaciation s'est amorcée, avec cependant quelques périodes plus froides (- 4 000, - 3 000 A.-M. MALATRAIT - 1975), entrecoupant d'épisodes de progression mal connus, le recul des glaciers. Quelques crues glaciaires sont néanmoins connues durant les périodes froides historiques (Moyen Age, petit âge glaciaire du XVe - XIXe siècle). C'est durant cette déglaciation, alors que les glaciers étaient bien canalisés qu'ont été élaborés les derniers traits de la morphologie des versants par l'action conjuguée de l'érosion et de l'accumulation des produits qu'elle engendre.

## 2°) L'érosion glaciaire

Ces glaciers ont donc façonné les paysages de la vallée de l'Arc qui nous montre des auges diversement calibrées : entre le pont de la Denise et le Pont des Chèvres, elle est encaissée dans les couches dures du Houiller stérile riche en grès et conglomérats (fig. 2.9), tandis qu'au niveau de St-Michel-de-Maurienne, dans des terrains plus tendres, elle est plus évasée (fig. 2.10). Enfin, au Pas-du-Roc, on observe un verrou typique, formé par des bancs de calcaire dur du Lias.

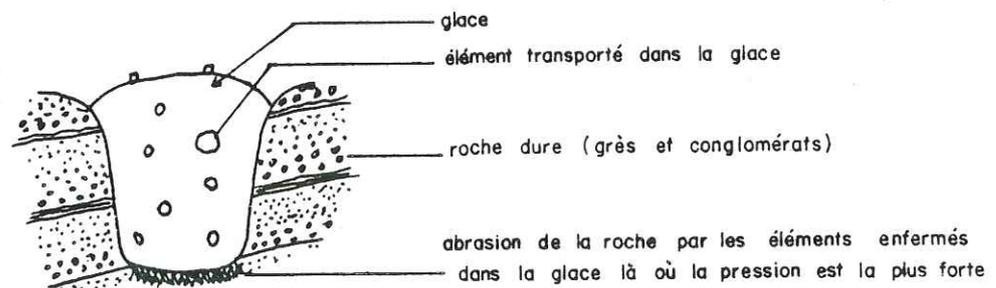


Fig. 2.9 : Auge glaciaire encaissée (roche dure)

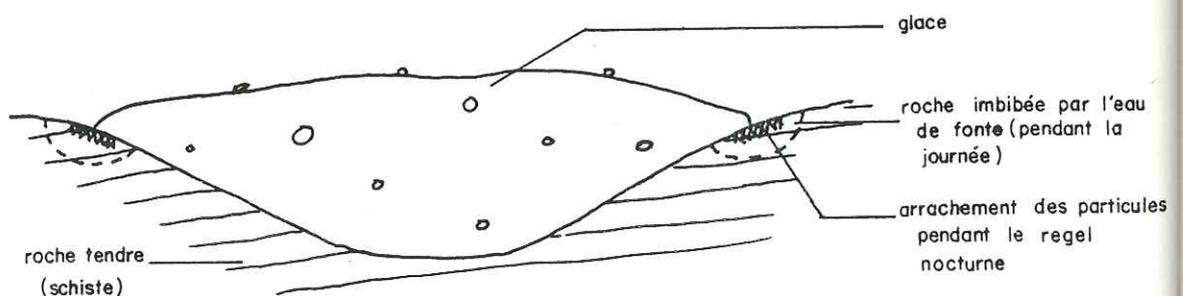


Fig. 2.10 : Auge glaciaire évasée (roche tendre)

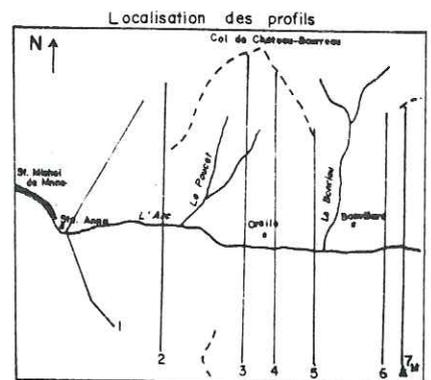
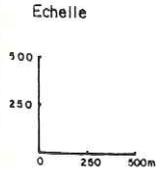
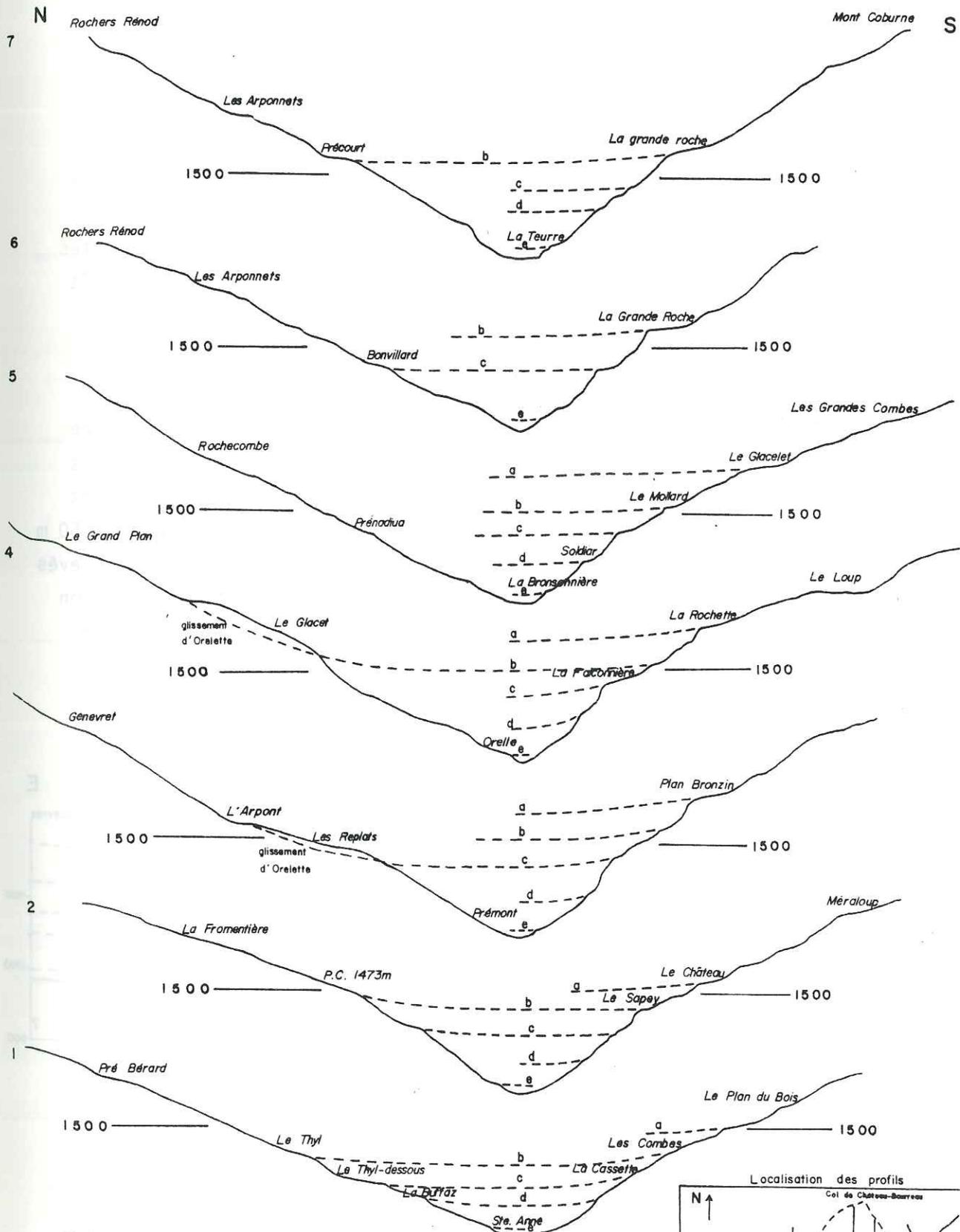


Fig. 2.11 : Profils transversaux à la vallée de l'Arc entre Sainte-Anne et La Praz

En amont de St-Michel-de-Maurienne, on observe, surtout sur la rive gauche de l'Arc, des replats soulignés par des clairières au milieu des bois (plan Bronzin, par exemple). Il n'est pas possible toutefois de les relier à des surfaces cycliques successives de la décrue du glacier de l'Arc ; il s'agit plutôt de surfaces structurales dues au déblaiement de couches tendres surmontant des bancs plus durs. La grande variété des cotes de ces replats, ainsi que la forte pente de plusieurs d'entre eux pourrait en faire des "témoins de pédoncules de confluent ou de coudes hydrographiques aigus grossièrement nivelés par le débordement des appareils" (H. ONDE - 1938 - p. 742).

Cependant, les sept profils séries perpendiculaires à la vallée (fig. 2.11 et 2.12) permettent de déterminer quatre niveaux, s'échelonnant entre 1 900 m à l'amont et 1 500 m à l'aval pour le plus élevé, 1 600 m et 1 300 m pour le second, 1 400 m et 1 100 m pour le troisième et entre 1 250 m et 950 m pour le quatrième, qui pourraient être des niveaux successifs élevés de la surface du glacier de l'Arc. Enfin, variant entre 1 000 m et 800 m, on trouve la dernière auge glaciaire entaillée (très peu) par le torrent qui s'installa ensuite.

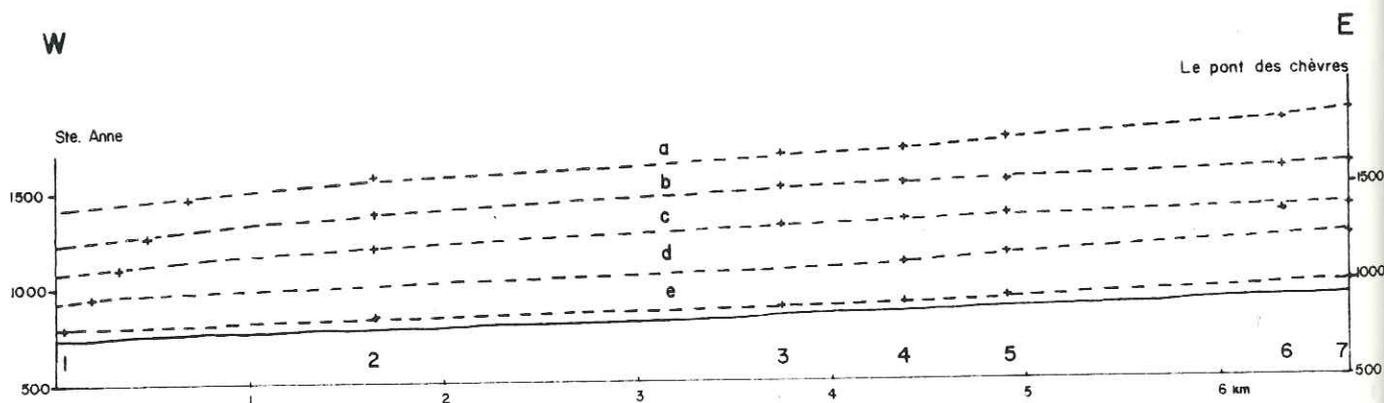


Fig. 2.12 : Profil longitudinal du lit de l'Arc. Niveaux successifs possibles de la surface du glacier würmien.

### 3°) Les accumulations résultantes aux glaciations

Le recouvrement morainique s'étend sur une très grande superficie. Dans les hautes vallées, les plus proches des glaciers encore existants, on trouve des moraines latérales (en forme d'arêtes aiguës et rectilignes) et des moraines frontales (en forme d'arêtes courbes) (voir carte géologique), passant à des glaciers rocheux. Elles sont très "fraîches" et peuvent être rapportées au "petit âge glaciaire" historique.

Ailleurs, on ne peut avoir affaire qu'à des moraines de fond en placages plus ou moins étendus et plus ou moins épais, très souvent mêlés d'éboulis, de colluvions et de produits d'altération divers transportés par les eaux de ruissellement, le tout pouvant être abondamment remanié par des processus de glissement superficiel ou de reptation. Il s'ensuit une morphologie mamelonnée caractéristique masquant presque totalement les structures du substratum Houiller.

## B - LES AUTRES AGENTS DE LA MORPHOGENESE

### 1°) Les phénomènes climatiques

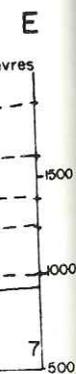
#### a) Le gel

Il est nécessaire de considérer l'action du climat car, en altitude (au-dessus de 2 000 m), nous nous trouvons dans une zone pouvant être qualifiée de périglaciaire, c'est-à-dire où l'action du gel se fait sentir une grande partie de l'année.

Le gel agit de manière destructive sur le sol et les roches par l'augmentation de volume qui accompagne le changement d'état de l'eau d'imprégnation. Cette action, déjà marquée à une altitude plus basse, est non négligeable au-dessus de 1 800 m (limite supérieure des forêts). Elle peut y être toutefois minimisée ou accentuée par l'exposition et la présence (ou l'absence) d'un manteau protecteur tel que la végétation, la neige, etc.

L'intensité et la durée du gel ont leur importance car elles déterminent l'épaisseur de terrain qui sera soumis à la gélivation.

La succession des cycles gel/dégel, quant à elle, agira sur la gélifraction des roches.



Enfin, il ne faut pas perdre de vue qu'un terrain gelé est imperméable, ce qui influencera le ruissellement de surface.

#### b) Le modelé des versants en zone périglaciaire

C'est dans les roches fissurées que la gélifraction se développe le mieux car l'eau d'imprégnation se concentre dans les fissures. L'intensité de la fracturation est un critère très important car il déterminera la forme et la taille des blocs individualisés par cette désagrégation. De plus, "les chocs thermiques (+ 20, - 30 °C) provoquent une desquamation des roches en très fines lamelles, qui se conservent pendant quelques cycles et sont rapidement pulvérisées, pour donner alors une notable proportion d'argile et limons" (J.-P. LAUTRIDOU - 1971).

C'est ainsi que, dans les roches dures (gros bancs de grès), le jeu des fissures par le gel entraîne la formation de crêtes déchiquetées instables et de chaos de gros blocs (Est de la crête des Encombres) tandis que, dans les secteurs de roches plus tendres et schisteuses, nous verrons soit des cailloutis cryoclastiques ayant la forme typique de "frites", soit des éboulis fins à forte proportion de fines (argile et limon).

Mais il faut également considérer l'action du gel en profondeur car, immédiatement après le retrait des glaciers, le sous-sol gelé devait atteindre une profondeur relativement importante. On peut dire que le résultat de l'existence ancienne de ce pergélisol a été l'ouverture en profondeur des lèvres de toutes les fissures (fractures, schistosité, diaclases...) ce qui a laissé des voies pour l'infiltration actuelle et accentué la décohésion du massif. C'est cet état de dislocation ainsi que l'imprégnation par l'eau des niveaux de schistes et de charbon (faisant alors office de lubrifiant), qui a permis la mise en mouvement de la plupart des grands glissements anciens encore décelables dans la morphologie (au Nord de La Traversaz, par exemple).

Dans les formations meubles ou peu consistantes (schistes, moraines, éboulis, colluvions), c'est au moment du dégel que se produisent beaucoup de dérangements. En effet, la fonte de l'eau imprégnant ces formations entraîne un ameublissement de surface qui provoque la solifluxion, c'est-à-dire une reptation de la couche superficielle dégelée et saturée sur la tranche plus profonde encore gelée et donc imperméable. Etant donné que le gel saisonnier n'affecte qu'une profondeur de l'ordre du mètre, on n'aura affaire (en phase

de dégel avec tranche profonde encore gelée) qu'à des mouvements épidermiques. C'est de cette manière que l'on explique les formes en terrassettes ou pied-de-vache (fig. 2.13) que l'on rencontre en de nombreux endroits.

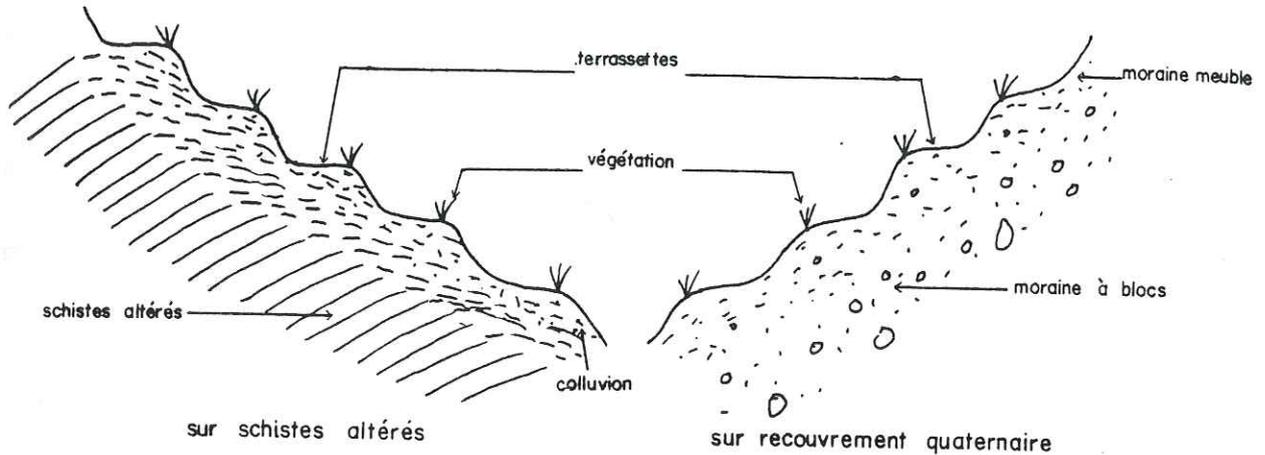
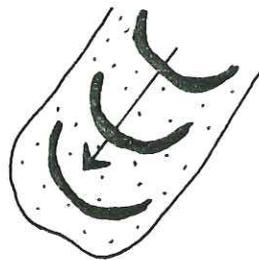
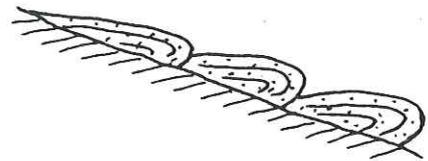


Fig. 2.13 : "Pieds de vaches" ou terrassettes (schéma)

Immédiatement après la déglaciation würmienne, c'est l'existence d'un mollisol de plusieurs mètres d'épaisseur qui provoqua l'apparition de coulées de solifluxion (glissement du mollisol dès que la pente atteint une dizaine de degrés) et de vastes glaciers rocheux (coulées de blocs cheminant dans les vallées à la manière d'un glacier (fig.2.14)).



vue en plan



vue en coupe

Fig. 2.14 : Glacier rocheux (schéma)

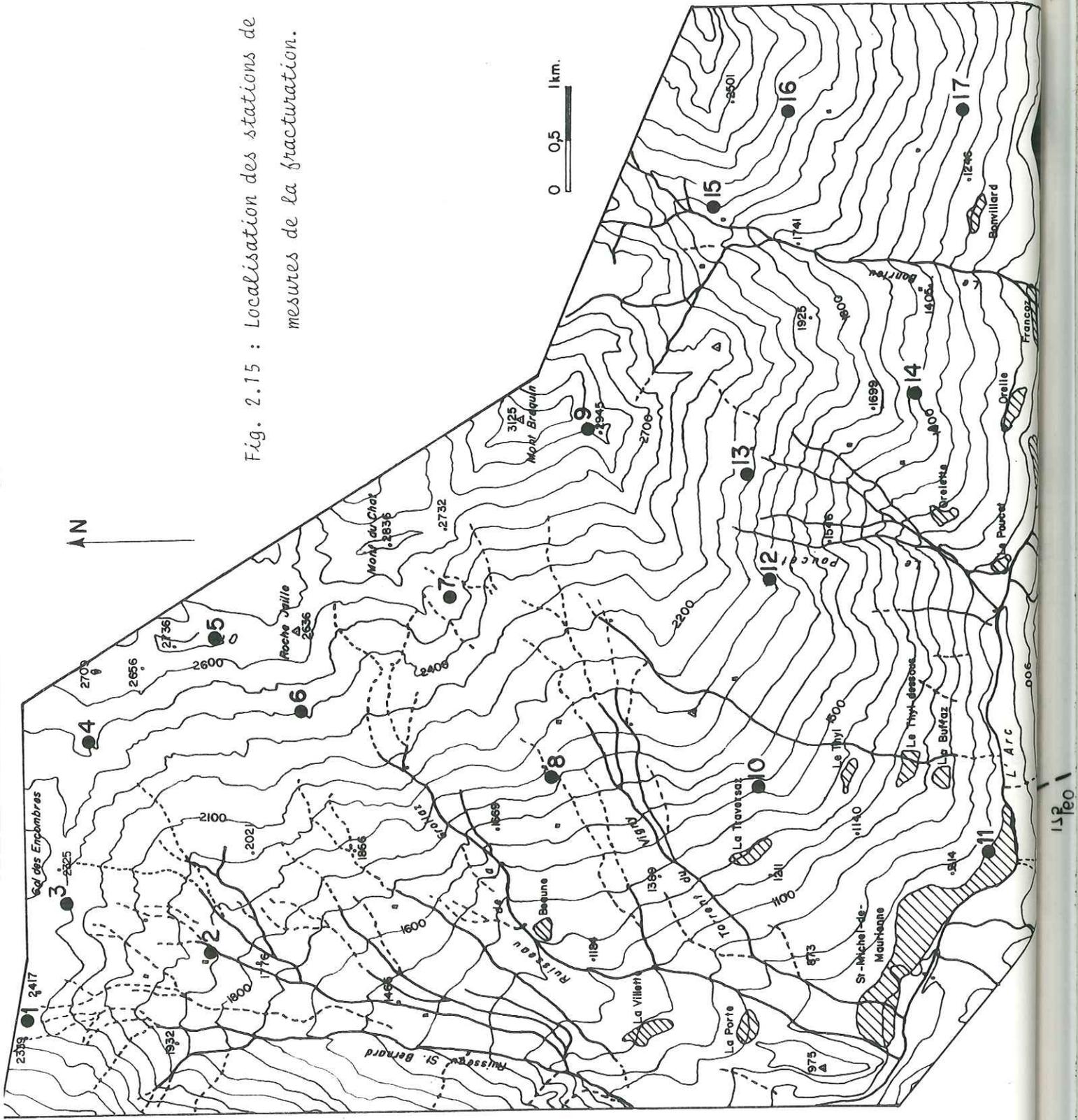
## 2°) L'érosion torrentielle

Tous les torrents coulant dans le secteur étudié, du plus grand (l'Arc) au plus petit, érodent leur lit et n'alluvionnent que très peu (à l'exception de l'Arc) ; néanmoins, le creusement post-glaciaire n'est qu'à peine esquissé, surtout en ce qui concerne les cours d'eau secondaires qui, la plupart du temps, courent à fleur de terre. Le seul torrent dérogeant à cette règle est celui du Poucet, qui s'est encaissé assez profondément (plus de 20 m) dans l'épais recouvrement quaternaire qu'il parcourt. Ses berges meubles sont d'ailleurs le siège de glissements de talus presque continuels. On retrouve le même phénomène, mais à une échelle plus réduite, dans le haut du bassin versant du ruisseau de La Grollaz.

L'aspect de la sédimentation torrentielle est plus remarquable. On peut distinguer les alluvions de vallée et les cônes de déjection. Les premières ne se rencontrent que dans le lit de l'Arc, en amont du verrou du Pas-du-Roc, là où s'est établie la ville de St-Michel-de-Maurienne, tout au moins dans sa partie basse. En général, ces alluvions ne sont pas constituées de matériaux allochtones mais plutôt d'éléments apportés par les torrents latéraux (cônes de déjection) et transportés sur quelques centaines de mètres par l'Arc.

Les cônes de déjection se trouvent au débouché des vallées secondaires et s'étalent dans la vallée principale comme ceux des torrents St-Bernard, du Poucet et du Bonrieu.

Fig. 2.15 : Localisation des stations de mesures de la fracturation.

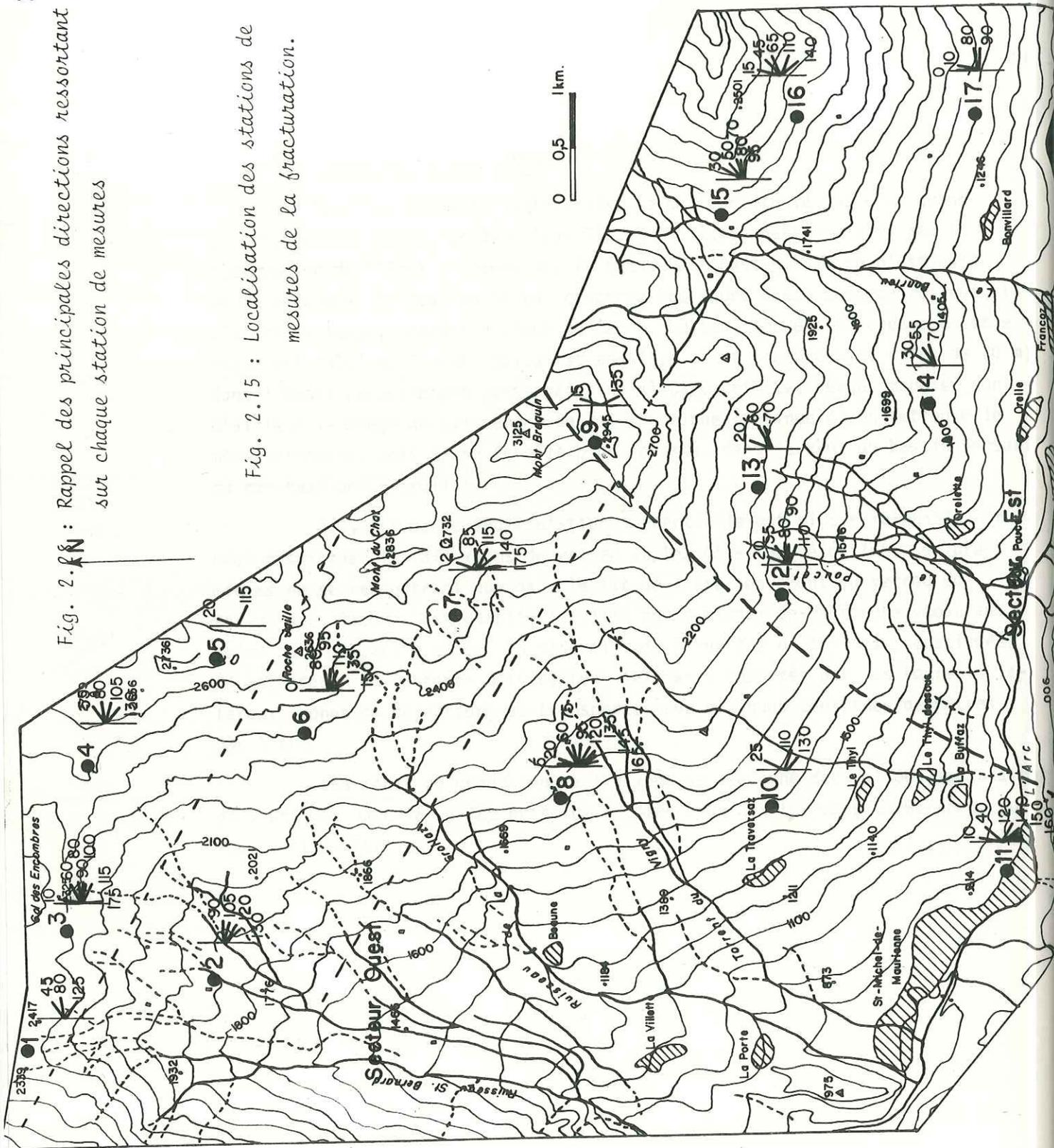


Stations de mesures :

- 1- Le Perronnet
- 2- La Léchère
- 3- Col des Encombres
- 4- Col de Lachemonde
- 5- Col de la Grande Combe
- 6- Bellecombe
- 7- Col de la Vallée Étroite
- 8- Les Avanières
- 9- Col de Château-Bourreau
- 10- La Traversaz
- 11- Ste. Anne
- 12- La Lozière
- 13- Genevret
- 14- Le Bois Noir
- 15- L'Arcelin
- 16- Les Arponnets
- 17- Bonvillard

Fig. 2.15 : Rappel des principales directions de fracturation sur chaque station de mesures

Fig. 2.15 : Localisation des stations de mesures de la fracturation.



Stations de mesures :

- 1- Le Perronet
- 2- La Léchère
- 3- Col des Encombres
- 4- Col de Lachemonde
- 5- Col de la Grande Combe
- 6- Bellecombe
- 7- Col de la Vallée Etroite
- 8- Les Avanières
- 9- Col de Château-Bourreau
- 10- La Traversaz
- 11- Ste. Anne
- 12- La Lozière
- 13- Genevret
- 14- Le Bois Noir
- 15- L'Arcelin
- 16- Les Arponnets
- 17- Bonvillard

## CHAPITRE IV

### LA FRACTURATION

L'étude de la fracturation à l'échelle de l'affleurement a été menée principalement en vue d'estimer la densité de fracturation du massif, les possibilités de circulation de l'eau et afin de déterminer si les familles de fractures les mieux représentées ponctuellement avaient pu jouer un rôle dans la mise en mouvement et la direction de cheminement des grands glissements de terrain anciens affectant le bed-rock.

Il est apparu, chemin faisant, que la grande quantité de données récoltées pourrait peut-être servir à identifier un mécanisme de déformation ce qui était susceptible de développements ultérieurs quant aux causes d'instabilité.

#### A - GENERALITES

Afin de réaliser cette étude, nous avons au départ à notre disposition plus de 2 500 mesures de plans de discontinuité réparties sur 17 stations de mesures (fig. 2.15). Sur chaque station, il a été procédé à la mesure de toutes les discontinuités recoupées par une ligne horizontale de dix mètres de long (sauf quelques exceptions où l'on s'est contenté de 5 m) sans tenir compte de la schistosité (mesurée pour sa part une seule fois) car elle peut parfois être très dense selon la nature de l'affleurement ce qui aurait tendance à masquer les autres familles.

Dans la mesure du possible, nous avons essayé de préciser pour chaque fracture le sens de mouvement voire le rejet ainsi que la présence de recristallisations (quartz, par exemple), l'ouverture, la présence d'eau, la taille (grande : plus de 3 m, moyenne : entre 0,5 et 3 m, petite : moins de 0,5 m).

Fig. 2.17 : Rosace des directions de fractures, en longueurs cumulées, repérées sur la photo-interprétation du secteur

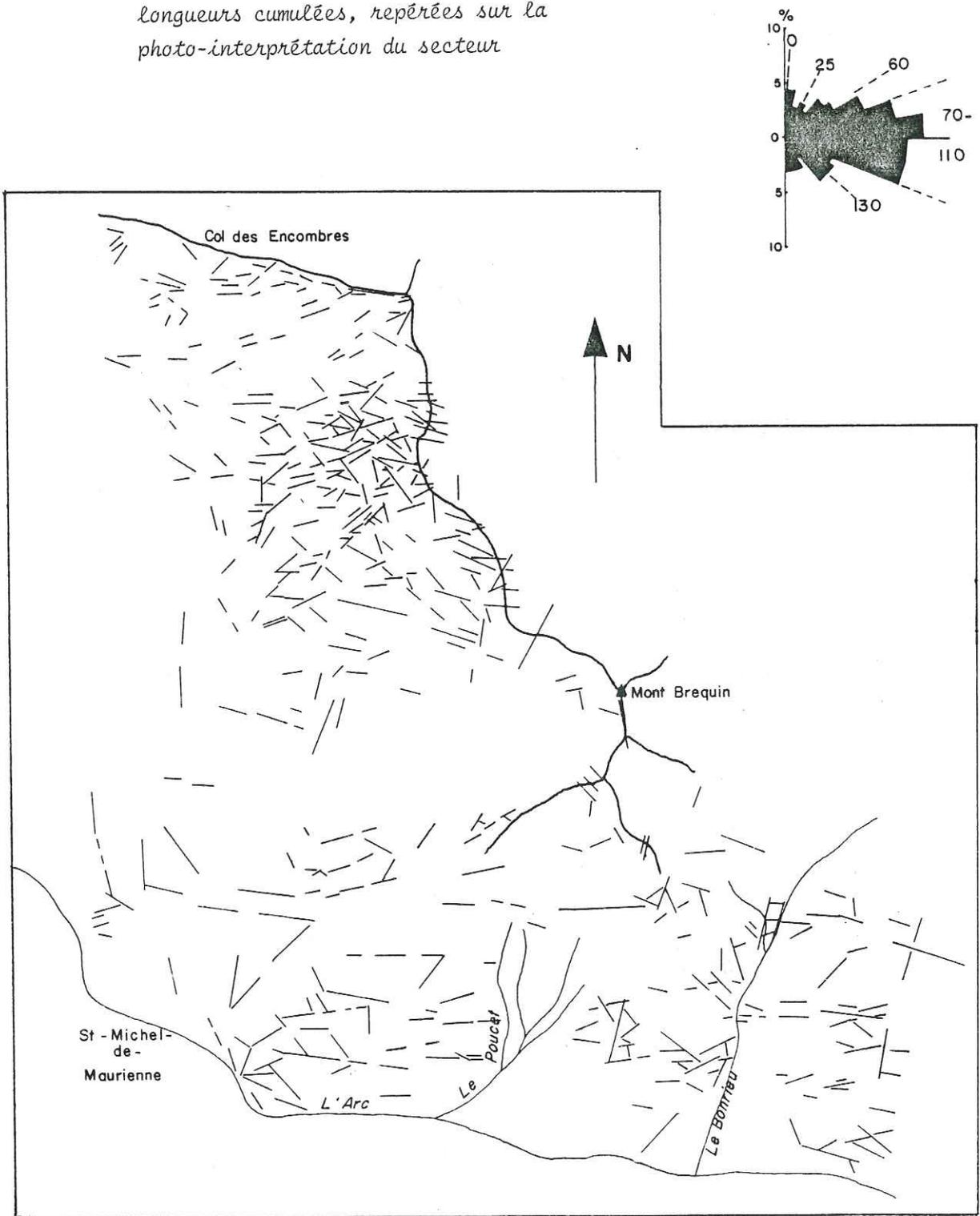


Fig. 2.16 : La fracturation du secteur (photo-interprétation)

0 1KM

Mais toutes ces données se sont révélées insuffisantes et il a fallu avoir recourt à une étude sur photographies aériennes pour approcher la fracturation aux échelles hecto. et kilométriques.

## B - TRAITEMENT DES DONNEES

L'interprétation des photographies aériennes a consisté surtout à repérer tous les alignements visibles et en particulier ceux de la végétation. Le but était de dessiner une rosace des pourcentages en longueurs cumulées selon chaque direction. Les erreurs de direction qui peuvent être commises en raison de la déformation sur le pourtour du cliché seront négligées, car sensiblement équivalentes aux erreurs commises en mesurant des plans à la boussole sur le terrain.

Les mesures sur affleurement aux échelles décimétrique et métrique furent transcrites sur un canevas équisurfaces de Schmidt pour comptage statistique

Ces deux méthodes, complémentaires, furent menées parallèlement, d'abord en considérant la totalité du terrain étudié, puis en ne s'intéressant qu'à des secteurs plus réduits, et enfin ponctuellement sur chaque station de mesure.

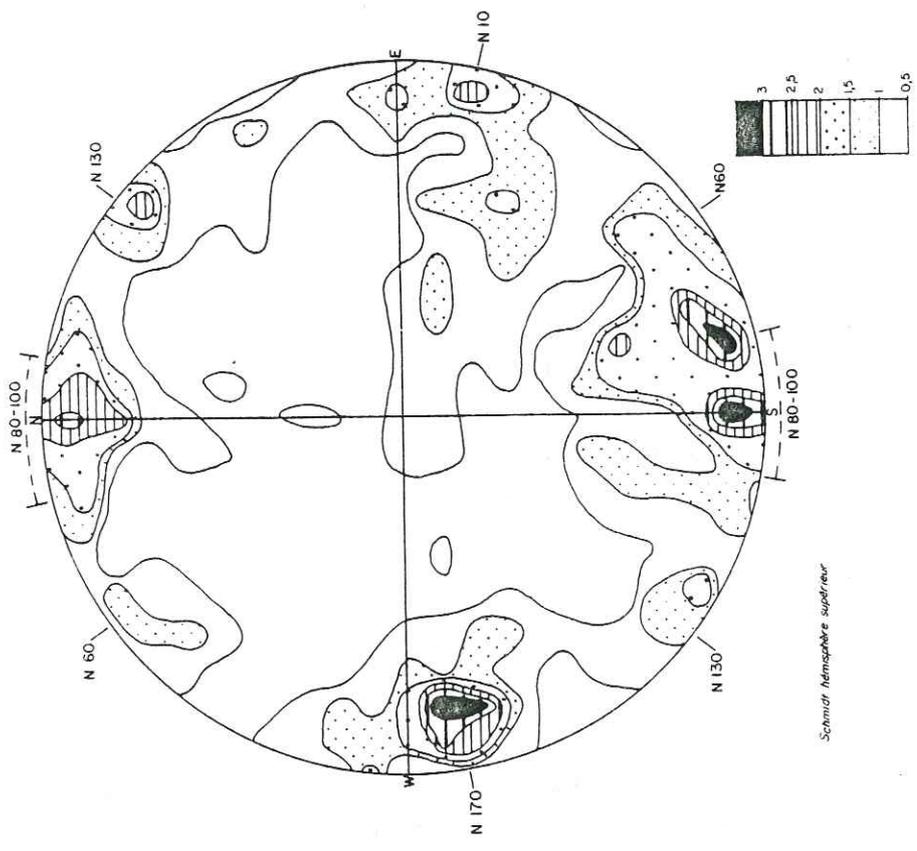
## C - ETUDE GENERALE

### 1°) Les principales directions

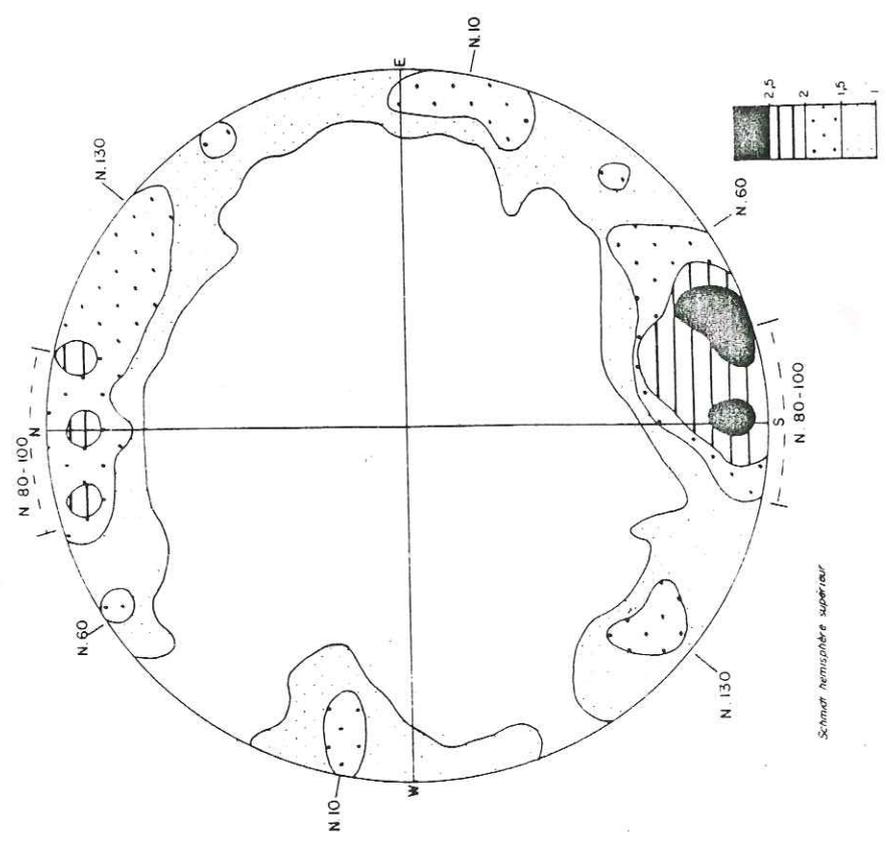
Les photographies aériennes font ressortir cinq directions principales (fig. 2.16 et 2.17) :

- N 70-110 (c'est-à-dire en moyenne N 90) est la plus fréquente,
- N 60 ) apparaissent nettement bien que, proches de la famille
- N 130 ) principale, elles aient tendance à se confondre avec le groupe précédent.
- N 0 ) sont des directions très mineures.
- N 25 )

Le rapport sur canevas de Schmidt de la totalité des mesures effectuées (2 443) ainsi que celui des fractures grandes et moyennes (plus de 0,5 m de long) font à peu de différences près ressortir les mêmes familles ayant



Grandes et moyennes fractures (736 mesures)



Toules fractures (243 mesures)

Fig. 2.18 : Comptage statistique sur canevans de Schmidt des fractures relevées sur tout le secteur d'étude

toutes un pendage subvertical et dont les directions sont (fig. 2.18) :

- N 80-100 très nettement dominante, surtout si l'on considère la totalité des fractures mesurées.
- N 60 ) moins importantes que la première, et sensiblement
- N 130 ) équivalentes entre elles.
- N 0-20 )

De plus, il faut signaler que, sur le canevas ne regroupant que les fractures d'extension supérieure à 0,5 m, il apparaît une autre famille, très bien représentée en pourcentage, de direction N 170. Mais il est possible de la relier à la famille N 0-20, ce qui nous donnerait une famille de direction subméridienne mal réglée (la direction variant de N 170 à N 20).

Nous voyons donc que, quelle que soit l'échelle d'observation selon laquelle on se place, les directions qui ressortent sont sensiblement les mêmes c'est-à-dire :

- une direction Est-Ouest principale (11 % en photographie aérienne et plus de 3 % sur canevas de Schmidt),

- une direction subméridienne, très bien représentée sur les canevas de Schmidt (plus de 3 %) mais qui ressort moins sur la photographie aérienne (4,5 %).

Cette différence peut s'expliquer par le fait que nous avons volontairement négligé les alignements Nord-Sud visibles sur les photographies aériennes car ils représentent la plupart du temps, comme on peut le constater sur le terrain, la direction de la stratification soulignée par des alternances de terrains durs en relief (barres de grès) et de terrains tendres (schistes) surtout lorsque les bancs se trouvent en position subverticale,

- deux directions de moindre importance, N 60 et N 130, sensiblement équivalentes entre elles avec toutefois un léger avantage à la première citée (en photographie aérienne : 7,5 % contre 5 % et sur canevas de Schmidt : 3 % contre 2 %).

Enfin, il est bon de remarquer que ces quatre familles sont constituées par des fractures verticales ou à fort pendage (plus de 70°). Ce fait est encore mieux souligné par une petite étude effectuée en classant uniquement les

fractures verticales ou à pendage élevé, ce qui fait ressortir les quatre mêmes directions N 90, N 10, N 135 et N 60 (fig. 2.19).

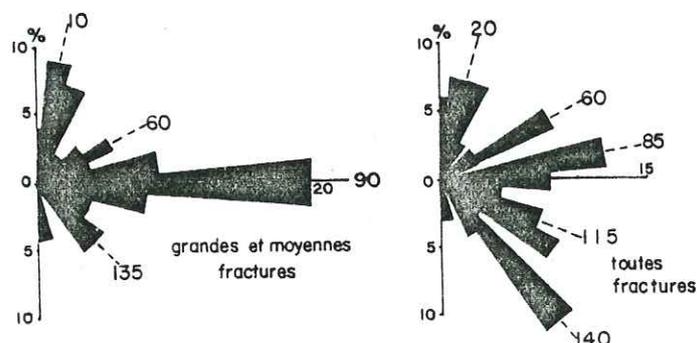


Fig. 2.19 : Rosaces de direction des fractures verticales et à pendage fort (+ 70°) sur tout le secteur

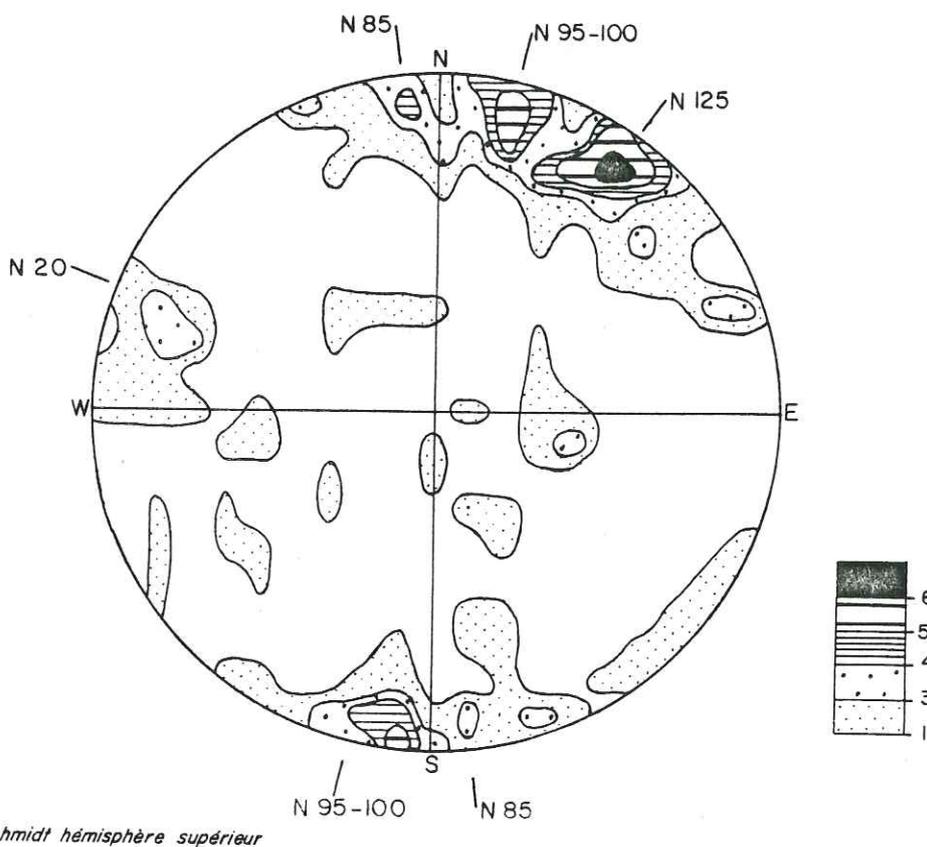
## 2°) Les critères d'interprétation

A partir de ces données brutes, nous avons donc pu tirer un schéma purement descriptif de la situation de la fracturation en en faisant ressortir les directions majeures. Mais nous n'avons pas pu déterminer le rôle précis de ces différentes familles afin de reconstituer un mécanisme de déformation et de déterminer une direction de contrainte maximale.

Pour ce faire, les données de terrain sont malheureusement peu nombreuses. En effet, les observations de sens de mouvements sur des plans de failles ou de décalages nets de part et d'autre d'une faille sont très rares ; par contre, nous disposons de nombreuses mesures de fentes à quartz, c'est-à-dire de fentes de tension dont la direction représente, selon le schéma classique, la direction de la contrainte maximale.

Le report, sur canevas de Schmidt, des mesures effectuées sur des fentes à quartz (fig. 2.20), fait ressortir une zone de forte densité de fracture, assez mal réglée en direction puisqu'elle couvre une surface comprise entre N 80 et N 130, avec un pendage subvertical. En détaillant un peu, on individualise trois maximums situés respectivement en N 85, N 90 et N 100 dominant et N 125 mineur. De plus, il est bon de signaler une direction N 20

qui ressort assez peu (3 %) mais qui est néanmoins non négligeable.



*Schmidt hémisphère supérieur*

Fig. 2.20 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt des fentes à quartz (185 mesures)

Cette étude brute des fentes à quartz seules, ne donne pas un reflet suffisamment précis des choses ; c'est pourquoi nous avons effectué en plus un comptage du rapport des fentes à quartz sur les fractures totales dans chaque classe de direction (de 20 en 20 °) ce qui donne le tableau suivant (fig. 2,21) :

Direction /N	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	TOTAL
Discontinuités totales	222	201	231	280	276	261	249	212	185	2 121
Fentes Qtz.	10	15	6	18	32	28	22	10	4	155
%	4,5	7,5	2,6	6,4	11,6	10,7	8,8	4,7	2,2	6,8

Tableau 2.1 - Rapport des fentes à quartz aux fractures totales par classes de directions.

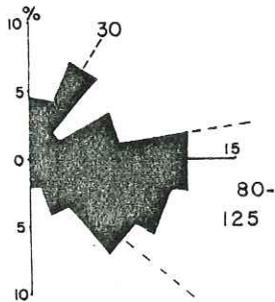


Fig. 2.21 : Rosace des pourcentages de fentes à quartz par rapport aux fractures totales, par classes de directions.

Nous voyons donc que les fentes à quartz représentent 6,8 % du total des discontinuités mesurées et que deux familles ressortent positivement par rapport à cette moyenne générale : ce sont les familles N 80-125 et à un degré moindre N 30. Ces deux familles sont pratiquement les mêmes que celles qui ressortent de l'étude sur canevas de Schmidt.

### 3°) Conclusions

Nous pouvons donc conclure que nous avons affaire ici à une compression majeure de direction N 80-100, ce qui correspond au schéma classique de la formation des Alpes, avec en outre, peut-être, une deuxième phase de compression de direction N 20-30, ayant pu donner des bombements tardifs d'axe N 110-120 et faire rejouer en décrochement des fentes de tension à quartz, comme tendrait à le montrer l'observation de stries horizontales sur certains plans abondamment garnis de quartz.

Les directions de fracturation qui ressortent le mieux en photographies aériennes (N 70-110) et sur canevas de Schmidt (N 90) correspondent donc à des fractures en extension.

Les deux directions N 50-60 et N 130-140, bien visibles surtout en photographie aérienne, pourraient alors représenter des familles en décrochement, coulissant selon le schéma classique suivant : la famille N 50-60 dans le sens dextre et la famille N 130-140 dans le sens sénestre (fig. 2.22), en remarquant toutefois que la première citée prend légèrement le pas sur la seconde.

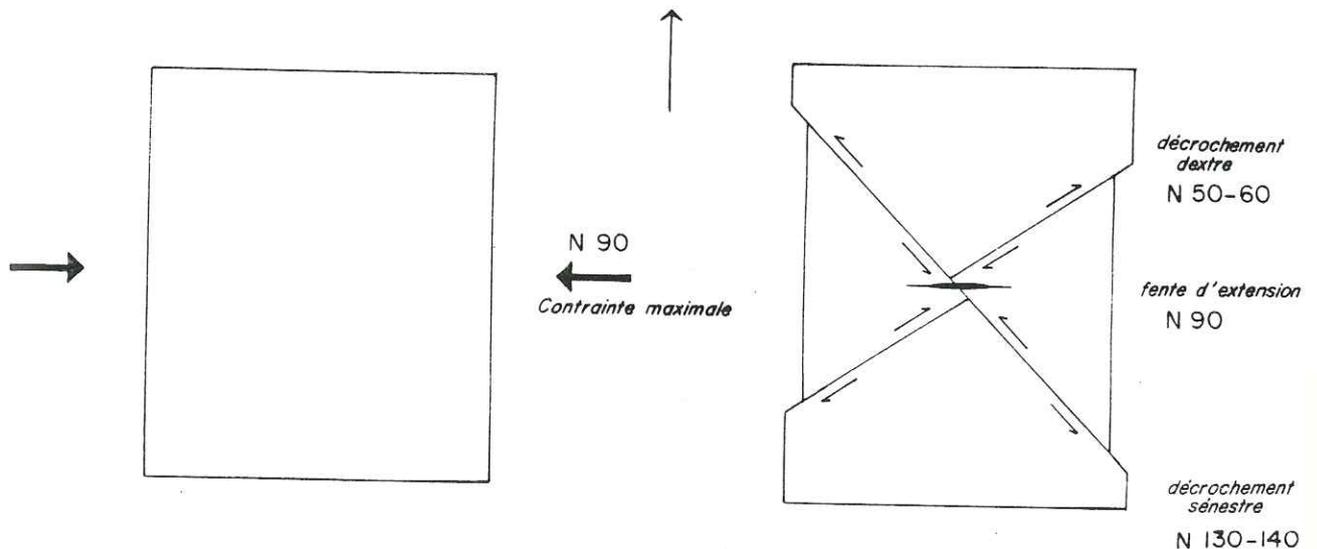


Fig. 2.22 : Schéma des décrochements associés à une zone en compression

A ces deux décrochements N 50-60 dextre et N 130-140 sénestre, on peut associer selon, le schéma de Riedel, des fentes de tension de deuxième

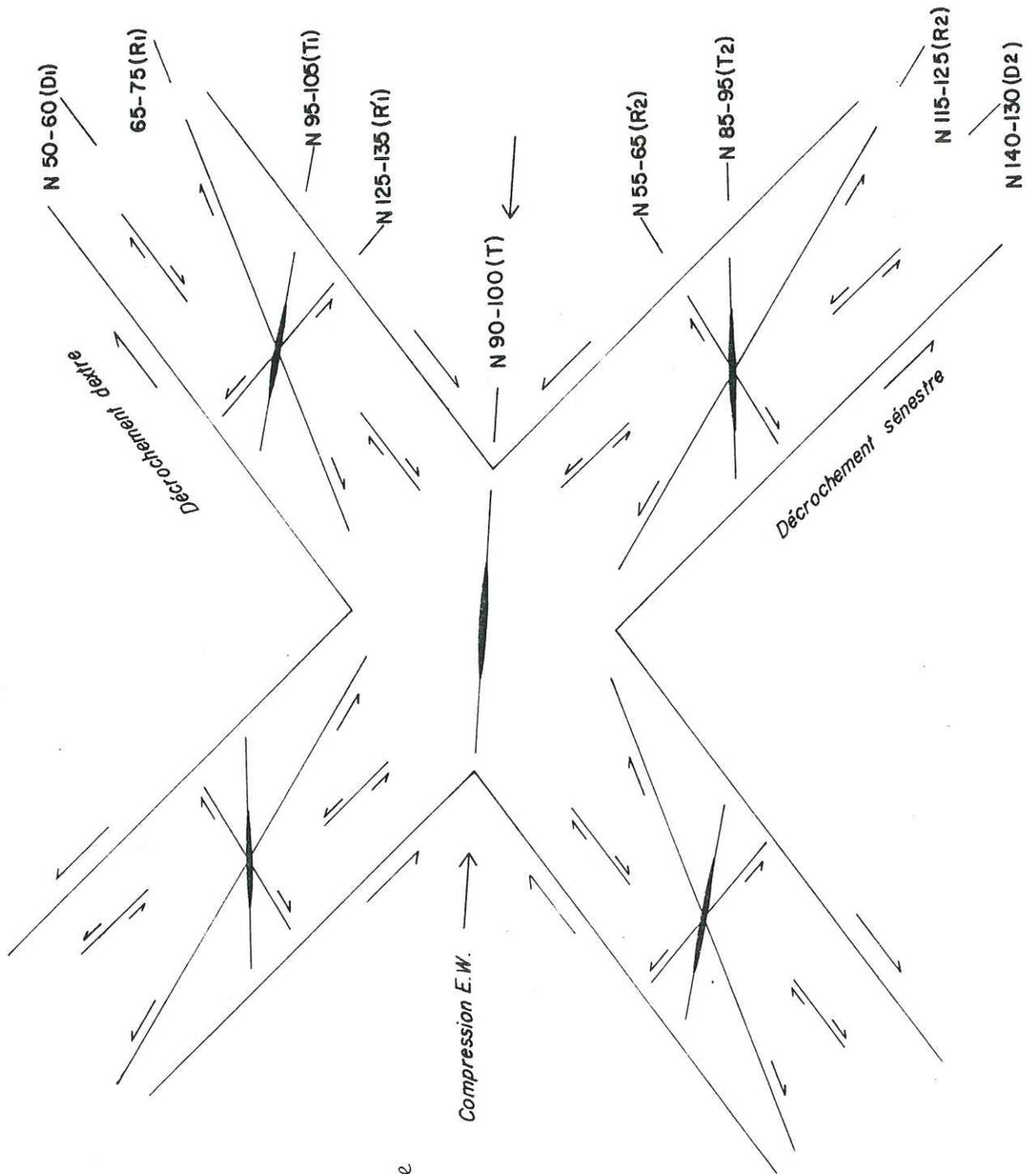


Fig. 2.23 : Position schématique des deux zones en décrochement (avec leurs riedels) associées à une compression Est-Ouest.

ordre de directions respectives N 100 et N 80, ce qui éclaire quelque peu la large extension en direction de la plage des fentes à quartz sur le canevas de Schmidt. De plus, il est également possible d'ajouter à ces différentes familles déjà citées, les fractures de Riedel R et R', selon le schéma de la fig. 2.23.

La famille de direction subméridienne (N 170-20) ne semble pas entrer dans ce schéma et l'on peut penser qu'elle se rapporte à une ou deux autres phases cassantes : d'une part, R. FABRE (1982) décrit dans la région de Névache une phase précoce subméridienne abaissant les compartiments Est ; d'autre part, il semblerait qu'il existe une phase de compression tardive N 20-30 entraînant la formation de grands bombements d'axe N 110 environ.

Quant à la famille de direction N 25, très mineure, visible en photographies aériennes, elle semble se rapporter surtout à des fractures à pendage faible dirigé vers le Sud-Est, comme le montre l'étude des fractures par classes de pendage (fig. 2.24). Elle pourrait correspondre à la phase plicative principale engendrant des plis et des écaillages déversés vers l'Ouest.

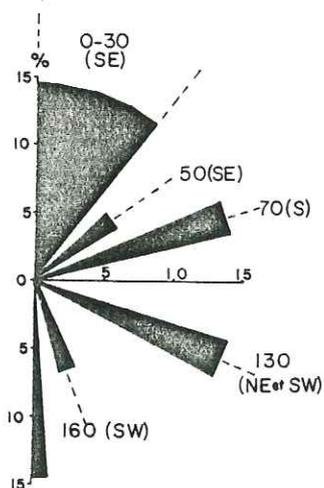


Fig. 2.24 : Rosace de direction des fractures à pendage faible, mesurées sur tout le secteur.

#### D - ETUDE DETAILLEE

Afin d'entrer un peu plus dans le détail, le terrain a été divisé en deux secteurs : Est (où affleure le Houiller stérile) et Ouest (où affleure le Houiller productif). Les limites de ces secteurs ont été définies précédemment.

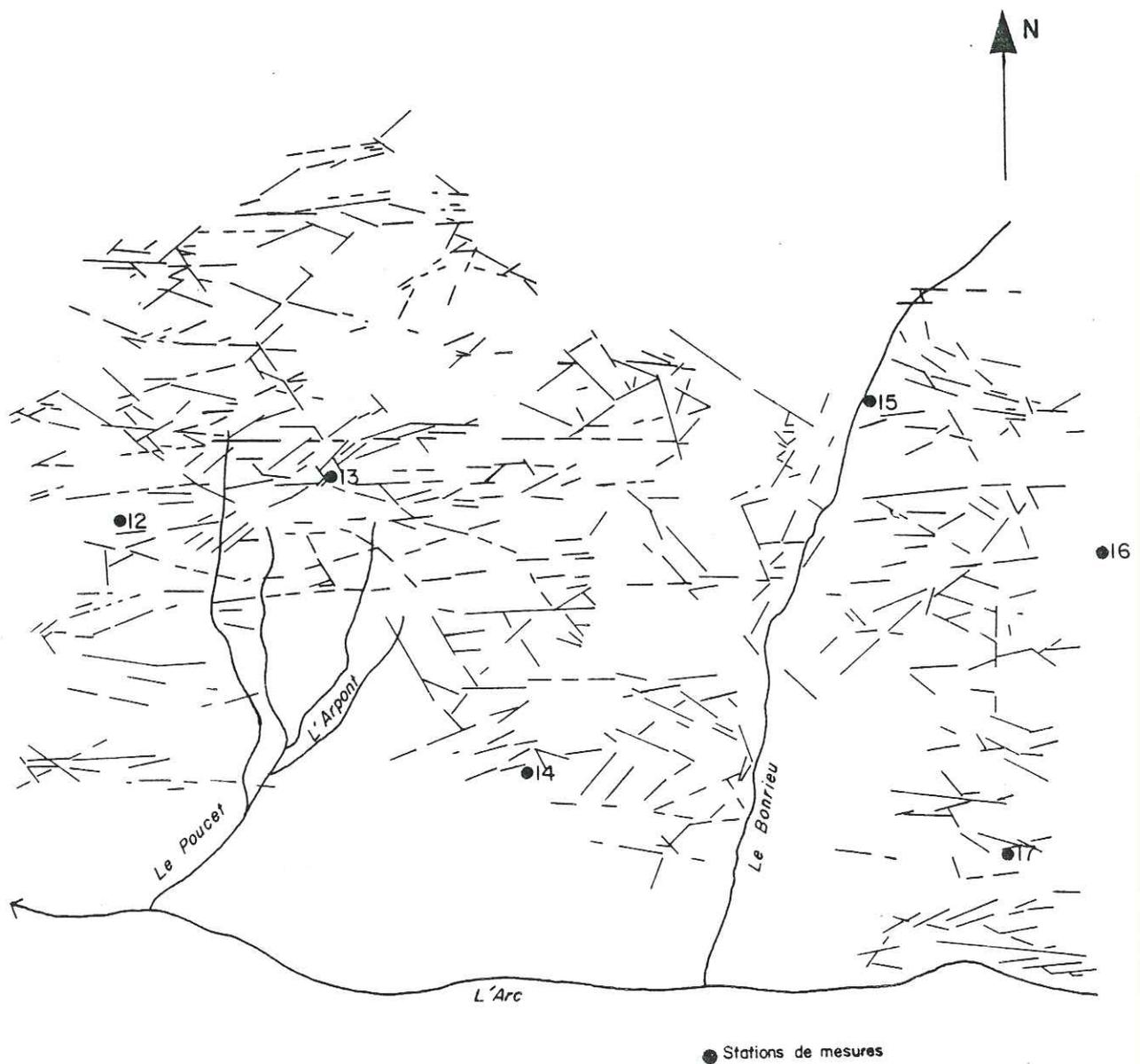


Fig. 2.25 : Fracturation du secteur Est (photo-interprétation)

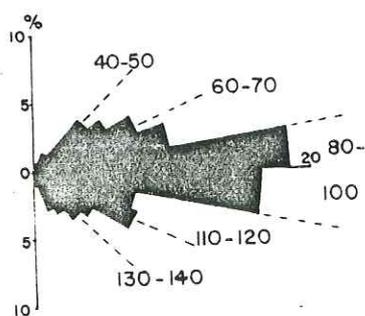


Fig. 2.26 : Rosace des directions de fractures, en longueurs cumulées, repérées sur la photo-interprétation du secteur Est.

### 1°) Le secteur Est

La photointerprétation (cliché -144, mission Modane-Lanslebourg 1967) nous livre cinq directions (fig. 2.25 et 2.26) qui sont, par ordre décroissant d'importance :

- N 80-100 très dominante,
- N 60-70 et N 110-120 équivalentes,
- N 40-50 et N 130-140 équivalentes également.

Le report sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur les stations 12 à 17 individualise les familles suivantes (fig. 2.27) :

- N 65-75,
- N 80-95,
- N 55
- N 0-20

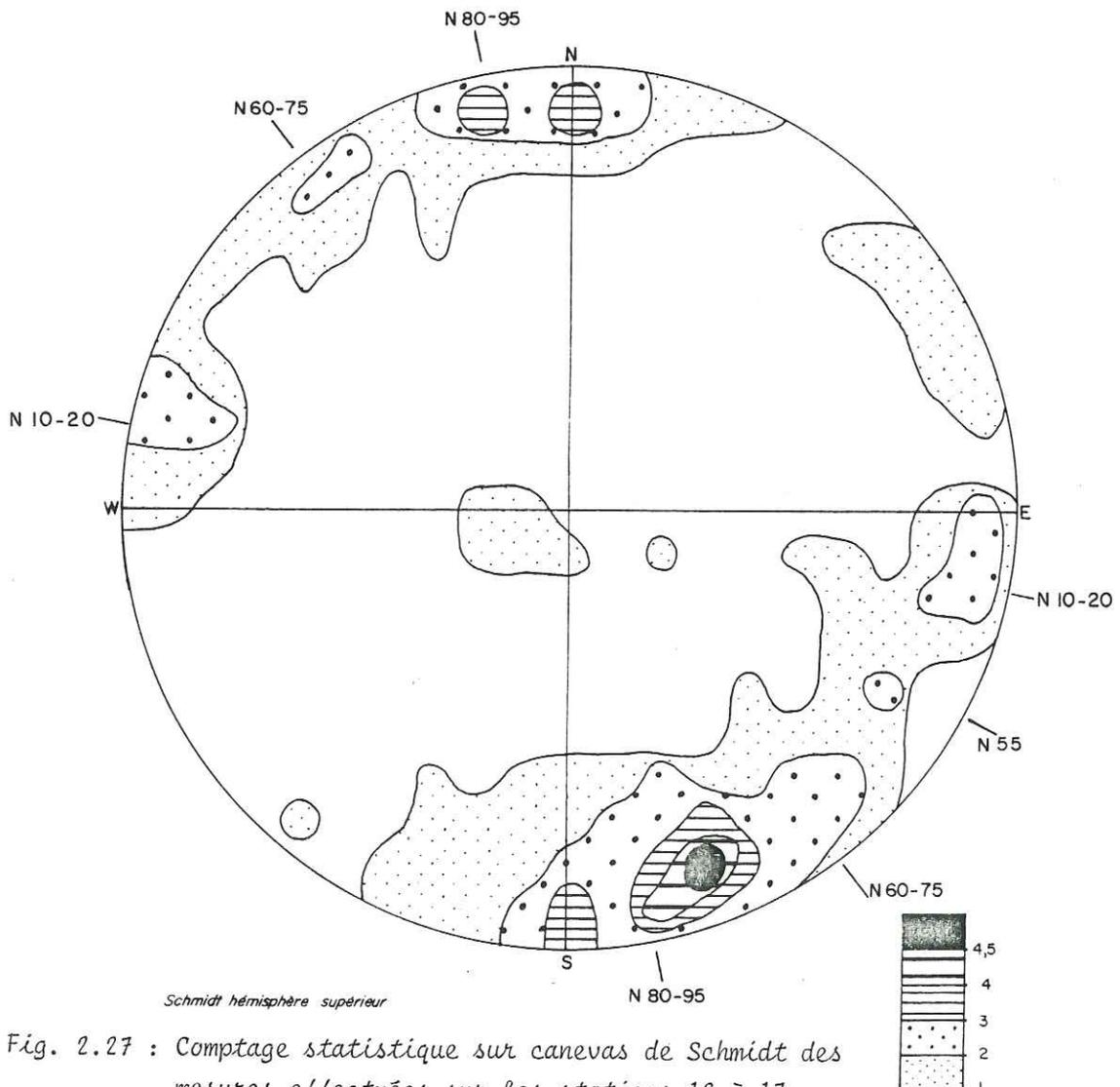


Fig. 2.27 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur les stations 12 à 17 (environ 1000 mesures).

Nous voyons donc dans les deux cas, ressortir trois familles équivalentes: deux familles Est-Ouest (N 60-70 ou N 65-75 et N 80-100 ou N 80-95) et une famille Sud-Ouest-Nord-Est (N 40-50 ou N 55). Il y a donc deux familles représentées en photographie aérienne (N 110-120 et N 130-140) qui n'apparaissent pas à l'échelle de l'affleurement, et une famille Nord-Sud (N 0-20) visible sur le terrain qui n'apparaît pas en photo (voir plus haut la tentative d'explication de ce dernier cas).

Nous pouvons essayer d'interpréter ces différentes familles de la manière suivante selon le schéma décrit dans le paragraphe précédent :

- deux familles en décrochement, l'une dextre située dans le N 40-50 et l'autre sénestre dans le N 130-140, apparaissent toutes deux en photographie aérienne, mais dont seule la première ressort à l'échelle de l'affleurement sur le terrain,
- une famille N 80-100 représentant les fentes de tension principales et secondaires liées aux deux zones en décrochement,
- deux familles N 60-70 et N 110-120 qui représentent les deux catégories de fractures de Riedel associées aux deux zones en décrochement. Il faut noter que là aussi, seule la première de ces familles est présente dans les mesures de terrain,
- une famille de direction subméridienne ayant la même signification que celle déterminée dans le paragraphe précédent.

Il semble donc que, dans ce secteur, les décrochements dextres de direction N 50, liés à une compression Est-Ouest, sont plus intenses que les décrochements sénestres N 130-140. Il suffit, pour s'en convaincre, de regarder les schémas de report sur canevas de Schmidt des mesures de terrain pour chaque station (fig. 2.28), où l'on peut voir que les familles le plus souvent présentes ont toutes des directions comprises entre N 30 et N 95, c'est-à-dire que seules les fentes de tension (T2), liées aux décrochements sénestres, apparaissent sur l'affleurement contre les fentes de tension (T1) plus les riedels (R1), liés aux décrochements dextres (D1).

## 2°) Le secteur Ouest

L'étude photointerprétative, effectuée sur les clichés N° 146, 151 et 183 de la mission Modane-Lanslebourg de 1967 (fig 3.29), nous livre cinq familles de direction (fig. 2.30) :

- N 80-100
- N 50- 60
- N 120-130
- N 140-150
- N 20-30

Le report sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur les stations 1 à 12 nous montre les familles suivantes (fig. 2.31) :

- N 80-90
- N 60
- N 110
- N 130
- N 10-30

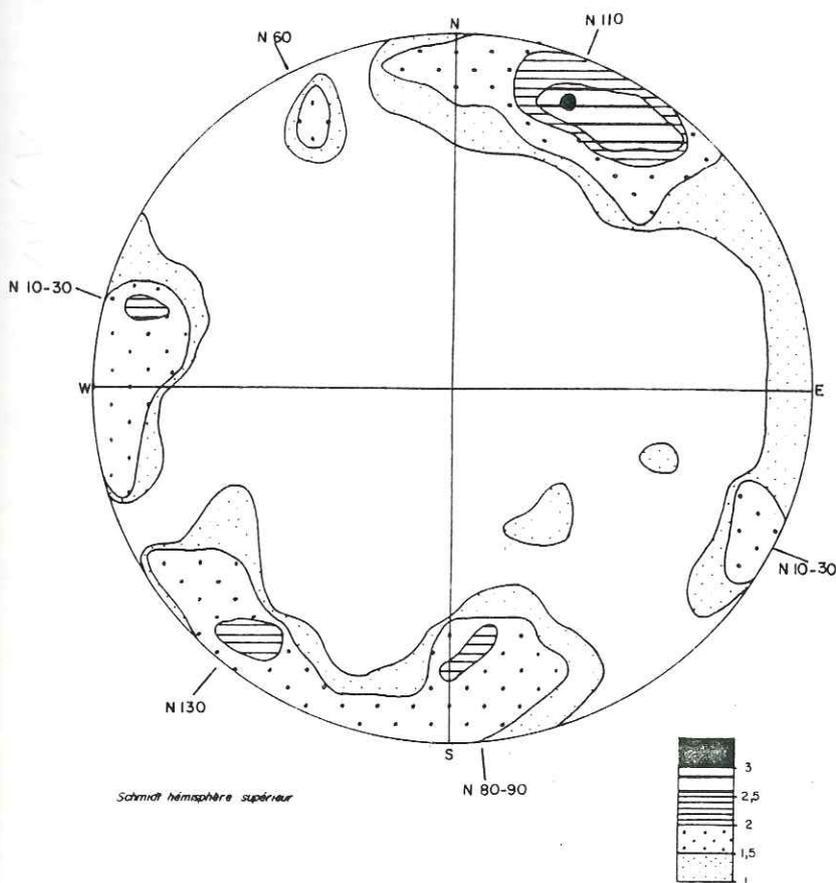


Fig. 2.31 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur les stations 1 à 12 (1150 mesures).

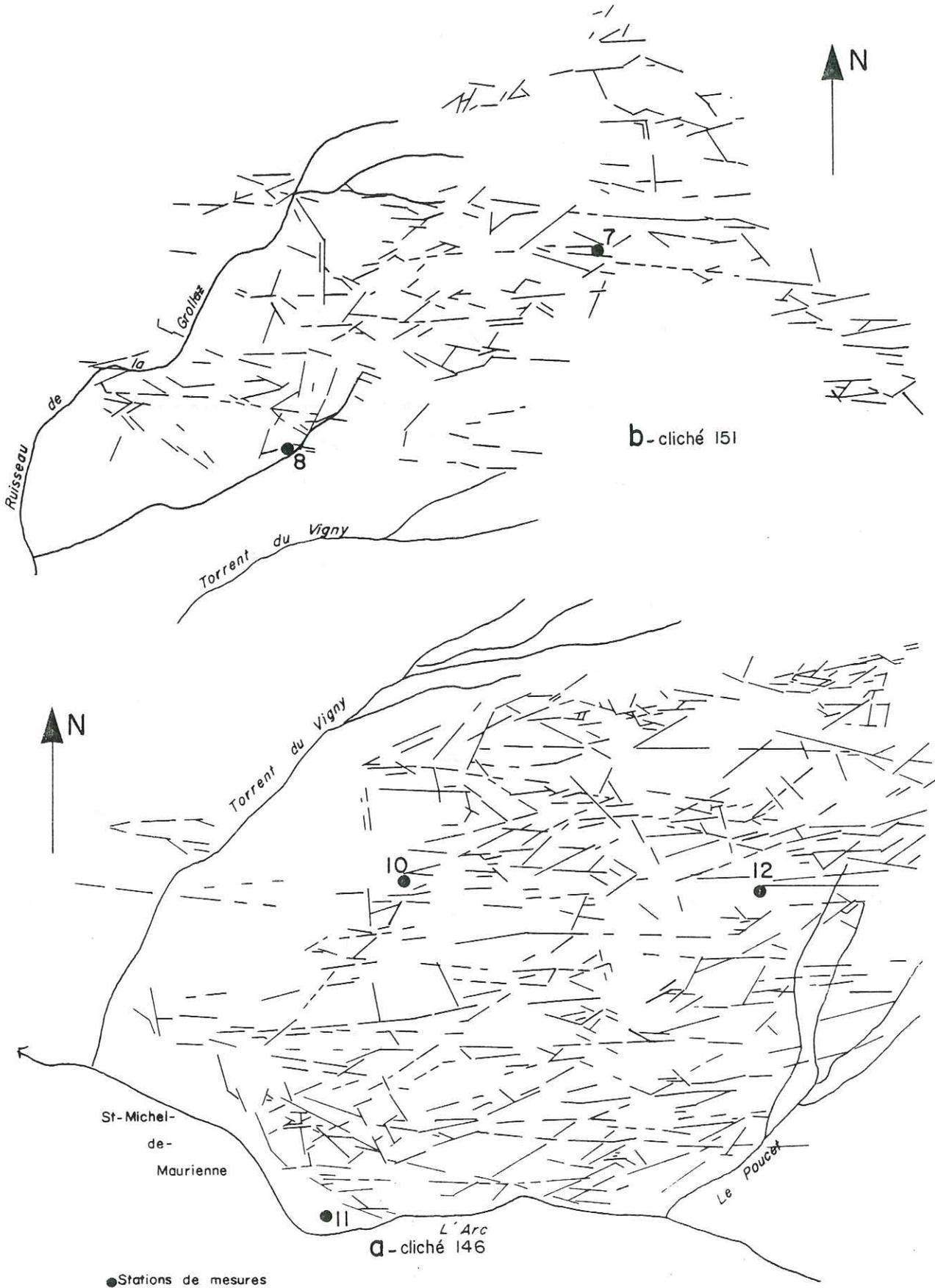


Fig. 2.29 : Fracturation du secteur Ouest (photo-interprétation)

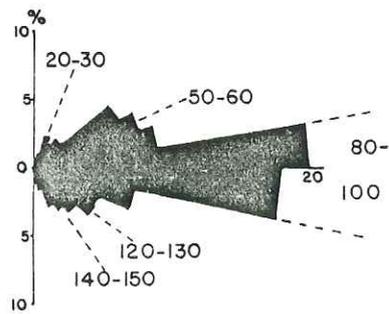
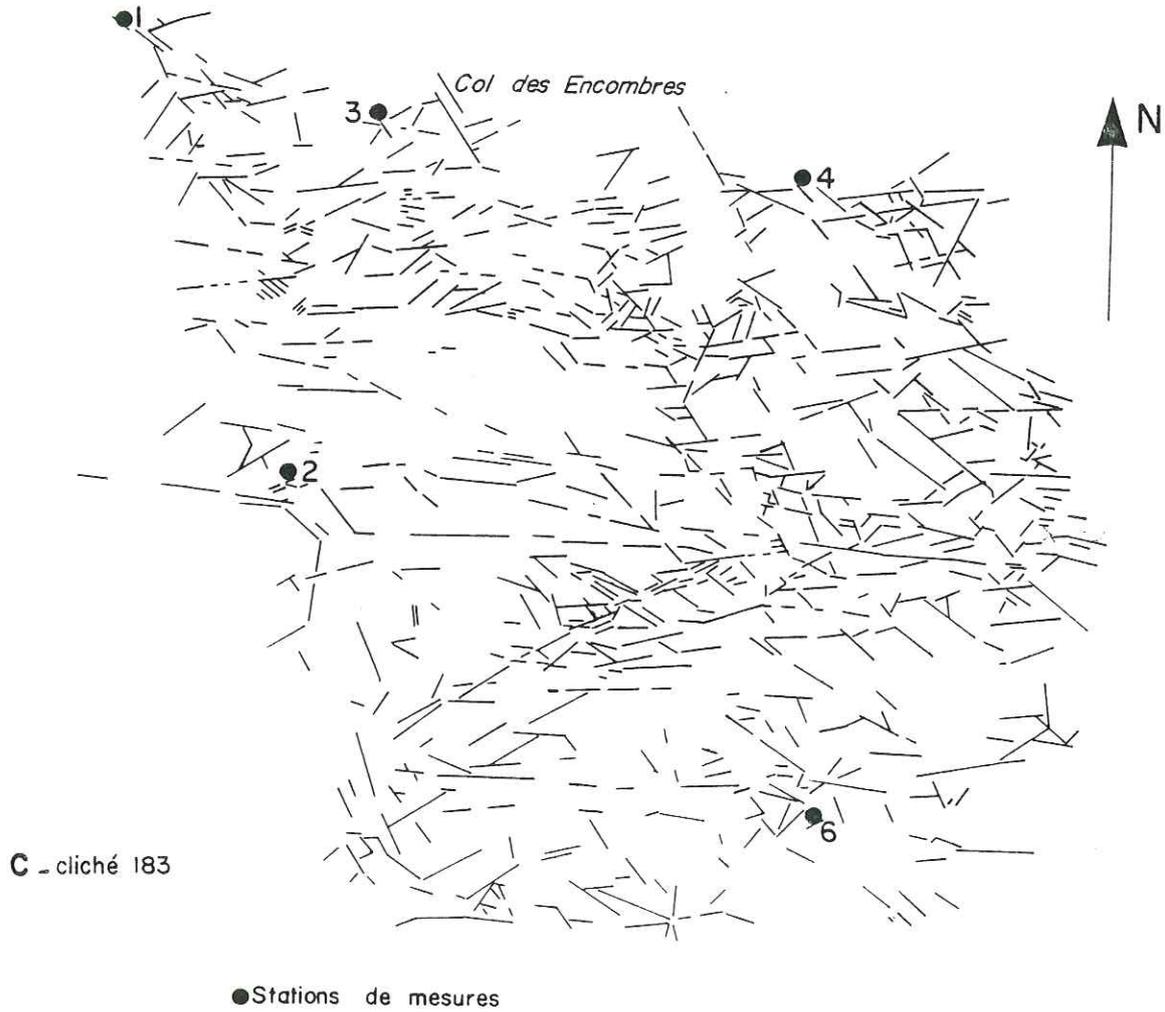


Fig. 2.30 : Rosace des directions de fractures, en longueurs cumulées, repérées sur la photo-interprétation du secteur Ouest.

Nous voyons donc ressortir, à peu de chose près, les mêmes familles par ces deux méthodes. Ces familles paraissent très semblables, par leurs directions, à celles du secteur Est, à une petite rotation près, d'environ dix degrés. L'interprétation de ces familles est identique à celle décrite pour le secteur Est, c'est-à-dire :

- N 50-60 et N 140-150 : deux décrochements respectivement dextre et sénestre,
- N 80-100 : fentes de tension associées aux zones en décrochement,
- N 110-120 ou N 120-130 : fractures de Riedel associées aux mêmes décrochements,
- N 20-30.

La différence avec le secteur étudié précédemment provient du fait qu'ici, aucune des deux zones en décrochement ne prend le pas sur l'autre, leur fréquence étant équivalente. D'ailleurs, la carte de localisation des stations de mesures avec pour chacune d'entre elles le report des principales directions ressortant de l'étude de la fracturation à l'échelle métrique et décimétrique (par report sur canevas de Schmidt), illustre assez bien ce fait, sauf pour trois d'entre elles (stations 2, 6, 7) situées sur une ligne orientée Nord-Ouest Sud-Est, le long de laquelle, localement les décrochements sénestres N 130-140 semblent dominer (fig. 2.28).

Cette légère différence entre les deux secteurs, à l'échelle de l'affleurement uniquement car à plus grande échelle elle n'apparaît pas, peut être expliquée par la différence de lithologie : en effet, les bancs durs (grès), plus minces, du Houiller productif, semblent plus aptes à reproduire toutes les déformations cassantes à petite échelle que les bancs épais du Houiller stérile. De plus, l'observation des cartes de fracturation tirées des photographies aériennes montre une moindre intensité de la fracturation dans le secteur Est.

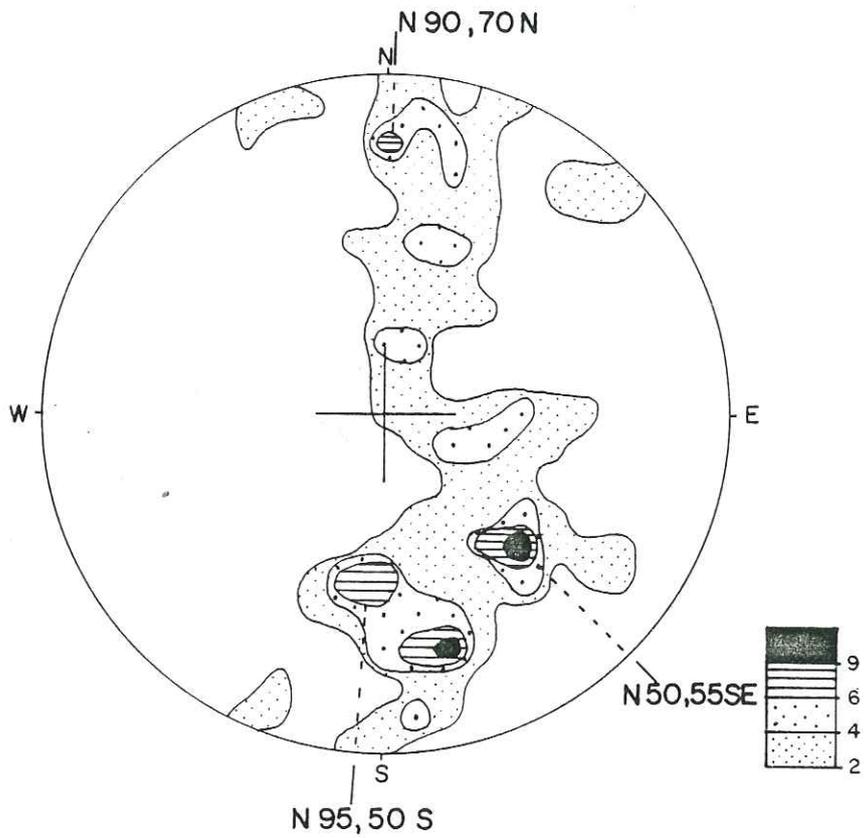
#### E - QUELQUES EXEMPLES PONCTUELS

##### 1°) Le col de Lachemonde

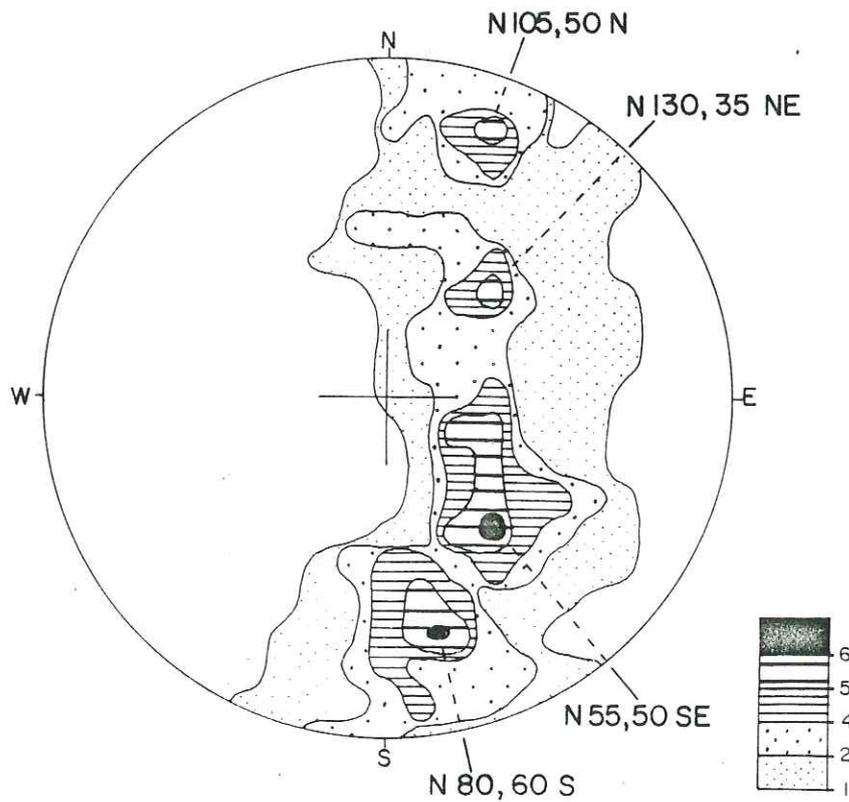
Cette station de mesure est située à l'extrême nord du terrain (fig. 2.15). Sur le diagramme (canevas de Schmidt) regroupant toutes les

# Col de Lachemonde

Grandes et moyennes fractures (46 mesures)



Toutes fractures (141 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 2.32 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 4

discontinuités mesurées (141 mesures), on voit les pôles s'aligner sur un grand cercle (fig. 2.32) mais avec toutefois quatre maximums très nets, que l'on peut rapporter aux directions des familles majeures décrites précédemment :

- N 55, 50 SE décrochement dextre D1,
- N 130, 35 NE décrochement sénestre D2,
- N 80, 60 S fentes de tension T2,
- N 105, 50 N fentes de tension T1.

De plus, sur le diagramme ne regroupant que les fractures de dimensions grande et moyenne (46 mesures), il apparaît deux autres familles : N 90, 70 N et N 95, 50S, qui sont formées par des fractures de plus grande extension à l'échelle de l'affleurement, et qui peuvent représenter les fentes de tension principales T liées à la direction de la contrainte maximale.

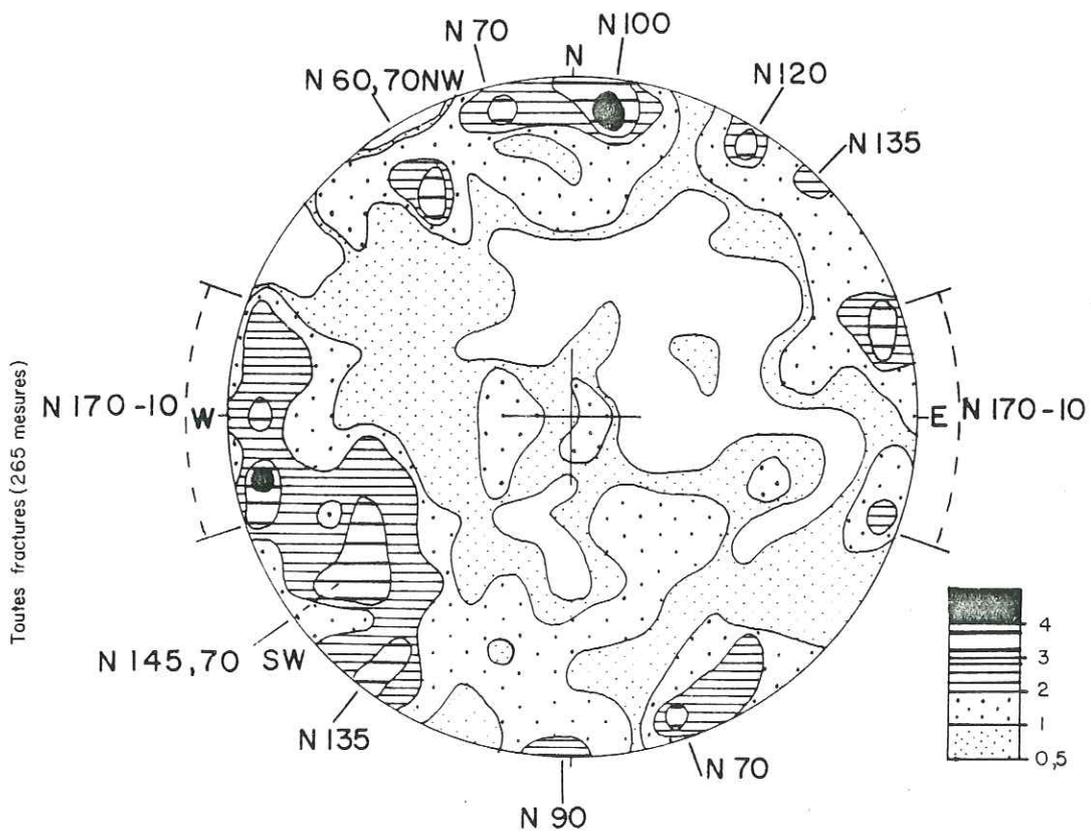
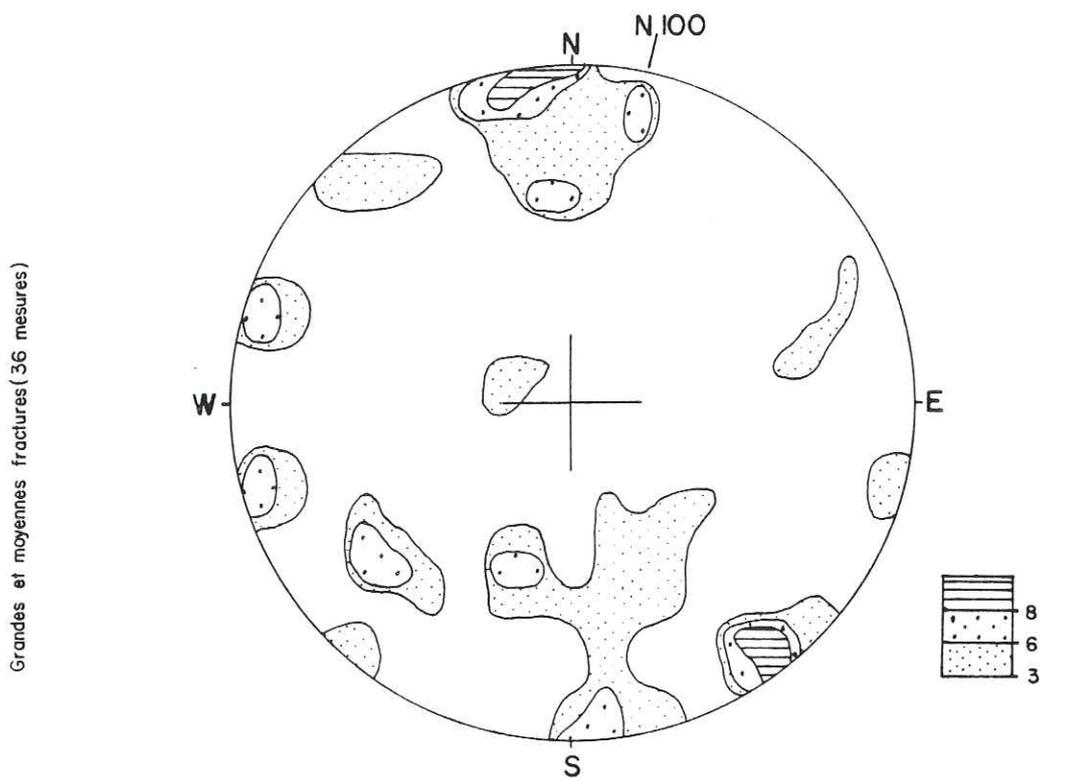
Ces conclusions sont en partie confirmées par l'observation des fentes à quartz qui, sur cet affleurement, sont toutes situées, en direction, entre N 80 et N 110.

## 2°) Les Avanières

Avec cette station, nous avons un deuxième exemple d'un lieu où les deux familles majeures décrochantes sont présentes ensemble. Mais la particularité de cette station est qu'elle se trouve située sur un affleurement très fracturé (265 mesures sur dix mètres) où les petites fractures sont très nombreuses. Nous voyons donc apparaître sur le canevas un grand nombre de maximums que l'on peut interpréter selon le schéma de Riedel (fig. 2.33) :

- N 90, vertical : T + T2,
- N 60, 70 W : D1 + R'2,
- N 135, vertical : D2 + R'1,
- N 100, vertical : T1,
- N 70, vertical : R1,
- N 120, vertical : R2,
- N 145, 70 SW : peut être P2,
- N 170-10, vertical : phase antérieure ou postérieure.

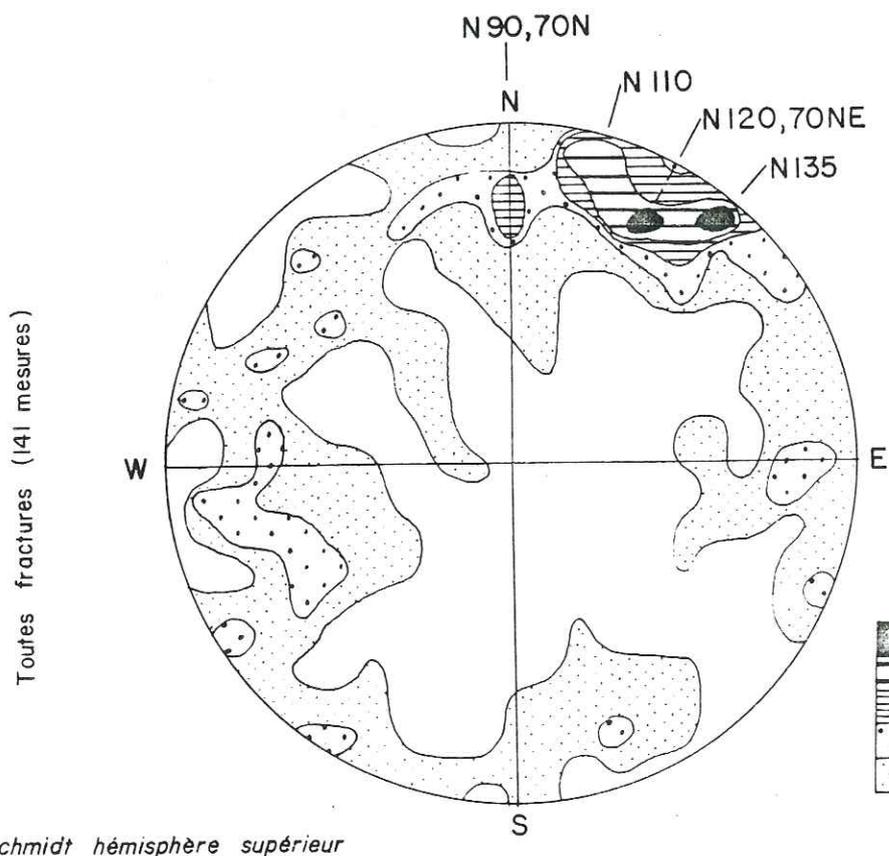
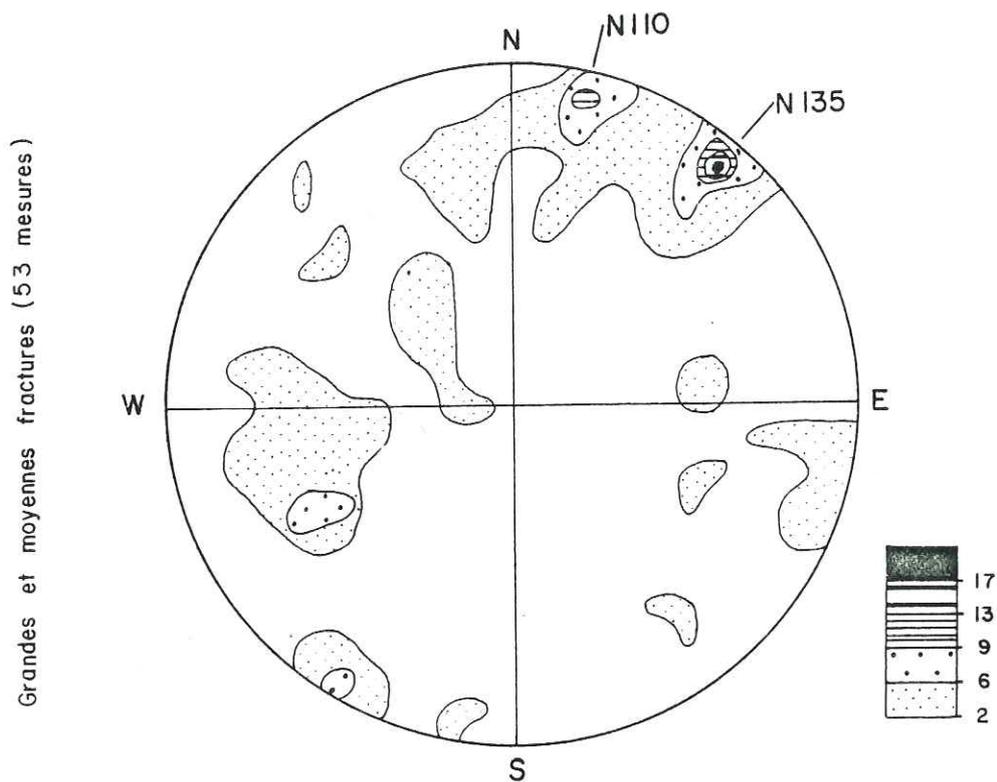
# Les Avanières



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 2.33 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 8.

# La Léchère



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 2.34 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 2.

### 3°) La Léchère

Cette station de mesures fait partie des quelques unes (avec les stations 11, 14 et 17) pour lesquelles la famille 2, avec son décrochement sénestre de direction Nord-Ouest - Sud-Est, domine. En effet, nous voyons apparaître sur les deux canevas les mêmes directions qui sont (fig. 2.34) :

- N 135, vertical : D2,
- N 120, subvertical : R2,
- N 90, 70 N : T,
- N 110, vertical : peut être T1 bien que D1 n'apparaisse pas ici.

### 4°) Le Bois Noir

Cette station, quant à elle, est représentative de ce que l'on rencontre dans le secteur Est, c'est-à-dire que la famille en décrochement dextre N 50 domine et apparaît à peu près seule sur le canevas de Schmidt, aussi bien en considérant uniquement les fractures grandes et moyennes que les fractures de toutes dimensions. Les maximums visibles sur le canevas (fig. 2.35) sont :

- N 50, 70 SE : D1,
- N 70, 75 S : R1,
- N 90, 80 S (bien individualisé, surtout sur le canevas ne regroupant que les grandes et moyennes fractures) : T + T1,
- N 35, 70 SE : peut être P1.

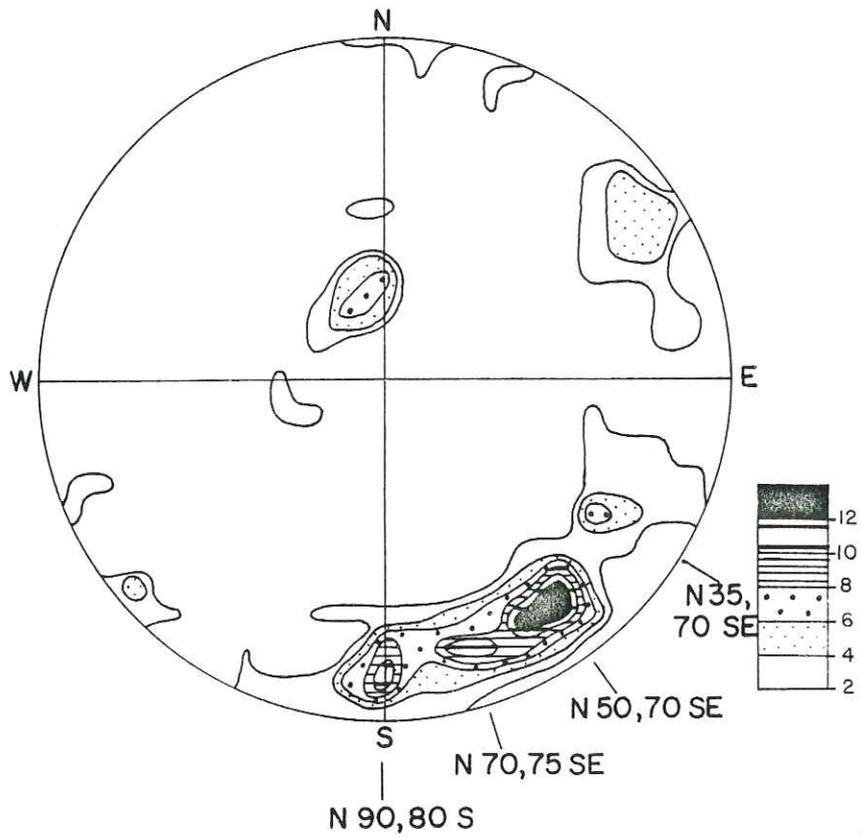
### 5°) Col de la Grande Combe

Nous abordons, avec ce dernier exemple, le cas particulier d'une station qui ne nous révèle qu'une seule famille très dominante de direction N 110-120, 80 N (elle représente sur le canevas ne regroupant que les grandes et moyennes fractures, plus de 20 % des cas, et sur celui regroupant toutes les fractures, plus de 11 %) (fig. 2.36). Sur le terrain, cette famille se montre composée de fractures de grande extension (plus de dix mètres), ouvertes (parfois de plus d'un mètre), découpant le massif en tranches. A part celle-ci, on doit tout de même noter qu'une seconde famille apparaît, mais avec une fréquence bien moindre ; elle est de direction N 20, 60 W.

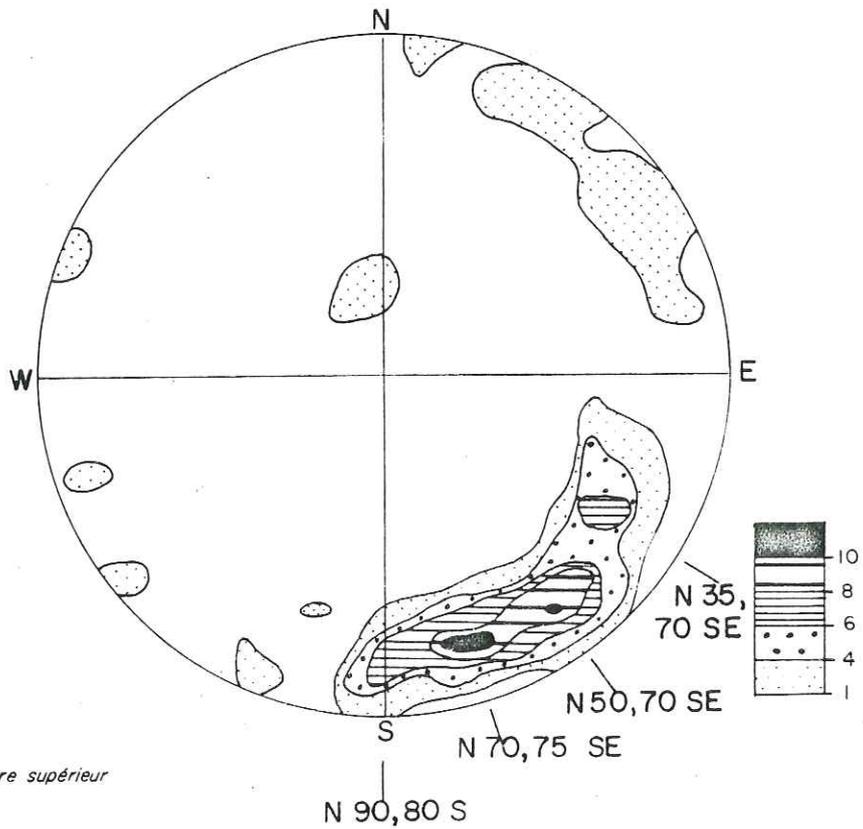
Cette disposition n'est pas conforme au schéma fixé précédemment et l'on peut tenter d'expliquer le fait en assimilant les fractures ouvertes N 110

# Le Bois Noir

Grandes et moyennes fractures (51 mesures)



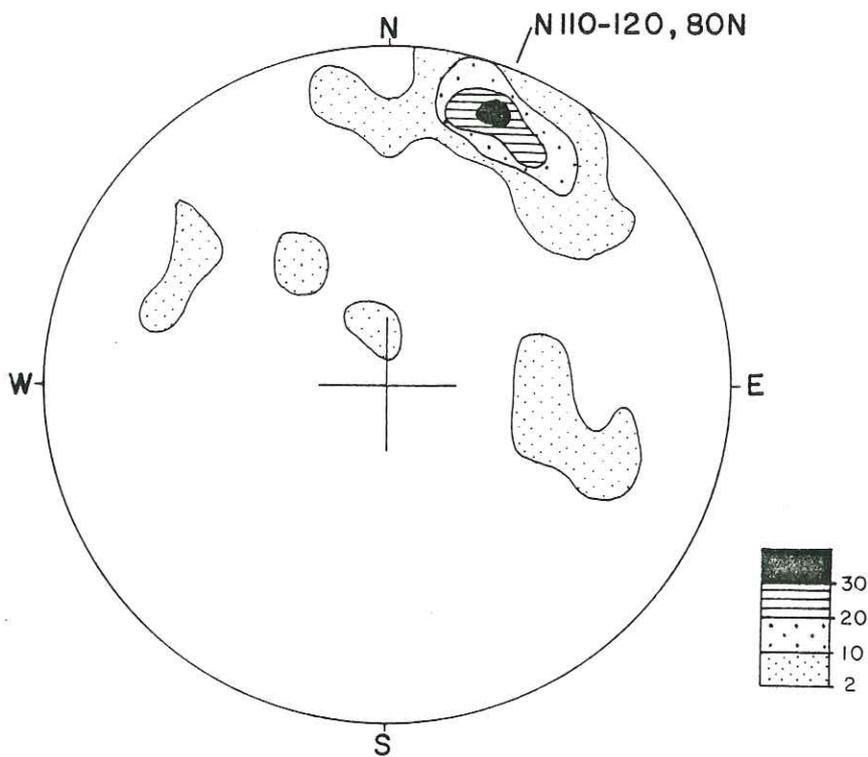
Toutes fractures (137 mesures)



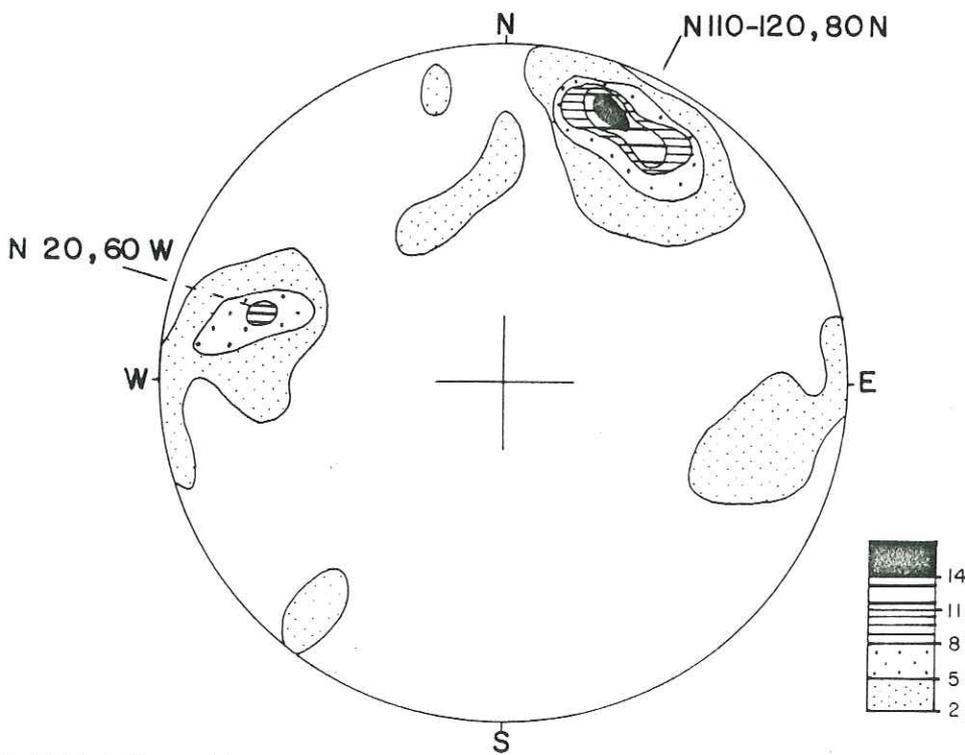
Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 2.35 : Comptage statistique, sur canevas de Schmidt, des mesures effectuées sur la station 14.

Grandes et moyennes fractures (36 mesures)



Toutes fractures (131 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 2.36 : Comptage statistique, sur canevas de Schmidt, des mesures effectuées sur la station 5.

à des fentes d'extrados (l'ouverture initiale de ces fentes est ensuite très accentuée par des phénomènes de glissement couche sur couche), liées à un bombement tardif à grand rayon d'axe N 110. Ce bombement semble lui-même lié à un phénomène de rotation de la contrainte maximale qui s'oriente alors dans le N 20-30 (cela a déjà été mentionné dans le paragraphe traitant de l'étude des fentes à quartz).

Cette disposition est très peu visible ailleurs, ce qui permet de dire que l'intensité de cette seconde phase de compression devait être beaucoup moins importante, et que ce sont des conditions locales particulières qui ont permis de la faire ressortir de manière spectaculaire dans ce secteur. Ces conditions peuvent être l'accentuation de l'ouverture des failles N 110 par des phénomènes de glissement couche sur couche vers le Sud.

## C H A P I T R E V

H Y D R O G E O L O G I E

Il est indéniable que l'eau joue un rôle prépondérant dans le déclenchement et la progression des glissements de terrain ; que ce soit l'eau qui circule rapidement (ruissellement de surface), lentement (circulation souterraine) ou qui est stockée dans le terrain (nappe d'imprégnation et de fissures).

C'est pourquoi nous allons tenter de définir les règles de comportement des eaux superficielles et souterraines de notre secteur d'étude.

Nous avons présenté précédemment (première partie) des tableaux donnant une bonne idée de la pluviosité du secteur étudié, ainsi que les éléments principaux de l'écoulement de surface. Nous allons maintenant étudier plus en détail le devenir de l'eau météorique en analysant de façon plus précise la circulation de surface (écoulement) et la circulation souterraine (stockage).

Nous avons bénéficié, pour réaliser cette étude, outre nos observations de terrain, de trois rapports inédits : le premier est intitulé "Inventaire des ressources en eau potable en montagne - Secteur de la Maurienne (vallée de l'Arc) en amont de St-Jean-de-Maurienne" (G. NICOUD, Université de Savoie, 1978) ; le second "Galerie du Bonrieu (Savoie)" (J.-P. BOIS et J. FABRE, BRGM, 1958) et le troisième concernant le résultat de deux sondages carottés effectués par la société SIMECSOL pour le compte du C.E.T.E. Lyon en 1982.

A - LA CIRCULATION DE SURFACE (voir carte du réseau hydrographique et des sources : Annexe IV et tableau 2.2)

Le terrain étudié se situe entièrement en rive droite de l'Arc qui constitue l'exutoire unique. Il coule d'Est en Ouest, encaissé entre ses berges, et il n'alluvionne pas, ou très peu, comme dans l'ombilic de St-Michel-de-

Tableau 2.2 : Sources répertoriées sur les bassins versants de Saint-Martin-de-la-Porte, de la Grollaz et du Vigny.

LOCALISATION	N°	COORDONNEES			DEBIT l/s	TEMPE- RATURE (°C)	RESISTI- VITE ( $\Omega \text{ cm}^{-1}$ )	CONDITIONS A L'EMERGENCE	CONDITIONS GEOLOGIQUES
		X	Y	Z					
<b>BASSIN VERSANT DE SAINT-MARTIN-DE-LA-PORTE</b>									
La Croix des Têtes	1	922,75	3336,15	1520	0,35	-	2620	Suintements	Schiste
"	2	923,30	3336,70	1400	50	7°	520	Source diffuse	Trias gypseux
"	3	923,05	3336,90	1500	100	7°	530	Ponctuelle	"
"	4	923,15	3337,00	1460	1,5	7°	520	"	"
Lèche-Pré	5	923,50	3339,90	2090	0,4	5°	530	Emergence diffuse	Moraine glissée sur gypse.
"	6	923,60	3340,40	2200	2	5°	2000	Ponctuelle	Moraine glissée
"	7	923,70	3339,95	2080	0,1	6°	9000	Emergence diffuse	Moraine schisteuse
"	8	923,75	3339,90	2070	0,1	7°	6200	"	"
Chalets Challengette	9	923,50	3337,15	1430	0,15	7°	2600	Ponctuelle	Captage sommaire
"	10	923,50	3337,00	1400	0,2	7°	2600	Diffuse	Moraine glissée
<b>SOUS-BASSIN VERSANT DES RUISSEAUX DE LA BACHELLERIE ET DE CHAMPIEU</b>									
Chalet Bourdeau	11	923,70	3337,90	1540	0,1	8°	4200	Ponctuelle	Dans glaciaire
Lèche-Pré	12	923,80	3339,85	2065	0,06	6°	6600	Diffuse	Moraine schisteuse glissée.
"	13	923,90	3340,30	2220	0,05	1°	19000	"	Schistes légèrement glissés.
"	14	923,95	3340,00	2110	0,1	5°	7000	"	Dans schistes noirs
La Sausse	15	924,15	3339,90	2120	1,5	7°	10300	Ponctuelle	Dans glissement
Les Rateaux	16	923,92	3338,70	1800	1	6°	8200	Emergences diff.	Moraine glissée
La Léchère d'en bas	17	924,15	3339,40	2005	2	8°5	19500	Drain en pierres	Sommet de glissement
La Bachellerie	18	924,35	3339,25	1950	1	7° 6°5	16700 11900	Emergences	Sommet de houiller glissé.
Ruisseau de Bonrieu	19	925,15	3339,90	2180	0,7	4°5	19700	Ponctuelle	Dans moraine à blocs
"	20	925,30	3340,05	2220	1	6°5	7100	Drain	Schistes glissés
"	21	925,50	3339,85	2200	0,8	5°	4260	"	"
"	22	925,45	3339,85	2240	1	10°	5550	Drain	Dans schistes glissés
"	23	925,60	3339,80	2250	16	5°5	15400	Collecteur drains	" " "
Torrent de Bonrieu	24	925,75	3339,80	2300	12	3°5	12800	4 émergences dans 10 m.	Dans blocs
"	25	925,65	3339,60	2200	12	4°5	-	Série émergences	Dans moraine à blocs
"	26	925,70	3339,50	2200	7	4°5	16000	"	Moraine à blocs
"	27	925,85	3339,40	2180	12	4°75	17400	Drain collecteur	"
"	28	925,95	3339,45	2250	3,5	3°75	29000	"	"
"	29			1900	1,5	5°25	9800	Plusieurs émerg.	"
"	30	925,40	3338,95	2070	8	3°5	13500	2 émerg. ponct.	"
Ruisseau de Champieu	31	925,10	3338,65	1980	0,5	5°	14600	Ponctuelle	Moraine à blocs et schistes.
Les Combettes	32	924,48	3338,25	1750	0,2	8°	4250	Diffuse	Moraine glissée
Chalet Les Combettes	33	924,75	3338,18	1820	0,2	-	13200	Suintement	"
"	34	924,78	3338,02	1800	0,1	8°	11200	"	"
Chalet Les Mottes	35	924,68	3337,95	1720	0,2	10°	9200	Ponctuelle	Moraine
Ruisseau de Champieu	36	925,10	3338,60	1925	3	5°	8000	"	"
"	37	925,05	3338,15	1850	3,6	11°	4900	Emerg. diffuses	Moraine à blocs
"	38	925,05	3338,05	1850	3,6	5°5	8200	Plusieurs émerg.	"
"	39	925,00	3338,00	1830	0,2	6°	8900	"	"
Chalet Les Mottes	40	924,56	3337,80	1660	0,15	7°	6700	Diffuse	Moraine glissée
Chalet de Champieu	41	924,65	3337,72	1680	0,4	8°	6000	Drainage	Moraine
"	42	925,00	3337,95	1810	2	6°	6100	Emerg. diffuses	Moraine à blocs
Ruisseau de Champieu	43	925,80	3338,35	2130	7	3°	18000	Plusieurs émerg.	"
"	44	925,80	3338,20	2150	15	3°	17900	3 émerg. étagées	"
"	45	925,50	3338,10	2000	5	4°7	13000	Plusieurs émerg.	"
"	46	925,30	3337,85	1900	3	6°25	11000	Plusieurs émerg. étagées	"

LOCALISATION	N°	COORDONNEES			DEBIT (l/s)	TEMPERATURE (°C)	RESISTIVITE ( $\Omega \text{ cm}^{-1}$ )	CONDITIONS A L'EMERGENCE	CONDITIONS GEOLOGIQUES
		X	Y	Z					
Ruisseau de Champieu	47	925,05	3338,00	1730	2,5	6°5	7700	Emerg. diffuses	Moraine à blocs
" "	48	924,54	3337,58	1620	-	6°5	7200	Captage des Champieu Diffuses	Moraine
" "	49	924,90	3337,60	1750	1,2	6°5	7300		Moraine à blocs
" "	50	926,00	3337,70	2170	3,5	3°5	16000	Ponctuelle	" "
" "	51	925,80	3338,00	2100	2,5	5°5	14000	Plusieurs émerg. étagées.	Eboulis de schistes glissés.
Col de Pierre Blanche	52	926,60	3338,20	2420	5	2°5	17200	Plusieurs émerg.	Moraine à blocs
Ruisseau de Champieu	53	926,20	3337,95	2250	14	3°7	13000	" "	Schistes permien
Les Grands Champs	54	925,05	3337,25	1760	3,5	5°7	8800	" "	Moraine à blocs
Ruisseau de Champieu	55	925,55	3337,80	1960	2	5°5	13200	Ponctuelle	" "
" "	56	925,95	3337,85	2140	10	9°	14200	Emerg. ponct.	" "
" "	57	925,80	3337,80	2040	1	4°5	8700	3 émergences	Schistes glissés sur moraine.
" "	58	925,55	3337,70	1970	1,7	4°5	1200	2 émerg. ponct.	Moraine à blocs
Les Grands Champs	59	925,15	3337,20	1770	0,1	6°	9400	Emerg. ponct.	Moraine
SOUS-BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DE LA GROLLAZ									
La Grollaz	60	924,80	3336,38	1460	0,6	8°	3000	Emerg. diffuse ponctuelle.	Moraine
Ch <sup>et</sup> des Grands Champs	61	925,28	3336,75	1710	0,1	9°	20000	Ponctuelle	Moraine à blocs
Péclet (Forêt)	62	926,10	3337,15	2110	0,5	6°	8500	Source marécageuse	Zone de glissement
" "	63	925,50	3336,80	1780	0,2	7°	10000	Captage sommaire	Eboulis
" "	64	925,75	3336,90	1900	0,7	7°	8850	Ponctuelle	Zone glissée
Plateau de Bellecombe	65	926,30	3336,95	2120	10	5°5	10600	Drainage	Moraine
Péclet (Forêt)	66	925,95	3336,90	1990	3	5°5	10000	Captage sommaire	Eboulis
Plateau de Bellecombe	67	926,30	3336,85	2120	0,4	6°	15000	Emerg. diffuse	Moraine
Péclet (Forêt)	68	925,80	3336,55	1870	0,3	4°5	7800	Ponctuelle	Moraine glissée
Plateau de Bellecombe	69	926,50	3336,80	2180	5	4°	11000	Drainage	Eboulis
SOUS-BASSIN VERSANT DU RUISSEAU DE PEROUSAZ									
Chalets de Beaune	70	926,35	3336,55	2150	4	5°	7200	Ponctuelle	Moraine
" "	71	926,20	3336,00	1930	1,5	8°5	6000	Zone marécageuse	Zone glissée
" "	72	926,40	3336,60	2140	5	4°	26000	Nombreuses émerg.	Moraine
" "	73	926,50	3336,40	2150	30	4°5	15500	" "	"
" "	74	926,35	3335,65	1890	0,5	5°	7200	Zone marécageuse	"
-----									
Chalets de Beaune	75	927,20	3335,22	2140	1	5°	12000	Source marécag.	Moraine
" "	76	927,15	3335,65	2120	5	8°5	18600	Source diffuse	"
" "	77	927,10	3335,60	2110	2	6°	8400	Source marécag.	Ferrugineuse
" "	78	927,15	3335,59	2120	1	4°5	27500	Source ponct.	Moraine
Les Casses	79	927,60	3335,65	2230	-	3°	12800	Nombreuses émerg.	Eboulis
" "	80	927,75	3335,50	2240	-	4°5	7000	" "	"
Bassin Ch. de Beaune	81	927,05	3335,30	2070	0,5	10°	14000	Marécage	Moraine
" " "	82	927,10	3335,20	2080	1	10°	13000	Sources marécag.	"
" " "	83	926,65	3335,10	1970	0,5	7°	11000	Source marécag.	"
" " "	84	926,75	3334,95	2030	1	11°	13800	Petit lac maréc.	"
La Traversaz	85	926,40	3334,60	1900	0,2	10°	24000	Source marécag.	"
" "	86	926,15	3334,20	-	3	-	2500	Ruissellements	Falaise de schistes
Pré Bérard	87	926,55	3334,45	-	0,1	7°	15000	Source marécag.	Moraine
" "	88	926,75	3334,25	-	0,1	10°	7000	Marécage	"
Chalet Rosset	89	927,10	3334,25	-	5	6°	14000	2 émerg. (maréc.)	Eboulis
Charvet	90	927,25	3334,05	-	0,5	6°	9500	Source ponct.	Moraine à blocs
" "	91	927,30	3334,00	-	0,2	6°	10000	" "	" "
" "	92	927,35	3333,95	-	1	6°	10000	" "	" "
" "	93	927,40	3333,80	-	5	9°	6900	Source marécag. diffuse.	" "
" "	94	927,70	3333,80	-	4	6°	5200	Source ponct.	" "

Maurienne, à l'amont du verrou du Pas-du-Roc.

Etant donné qu'il n'existe pas, dans l'ensemble du versant orographique, entre l'Arc et la ligne de partage des eaux, de zones endorhéïques, ce versant peut être divisé en autant de panneaux (bassins hydrographiques) qu'il existe d'affluents de l'Arc.

Ce sont de l'aval vers l'amont, les cinq bassins versants déjà cités dans la première partie :

- le bassin versant de St-Martin-de-la-Porte,
- le bassin versant de La Grollaz,
- le bassin versant du Vigny,
- le bassin versant du Poucet,
- le bassin versant du Bonrieu, très vaste, puisqu'il s'étend du Mont-Brequin jusqu'aux glaciers du Bouchet et de la Pointe Rénod, mais dont seule la partie occidentale, où le torrent du Bonrieu descend du col de Château-Bourreau, se trouve sur notre secteur d'étude.

Dans ce contexte, le ruisseau de Pré Bérard tient une place à part puisqu'il résulte du captage, à l'altitude 2 171 m, de sources qui devraient s'écouler en direction du torrent du Vigny, et de leur détournement pour l'alimentation des chalets du Thyl et des village du Thyl.

Tous ces torrents et ruisseaux sont encaissés dans le terrain sur lequel ils s'écoulent (en général le recouvrement quaternaire) et qu'ils érodent. Les seuls dépôts qu'ils engendrent sont des cônes de déjection, parfois très importants, comme ceux du torrent de St-Martin qui est stabilisé parce que le torrent y est canalisé, ou du torrent du Poucet, toujours actif.

La forme du réseau hydrographique est très particulière et liée à la nature des terrains sur lesquels il s'installe.

Les trois premiers bassins versants énumérés (St-Martin, La Grollaz, Le Vigny) peuvent être rapprochés car, outre qu'ils drainent tous trois la même grande vallée affluente de la vallée de l'Arc, la forme de leurs réseaux hydrographiques est très ressemblante. En effet, ces réseaux montrent, dans leur partie haute, un tracé indécis et anastomosé, qui peut s'expliquer par le fait qu'installés sur des terrains formés de moraines à blocs (perméables) et de moraines plus argileuses (moins perméables), son dessin est sans cesse perturbé par des oblitérations dues à des mouvements de terrain ; l'eau

courante, expulsée de ses chenaux habituels, ou bien recherche en surface des échappatoires, en en creusant de nouveaux, ou bien disparaît temporairement dans le corps des masses glissées ou sous leur base pour réapparaître plus loins, en une série de pertes et de résurgences. Dans sa partie basse, ce réseau devient mieux canalisé et prend une disposition subparallèle.

Sur le bassin versant du Poucet, la disposition du réseau est sensiblement différente et peut être qualifiée de dendritique. La forte pente de ce versant (pente moyenne de 47 % entre Genevret et le Poucet avec des passages à 60 %), ainsi que l'épais recouvrement de terrains meubles (moraines, éboulis, colluvions, paquets glissés) peuvent expliquer ceci : en effet, l'écoulement étant rapide, les torrents s'encaissent très vite entre des talus raides plus ou moins instables mais qui fixent de manière quasi-permanente l'écoulement chenalisé.

Dans ces deux cas, étant donné la nature plutôt argileuse des terrains rencontrés, les eaux sont la plupart du temps chargées, cela pouvant aller, lors de printemps très pluvieux, jusqu'à d'importantes laves boueuses (ce phénomène est particulièrement net pour le torrent du Poucet, dont le cône de déjection n'est pas stabilisé).

Le dernier cas (bassin versant du Bonrieu) est encore différent puisqu'on y voit un chenal d'écoulement rectiligne entre l'Arcelin et Francoz, un affluent, rectiligne également, descendant du col de Château-Bourreau et un second affluent au tracé plus contourné issu du glacier du Bouchet.

Il est certain que les particularités lithologiques du Houiller stérile affleurant dans ce secteur (plus forte proportion de grès) sont pour beaucoup dans la forme de cet écoulement. En effet, dans le vaste cirque allant de la Cime de Caron à la Pointe de Thorens et à la Pointe Rénod, il y a bien un ru du Bouchet issu du glacier du même nom, mais pas de ruisseau de Caron ou de Rénod ; pourtant, à Plan Py, à la naissance semblerait-il de l'écoulement, le débit est suffisant pour justifier une prise. C'est que l'eau du Nord et de l'Est vient de faire surface et que les axes des talwegs encombrés d'éboulis, servent de collecteurs occultes pour des pentes qui mesurent 800 à 1000 m jusqu'aux crêtes. Cette circulation cachée, dans le bassin récepteur, est possible car, du fait de la forte proportion de grès, les éboulis et moraines sont peu argileux. La partie inférieure de l'écoulement, après la rupture de pente de l'Arcelin, se fait sur le rocher en place (le recouvrement quaternaire est

mince), avec une pente forte (en moyenne 37 % entre l'Arcelin et Francoz), ce qui autorise un tracé fixe entre des berges stables.

## B - LA CIRCULATION SOUTERRAINE

Elle se fait à travers les pores ou les fractures de la roche et dépend donc de la nature du terrain. Dans notre cas, en ce qui concerne le bed-rock, nous avons affaire, de par la lithologie et la tectonique, à un milieu fissuré présentant une perméabilité "en grand", mais pratiquement imperméable à l'échelle de l'échantillon.

Selon toutes les études déjà réalisées, il est nécessaire de considérer séparément trois types de terrains : d'une part, les terrains de couverture, à perméabilité d'interstices, et d'autre part, dans les terrains rocheux fissurés, une tranche superficielle décompressée et une tranche profonde plus compacte (fig. 2.37).

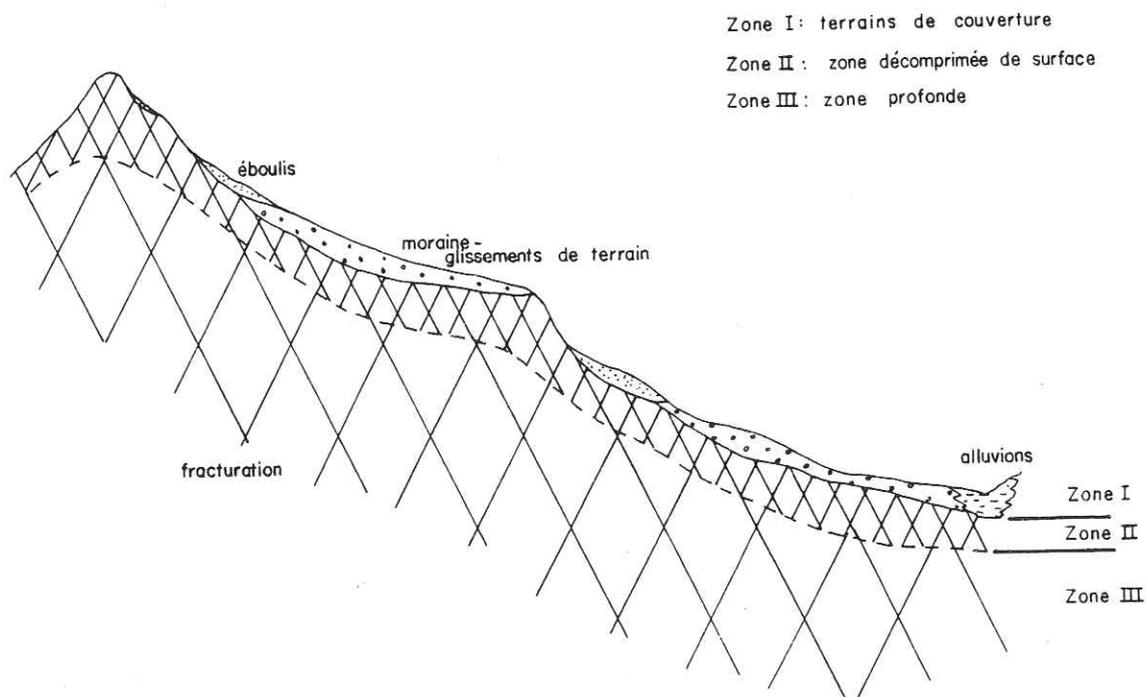


Fig. 2.37 : La circulation de l'eau en milieu fissuré

### 1°) Les terrains de couverture

Dans ce type de terrains, on a la plupart du temps, affaire à une nappe d'imprégnation dont la surface piezométrique est très proche de la surface topographique, voire confondue avec elle.

Elle est alimentée par les eaux de ruissellement mais aussi par la nappe de fissure, soit par en-dessous, soit latéralement quand les terrains de couverture sont emboîtés dans la roche (base de versant) (fig. 2.38).

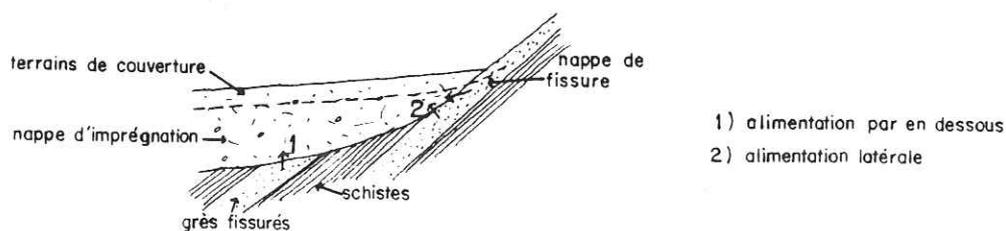


Fig. 2.38 : Alimentation de la nappe d'imprégnation par la nappe de fissure

Cette nappe d'imprégnation affleure souvent dans des dépressions (zones d'eaux stagnantes, marécages, tourbières). Quand la puissance du recouvrement se réduit ou s'annule, elle apparaît en sources dont l'eau peut d'ailleurs se réinfiltrer plus loin, à la rencontre d'un nouveau placage. Dans le cas qui nous intéresse, la bassin versant englobant ceux de St-Martin-de-la-Porte, de La Grollaz et du Vigny est un exemple typique de ce genre de circulation souterraine car on y rencontre de très vastes étendues de terrains de couverture très différenciés (fig. 2.39).

Dans la partie haute des versants, ainsi qu'au pied des falaises, on rencontre des éboulis formés de gros blocs (pierriers) mêlés d'une proportion faible d'argile. Cela donne un terrain particulièrement perméable, peu propice au stockage de l'eau et où la circulation est très rapide. Dans ces formations, on peut trouver des sources à débit variable, souvent tarées.

Egalement dans la partie haute des versants, on trouve des moraines à blocs (par exemple le "glacier rocheux" de l'Ouest du Mont-Brequin), dont les caractéristiques granulométriques, très proches de celles de l'éboulis, leur confèrent les mêmes propriétés:elles montrent des sources pouvant atteindre de gros débits lors d'une recharge rapide (orage d'été).

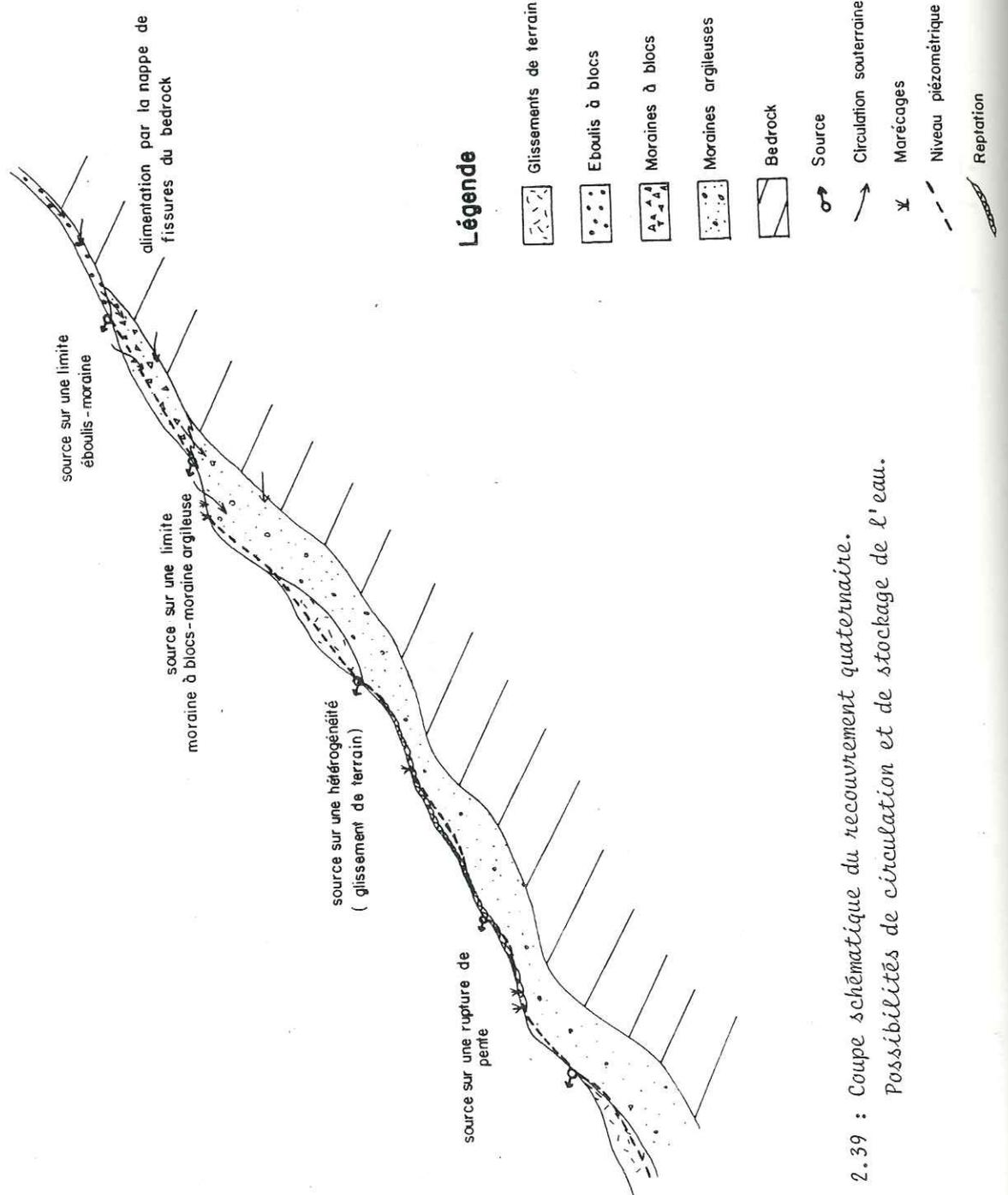


Fig. 2.39 : Coupe schématique du recouvrement quaternaire. Possibilités de circulation et de stockage de l'eau.

Dans les parties moyennes et basses des versants, ces deux types de terrains font place à des moraines plus régionales et plus argileuses, avec seulement quelques blocs mêlés à des colluvions (très argileuses), des éboulis etc, le tout ayant été remanié par de très nombreux glissements de terrain, plus ou moins superficiels, mais intéressant des surfaces très étendues. Cela engendre des terrains finement poreux et perméables, riches en émergences diffuses à faible débit (on peut le voir en consultant le tableau des jaugeages effectués sur les différentes sources répertoriées), en zones humides, marécages et tourbières.

A ce propos, les deux sondages effectués par la société SIMECSOL en juillet-août 1982 pour le compte du C.E.T.E. Lyon, au Sud des chalets des Avanières (voir carte annexe) sont très révélateurs. Le rapport rédigé par cette société indique qu'à peine 50 % de carotte ont été recueillis ce qui, à l'examen des photographies des boîtes de carottes, me paraît optimiste surtout si l'on remarque qu'un bon nombre des cailloux contenus dans les boîtes sont carottés plusieurs fois. Ceci nous montre tout de même que le terrain en question contient une forte proportion de fines.

De plus, ces deux sondages, équipés en piézomètres montrent que le niveau de l'eau était établi dans le sondage aval (n° 1, 1 650 m) à environ deux mètres sous la surface topographique, dix jours après l'ouverture, et dans le sondage amont (n° 2, 1 850 m), au niveau de la surface topographique et même un peu au-dessus (fig. 2.40 et 2.41).

Les bassins versants du Poucet et du Bonrieu (partie Ouest), possèdent à peu près les mêmes caractéristiques en ce qui concerne l'hétérogénéité des terrains, la circulation et la rétention de l'eau. La partie haute des versants, c'est-à-dire au-dessus de 2 000 à 2 200 m d'altitude (en amont des chalets de Genevret et des chalets de la Combe Noire) est recouverte d'éboulis et de moraines locales à blocs, très perméables, permettant une circulation souterraine rapide. Les zones moyennes et inférieures du bassin versant du Poucet sont, comme il a déjà été mentionné, recouvertes d'une grande épaisseur de moraine argileuse, colluvions, éboulis, glissés et intriqués, formant un recouvrement assez peu perméable dans lequel une nappe d'imprégnation prend place.

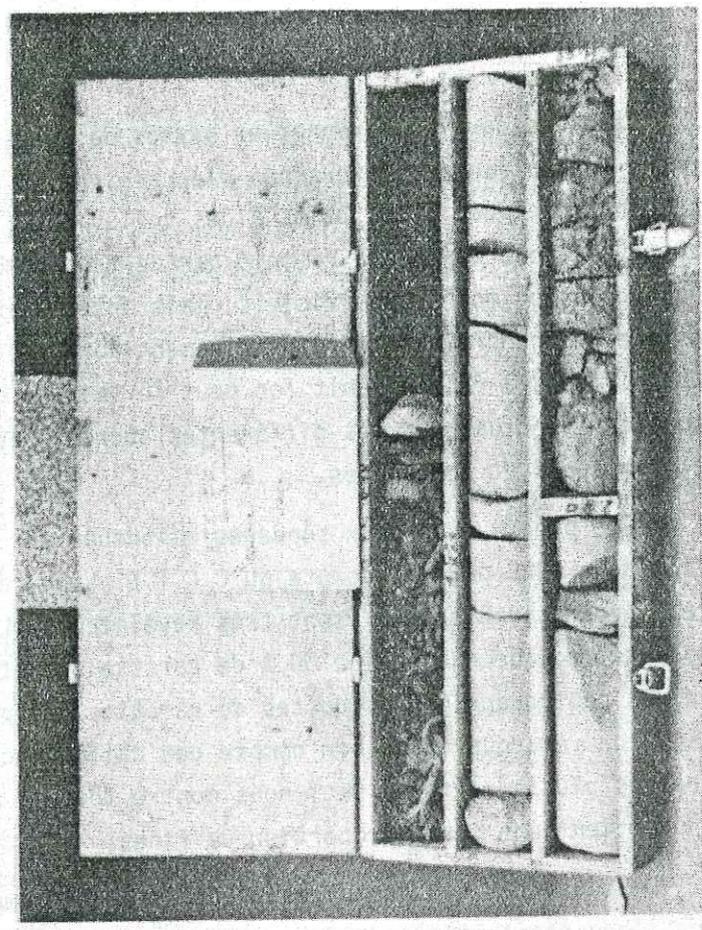
# SONDAGE CAROTTE 1

Fig. 2.40 : Sondage carotté 1 - photographie des boîtes de carottes et interprétation.

PROFONDEUR	COUPE des TERRAINS	FLAGE PÉDOLOGIQUE	DESCRIPTION des TERRAINS	AVANCEMENT		NIVEAU D'EAU		EQUIPEMENT	RECHERCHES	GROSSEUR	TUBAGE	DATE
				19.07.82	10.07.1982	18	19					
0.00		TV	Terre végétale argillo-graveleuse, finement micacée, grise. Racines.	19.07.82	10.07.1982	18	19	Inclinomètre de type GLOTEL posé le 27.07.1982		CD Ø 5"	CD Ø 116	
1.15			Blocs, cailloux et graviers anguleux de schistes sériciteux gris-noir et de grès schisteux, micacés, gris; remaniés, avec partiellement une matrice argileuse noire.	19.07.82	12.07.1982					CD Ø 116	Ø 128	
13.50			Rocher de 1.10 à 2.80 m.									

Outils utilisés { CC Coeurne Carbone  
CD Coeurne Diamant

Cote N.G.F. ± 1/650 mm



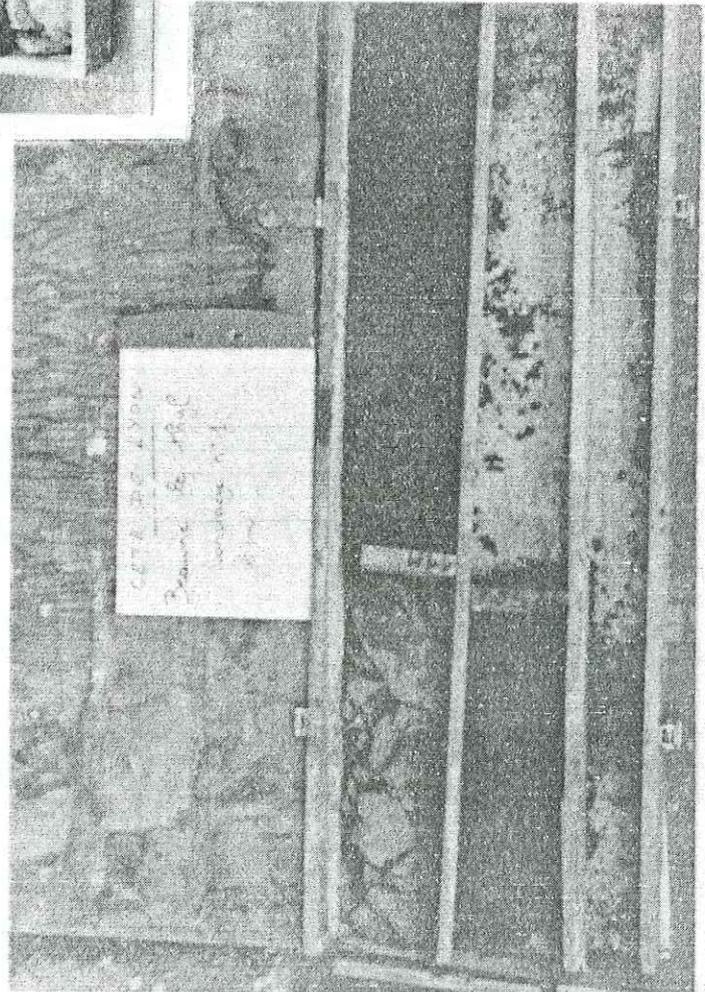
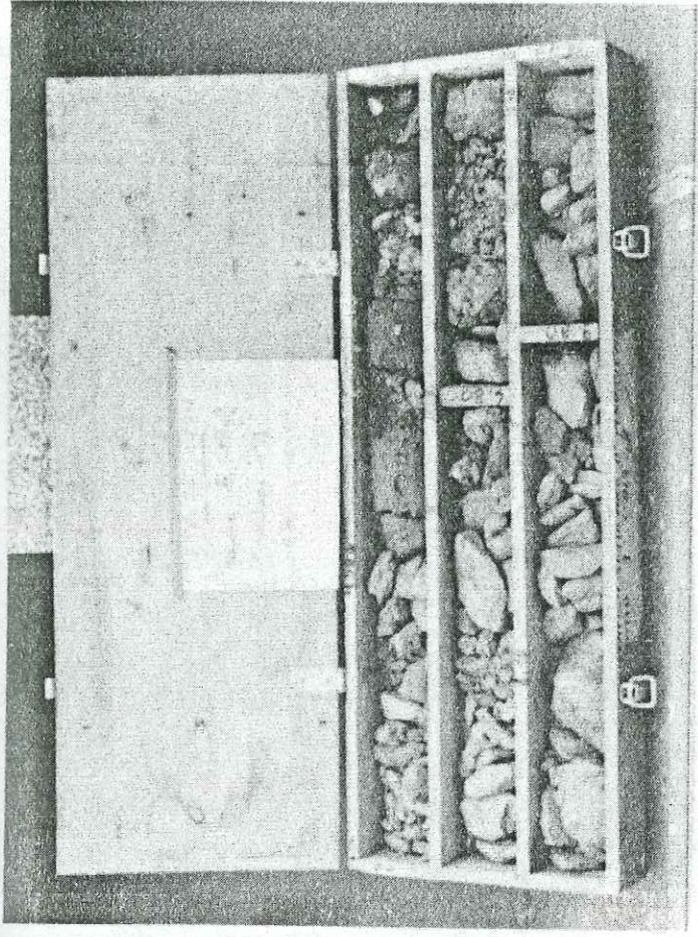
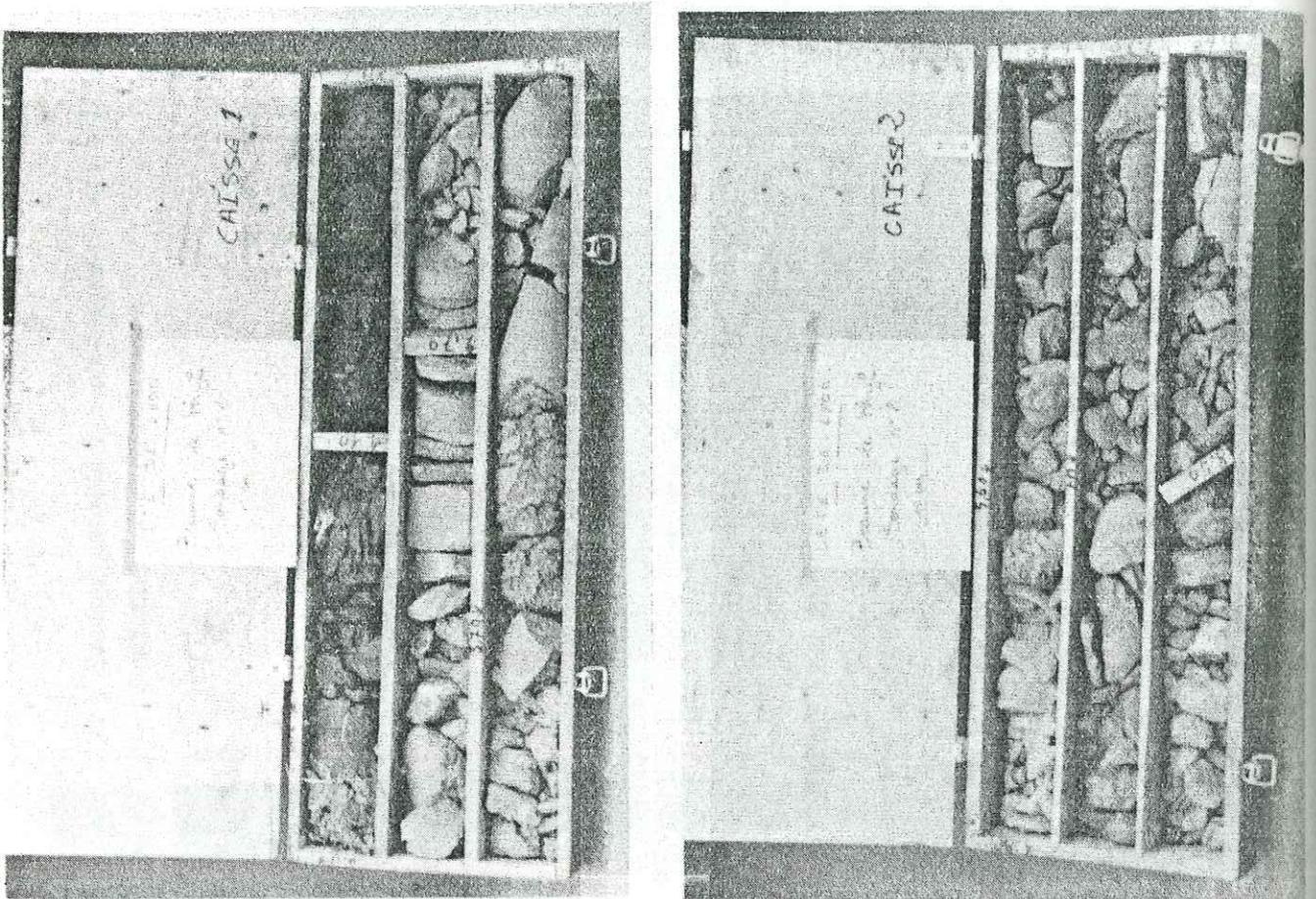


Fig. 2.41 : Sondage carotté 2 - photographies des boîtes de carottes et interprétation.



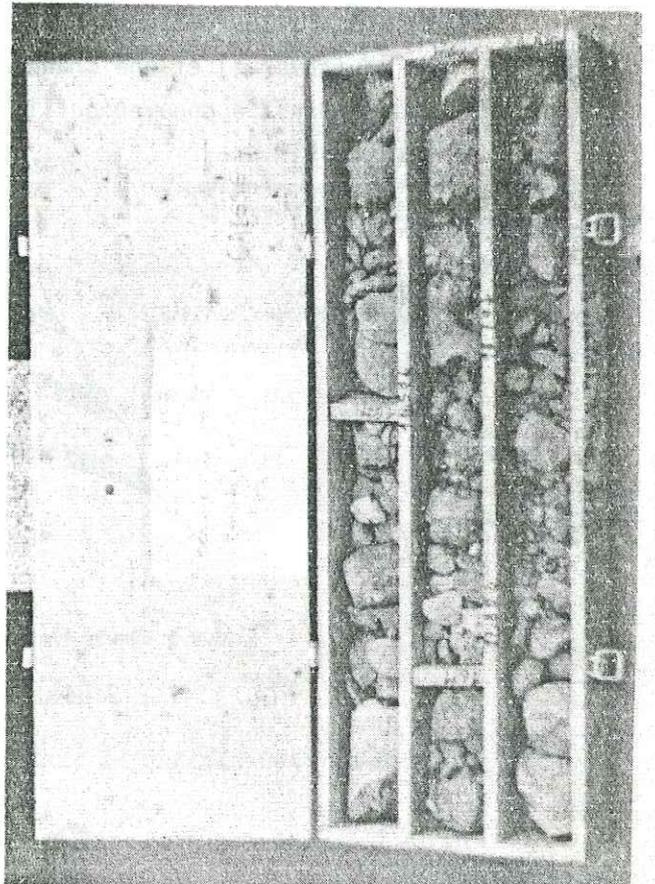
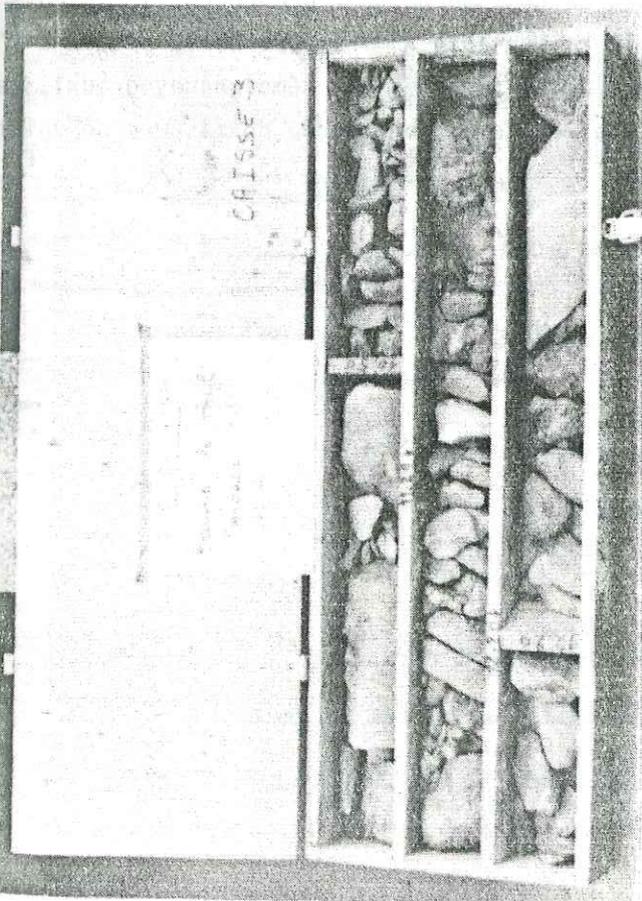
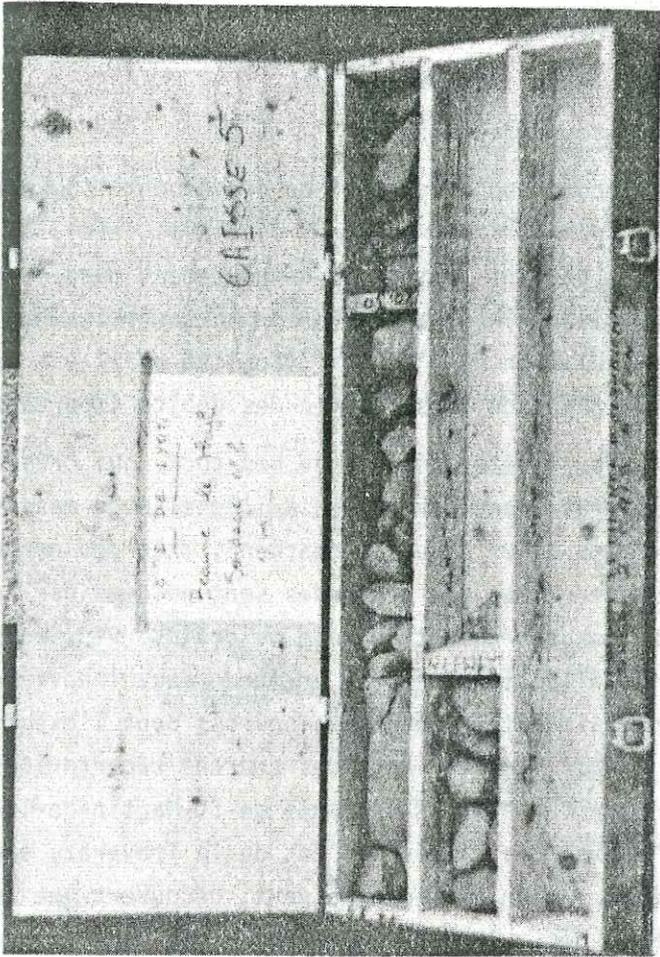
## SONDAGE CAROTTE 2

PROFONDEUR	COUPE des TERRAINS	ETAGE Géologique	DESCRIPTION des TERRAINS	AVANCEMENT		EQUIPEMENT	PIEZOMETRE	CONTACT	DIMS. UTILISE	TUBAGE	% de "ANOU" ASE
				DATE	HEURE						
0.00	M	TV	Terre végétale, argileuse avec quelques graviers gris.	30.06.1982		Inclinomètre de type GLOTZ	posé le 07.07.1982		Ø 5"	Ø 6"	
3.00	M		Blocs, cailloux et graviers argileux de schistes sériciteux gris-noir et de grès schisteux micacés gris dans une matrice argileuse gris-noire. Quelques fragments de quartz laitieux.	01.07.1982	2.07.1982						
21.00	M			03.07.1982	05.07.1982				Ø 116	Ø 128	

Outil utilisé { CC Couronne Carbure  
CD Couronne Diamant

Cote N.G.F. 51850 m.

Echelle de pente



## 2°) La zone décomprimée de surface

Les phénomènes de décompression de surface provoquent l'ouverture de toutes les fissures de la roche (microfractures, diaclases, etc), de telle sorte que les grands accidents peuvent se trouver complètement masqués par des familles de fissures de moindre importance. Le long de ce réseau de discontinuité très dense, la circulation de l'eau est facilitée et il y a surtout possibilité de création d'une nappe de fissure avec des débits importants.

Sur le secteur étudié, l'hétérogénéité du bed-rock, qui présente une alternance de bancs très fissurés (donc perméables à l'échelle du massif), et de bancs schisteux (pouvant même aller jusqu'au charbon), très peu perméables fait que les circulations souterraines peu profondes sont guidées par la lithologie, les bancs de grès fissurés jouant le rôle de drains. Plusieurs observations illustrent cette disposition et, en premier lieu, l'environnement lithologique dans lequel apparaissent les quelques sources dont l'exurgence est liée au bed-rock (fig. 2.42). Dans la liste des sources répertoriées par G.NICOUD (voir Tableau 2.2) sur les bassins versants de St-Martin-de-la-Porte, de la Grollaz et du Vigny, une seule, située à l'Est de la Traveraz, émerge du substratum, dans la falaise ; j'en ai, pour ma part, découvert une autre dans la falaise située au Nord des ruines du Grand Plan. Ces deux sources jaillissent des fissures d'un banc de grès surmontant une couche schisteuse ; de plus, elles présentent un débit raisonnable (3 l/s pour celle située à l'Est de la Traveraz) et une grande régularité (d'après des témoignages oraux), ce qui tendrait à prouver qu'il existe localement une nappe de fissure de volume non négligeable.

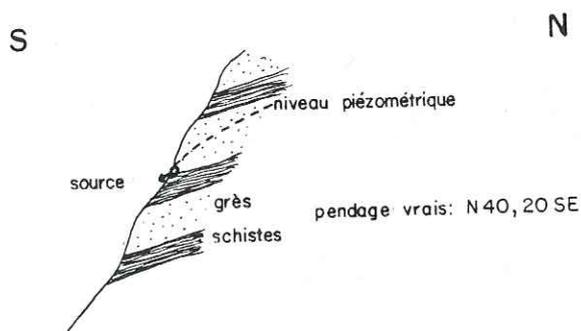
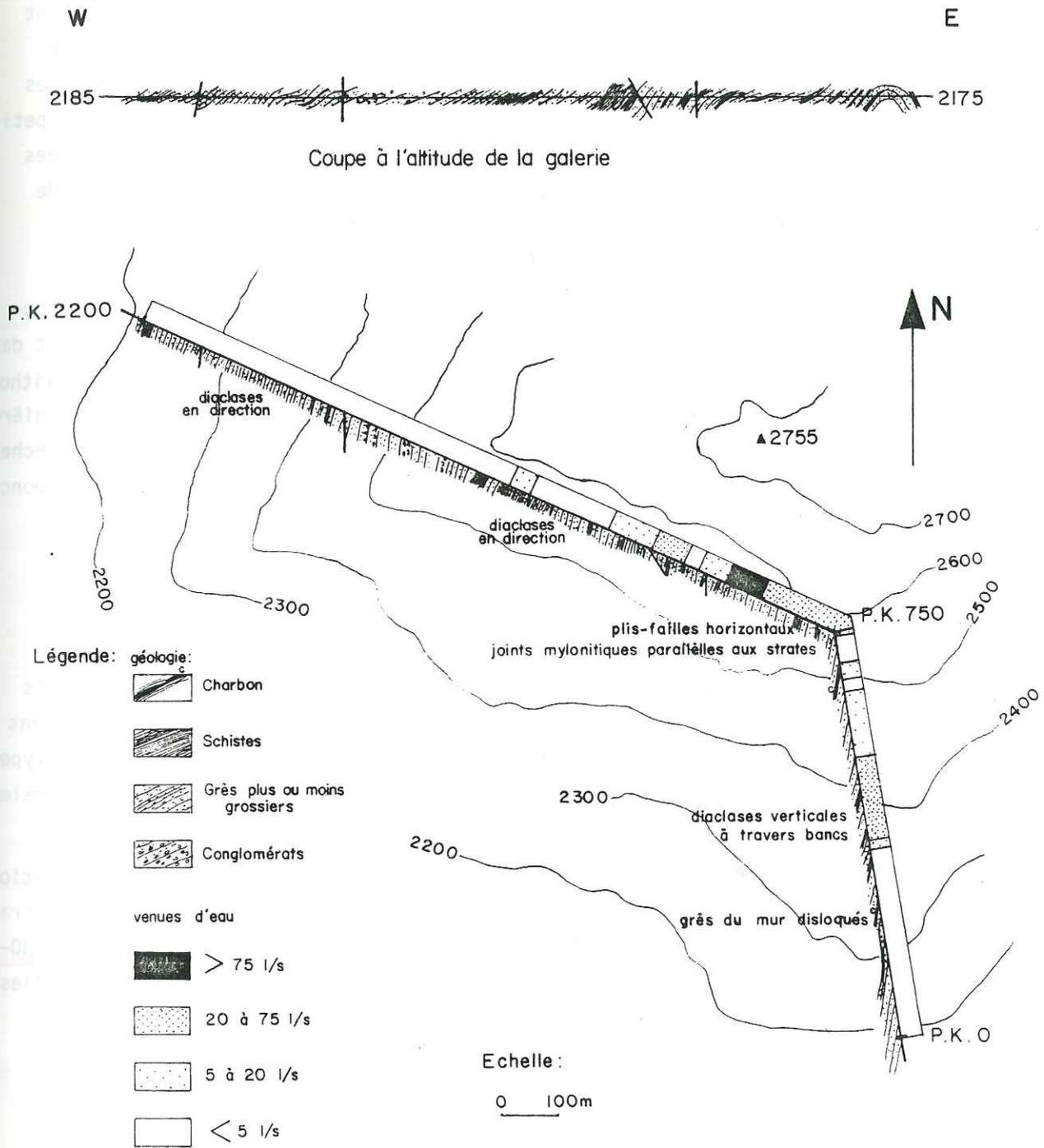


Fig. 2.42 : Schéma d'une source en milieu rocheux



Plan de la galerie : géologie et venues d'eau

Fig. 2.43 : Lithologie et venues d'eau dans la galerie Bonrieu-Bissorte

Mais la preuve la plus parlante de ces circulations dans les bancs de grès fissurés provient de l'étude des levés de la galerie Bonrieu-Bissorte, qui traverse l'arête du Rocher Rénod entre Plan Py au Nord et le versant rive droite de l'Arc au Sud à 2 150 m d'altitude environ, c'est-à-dire à quelques 400 m sous le point le plus élevé de la crête (fig. 2.43). De ces levés effectués par J.- P. BOIS et J. FABRE, il ressort que, à côté de petites venues d'eau (5 à 20 l/s), pouvant apparaître sur des failles mylonitisées accompagnées d'une zone broyée, il en existe de plus importantes (plus de 75 l/s) émergeant de "grès fissurés, compacts ou feuilletés" au toit de "gros bancs (épais de quelques mètres) de schistes noirs compacts".

A la suite de ces observations, il apparaît établi que les circulations préférentielles dans la zone décomprimée de surface se produisent dans les bancs de grès fissurés formant drains, et sont donc guidées par la lithologie et la structure tectonique. Etant donné la complexité de cette dernière, il n'est pas possible d'esquisser un schéma du cheminement de l'eau à l'échelle du secteur étudié, et ce n'est que localement, par une étude précise et ponctuelle, que l'on pourra déceler les circulations souterraines et estimer l'importance des réserves.

### 3°) La zone profonde

Dans cette zone, à l'échelle du massif, ce sont les accidents décrochants importants, associés à une fissuration intense, qui définissent les grands axes préférentiels de circulation car, en profondeur, les autres types de fissures et de fractures, même virtuellement nombreux, sont très généralement fermés.

Dans le secteur étudié, on peut donc estimer que les circulations se feraient selon les décrochements majeurs (déterminés dans le chapitre traitant de la fracturation), c'est-à-dire dans les directions N 50-60 et N 130-140. Mais on manque ici de données objectives, qui ne pourraient être recueillies que dans des galeries ou des sondages profonds.

## TROISIÈME PARTIE

### LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

CHAPITRE I : RAPPELS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

CHAPITRE II : ÉTUDE PHOTO-INTERPRÉTATIVE ET DESCRIPTION DES  
MOUVEMENTS DE TERRAIN ANCIENS

## LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Le secteur étudié est affecté, sur une très grande partie de sa superficie, par des mouvements de terrain divers, anciens ou récents, profonds ou superficiels.

La première façon d'aborder l'étude de ces mouvements de terrain est l'analyse photo-interprétative qui permet de dégager les principales cicatrices anciennes (et les plus vastes) que l'on a du mal à percevoir globalement sur le terrain, ainsi que les ensembles subissant ou ayant subi des mouvements différentiels. Ensuite, une étude de terrain permet d'affiner les résultats en décrivant les mouvements plus récents (et plus circonscrits), ainsi que les éléments (morphologiques, hydrologiques, etc.) susceptibles d'intervenir dans leur déclenchement ou leur progression.

Mais, avant d'aborder l'étude proprement dite de notre secteur, il apparaît nécessaire de rappeler quels sont les différents types de mouvements de terrain et les facteurs de leur apparition.

---

Tableau 3.1 : Classification des mouvements de terrain

C L A S S E	T Y P E	TERRAINS CONCERNÉS		CARACTÈRES PROPRES COMPLÉMENTAIRES	REMANIEMENT INTERNE	VITESSES	VOLUMES en m <sup>3</sup>	L/L Rapport d'extension	QUANTITÉ D'EAU POUR LES MOUVEMENTS ACTIFS	N°	
		SUBSTRAT.	COUVERT.								
Mouvements circonscrits, simples ou isolés	ECROULEMENTS	+		Masse rocheuse. En un seul temps.	MAXIMAL	Jusqu'à 100 m/sec.	Jusqu'à 500.10 <sup>6</sup>		FAIBLE A NULLE	1	
		+		Paquets de roches. Succession dans le temps conduisant à un éboulis grossier.	MAXIMAL	100 m/sec.	Variable 10 <sup>6</sup>		FAIBLE A NULLE	2	
	AFFAISSEMENTS	+		Déplacement sub-vertical d'entonnoir	FORT	Quelques cm/an	?				3
		+	+		FORT	Jusqu'à 10 m/sec. (?)					4
	FAUCHAGE	+		Roches stratifiées ou schisteuses. Pas de surface de glissement.	TRES FAIBLE	Très lentes	Peut dépasser 10.10 <sup>6</sup>				5
		+		Roches plus ou moins compétentes. Présence fréquente de paquets restés cohérents.	FAIBLE	Quelques cm/an à	Jusqu'à 100.10 <sup>6</sup>				6
	+		Cohésion non nulle.	FORT	Quelques m/min.	7					
	+	+		FAIBLE	lors de l'accélération finale	8					
	Mouvements généralisés et/ou complexes	GLISSEMENTS				FAIBLE					9
			+		Roches généralement incompétentes, altérées. Paquets cohérents rares.	FORT	Quelques cm/an			SATURATION	10
COULEES		+		Cohésion nulle ou devenue très faible.	FORT	Jusqu'à 1 m/sec.	Jusqu'à 50.10 <sup>6</sup>	2 à 8	SATURATION	11	
		+		Substratum ne pouvant drainer la coulée ou au contraire alimentant celle-ci.	FORT				SATURATION	12	
REPTATION				Déformations superficielles faibles.	FORT	Très lentes	(Faible épaisseur Grande surface)		VARIABLE	13	
		+		Glissement épidermique	VARIABLE	Très lentes (accél. local et saisonnières)			SATURATION	14	
LAVES		+		Souvent consécutives à un autre type de mouvement.	TRES FORT	de 1 à 10 m/sec	Peut atteindre en 1 seule fois 10 <sup>6</sup>		TRES IMPORTANTE VOLUME SOLIDE	15	
		+		Grandes dimensions.	FAIBLE	Variables	Jusqu'à 500.10 <sup>6</sup>		TRES VARIABLE	16	
GLISSEMENTS DE VERSANTS				Présence fréquente de paquets restés cohérents.	A				< 2 (?)		17
		+		Versants et vallons affectés de mouvements divers et anarchiques ou les termes ultimes sont des coulées généralement importantes.	FORT	Variables et très inégales	Peut affecter 10 <sup>9</sup>		TRES VARIABLE	18	
MOUVEMENTS EVOLUES DE TYPES DIVERS	+			FORT					TRES VARIABLE	19	
	+			FORT					TRES VARIABLE	ET 20	

# CHAPITRE I

## RAPPELS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN

### QUELQUES NOTIONS DE BASE

Les mouvements de terrain sont des modifications topographiques spontanées, correspondant au déplacement de masses plus ou moins importantes de roche et/ou de sols sous l'action de la gravité.

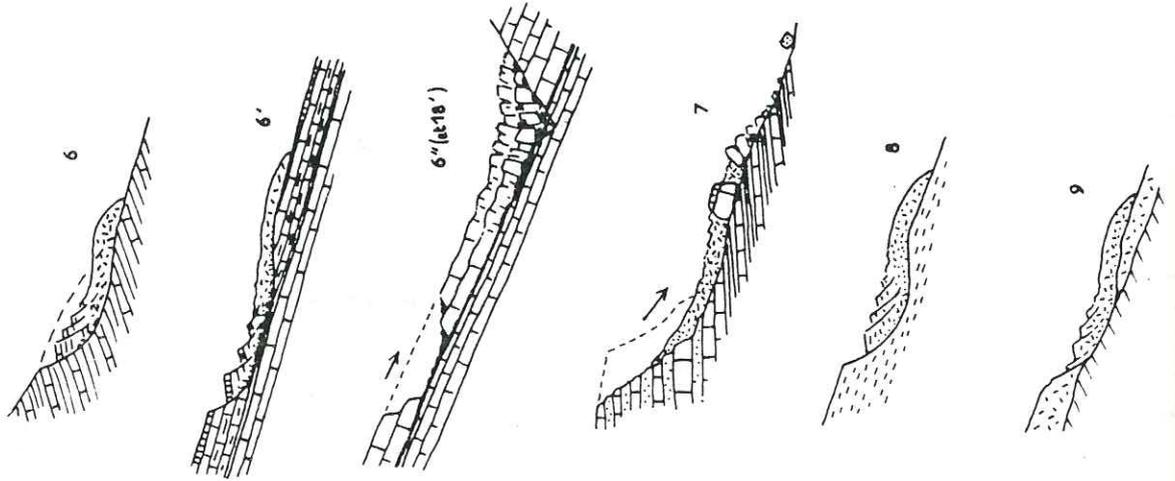
#### A - LES DIFFERENTS TYPES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN - CLASSIFICATION

Etant donné qu'il existe déjà de très nombreuses classifications, établies selon des critères descriptifs ou géomécaniques, il ne nous est pas apparu nécessaire d'en proposer une nouvelle. Nous avons donc adopté celle qu'avait établi A.-M. MALATRAIT (1975) lors de l'étude des mouvements gravitaires de la feuille Saint-Jean-de-Maurienne au 1/50.000. Elle est très complète, mais simple et utilisable au stade du lever de terrain, et d'autant mieux adaptée à notre cas qu'elle a été conçue sur un territoire tout voisin.

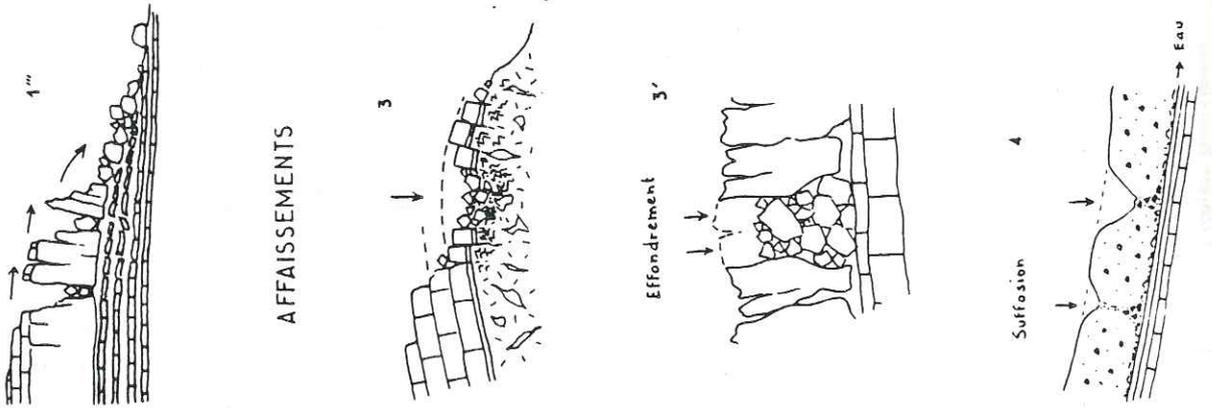
Cette classification est résumée dans le tableau 3.1 et illustrée par la figure 3.1. Dans ce qui suit, et conformément à la vocation du présent mémoire, il est porté une attention particulière au mécanisme des glissements proprement dits et des formes de mouvements qui leur sont liées.

Fig. 3.1 : Les différents types de mouvements de terrain

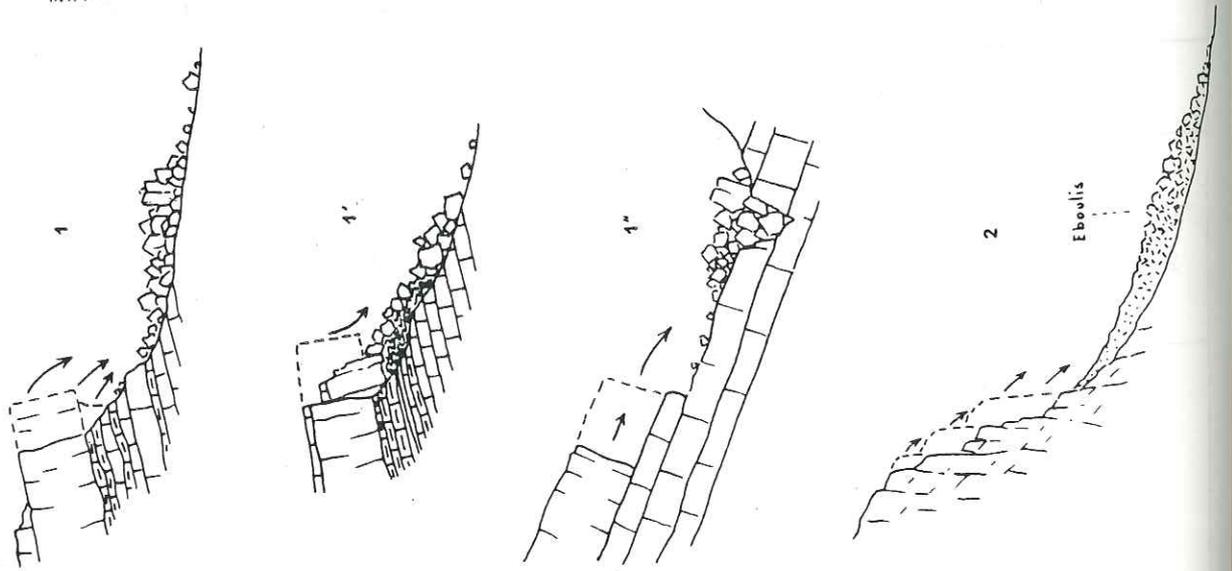
GLISSEMENTS



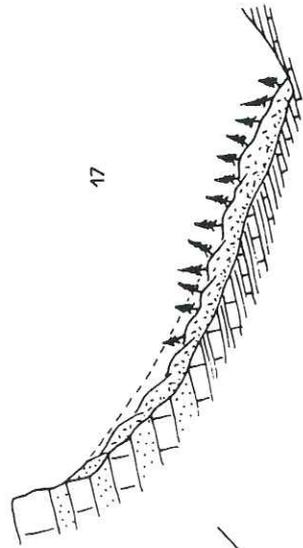
AFFAISSEMENTS



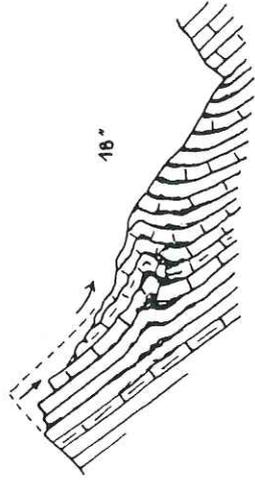
ECROULEMENTS



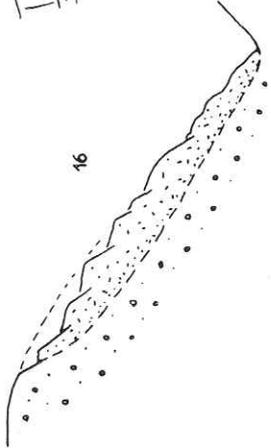
GLISSEMENTS DE VERSANT



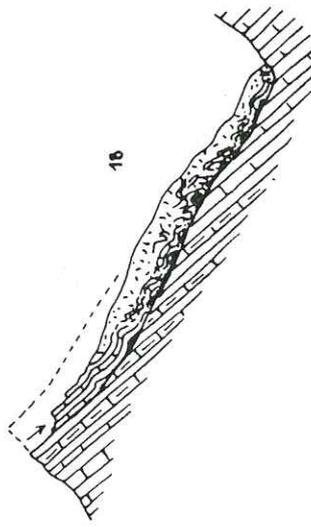
17



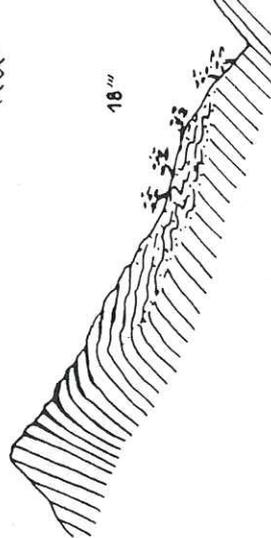
18



16



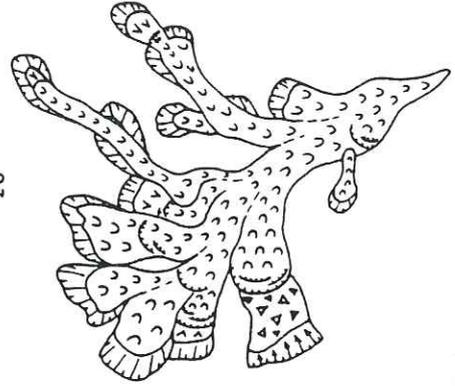
18



18

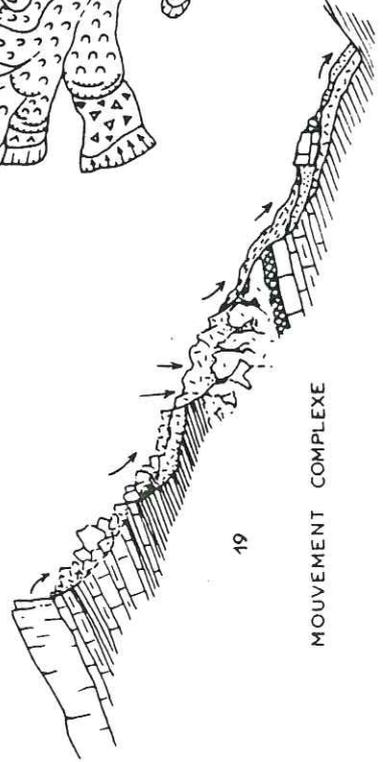
MOUVEMENT EVOLUE

20

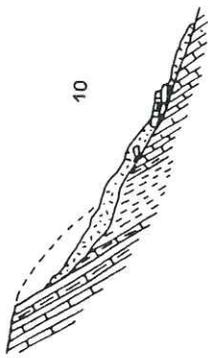


MOUVEMENT COMPLEXE

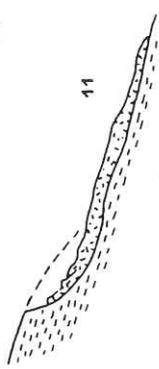
19



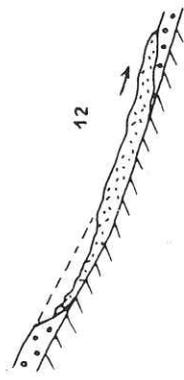
COULEES



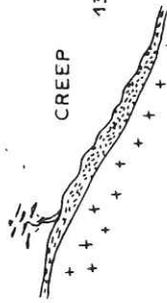
10



11

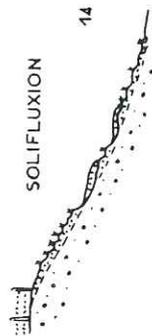


12



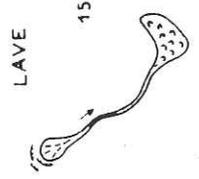
13

CREEP



14

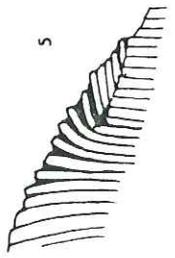
SOLIFLUXION



15

LAVE

FAUCHAGE



5

## B - STABILITE ET INSTABILITE DES VERSANTS

Les mouvements gravitaires tels que nous venons de les définir, traduisent le fait qu'une portion plus ou moins étendue du relief s'est trouvée en déséquilibre. Son déplacement ne s'arrêtera que lorsqu'elle aura atteint une nouvelle position d'équilibre. Ceci étant, quelles données interviennent dans l'équilibre d'un versant ? Si l'on traite ce problème selon les méthodes de la mécanique des milieux continus, on constate que ces données s'ordonnent dans trois cadres distincts (Desvareux - 1970, Mougín - 1973).

### 1°) Les lois fondamentales de la mécanique

Elles s'appliquent à tout corps matériel : équations générales de l'équilibre dans le champ de la pesanteur (somme des forces appliquées et somme des moments de ces forces), équations thermodynamiques (conservation de la masse), etc.

### 2°) La loi rhéologique

Elle est propre au matériau et concerne son comportement mécanique. C'est une relation entre les contraintes  $\sigma$ , les déformations  $\varepsilon$  et leurs dérivées  $\dot{\sigma}$  et  $\dot{\varepsilon}$  par rapport au temps. Les paramètres qui interviennent ici,  $\phi$  (angle de frottement interne) et  $c$  (cohésion) font partie des caractéristiques mécaniques du matériau.

### 3°) Les conditions aux limites

Ce sont les données locales, éventuellement variables dans le temps, relatives aux frontières de la masse dont on étudie l'équilibre :

#### - Conditions aux limites géométriques :

Ce sont la surface topographique et la position d'une éventuelle surface de glissement.

#### - Conditions aux limites des contraintes :

Ce sont les répartitions des contraintes appliquées sur le versant (remblais, bâtiments).

- Conditions aux limites hydrauliques :

C'est la distribution de la pression interstitielle en fonction de l'emplacement de la surface piézométrique et de l'écoulement permanent ou transitoire des eaux souterraines.

C - LES FACTEURS D'INSTABILITE

Compte tenu de ce qui précède, l'apparition de mouvements de terrain résulte de la dégradation d'un état d'équilibre antérieur due à la variation, dans un sens défavorable, de l'une ou de plusieurs des données ci-dessus.

Les lois fondamentales de l'équilibre ne peuvent être modifiées, mais elles font intervenir l'accélération de la pesanteur  $g$  qui, elle, peut varier à l'occasion de vibrations sismiques par exemple.

Les paramètres de la loi rhéologique peuvent se trouver minorés :

- si le matériau subit de grandes déformations. Dans le cas d'un matériau rocheux, une "grande" déformation (quelques dixièmes de mm en général) suffit pour lui faire atteindre ses caractéristiques "résiduelles", très inférieures aux valeurs initiales (par exemple :  $c = 0$  et  $\phi$  réduit de moitié),
- par les alternances gel/dégel. Le gel et le dégel de l'eau dans les fissures du terrain dégradent les propriétés mécaniques du matériau en raison des déplacements qu'ils imposent (l'eau change de volume en changeant d'état),
- par variation de la teneur en eau. Pour une argile, la déformabilité augmente en fonction de la teneur en eau.

Parmi ces modifications, toutes n'ont pas les mêmes conséquences, car certaines, comme la désagrégation par le gel ou la minoration des caractéristiques mécaniques, sont irréversibles et donc beaucoup plus graves que la diminution de la cohésion avec l'augmentation de la teneur en eau qui est réversible.

Mais dans la pratique, c'est le plus souvent une modification défavorable des conditions aux limites qui provoque l'instabilité :

- transformation de la géométrie d'un versant - et donc de son état de contrainte - soit naturelle (érosion), soit artificielle (terrassements ou dépôt de remblais),
- modification des conditions hydrauliques, c'est-à-dire du volume de la nappe souterraine présente, avec les modifications de la pression intersticielle qui en résultent, soit par réduction locale de la perméabilité créant une mise en charge à l'amont ou par disparition d'un drainage naturel ou artificiel, ou enfin par suite d'une brusque croissance de l'infiltration due à des conditions climatiques anormales.

#### D - COEFFICIENT DE SECURITE

Lorsque tous les paramètres et les variables intervenant dans l'équilibre sont connus, un calcul théorique est possible. On peut alors déterminer le rapport  $F$  de la somme des forces résistant au glissement à la somme des forces motrices : c'est le coefficient de sécurité. La valeur 1 traduit l'équilibre juste assuré ; si  $F > 1$ , il existe une marge de sécurité ; si  $F < 1$ , le mouvement doit se produire.

De nombreux auteurs ont proposé des méthodes simplifiées, voire des abaques, pour le calcul de  $F$  (HOEK - 1981) et l'on peut établir que les facteurs d'instabilité (voir plus haut) n'ont pas tous le même poids et que, notamment, les modifications des conditions aux limites (pression intersticielle surtout) entraînent des variations de la valeur de  $F$  beaucoup plus importantes que celles pouvant résulter des variations des caractéristiques mécaniques du matériau ( $c$  et  $\phi$ ).

Toutefois, ce calcul théorique, s'il est réalisable dans le cas d'un glissement simple, circonscrit, dont on connaît parfaitement la géométrie, affectant un matériau homogène et où la position de la nappe est définie, devient inaccessible pour des glissements généralisés de versants faisant intervenir plusieurs mécanismes différents dans des terrains hétérogènes

(substratum rocheux de schistes et grès, et terrains de couverture). Dans ce dernier cas, on rencontre de nombreuses difficultés pour la détermination des propriétés mécaniques du matériau, ainsi que pour la définition des conditions aux limites, rarement estimées avec la précision souhaitable.

ro-

asse-

de  
sion  
per-  
d'un

or-

quilibre  
le  
forces  
ibre  
mouve-

s  
facteurs  
mmment,  
rtout)  
e  
u maté-

un  
e,  
,  
t

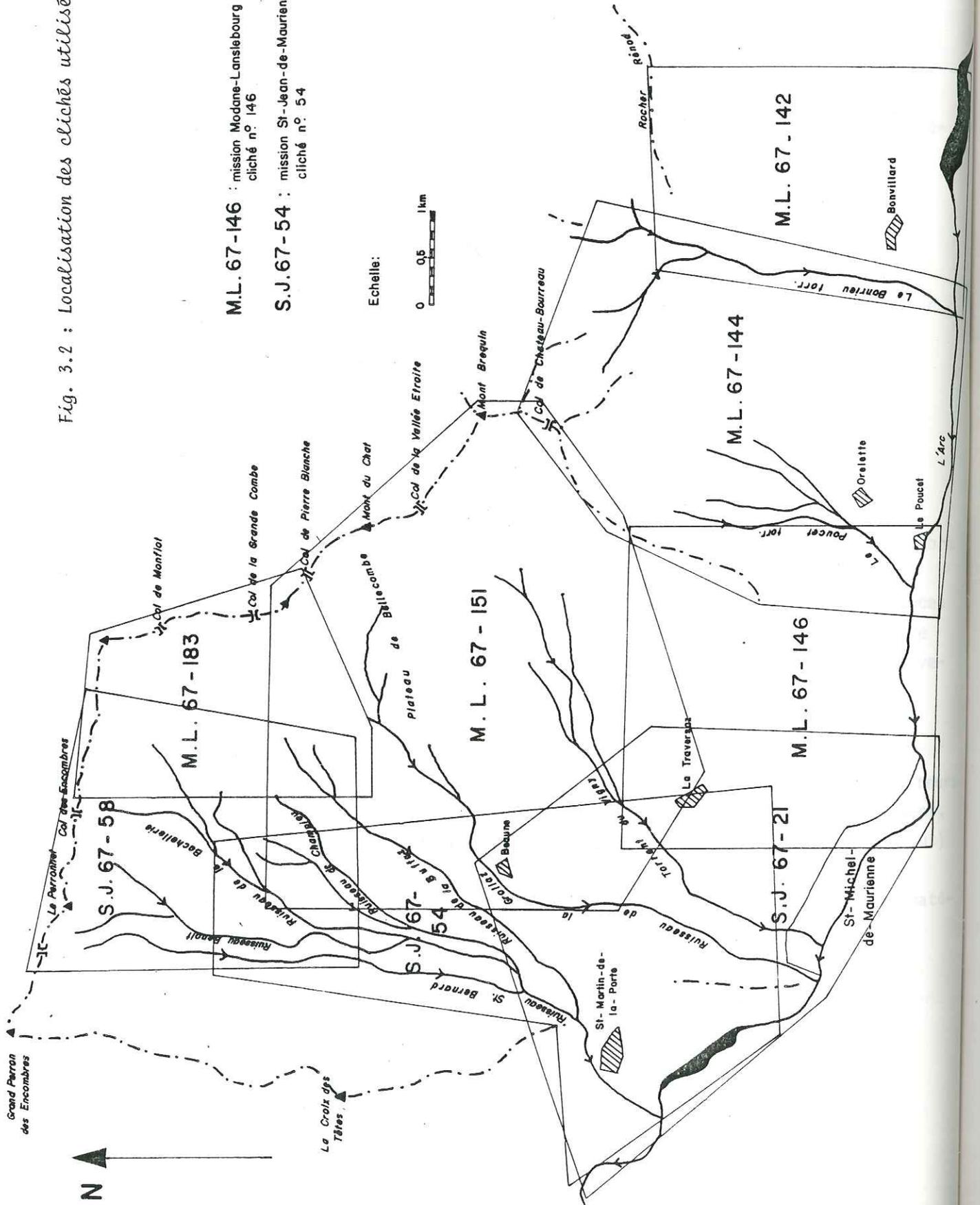


111

Fig. 3.2 : Localisation des clichés utilisés

M.L. 67-146 : mission Modane-Lanslebourg de 1967  
 cliché n° 146

S.J. 67-54 : mission St-Jean-de-Maurienne de 1967  
 cliché n° 54



Echelle:



## CHAPITRE II

### ETUDE PHOTO-INTERPRETATIVE

ET

### DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ANCIENS

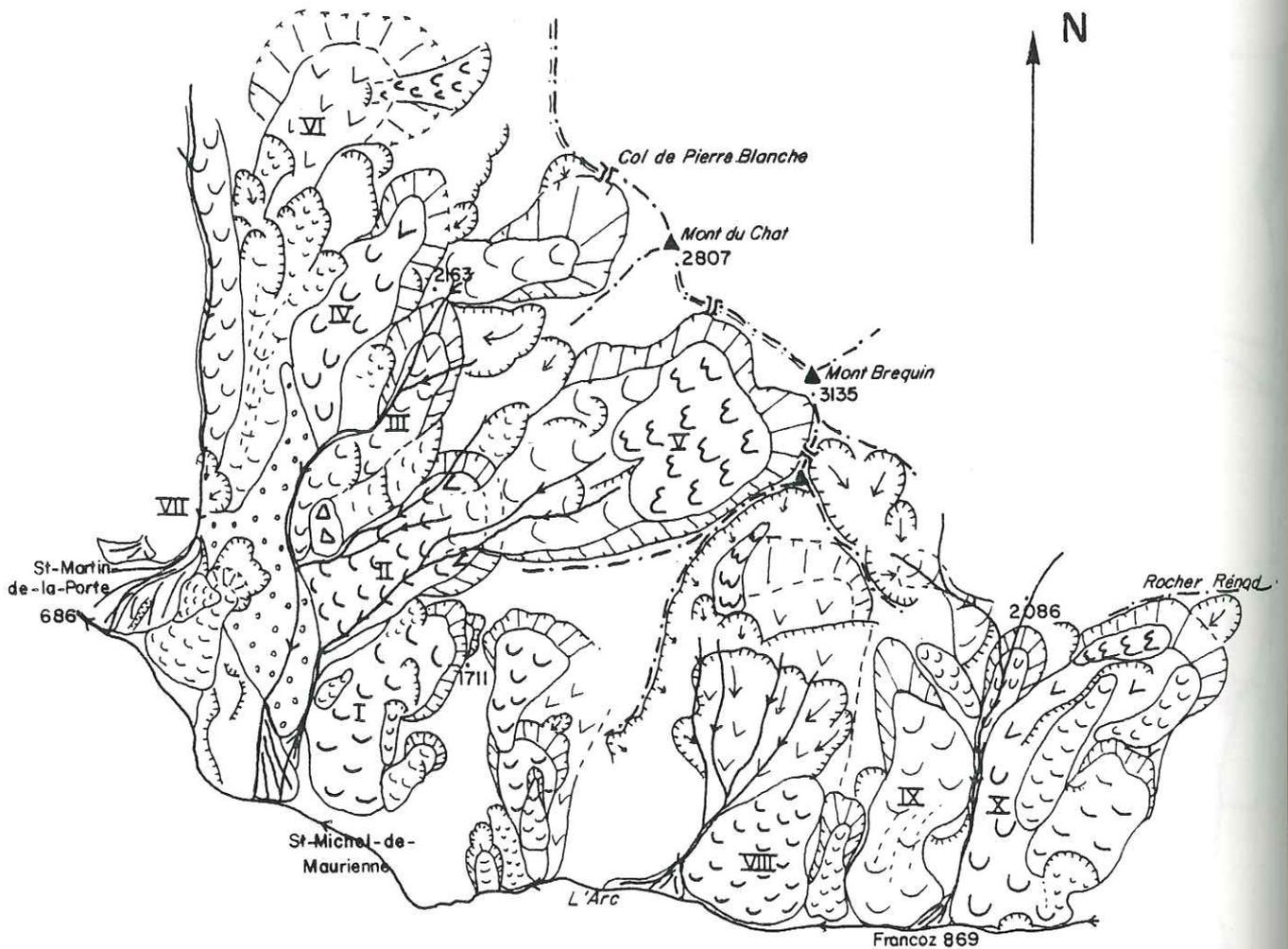
L'étude sur photographies aériennes permet, grâce à la vision stéréoscopique, de repérer les formes caractéristiques des mouvements de terrain (niche d'arrachement, langue de glissement) et d'en dessiner les contours. Elle est surtout utile pour fournir une vision synthétique des mouvements de grande ampleur que l'on peut difficilement appréhender sur le terrain par manque de recul.

Nous avons examiné environ 90 clichés extraits de toutes les missions I.G.N. échelonnées de 1953 à 1980 qui couvrent notre secteur d'étude. Durant ce laps de temps assez court, on ne constate pas, à cette échelle (à une exception près, que nous détaillerons dans la 4ème partie), d'évolution sensible des mouvements de terrain, mais on voit que, dans certaines zones, le couvert végétal a subi de nettes transformations (voir 1ère partie).

La photo-interprétation a été effectuée sur trois missions : celle de 1980 à environ 1/60.000, donnant une vision d'ensemble du secteur ; celles de Saint-Jean-de-Maurienne et de Modane-Lanslebourg de 1967 à environ 1/25.000, permettant d'entrer davantage dans le détail (voir localisation des clichés utilisés fig. 3.2.).

La représentation graphique de ces interprétations est traduite par des figurés (les mêmes pour toutes les figures) explicités dans la fig. 3.3(p. 217).





- I - Glissement de la Traversaz
- II - Glissement des chalets de Beaune
- III - Glissement du ruisseau de la Grollaz
- IV - Glissement du ruisseau de Champieu
- V - Glissement Ouest du Mont-Brequin
- VI - Glissements du sommet des Encombres
- VII - Coulées terminales des Encombres
- VIII - Glissement d'Orelette-le Poucet
- IX - Glissement de Francoz
- X - Glissement de Bonvillard

0 — 1 KM

Fig. 3.4 : Photo-interprétation d'ensemble

#### A - PHOTO-INTERPRETATION D'ENSEMBLE (fig. 3.4)

La première constatation qui ressorte de l'étude de ces photographies aériennes est l'importance des superficies affectées par les mouvements gravitaires ; en effet, on peut l'estimer à plus de 80 % du secteur étudié.

Les traits morphologiques induits par les glissements de terrain et qui apparaissent le mieux sont les grandes niches d'arrachement. Leur forme en croissant montrant un abrupt d'une hauteur variable (plus grande dans le centre de la niche et s'amoindrissant sur les bords), suggère une surface de rupture circulaire. Plus loin, nous montrerons que, dans la majorité des cas, les observations de terrain confirment cette première vision.

Ceux-ci, vers l'aval et ultérieurement, dégènèrent en coulées et sont repris, à des degrés divers, par des mouvements plus superficiels et plus diffus de reptation, solifluxion et laves boueuses (le long des cours d'eau) donnant des langues de glissement très étirées. Tous ces phénomènes conduisent finalement à un glissement généralisé des versants.

Sur de tels critères, nous distinguerons les versants du Col des Encombres - Mont Brequin orienté au Sud et à l'Ouest, montrant une morphologie molle et mamelonnée, et du Mont Brequin - Rocher Rénod orienté au Sud, au relief plus nerveux surtout dans ses parties hautes.

#### B - LE VERSANT "COL DES ENCOMBRES - MONT BREQUIN"

Situé au Nord de Saint-Michel-de-Maurienne, il montre une morphologie molle et mamelonnée caractéristique de glissements anciens, avec des ruptures de pentes brusques aux emplacements des anciennes niches d'arrachement. Ces mouvements gravitaires anciens, bien visibles sur la photo-interprétation (fig. 3.4) sont :

- I Le glissement de la Traversaz orienté au Sud-Ouest puis au Sud,
- II Le glissement des chalets de Beaune orienté à l'Ouest,
- III Le glissement du ruisseau de la Grollaz orienté au Sud-Ouest,

- IV Le glissement du ruisseau de Champieu orienté au Sud-Ouest,
- V Le glissement Ouest du Mont-Brequin orienté à l'Ouest,
- $\begin{matrix} \text{VI} \\ \text{VII} \end{matrix}$  } Les glissements et coulées des Encombres orientés au Sud.

### 1°) Caractéristiques générales des mouvements

A l'examen des photographies aériennes et compte tenu des observations de terrain, quatre mécanismes de déclenchement et de progression des mouvements gravitaires paraissent identifiables.

Les mieux représentés sont les glissements à surface de rupture circulaire qui apparaissent nettement sur les photographies aériennes (fig. 3.4). Ce sont les glissements I à IV.

Nos observations de terrain nous ont permis de distinguer un mécanisme de glissement à surface de rupture plane, de type couche sur couche, dans la partie haute du versant entre le Col de la Vallée Etroite et le Col de la Grande Combe, et au Nord du Col de Monfiot (non représenté sur la photo-interprétation).

Egalement dans le haut du versant, il est possible de différencier des mouvements de type solifluxion et reptation intéressant de très vastes étendues de terrain sur une épaisseur relativement faible. C'est le cas des mouvements V et VI (dans sa partie haute).

Enfin, des mouvements de type coulées, caractérisés par un rapport L/l grand, peuvent être identifiés au fond du vallon des Encombres. Ce sont les coulées terminales des Encombres (VII).

Les deux premiers types de mouvements affectent le substratum rocheux (Houiller formé d'une alternance de grès plus ou moins grossiers et de schistes sombres, entrecoupés de passées charbonneuses) et son recouvrement quaternaire ; tandis que les deux derniers ne concernent ici que des formations superficielles (éboulis, moraines, colluvions et matériaux glissés, souvent mêlés).

a) Caractères généraux des glissements circulaires :

Ils sont au nombre de quatre et occupent une position bien particulière dans le versant. En effet, leurs zones de départ se situent approximativement à mi-hauteur entre le fond du vallon et la ligne de crête, à proximité de la zone où se fait le changement du pendage général des couches (synclinal occidental).

L'altitude du sommet de leurs niches augmente régulièrement du Sud au Nord :

- glissement de la Traversaz : 1.800 m
- glissement des Chalets de Beaune : 1.900 m
- glissement de la Grollaz : 2.050 m
- glissement du Ruisseau de Champieu : 2.200 m

Ce type de glissement apparaît généralement dans des terrains meubles homogènes où aucune surface pré-existante ne détermine de faiblesse particulière dans le matériau. Mais il est nécessaire de signaler qu'un substratum rocheux (hétérogène et lité) très fissuré peut, à l'échelle d'un versant, se comporter de la même façon qu'un matériau pulvérulent (E. HOEK et J.-W. BRAY - 1981).

Ces glissements dégénèrent, la plupart du temps, en coulées dont la langue vient buter contre l'épaisse formation morainique, allongée selon une direction Nord-Sud et qui sépare le Torrent Saint-Bernard des ruisseaux de la Grollaz et du Vigny.

Ce sont des glissements anciens qui ont dû débiter immédiatement après le retrait du glacier würmien qui descendait des Encombres. La déglaciation débutant à l'aval, pour remonter vers les sommets, on peut envisager une chronologie relative de ces quatre glissements, le plus ancien étant celui situé le plus bas (glissement de la Traversaz) et le plus récent, le plus haut (glissement du Ruisseau de Champieu), même si, dans cet adret au bassin versant réduit et ne culminant pas très haut, cela ne correspond pas obligatoirement à un laps de temps très long.

b) Caractères généraux des glissements couche sur couche :

Ils occupent, quant à eux, la partie haute du versant où on peut les déceler grâce à la présence en plusieurs endroits d'une crête bifide (entre le Mont-Brequin et le Col de la Grande Combe et au Nord du Col de Monfiot - fig. 3.11 et 3.19). Ils se produisent dans des conditions structurales particulières où le pendage des couches est conforme à la pente topographique.

c) Caractères généraux des mouvements par solifluxion et reptation :

Ils occupent également le haut du versant (Ouest du Mont-Brequin V, sommet des Encombres VI) et résultent de la mise en mouvement d'une tranche superficielle de terrain formée de roches meubles et argileuses provenant de l'érosion et de l'altération des sommets environnants (éboulis, colluvions, etc.).

La solifluxion est un écoulement fluide non continu et mal délimité de matériaux gorgés d'eau. Elle intervient actuellement au printemps lorsqu'il se crée un mollisol temporaire et ne concerne que le mètre supérieur de terrain, alors qu'immédiatement après la disparition des derniers glaciers, l'épaisseur de matériaux affectés fut beaucoup plus importante.

La reptation est un déplacement différentiel d'une tranche superficielle sans apparition de surface de discontinuité cinématique nette et sans qu'il y ait nécessairement saturation.

d) Caractères généraux des coulées :

Ce qui caractérise les coulées, outre le fait que le rapport d'allongement est grand par rapport à un glissement, c'est qu'elles ne peuvent prendre naissance qu'aux dépens de matériaux peu cohérents. Les processus de solifluxion et de reptation qui peuvent se développer depuis le haut d'une pente, sont susceptibles d'alimenter en matériaux des coulées qui prennent naissance plus à l'aval. Les glissements aussi, de leur côté, peuvent dégénérer en coulées ou participer (par afflux latéral) à l'alimentation de celles-ci.

Les plus caractéristiques sont les coulées terminales des Encombres qui progressent lentement (quelque dm par an) dans le fond du vallon et alimentent le cône de déjection du Torrent Saint-Bernard.

## 2°) Monographies sommaires des principaux glissements

### a) Glissement de la Traversaz :

Il est visible sur le cliché n° 21 de la mission Saint-Jean-de-Maurienne (partie Est - fig. 3.5) ; il apparaît également sur les clichés n° 151 (Sud - fig. 3.11) et n° 146 (Ouest - fig. 3.6) de la mission Modane - Lanslebourg.

- Dimensions du mouvement : Longueur ..... 2,6 km  
 Largeur ..... 1,1 km  
 Superficie ..... 2,5 km<sup>2</sup>  
 L/l ..... 2,5

#### - Pente :

La pente moyenne du versant est de 21°, plus forte dans le haut du glissement et la niche d'arrachement (35°), et entrecoupée de replats à pente faible (15°).

#### - Géologie des formations superficielles :

Noter la présence, au bas de la niche d'arrachement, entre 1.500 m et 1.600 m d'altitude, d'une moraine latérale caractéristique très "fraîche", déposée ici postérieurement au glissement principal.

Fig. 3.5 : Photo-interprétation du glissement de la Traversaz

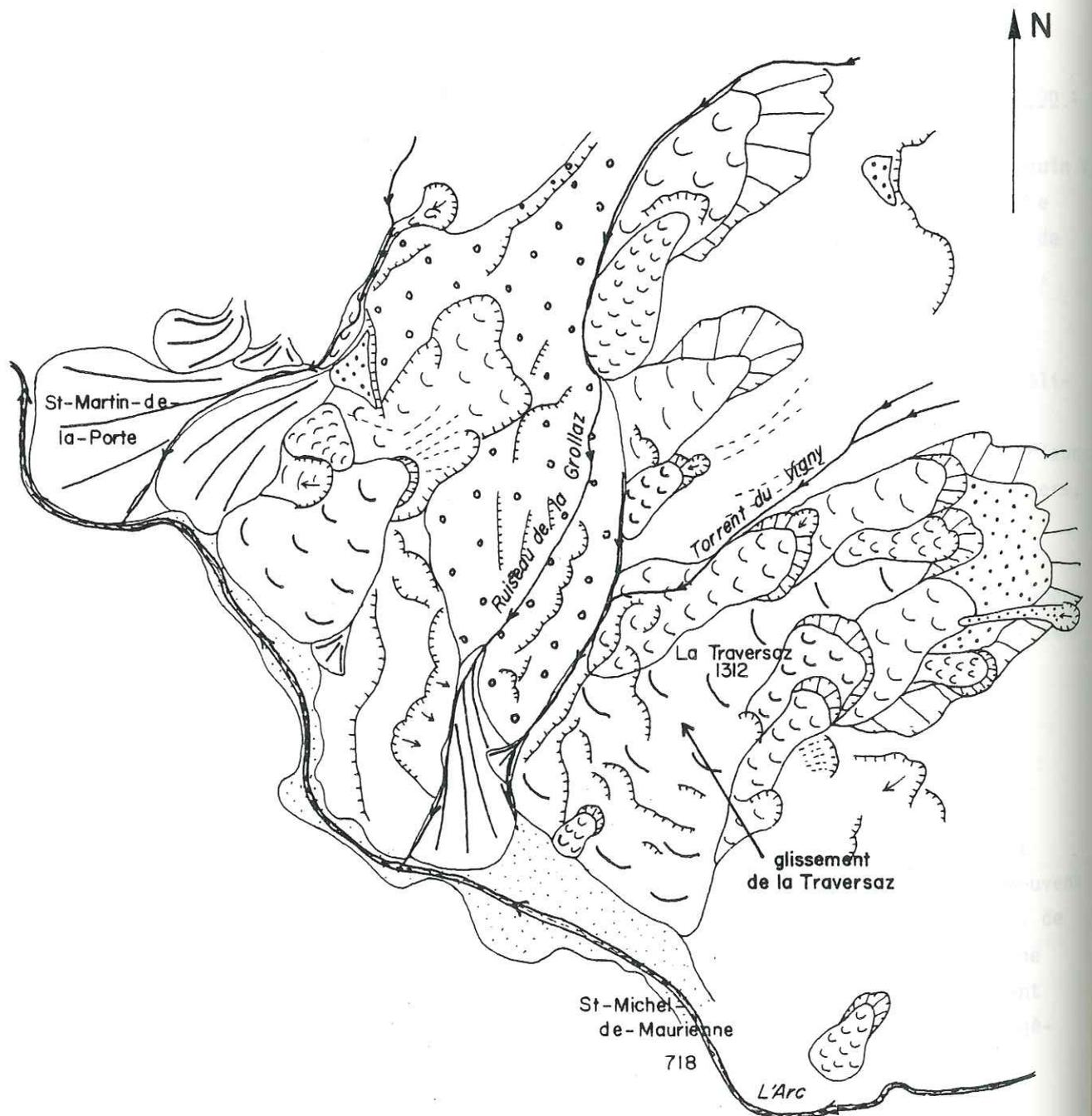
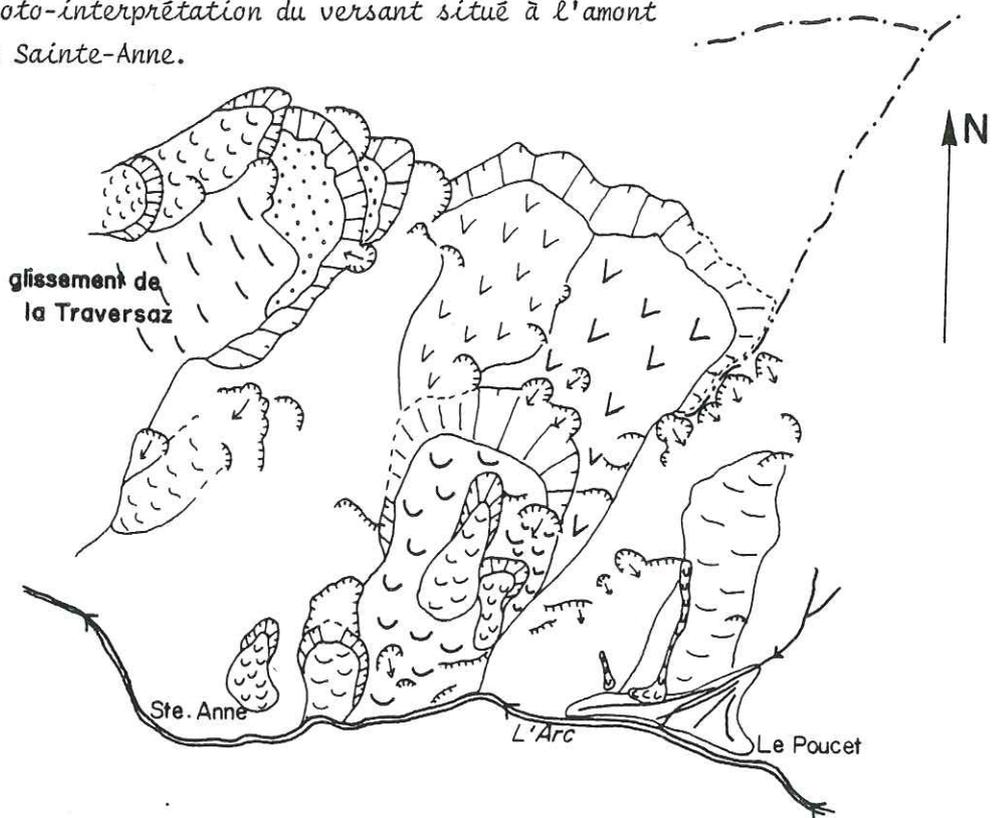
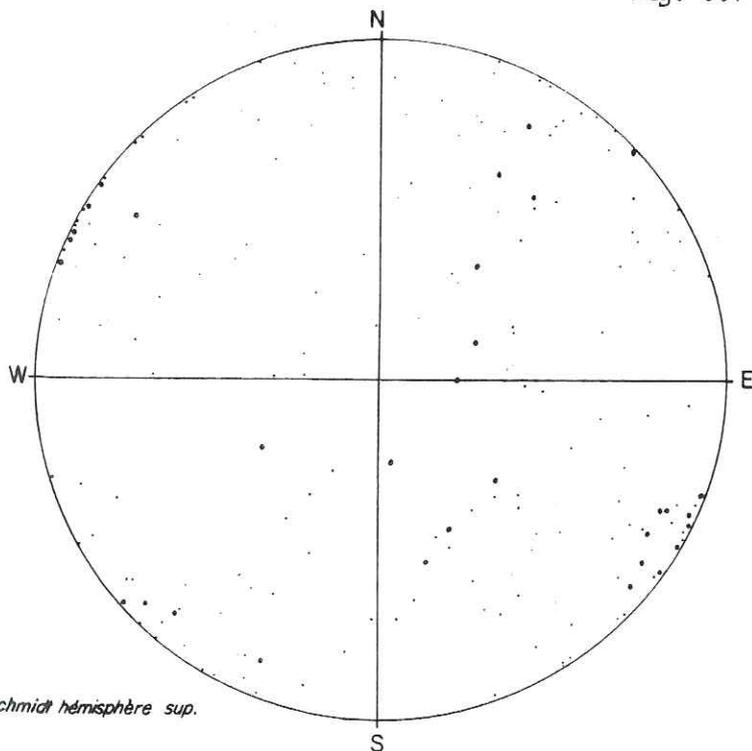


Fig. 3.6 : Photo-interprétation du versant situé à l'amont de Sainte-Anne.



La Traversaz

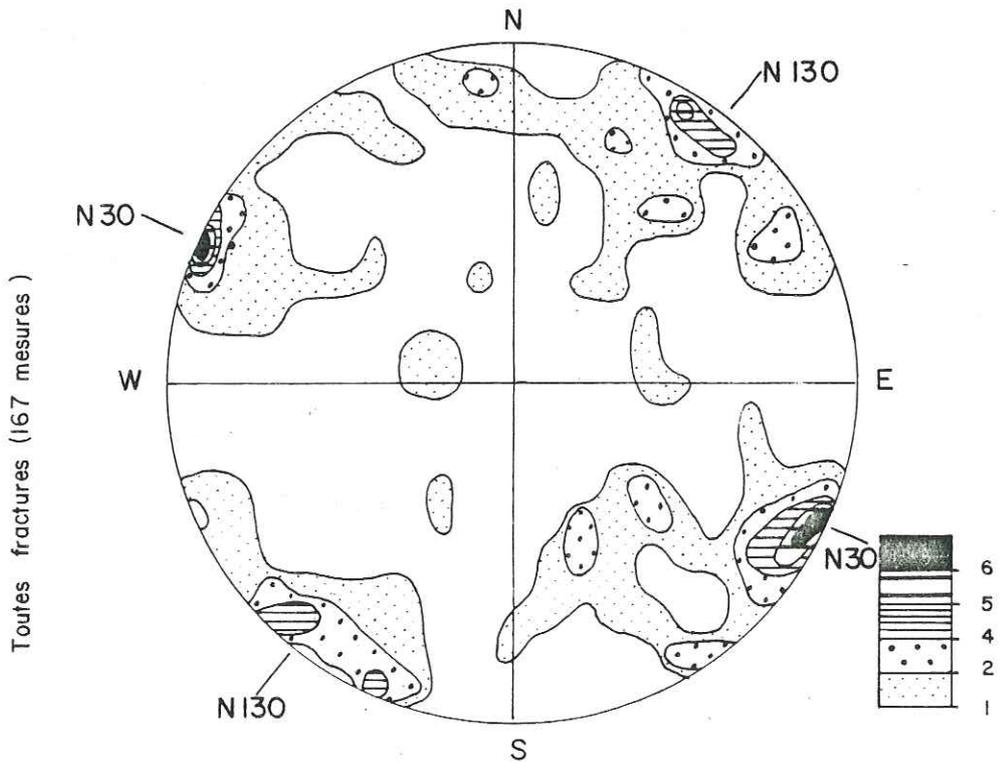
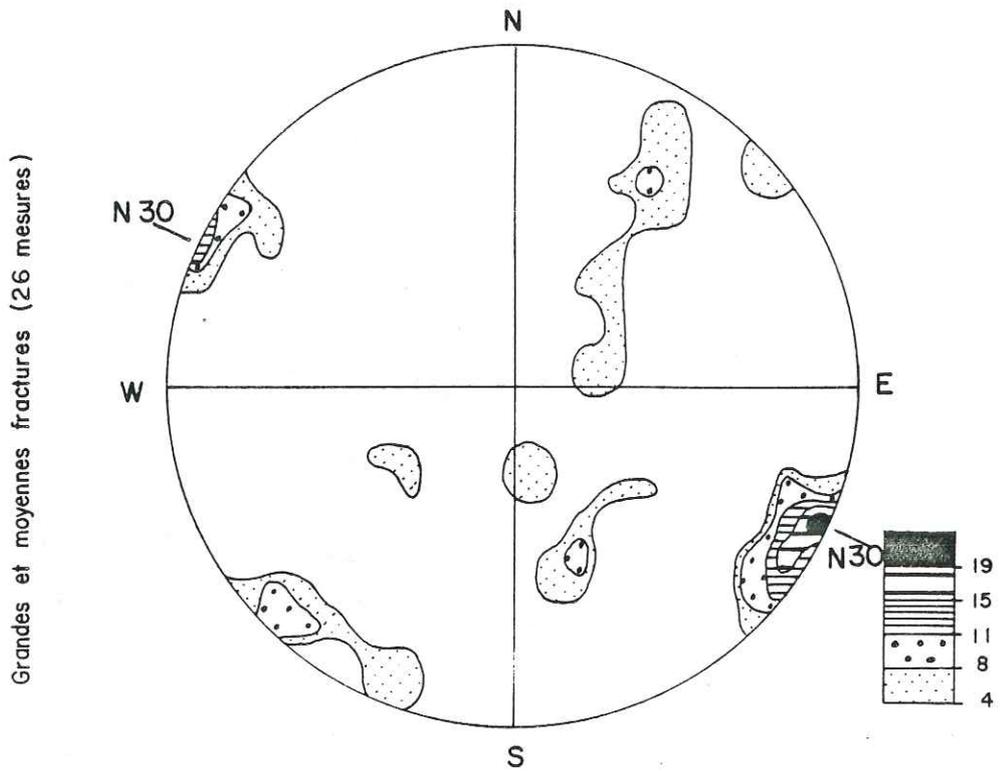


Schmidt hémisphère sup.

Fig. 3.7 : Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (La Traversaz).

- petites fractures
- grandes et moyennes fractures

# La Traversaz



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 3.8 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt (La Traversaz)

- Géologie du substratum :

Les passées charbonneuses sont nombreuses et d'une épaisseur variant d'une dizaine de centimètres à 1,5 m.

La structure est complexe : elle montre de nombreux replis d'axe approximativement Nord-Sud, déversés vers l'Ouest. Les pendages relevés sont très variables.

La fracturation est assez dense et sa répartition homogène dans toutes les directions (fig. 3.7) si l'on considère les fractures de toutes dimensions. Celles de dimensions grande et moyenne font apparaître une famille dominante N30 subverticale (fig. 3.8).

- Hydrogéologie :

Dans la niche d'arrachement on observe quelques suintements et une source (3 l/s) qui apparaissent sur une limite schistes-grès vers 1.700 m d'altitude. Il existe quelques petites sources qui sortent dans la partie médiane de la langue de glissement.

- Hypothèse sur la surface de glissement :

La densité et la répartition homogène de la fracturation (fig. 3.7) permettent d'admettre qu'à l'échelle du massif le rocher fracturé est équivalent à un milieu pulvérulent. L'hypothèse d'une surface de rupture circulaire devient alors logique.

Le dessin minutieux de la coupe longitudinale interprétative (fig. 3.9) permet d'estimer une profondeur probable pour la surface de rupture (un peu plus de 100 m) et une épaisseur pour la langue de glissement (environ 50 m). Ceci nous donne un volume approximatif de  $150 \times 10^6 \text{ m}^3$  pour les matériaux déplacés.

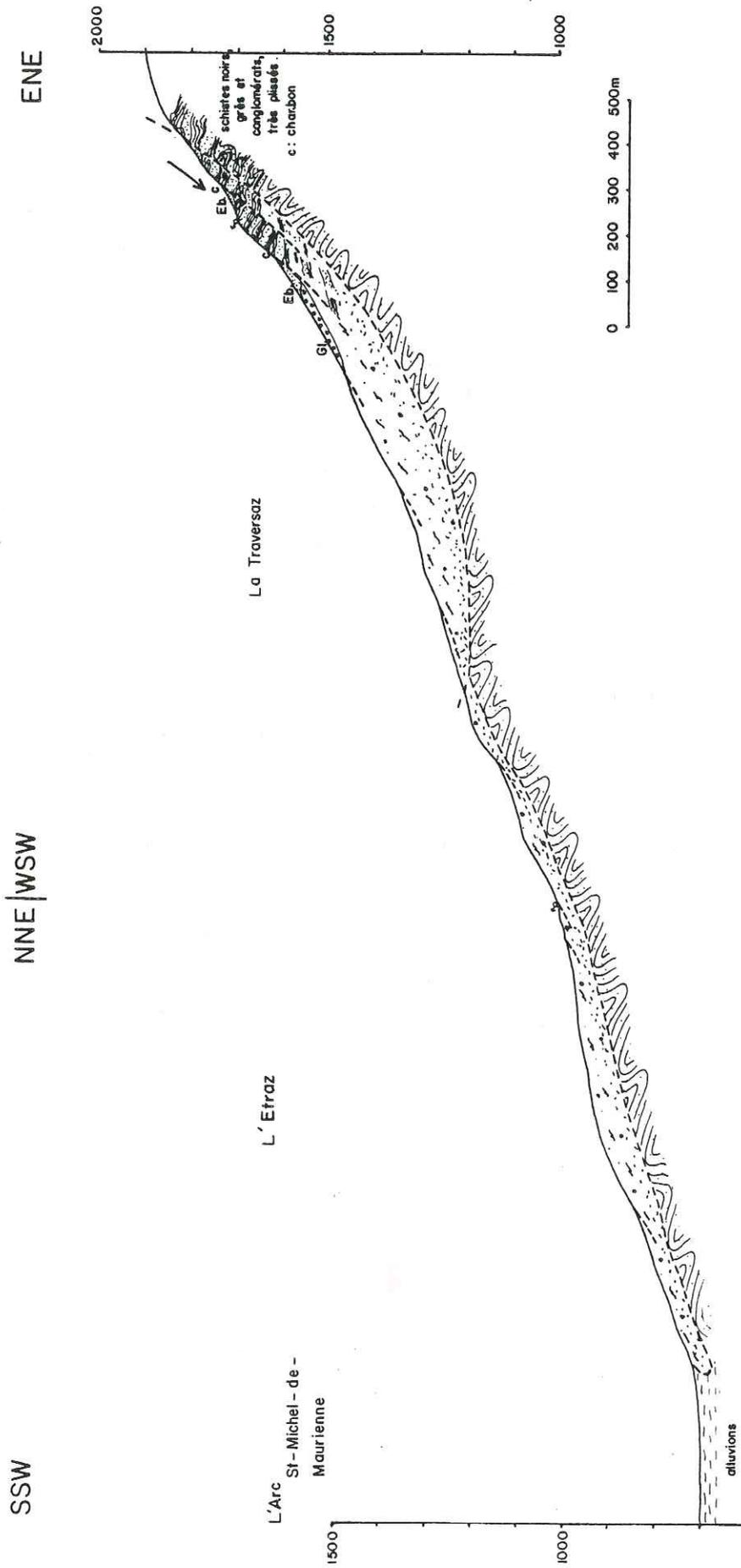


Fig. 3.9 : Glissement de la Traversaz - Coupe longitudinale interprétative

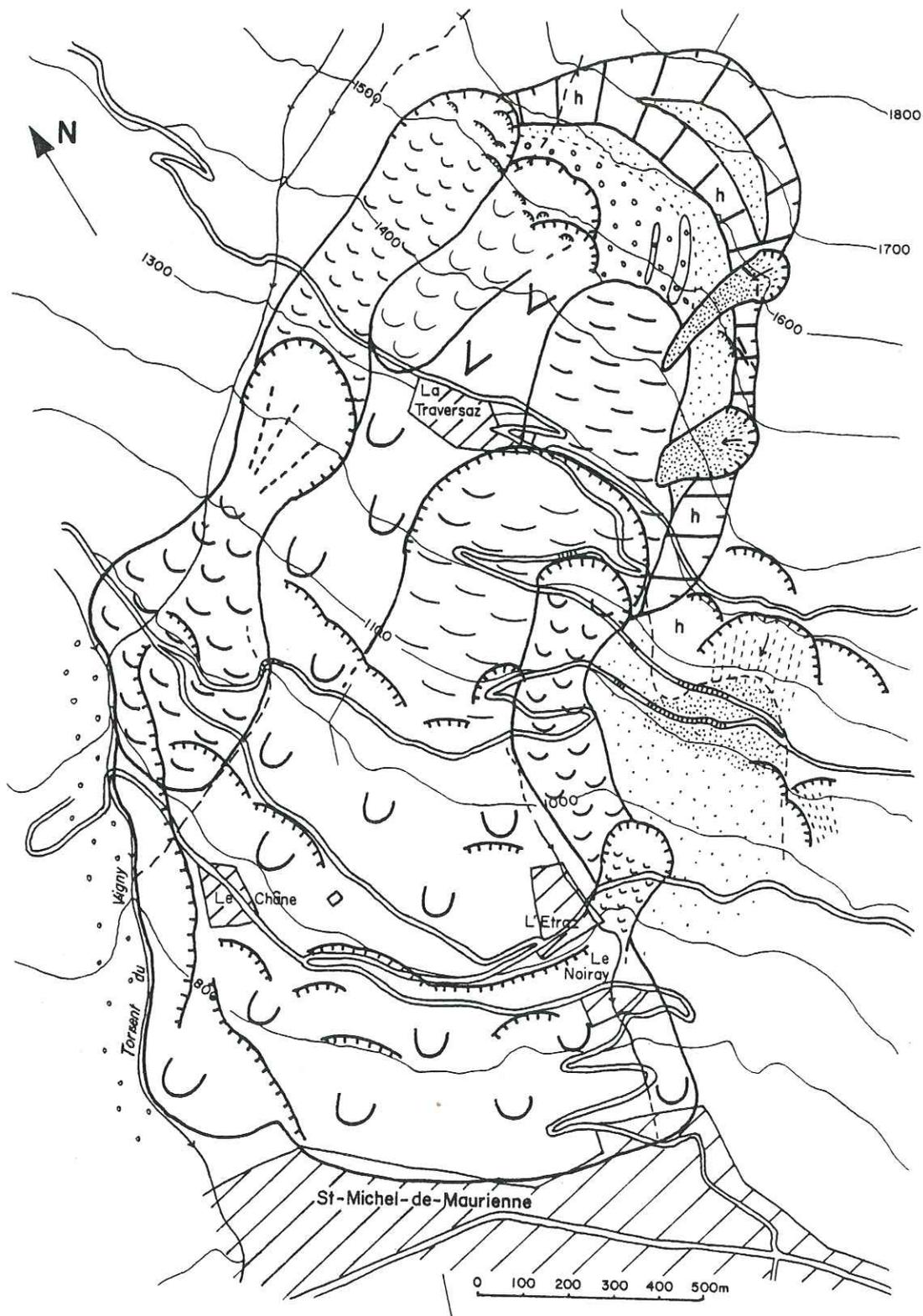


Fig. 3.10 : Glissement de la Traversaz (Morphologie, géologie)

- Conclusion (fig. 3.9 et 3.10) :

Ce glissement de la Traversaz, mixte par sa composition (Houiller et recouvrement quaternaire), a pris naissance au sein du massif rocheux très fracturé.

La pente initiale du versant dans la zone de départ peut être estimée à 30° environ.

La fracturation joue un rôle important par sa densité qui détermine un comportement particulier (non "rocheux") du terrain.

Ce glissement est ancien (probablement contemporain du retrait du glacier würmien de la vallée de l'Arc) et la présence d'une moraine latérale très "fraîche" dans la niche d'arrachement semblerait signifier qu'un épisode de crue glaciaire a succédé au glissement.

Ultérieurement, la masse glissée, qui s'infléchit vers le Sud en se bloquant sur la formation morainique affleurant à l'Ouest du Torrent du Vigny et qui s'étale jusqu'au fond de la vallée de l'Arc, a été reprise en plusieurs endroits par des glissements secondaires de moindre importance et de moindre ampleur, mais dont certains provoquent encore actuellement des instabilités (voir les dégradations de la route de la Traversaz). De plus, ces matériaux très remaniés sont sensibles aux moindres changements de conditions hydriques comme l'attestent les nombreux désordres affectant les talus de route.

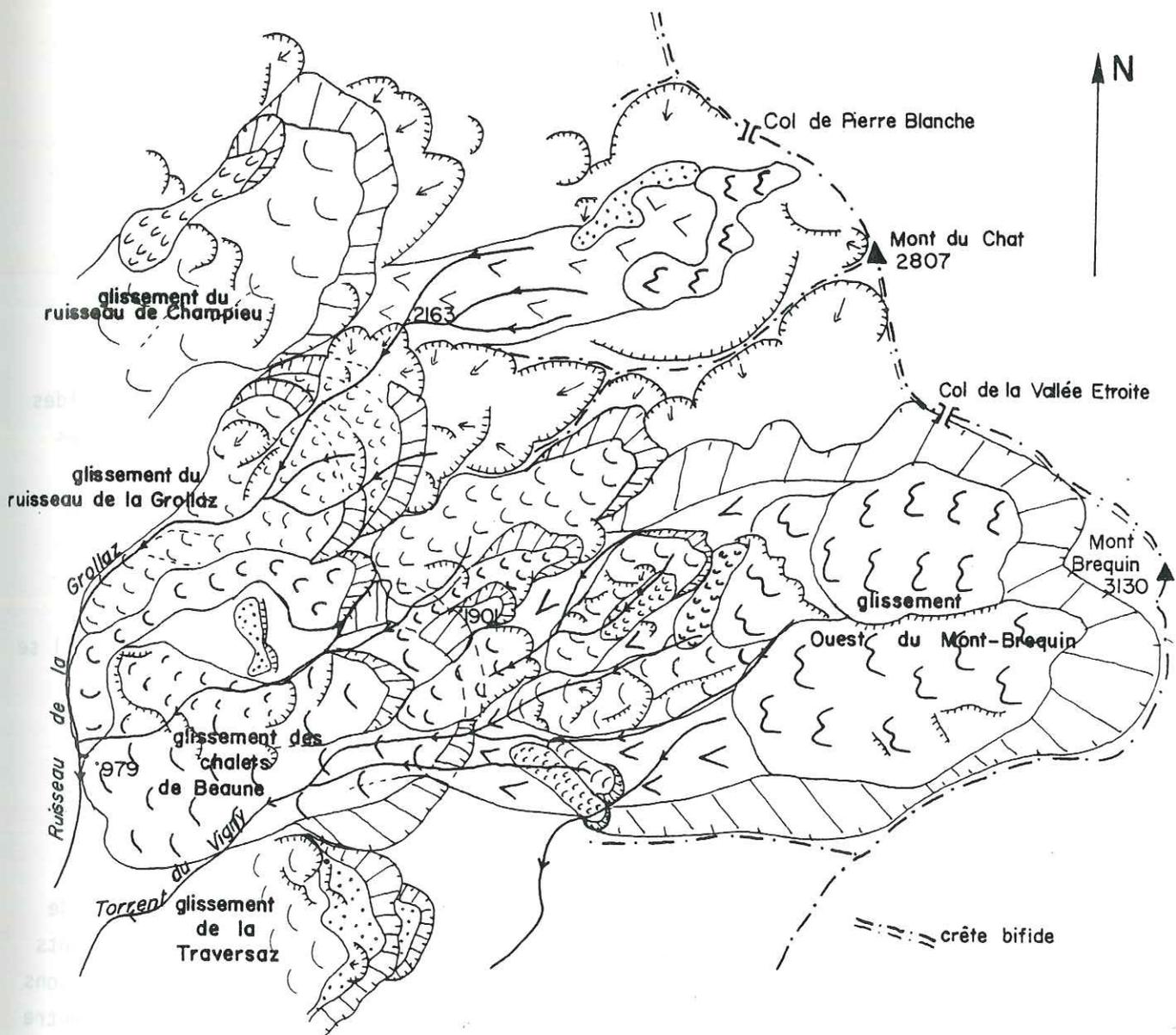


Fig. 3.11 : Photo-interprétation du versant Ouest du Mont-Brequin

b) Glissement des Chalets de Beaune :

Il apparaît sur le cliché n° 151 (fig. 3.11) de la mission Modane - Lanslebourg, dans l'angle Sud-Ouest.

- <u>Dimensions du mouvement</u> :	Longueur .....	2,5 km
	Largeur .....	0,8 km
	Superficie .....	1,8 km <sup>2</sup>
	L/l .....	3

- Pente :

La pente moyenne est de 21° avec quelques secteurs plus raides (27°) surtout vers le bas. La niche d'arrachement, entre Les Avanières et les Chalets de Beaune, possède une pente plus forte de l'ordre de 33°.

- Géologie du substratum :

Il n'apparaît que très peu, aux environs des Avanières où il se caractérise par une forte proportion de schistes (> 50 %).

A l'Ouest des Avanières on a une succession de plis droits serrés, tandis qu'en se dirigeant vers l'Est, on aborde une zone plutôt synclinale (synclinal occidental).

La fracturation revêt, ici, une grande importance du fait de son intensité très supérieure à la normale. Les affleurements situés à l'Est des Avanières sont ceux sur lesquels nous avons relevé le plus grand nombre de plans de discontinuité au mètre (plus de 25) répartis de manière homogène dans toutes les directions (fig. 3.12). Les fractures de dimensions grande et moyenne font ressortir deux familles dominantes de directions N60 et N80 subverticales (fig. 3.13).

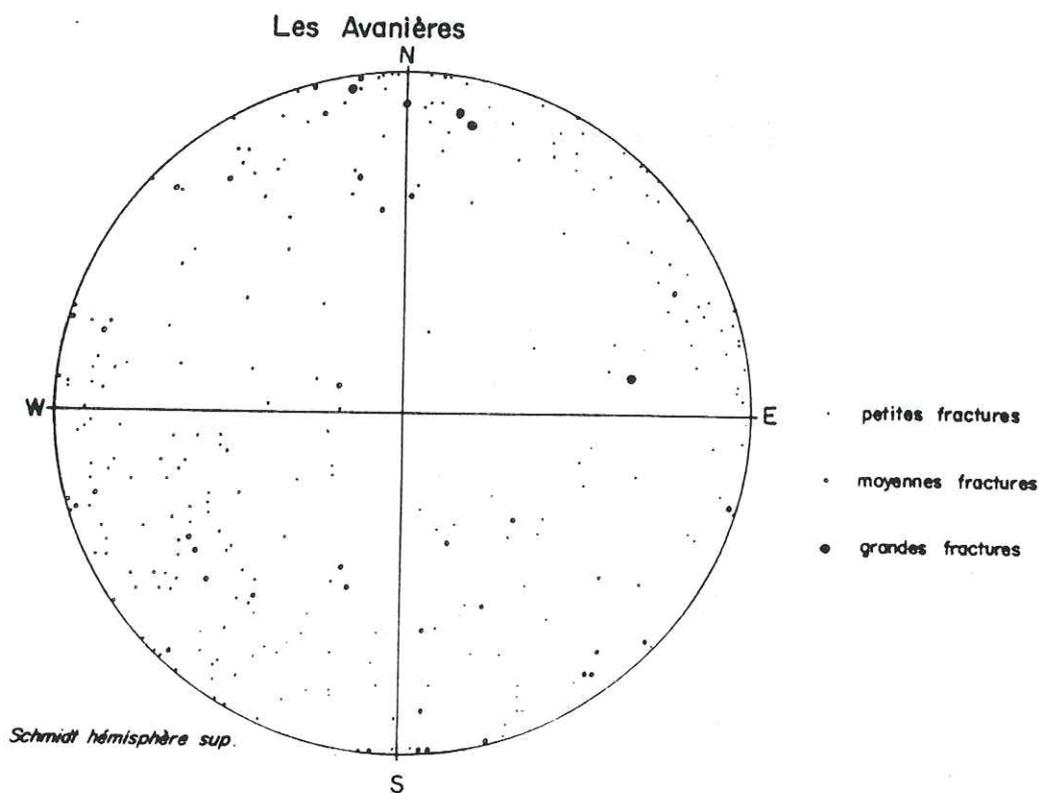


Fig. 3.12 : Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (Les Avanières)

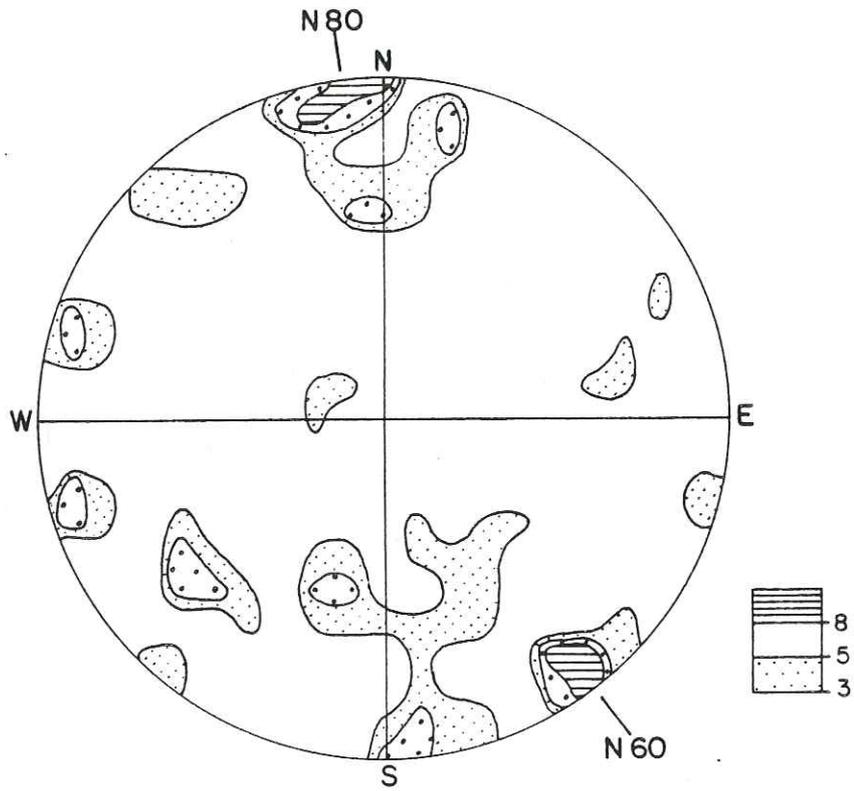
- Hydrogéologie :

Le drainage de surface est le fait du torrent du Vigny et de ses nombreux affluents. On observe, en de nombreux endroits, des pertes totales ou partielles de l'eau circulant dans ces ruisseaux.

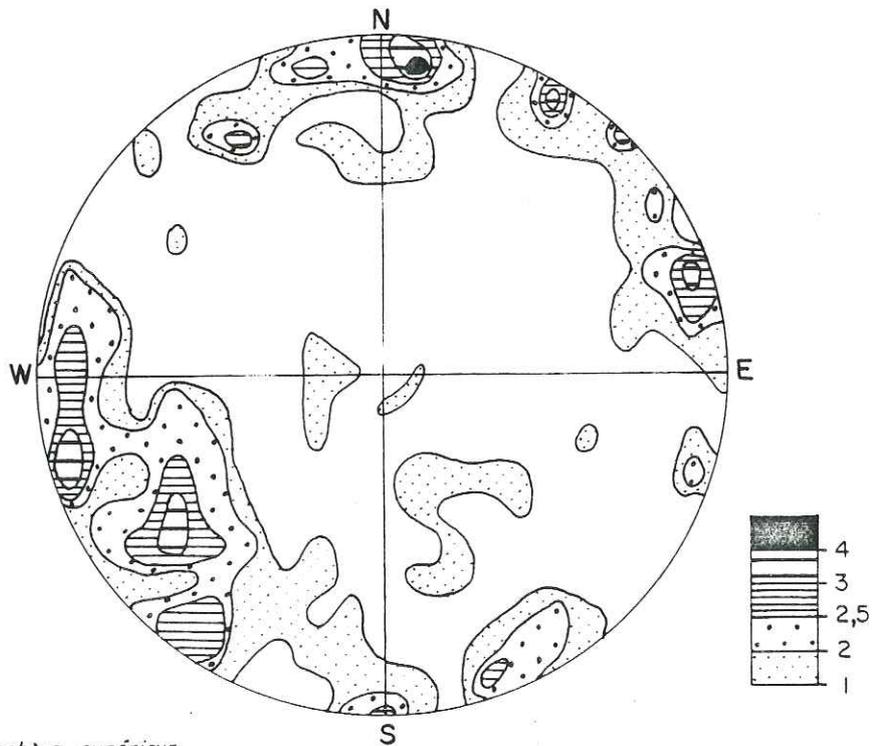
Les suintements, sources et marécages sont nombreux. On peut dire que, dans sa partie haute et moyenne, la langue du glissement est gorgée d'eau ; il n'est que de voir les deux sondages effectués au Sud des Avanières en juillet-août 1983 (Ch. V - 2ème partie) : le niveau piézométrique s'y est établi pour cette période (qui n'est pas la plus humide de l'année, loin s'en faut !) très près de la surface topographique.

# Les Avanières

Grandes et moyennes fractures (36 mesures)



Toutes fractures (265 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 3.13 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt (Les Avanières)

- Hypothèse sur la surface de rupture :

Etant donné l'intensité et la répartition de la fracturation (fig. 3.12), une surface de rupture circulaire dans le substratum fissuré paraît très probable. On peut estimer, par une construction précise basée sur les données topographiques, sa profondeur à environ 100 m (fig. 3.14). La langue de glissement aurait, quant à elle, une quarantaine de mètres d'épaisseur soit un volume d'environ  $100 \times 10^6 \text{ m}^3$  de matériaux remaniés.

- Conclusion (fig. 3.14 et 3.15) :

Le glissement principal a pris naissance vers la cote 1.950 m dans le substratum rocheux sur une pente que l'on peut estimer à  $25^\circ$ . Deux facteurs ont dû influencer sur le déclenchement d'un tel mouvement : ce sont la très forte densité de la fissuration du massif et la présence d'une nappe de fissure au niveau piézométrique élevé.

L'évolution du versant se poursuivant, la masse déplacée a été affectée, dans sa partie médiane et inférieure, par quelques glissements de moindre ampleur, tandis que la niche d'arrachement s'est trouvée en partie oblitérée par des matériaux venant de l'amont sous forme de coulées (fig. 3.16).

Un certain nombre de mouvements se poursuivent actuellement dans la tranche superficielle du versant (sur quelques mètres) à une vitesse relativement lente (reptation) comme le montrent les "terrassettes" abondantes lorsque la pente est forte (Ouest de la Chapelle Sainte-Marguerite), ou les bourrelets et marécages présents lorsque la pente est faible.

Le glissement principal semble à peu près stabilisé. En effet, bien que des sondages carottés au Sud des Avanières montrent que, jusqu'à une profondeur  $> 20$  m, on ne rencontre que des matériaux remaniés, des sondages sismiques ont donné des vitesses supérieures à 2.700 m/s à moins de 20 m de profondeur. On peut donc dire que ces matériaux glissés sont, la plupart du temps, bien compactés et à peu près stables si les conditions naturelles actuelles ne sont pas modifiées.

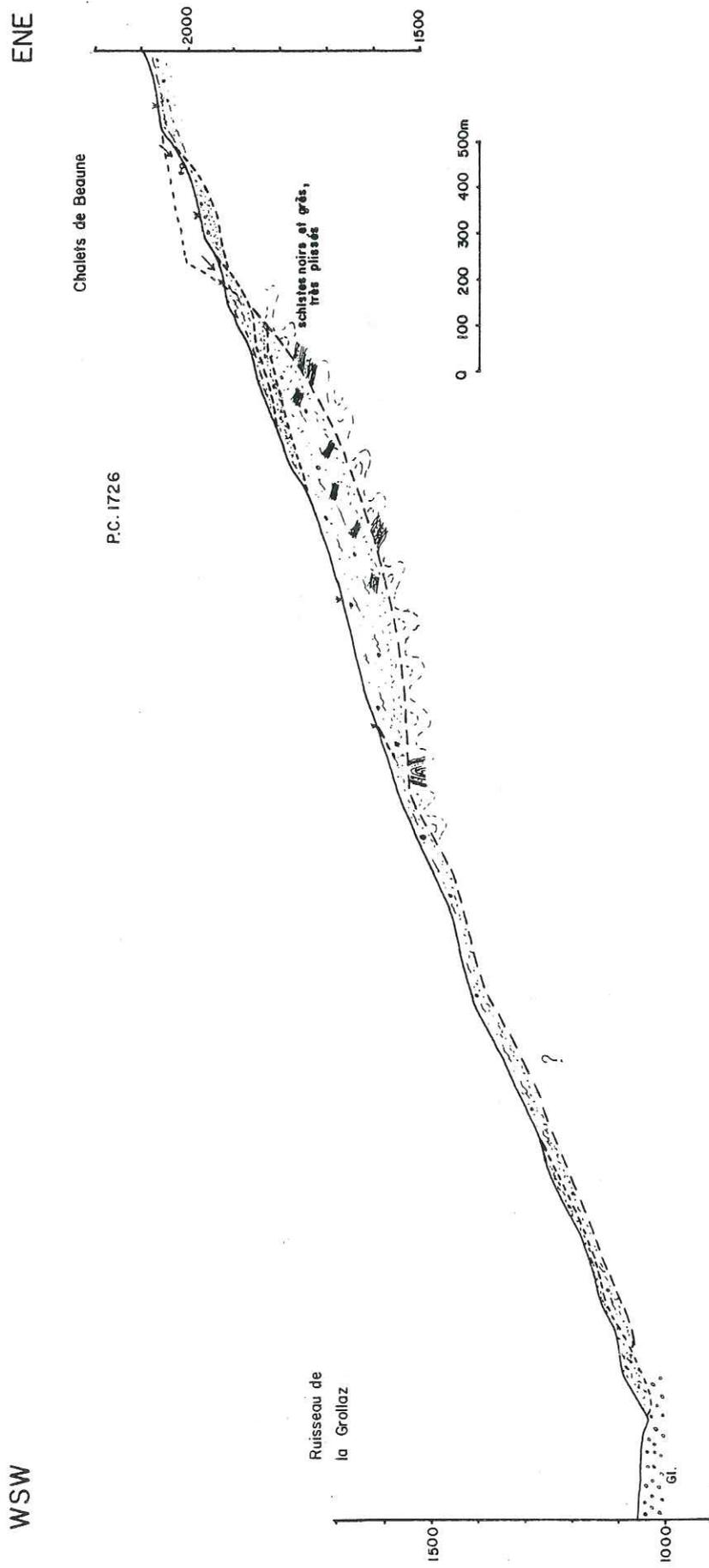


Fig. 3.14 : Glissement des chalets de Beaune - coupe longitudinale interprétative

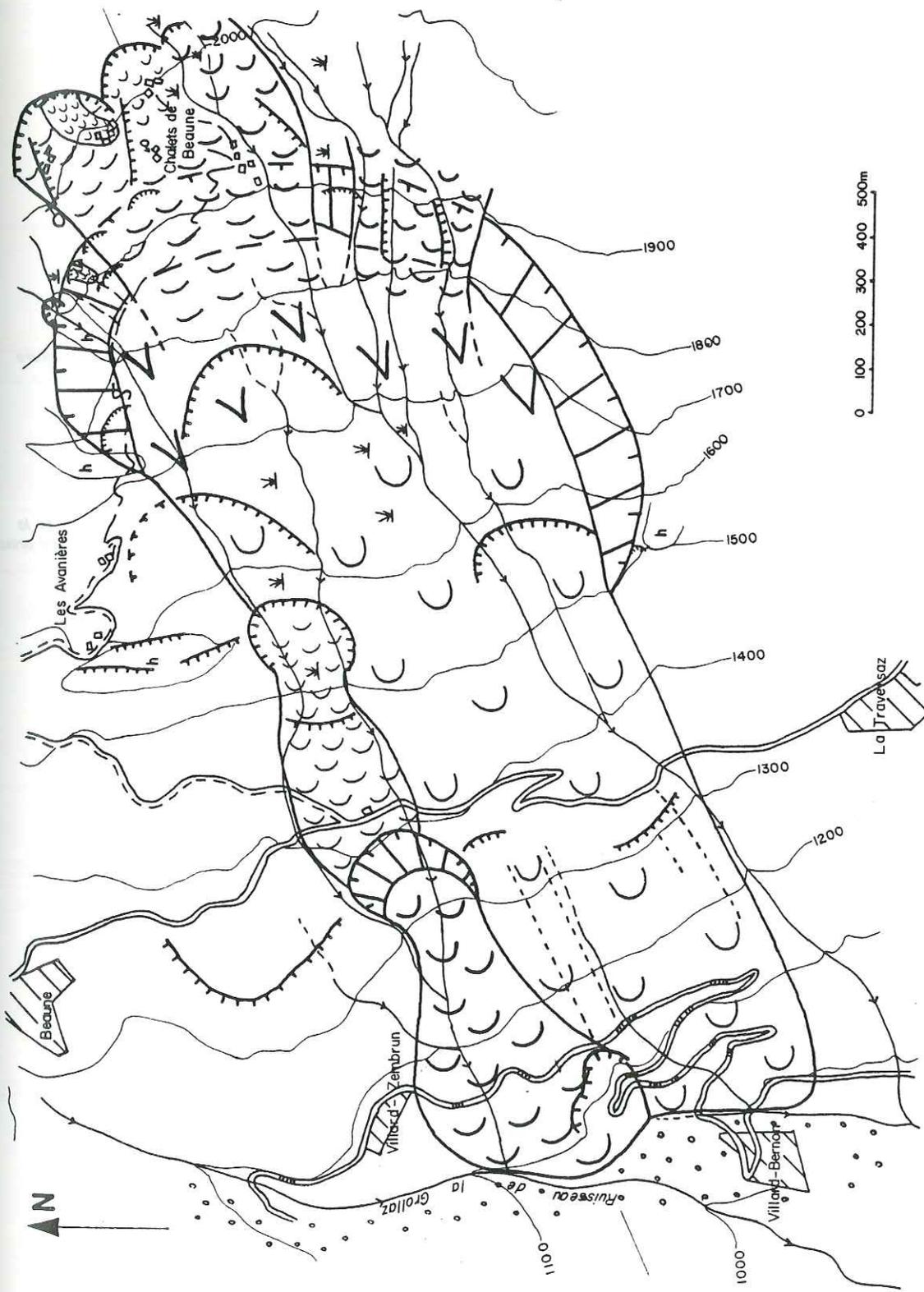


Fig. 3.15 : Glissement des chalets de Beaune (morphologie, géologie)

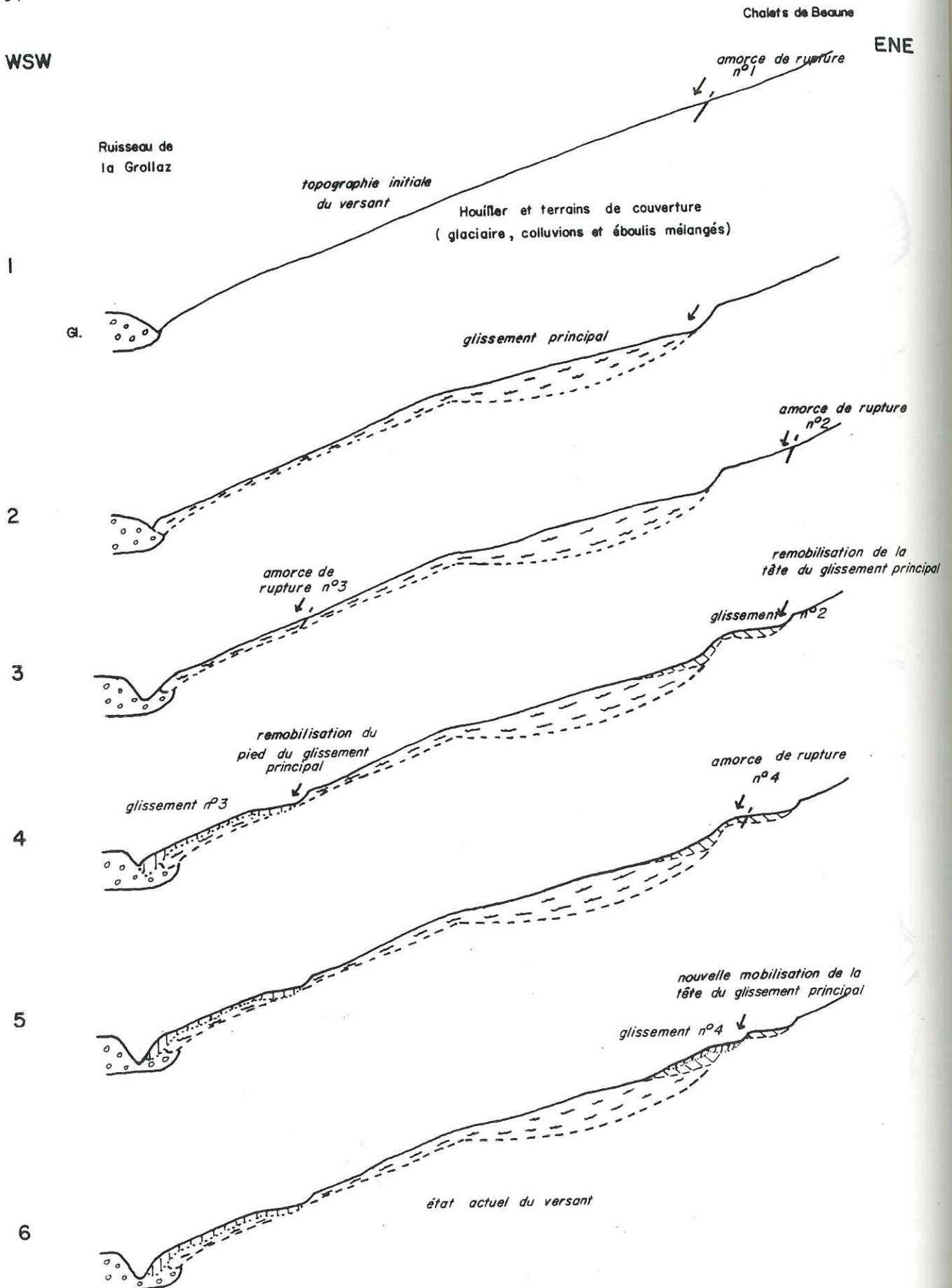


Fig. 3.16 : Evolution dans le temps du glissement des chalets de Beaune (coupes longitudinales schématiques)



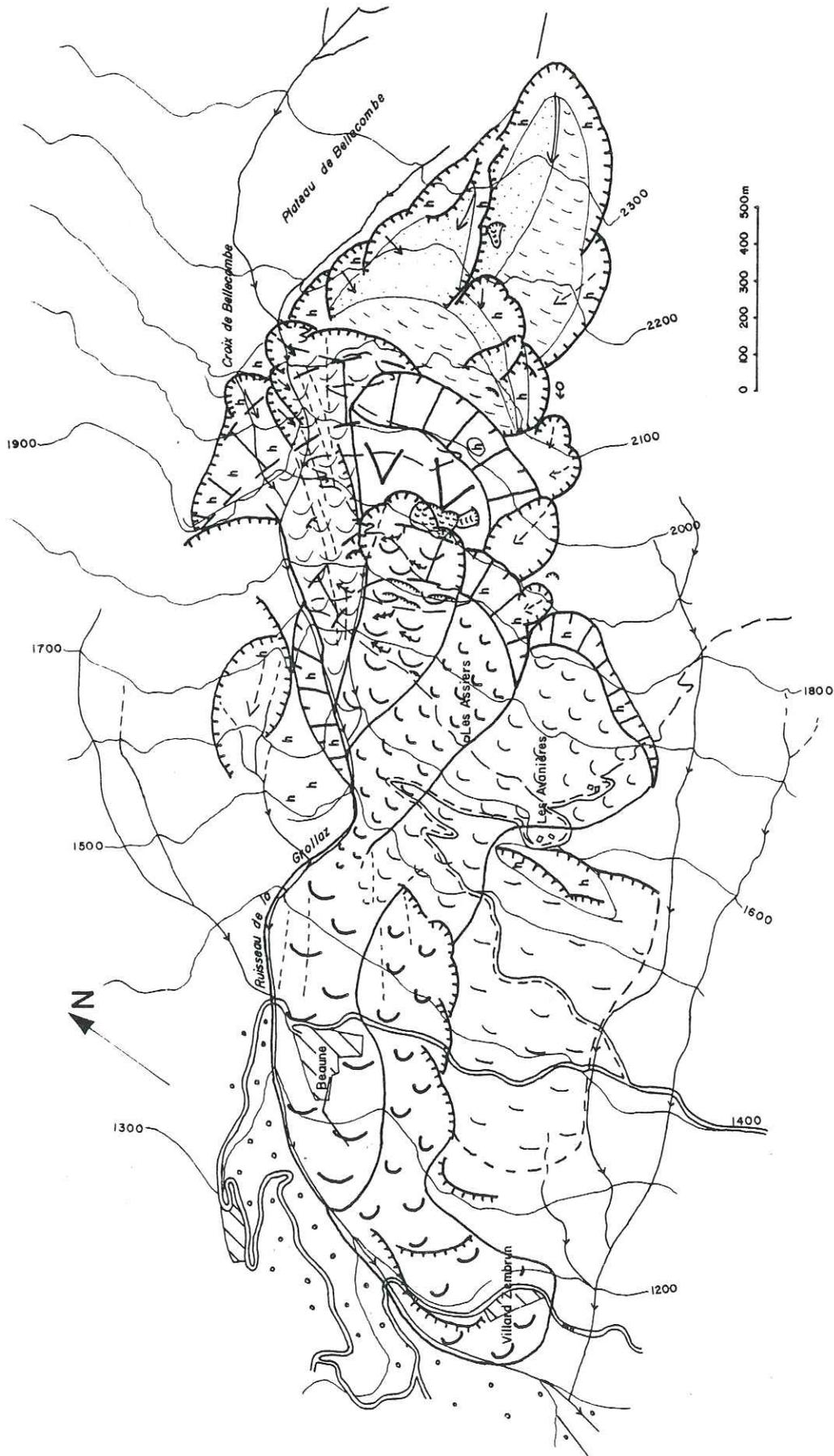


Fig. 3.17 : Glissement du ruisseau de la Grollez (Morphologie, géologie)

N | WSW

S

ENE

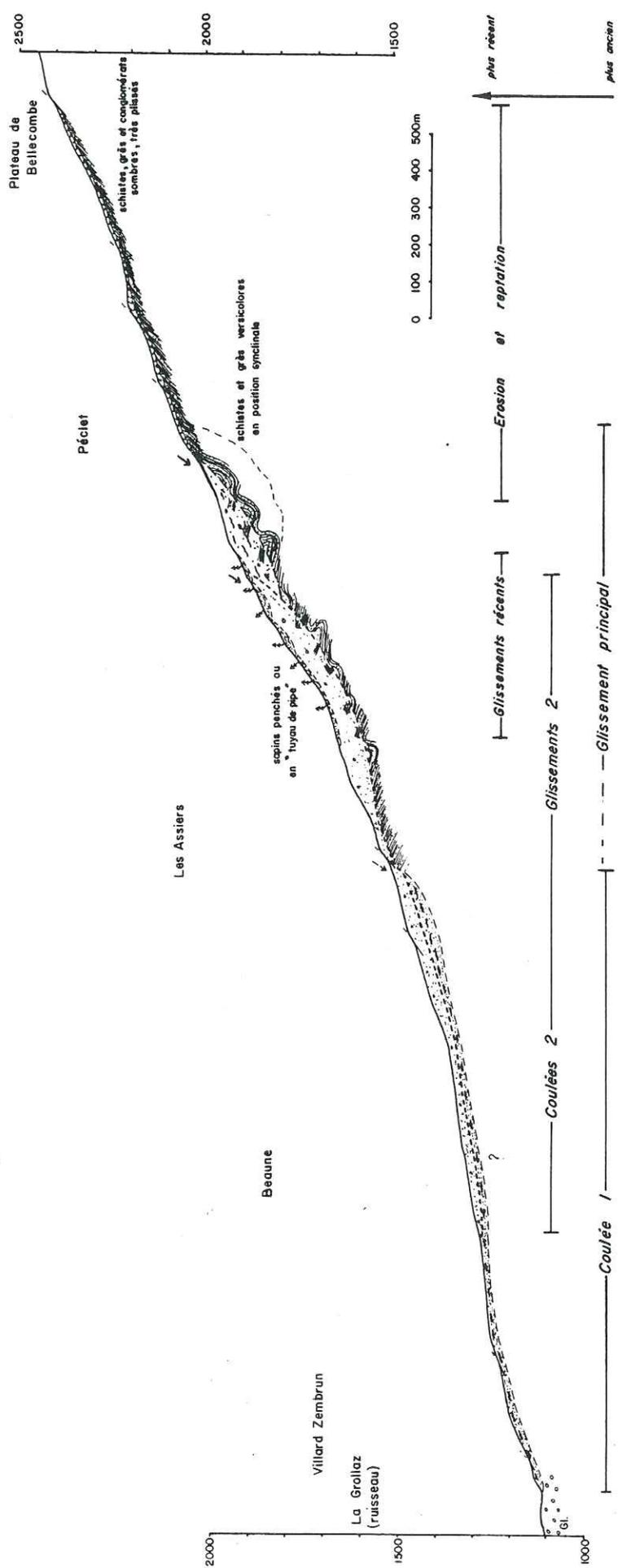


Fig. 3.18 : Glissement du ruisseau de la Grollaz - coupe longitudinale interprétative

- Hydrogéologie :

Le drainage superficiel se fait par le ruisseau de la Grollaz et ses affluents les ravins de Bellecombe, de Péclet et du Richardeau (voir détails sur le débit de ce cours d'eau- Partie 1).

L'eau souterraine est très abondante, surtout en période de fonte des neiges, dans les tranches superficielles du terrain. Elle est en partie collectée par un réseau de plus de 20 km de drains généralement fermés, de toute profondeur, installés par le service de Restauration des Terrains en Montagne (R.T.M.) de l'Office National des Forêts.

Noter également la présence de plusieurs sources dans le haut (2.000 m) et à l'amont (2.100 m) de la niche d'arrachement supérieure, ainsi que dans les niches secondaires (entre 1.800 et 1.900 m).

- Hypothèse sur la surface de rupture :

Pour les mêmes raisons que dans le cas précédent, on peut admettre que l'on a affaire à une surface de rupture plus ou moins circulaire dans le substratum.

Le dessin de la coupe longitudinale (fig. 3.18) permet d'estimer sa profondeur actuelle (60 à 80 m) et l'épaisseur de la langue du glissement (30 à 50 m), ainsi que le volume de matériaux remaniés ( $140 \times 10^6 \text{ m}^3$  environ).

- Conclusion :

Le glissement initial s'est produit, vers la cote 2.100 m, sur un versant dont la pente devait avoisiner  $40^\circ$ , dans un substratum rocheux fissuré et pratiquement saturé en eau (sources dans le haut de la niche d'arrachement et à l'amont). C'est un glissement ancien qui s'est produit en plusieurs épisodes que l'on peut essayer de décrire chronologiquement (fig. 3.17 et 3.18).

Le premier glissement (glissement principal) s'est produit vers la cote 2.100 m. Seule une petite partie du corps du glissement est encore visible actuellement du fait d'un important remaniement postérieur en ce qui concerne les parties basses, ou d'un recouvrement par des coulées récentes pour la partie haute. Les matériaux concernés par ce glissement (et par lui-seul) n'apparaissent donc que localement entre les cotes 1.950 et 2.050 m).

Un second glissement semble débiter immédiatement après, vers la cote 1.500 m, en remaniant la partie inférieure du glissement principal. Il évolue rapidement en coulée pour donner l'épandage de matériaux qui progresse jusqu'à Villard-Zembrun (coulée 1 ).

Une troisième génération de glissements occupe la partie médiane du versant (glissements 2 ). La niche d'arrachement se situe aux alentours de 1.900 m où elle reprend en "cascade" la niche principale et s'étend plus loin vers le Sud. La partie inférieure dégénère en coulée qui s'étire jusqu'à la cote 1.230 m. La moitié amont de ce glissement est occupée par la forêt domaniale de la Grollaz.

Enfin, nous pouvons définir, dans la partie haute du versant (au-dessus de 1.700 m), une dernière génération de mouvements gravitaires récents à actuels, que l'on peut séparer en deux catégories. La première montre, entre 1.700 et 1.930 m, des glissements circulaires circonscrits, de faible extension et affectant des matériaux déjà remaniés, dans un secteur à forte pente (glissements récents). On peut y voir également de nombreuses crevasses ouvertes, ainsi que des arbres penchés, en "tuyau de pipe", voire déracinés, qui indiquent une importante activité actuelle et une fluidité relative du corps de coulée. Ce secteur est couvert, depuis le début du siècle, par une forêt domaniale qui fut plantée afin de stabiliser un versant raide où l'érosion était intense et provoquait régulièrement la formation de laves boueuses dans le ruisseau de la Grollaz. Or, de nos jours, les arbres constituant cette forêt sont devenus trop gros et trop grands, ce qui fait qu'ils ont maintenant tendance à entraîner le terrain sous leur propre poids, plutôt qu'à le retenir. Un tel phénomène avait déjà été décrit par J. GOGUEL en 1943.

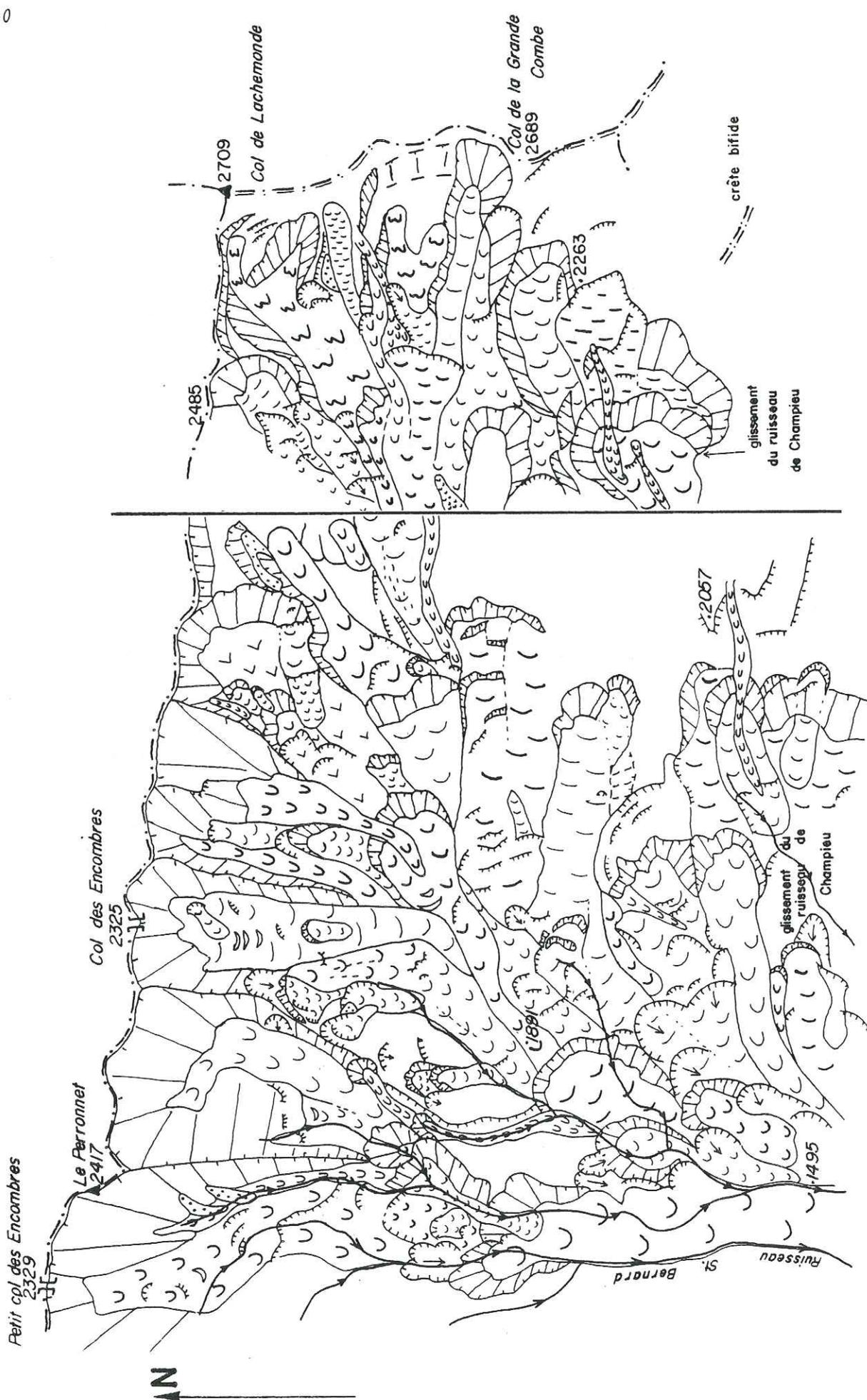


Fig. 3.19 : Photo-interprétation de la partie haute de la vallée des Encombres

La seconde catégorie est représentée dans la partie située à l'amont de la niche d'arrachement principale où se développent de gigantesques entonnoirs d'érosion, actifs ou anciens. Les produits entraînés s'amassent sur les secteurs de moindre pente où ils sont animés par une intense reptation.

d) Glissement du Ruisseau de Champieu :

On peut le voir au Nord sur le cliché n° 151 (fig. 3.11) de la mission Modane - Lanslebourg, ainsi qu'à l'extrême Sud des clichés n° 58 et 183 (fig. 3.19) de la même mission.

- Dimensions du mouvement : Longueur ..... 2,6 km  
 Largeur maximale ..... 1,2 km  
 Superficie ..... 3 km<sup>2</sup>  
 L/l ..... 2,2

- Pente :

La pente moyenne de la langue de glissement est de 17° avec des replats (1.700 m) à 10° séparant des ressauts allant jusqu'à 25°. La niche de départ montre une pente de l'ordre de 34°, tandis que le bas du glissement (au-dessous de 1.550 m) est beaucoup moins incliné (15°).

- Géologie du substratum :

C'est le Houiller classique. Du point de vue structural, nous avons, dans la niche d'arrachement, un pendage général dirigé vers l'Est ; tandis que quelques centaines de mètres à l'amont, les affleurements se présentent sous forme de dalles structurales (pendage vers l'Ouest). La niche de départ se situe donc à proximité du synclinal occidental.

- Hydrogéologie :

Le drainage superficiel se fait par les ruisseaux de Champieu et de la Buffaz. Les sources sont nombreuses surtout à la base

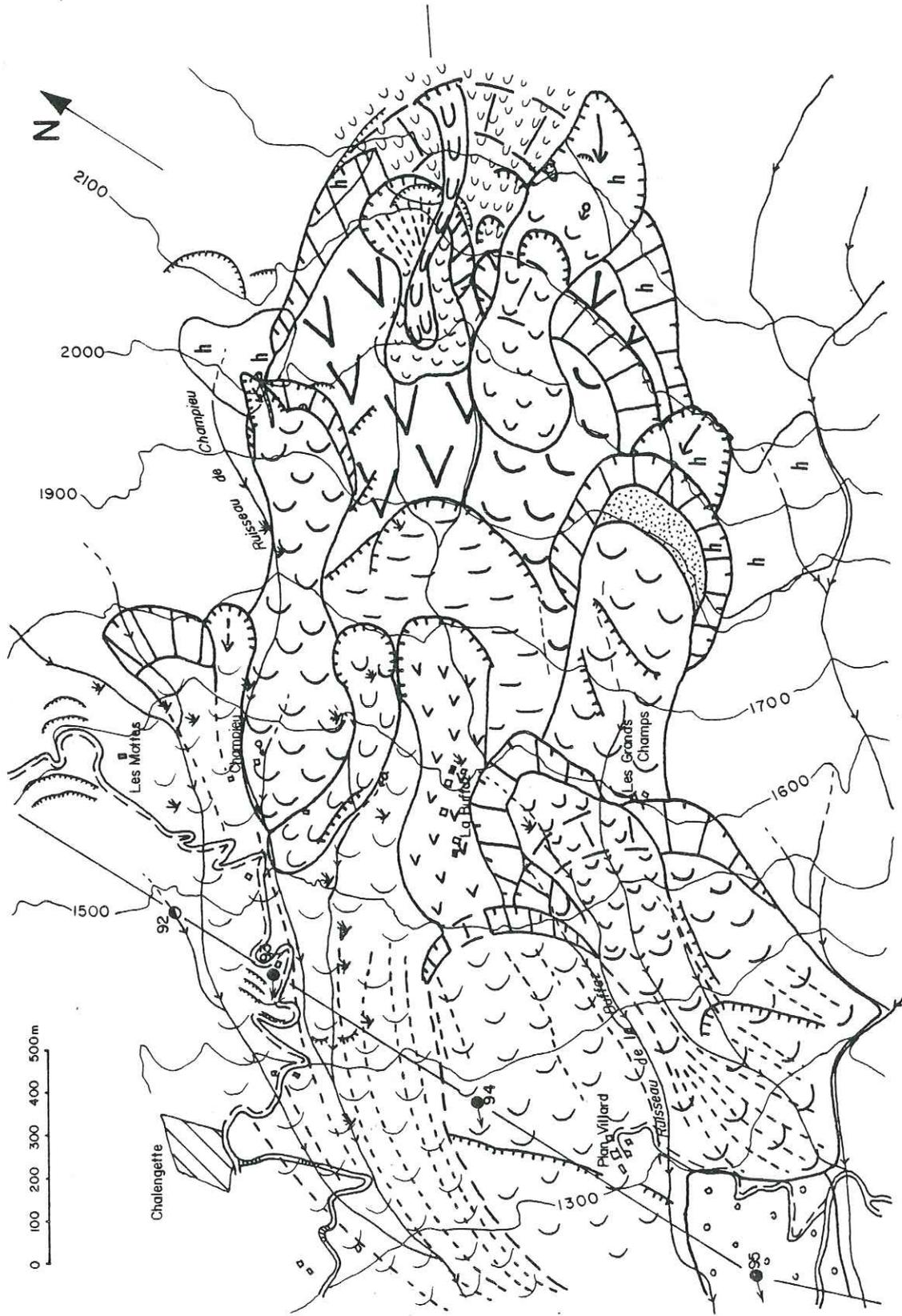


Fig. 3.20 : Glissement du ruisseau de Champieu (Morphologie, géologie)

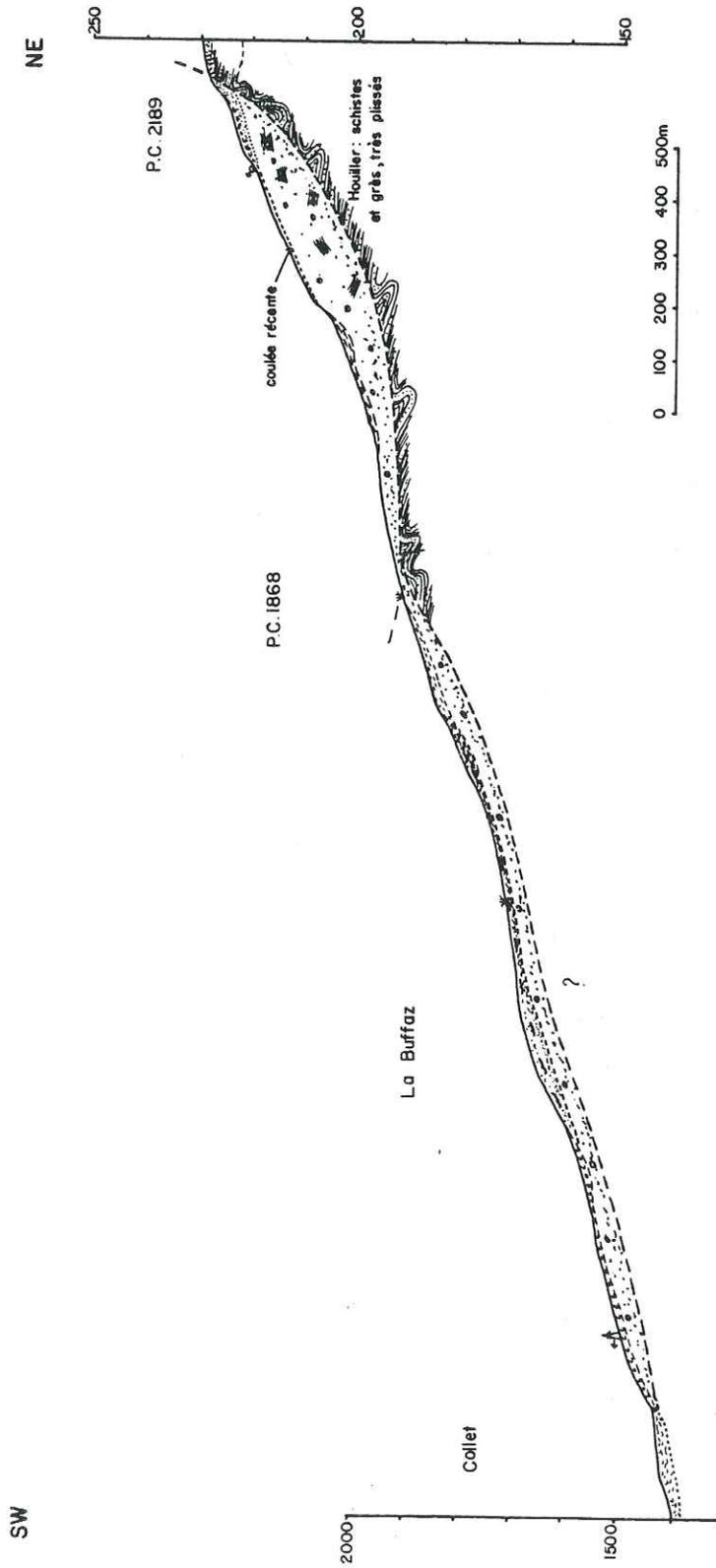


Fig. 3.21 : Glissement du ruisseau de Champieu - coupe longitudinale interprétative

de la niche d'arrachement, et on en trouve deux dans la partie médiane du glissement. De plus, les zones de marécages que l'on trouve en grande quantité indiquent que le niveau de la nappe est souvent très proche de la surface topographique.

- Hypothèse sur la surface de glissement :

Les mêmes observations que dans les cas précédents nous font adopter une surface de rupture circulaire. D'après la coupe interprétative (fig. 3.21), on peut estimer le volume de terrain remanié à  $150 \times 10^6 \text{ m}^3$  environ.

- Conclusion :

Le glissement initial s'est déclenché aux environs de 2.300 m d'altitude au sein du massif rocheux. La pente du versant pouvait être alors de l'ordre de  $25^\circ$  (fig. 3.20 et 3.21).

Le corps a subi par la suite de nombreux autres glissements plus circonscrits n'affectant que des terrains déjà remaniés. Vers le pied du versant, les mouvements sont plutôt de type coulée, avec un rapport d'extension (L/l) élevé. Ces mouvements sont encore actifs actuellement (on distingue très bien sur les photographies aériennes, les ensembles ayant subi et subissant des mouvements différentiels), avec des vitesses de déplacement plutôt faibles, ce qui se traduit par des alignements de végétation et des bourrelets longitudinaux, des gradins et arrachements perpendiculaires, mais peu de perturbations sur la végétation ; par contre, les pylônes électriques montrent des indices d'instabilité dans ce secteur, notamment les pylônes 92 à 95 de la ligne 400.000 V Albertville - Villarodin, surtout le 92 qui est très déformé avec même une crevasse ouverte passant entre ses jambes.

D'autre part, la niche d'arrachement, en son centre, est recouverte par des matériaux en mouvement, ce qui a pour effet d'en diminuer la pente initiale. Nous pouvons séparer ces matériaux en trois catégories : les éléments en reptation (prépondérants du point de vue superficie), les coulées boueuses (une seule mais très visible) et les petits glissements (quelques cas isolés de dimensions très réduites :  $L = 20 \text{ m}$ ,  $l = 10 \text{ m}$ ).

e) Glissement de la partie haute du versant Est des Encombres :

Il occupe tout le secteur situé en amont des quatre glissements déjà décrits jusqu'à la ligne de crête Mont Brequin - Col de Lachemonde.

Il n'est pas délimité dans son ensemble sur les photo-interprétations, mais néanmoins, on peut situer sa position sur les fig. 3.4, 3.11 et 3.19.

- Dimensions du mouvement : Longueur ..... de 1,2 à 3 km  
 Largeur ..... 5 km  
 Superficie ..... 9 km<sup>2</sup>

- Pente :

Elle est variable ; raide à proximité de la ligne de crête (35°), elle diminue localement jusqu'à moins de 15° (12° en amont des chalets de Beaune).

- Géologie du substratum :

Entre le synclinal occidental (Ch. II - 2ème Partie) situé à mi-pente (2.000 à 2.300 m), et la ligne de crête, le substratum houiller présente une structure isoclinale (plis aigus d'axe N 10, déversés vers l'Est, à flancs parallèles. La combinaison des plans de stratification et des plans de schistosité contemporains du plissement, découpe le massif en "couches" dont le pendage global est dirigé vers l'Ouest (voir les affleurements en dalles structurales que l'on rencontre entre le Col de Pierre Blanche et le Col de la Grande Combe).

- Géologie des terrains de couverture :

Il faut noter la présence de glaciers rocheux (Ch. IV - Partie 2) dont le principal s'étend à l'Ouest du Mont Brequin sur 1 km de large et 1,5 km de long. Un autre, de dimension plus faible, apparaît à l'Est du Col de Lachemonde.

- Hydrogéologie :

L'écoulement chenalisé de surface, ainsi que les sources émergeant du substratum rocheux, sont pratiquement inexistantes. Les premières sources sortent au pied des glaciers rocheux ou des éboulis à blocs nappant la base des reliefs rocheux, dans lesquels doit se produire une circulation rapide du fait de la forte perméabilité de ces formations.

A l'aval (surtout dans le secteur Ouest du Mont Brequin), l'écoulement se canalise, mais les pertes et résurgences sont nombreuses et les zones de replats le plus souvent marécageuses.

- Hypothèse sur la surface de rupture :

La structure géologique isoclinale du houiller justifie l'hypothèse d'une surface de rupture plane composée en fait de multiples surfaces structurales parallèles. Le fait que, sur une grande partie de sa longueur, la crête reliant le Mont Brequin au Col de Lachemonde, soit bifide (voir localement multiple) semble confirmer cette hypothèse.

- Conclusion :

Les observations qui précèdent induisent à considérer qu'il s'est développé, sur toute cette partie de versant, un processus de glissement rocheux couche sur couche se manifestant surtout par la création d'une crête bifide. De l'analyse qu'avait faite A.-M. MALATRAIT (1975 ; p. 151 à 155) sur la formation et l'évolution de ce type de glissement (glissement de l'Arvette au Sud de Saint-Sorlin-d'Arves), il ressort que, bien qu'il soit souvent impossible de déterminer l'épaisseur de terrains remaniés, celle-ci est souvent grande (plus de 200 m).

Dans notre cas, la structure géologique du versant n'étant pas la même sur toute la hauteur, il n'a pu se produire de décollements développés jusqu'au fond de la vallée, faute d'une continuité des surfaces de rupture jusqu'à cette distance extrême, et les glissements couche sur couche viennent se "bloquer" sur la structure synclinale située à mi-pente.

WSW

ENE

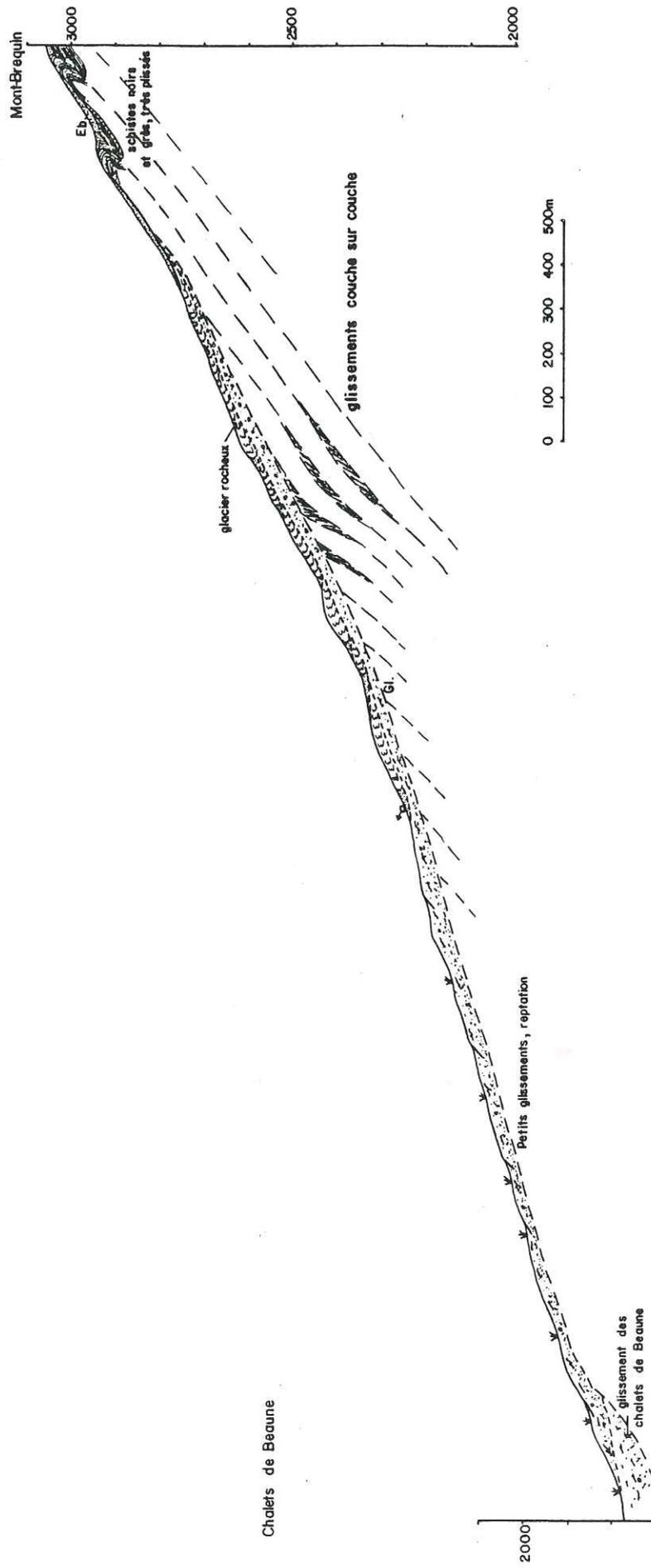


Fig. 3.22 : Partie supérieure du versant Ouest du Mont-Brequin - Coupe longitudinale interprétative des mouvements gravitaires



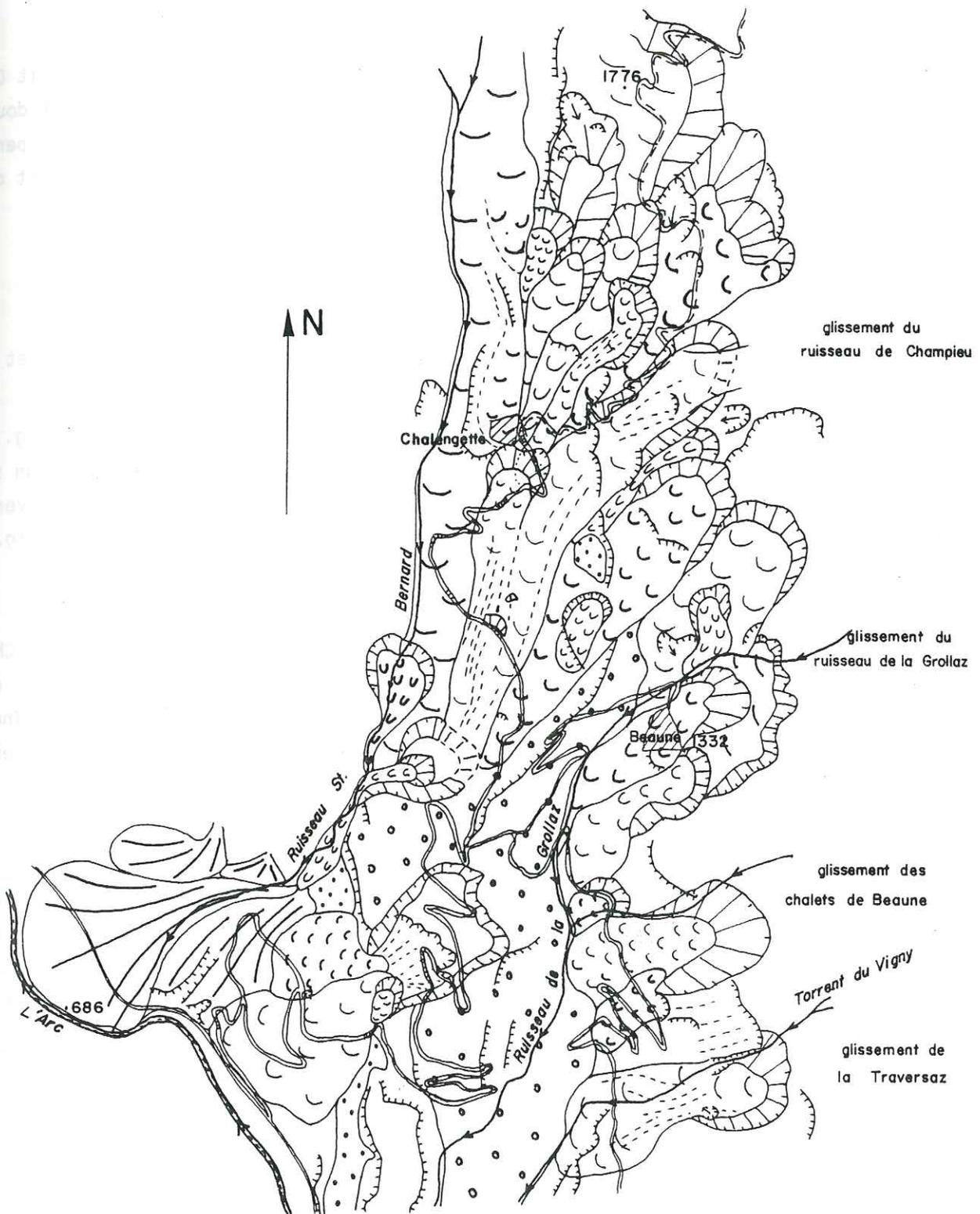


Fig. 3.23 : Coulées terminales des Encombres (photo-interprétation)

- Pente :

Elle est variable : raide dans le haut ( $45^\circ$  sous le Petit Col des Encombres), elle présente des portions relativement douces ( $10^\circ$  entre les chalets de Planchette et du Mollard). La pente moyenne entre le Perronnet et Saint-Martin-de-la-Porte est de  $15^\circ$  environ.

- Géologie du substratum :

Outre le Houiller, on trouve dans ce secteur le Permien (schistes et grès verts et violets) au Sud du Perronnet et le Trias (gypse) au Petit Col des Encombres.

La fracturation est dense et sa répartition homogène (fig. 3.24). Les principales familles qui ressortent sont de direction sensiblement Est-Ouest (Col des Encombres : N  $60$  à  $120$ , subvertical. fig. 3.25a et Perronnet N  $80$ ,  $60$  S et N  $120$ , subvertical. fig. 3.25b).

- Hydrogéologie :

Le réseau hydrographique est très dense et très ramifié (Ch. V - 2ème Partie) avec de nombreuses pertes et résurgences. Il existe une nappe d'imprégnation dont le niveau piézométrique coïncide souvent avec la surface topographique comme l'attestent les nombreuses zones marécageuses.

- Hypothèse sur la surface de rupture :

Il est impossible de déterminer une surface de rupture unique car nous n'avons pas affaire à un glissement simple, mais à toute une série de mouvements, qui se côtoient d'abord dans le haut du versant, puis qui se fondent en une ou deux coulées.

Le sommet du versant montre surtout des surfaces d'érosion donnant les grandes niches situées au Sud du Petit Col des Encombres et du Col des Encombres, et des surfaces de rupture planes (au Sud du Col ou passe la ligne électrique), déterminant des tassements de panneaux, selon une direction Est-Ouest. Plus bas (près des chalets des Rateaux), on note la présence de quelques glissements circulaires de taille plus modeste affectant le substratum rocheux.

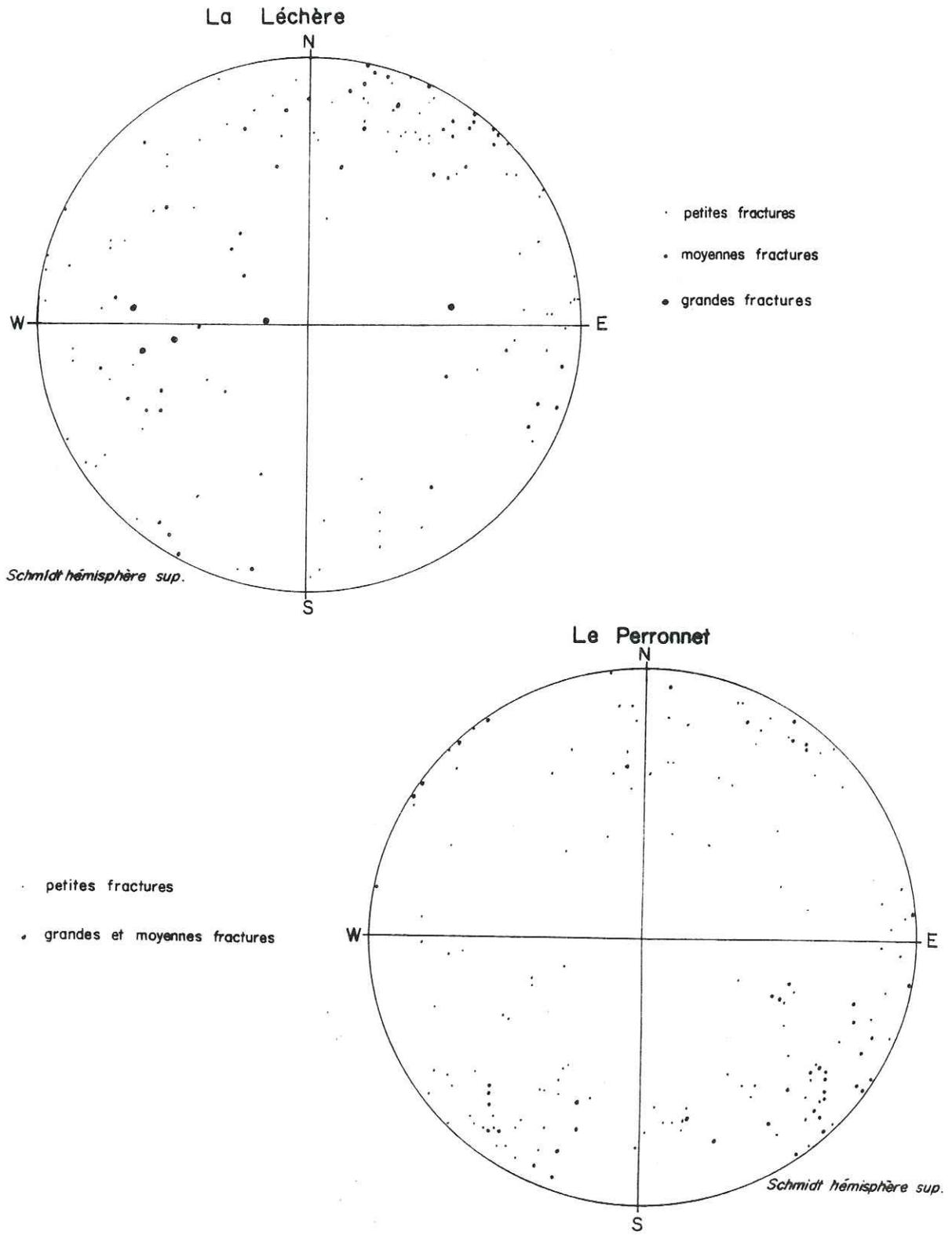


Fig. 3.24 : Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures

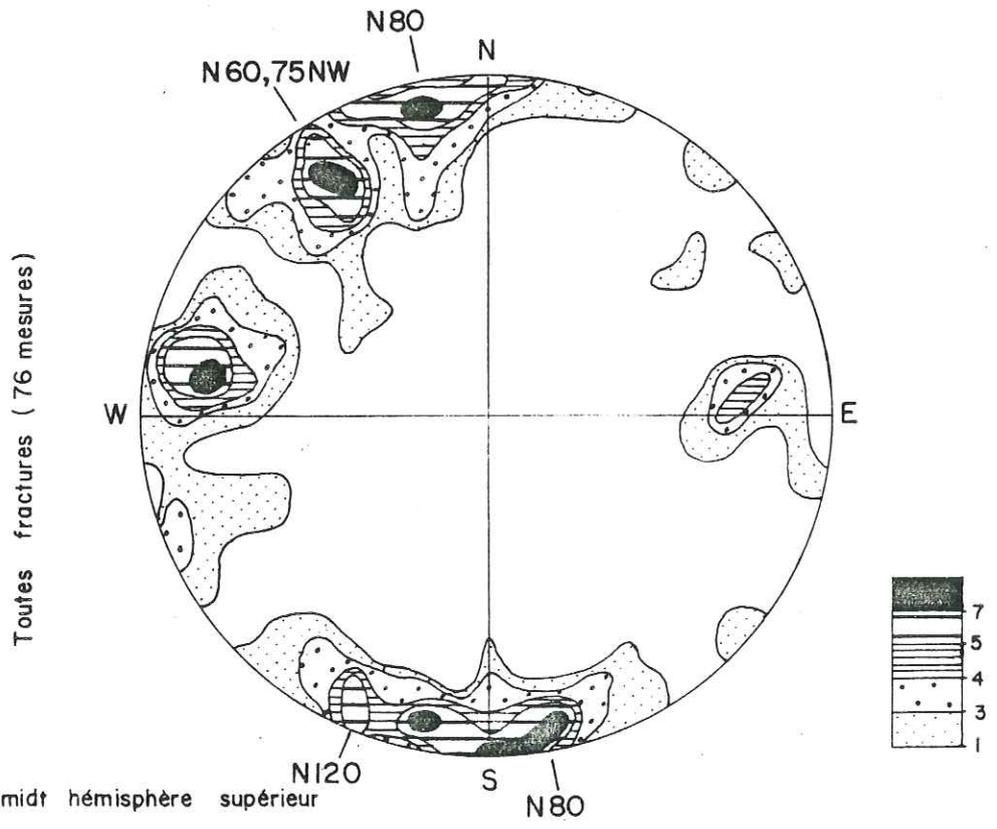
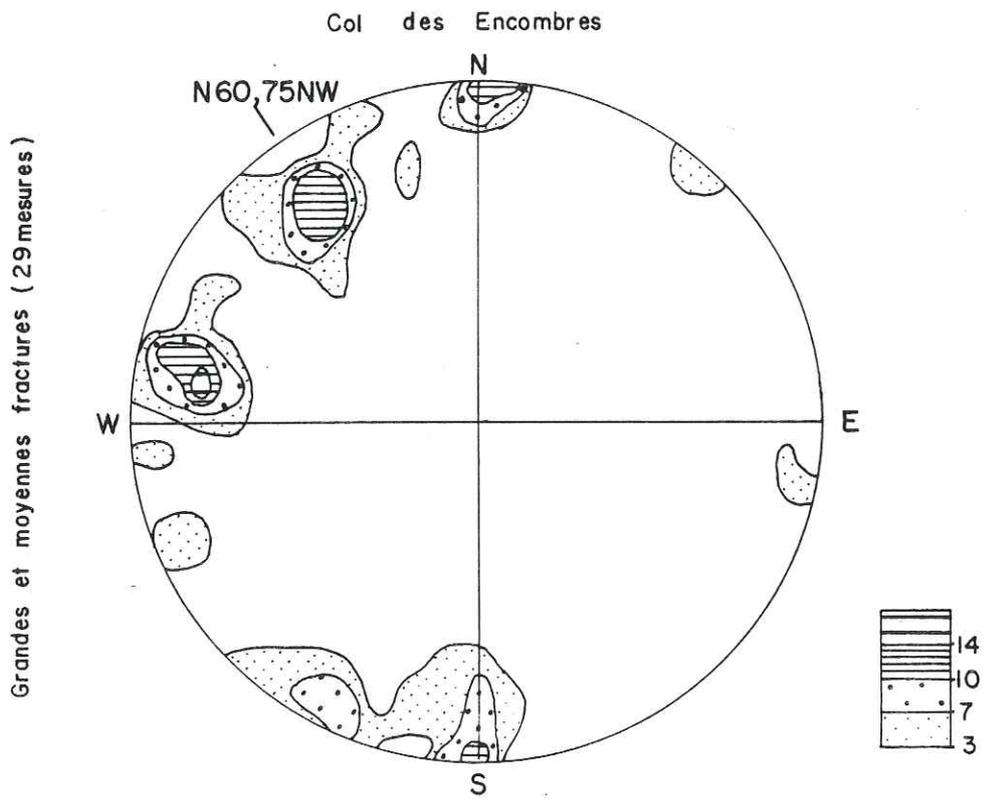


Fig. 3.25a : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

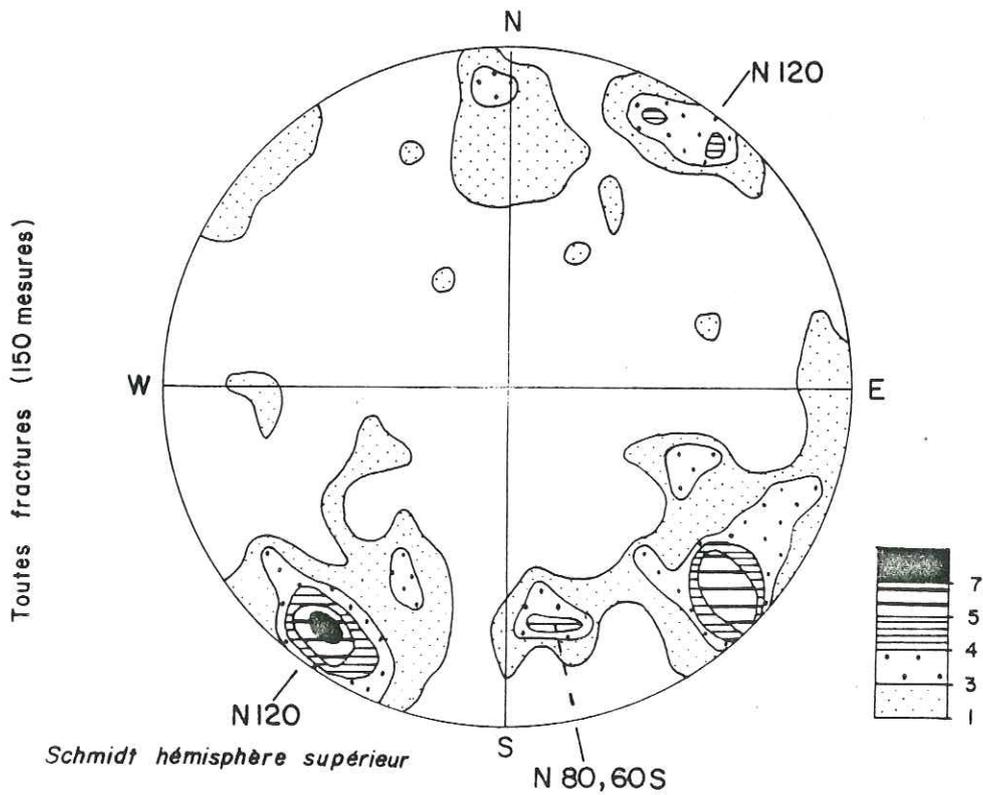
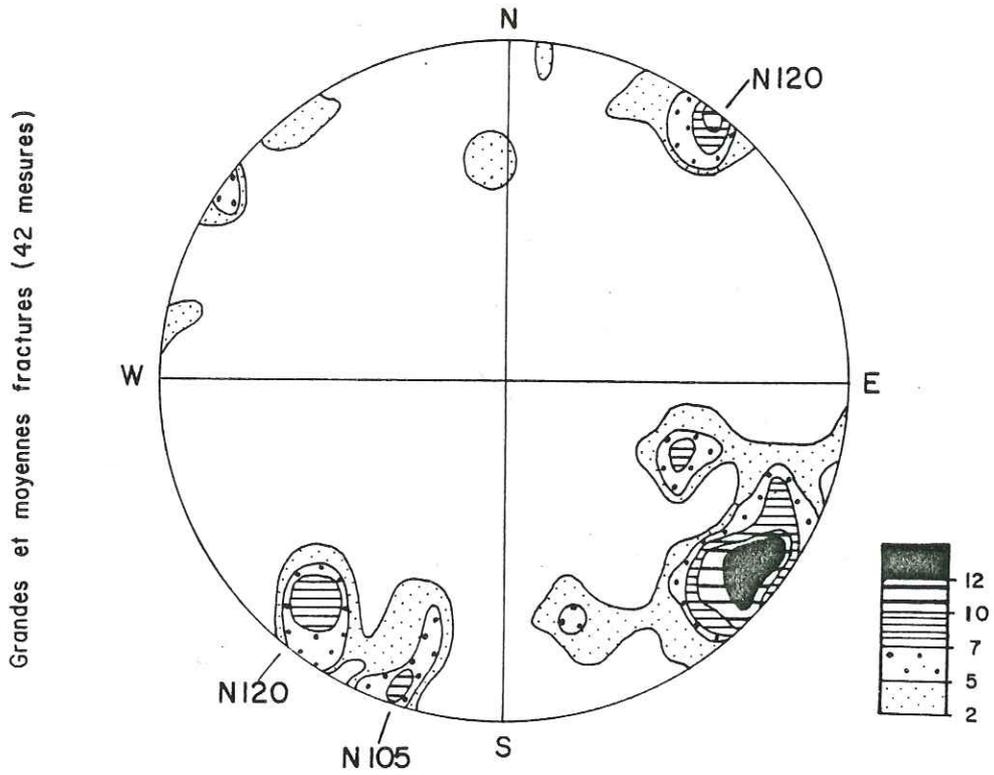


Fig. 3.25b : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

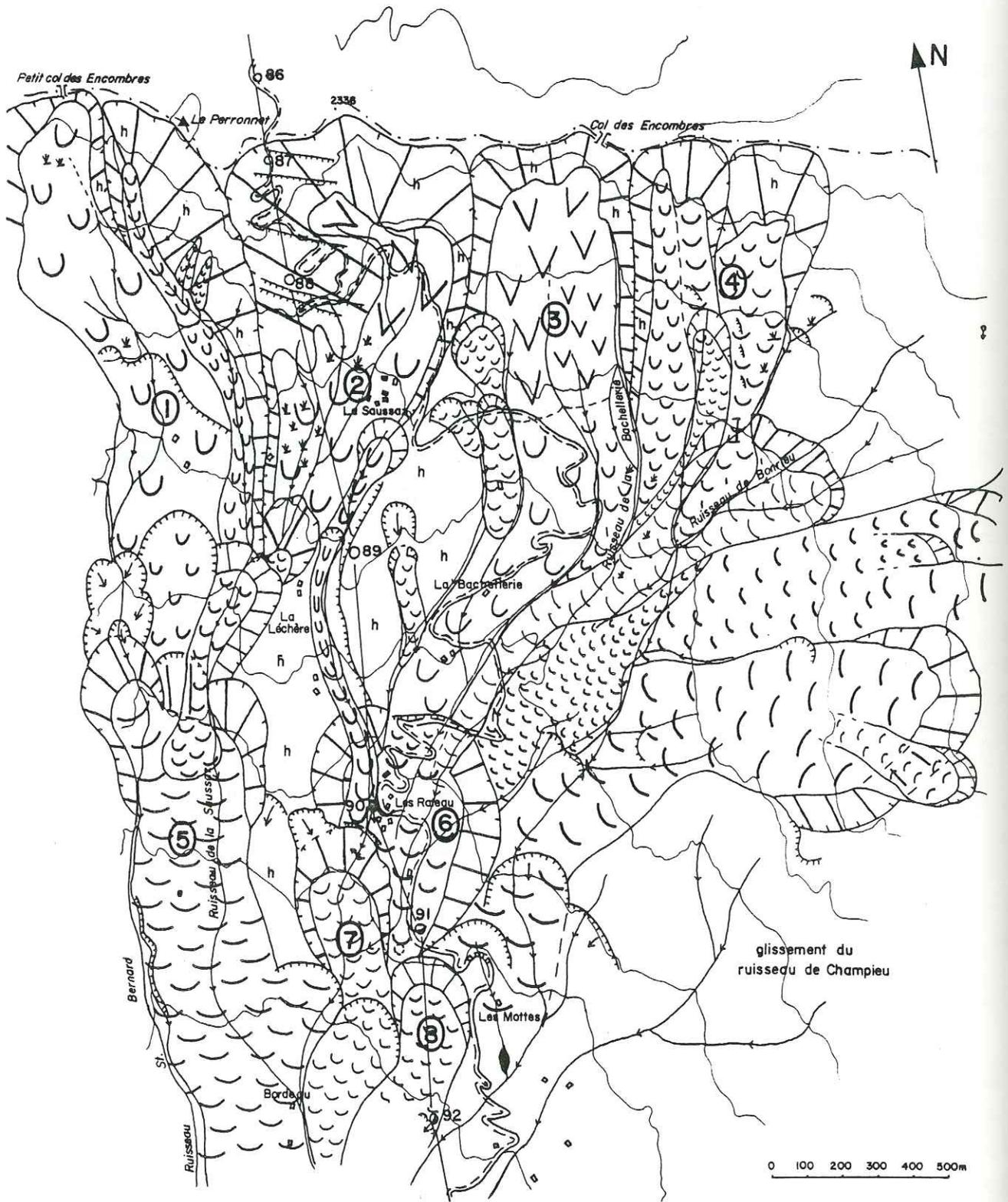


Fig. 3.26 : Les glissements et coulées du sommet des Encombres  
(Morphologie, géologie)

- Conclusion (fig. 3.26) :

Ces mouvements ont débuté après le retrait du glacier würmien des Encombres, par les glissements affectant le substratum rocheux : glissements circulaires des Rateaux (5 à 8) puis tassements de panneaux sous les crêtes (2), contemporains du début d'une intense érosion des escarpements rocheux dont les produits venaient se mêler aux moraines laissées par le glacier.

Cette érosion, qui se traduit ici par la chute de blocs plus ou moins gros alimentant encore aujourd'hui de nombreux éboulis, est facilitée par la densité de la fissuration et par le fait que, sur ces abrupts exposés au Sud, les cycles journaliers gel/dégel affectant le rocher sont particulièrement nombreux, car le manteau neigeux protecteur fait vite défaut.

La progression de ces matériaux (moraine, éboulis, colluvions...) gorgés d'eau, peut alors commencer selon des mécanismes de solifluxion puis de coulées, lesquelles vont venir se déverser dans les niches des glissements des Rateaux dont les langues de glissement dégénèrent de la même manière.

Les coulées terminales des Encombres (fig.3.24)(déjà décrites par A.-M. MALATRAIT - 1975 : p. 168 - 169), canalisées dans le fond du vallon à l'aval des chalets de Challengette, sont alimentées par celles du sommet (coulées 1 à 4 - fig. 3.26), par les glissements des Rateaux (glissements 5 à 8 - fig. 3.26) et aussi par le glissement du ruisseau de Champieu décrit précédemment.

Ces coulées sont encore toutes actives de nos jours avec des vitesses de déplacement variables quoique relativement faibles. Nous en voulons pour preuves les nombreux bourrelets, bombements, petits arrachements, terrassettes, les alignements de végétation parallèles au flux, les arbres penchés, les pylônes électriques inclinés et tordus et les dégradations des routes de Beaune et de Challengette, ainsi que de la piste qui monte en direction du Perronnet.

### 3°) Déterminisme géologique des glissements affectant le substratum rocheux

Parmi les différents mouvements que nous venons de décrire, les deux types de glissement affectant le bedrock (circulaires et couche sur couche) sont intimement liés pour ce qui concerne leur déclenchement, leur progression et leur stabilisation, à la structure géologique du substratum.

Du point de vue structural, on peut déterminer deux zones dans le versant Est du Vallon des Encombres (Ch. II - 2ème Partie) : la partie inférieure montre des plis aigus déversés vers l'Ouest, ce qui donne un pendage général des couches vers l'Est, tandis que dans la partie supérieure on trouve des plis aigus déversés vers l'Est avec donc un pendage général de couches vers l'Ouest, conforme à la pente topographique. Le passage entre les deux zones se fait par l'intermédiaire d'une zone synclinale (synclinal occidental), dans le coeur de laquelle affleurent plutôt des couches schisteuses tendres.

Le plus simple, pour montrer l'incidence de ces données structurales sur la stabilité du versant, est de décrire l'évolution hypothétique de celui-ci, reconstituée à partir des observations de terrain en tenant compte des différentes sortes de mouvements qui s'y sont produits et dont l'évolution se poursuit (fig. 3.27).

Il nous faut pour cela remonter à l'époque du retrait des glaciers würmiens. On avait alors un glacier principal s'écoulant dans la vallée de l'Arc selon une direction ESE-WNW et un affluent s'écoulant en direction du Sud dans la Vallée des Encombres. Cet affluent (fig. 3.27-1) occupait une vallée dissymétrique avec un versant Ouest raide, où l'on trouve les bancs de calcaire liasique de la zone subbriançonnaise et un versant Est beaucoup moins abrupt, dessiné dans les schistes et grès plus tendres du Houiller Briançonnais. Le fond de cette vallée était jalonné par le Trias gypseux et des terrains plus ou moins broyés, de part et d'autre du contact anormal. La partie synclinale de la zone houillère (synclinal occidental) se trouvait donc placée à mi-pente du versant Est de la vallée où elle a pu déterminer la formation d'un épaulement à la bordure du glacier des Encombres.

L'effet de la décrue würmienne est une rétraction du glacier de la Vallée des Encombres (fig. 3.27-2), dont la surface s'abaisse, mais qui laisse pourtant subsister, sous les plus hauts sommets (Mont Brequin, par exemple), un glacier suspendu de dimension réduite.

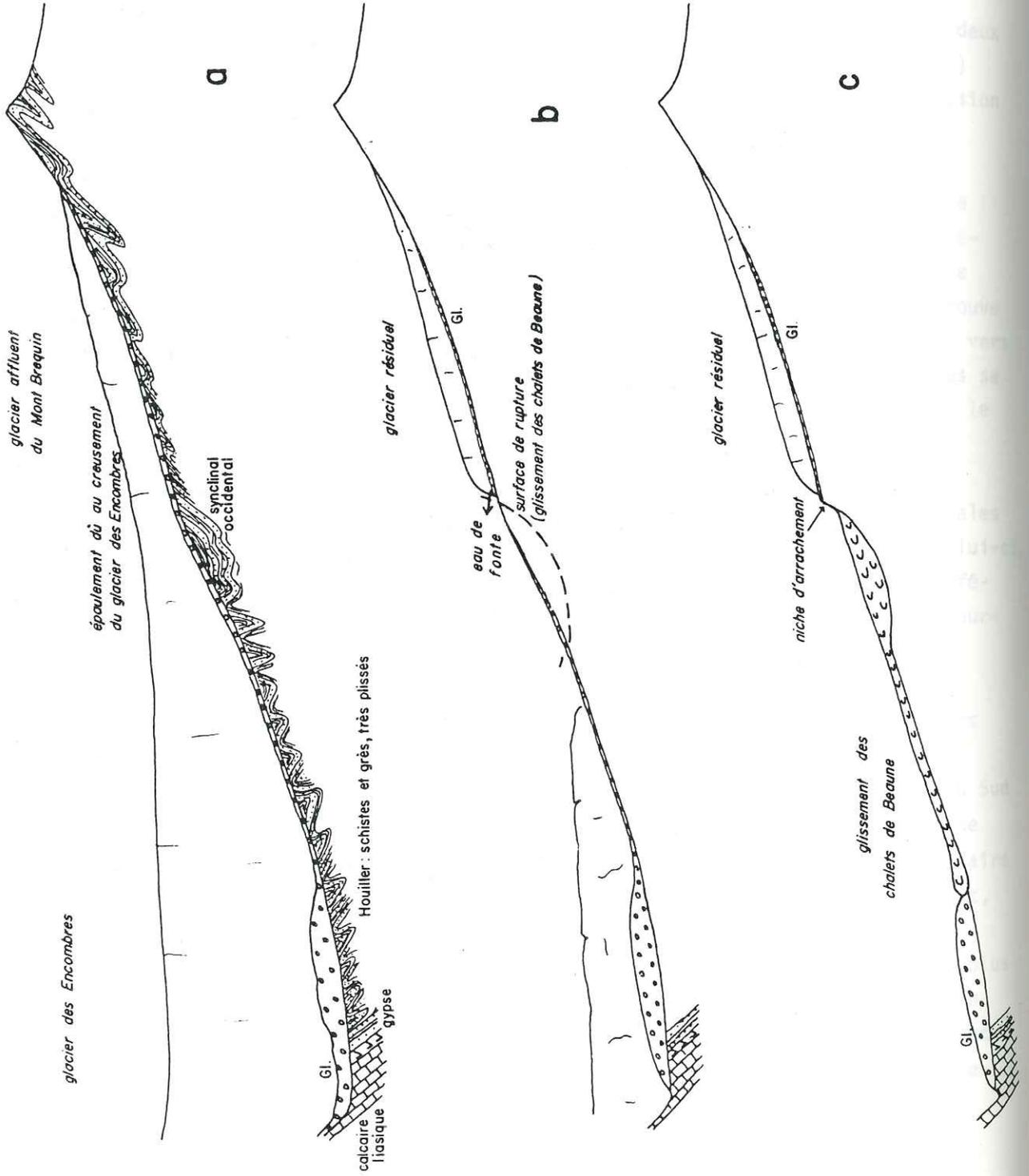
L'abaissement du glacier de vallée supprime l'appui qu'il assurait au versant, très fissuré, et autorise sa décompression. Celle-ci, conjuguée avec une forte alimentation en eau (fonte du glacier résiduel), provoque la déstabilisation de la portion désenglacée du versant. C'est alors que vont se déclencher successivement, à la faveur du recul de la langue glaciaire de vallée et des glaciers reliques supérieurs, les quatre grands glissements circulaires de la Traversaz, des Chalets de Beaune, du ruisseau de la Grollaz et du ruisseau de Champieu (fig. 3.27-3), les trois premiers venant buter contre la moraine laissée en fond de vallée.

Les glaciers supérieurs disparus (fig. 3.27-4), c'est au tour du haut versant de connaître décompression, infiltration et effets du gel. Or, stratification et schistosité y sont sensiblement parallèles à la surface topographique : ce sont donc des glissements couche sur couche qui vont s'y esquisser. Sans doute, au même moment, apparaissent dans la combe du ruisseau Saint-Bernard, les premières coulées s'échappant des glissements et coulées du sommet des Encombres.

Les glissements couche sur couche s'accentuant (fig. 3.27-5), la crête se dédouble au sommet du versant et des flexures affectent celui-ci. Les matériaux superficiels, moraines du glacier et produits de l'altération et de l'érosion des terrains houillers, se déplacent, animés par la solifluxion pour constituer des glaciers rocheux.

Enfin, plus récemment et dans tout l'ensemble du bassin, les matériaux de surface, déjà remaniés, se trouvent, ici ou là, remobilisés en nombreuses coulées d'ampleur variable (fig. 3.27-6).

W



deux  
tion

de la  
de ven

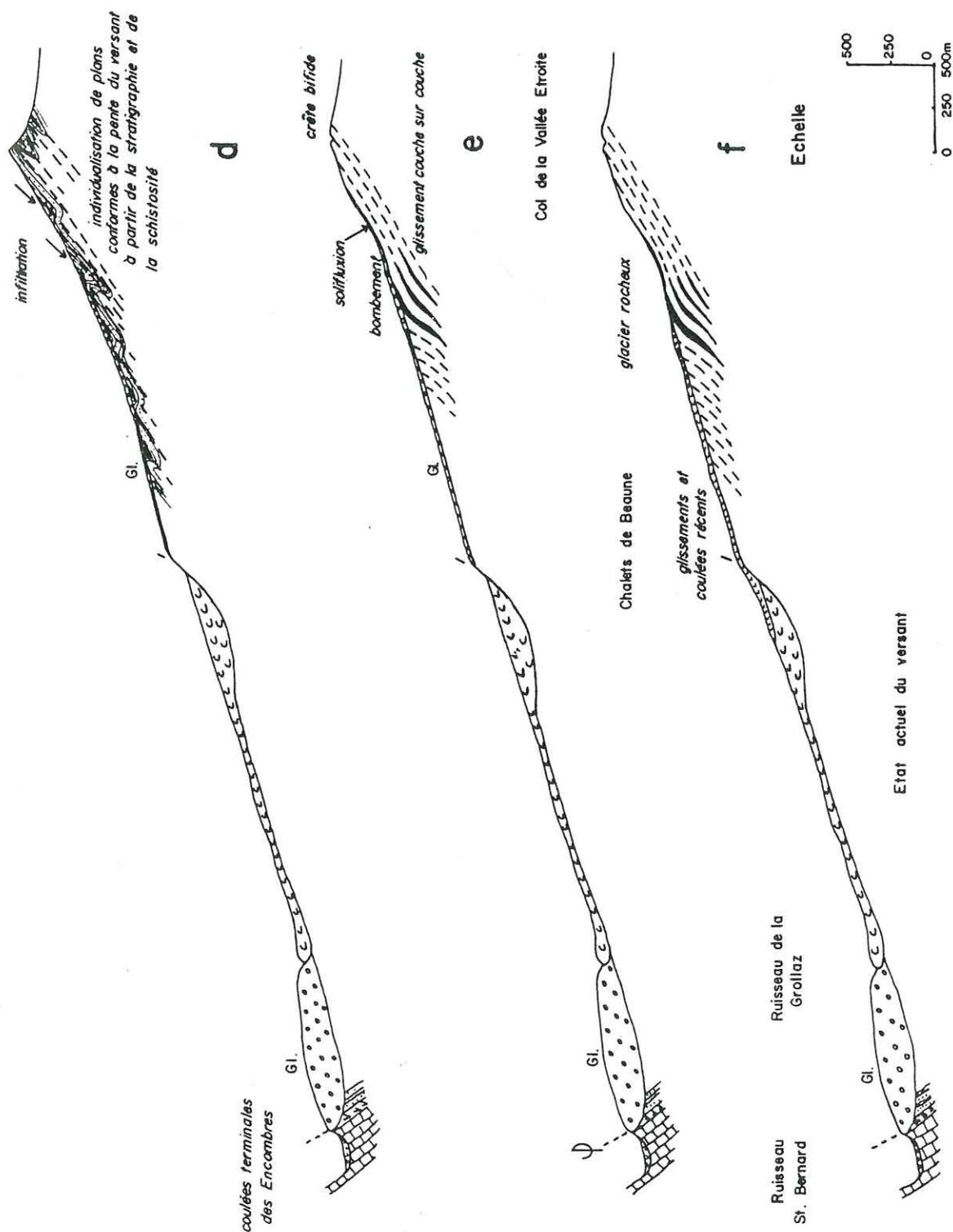


Fig. 3.27 : Schéma de l'évolution hypothétique du versant Est de la vallée des Encambres (coupes longitudinales schématiques).

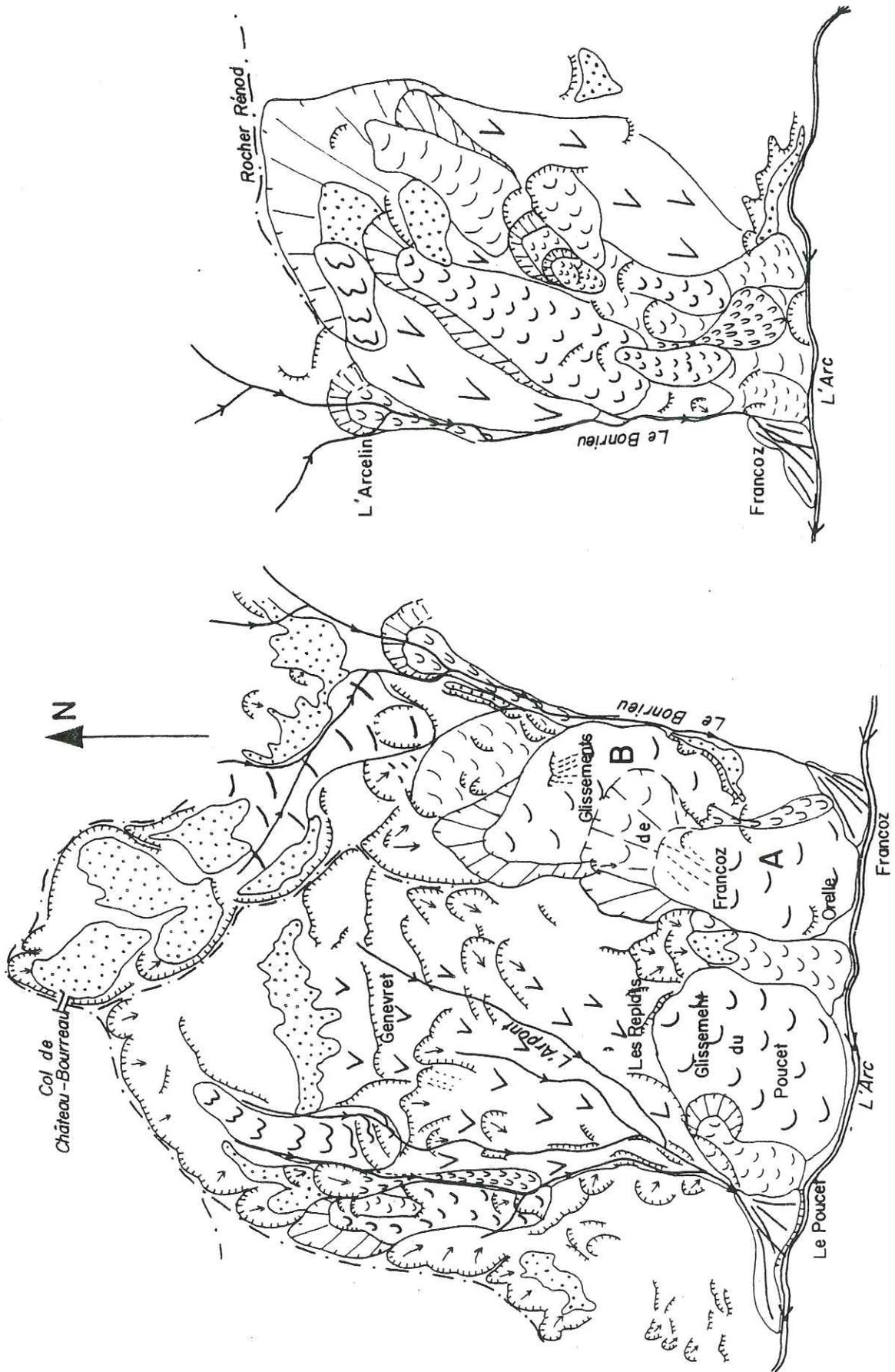


Fig. 3.28 : Le versant Mont-Brequin - Rocher Rénod (photo-interpretation)

## C - LE VERSANT "MONT BREQUIN - ROCHER RENOD"

Il est situé en rive droite de l'Arc entre les hameaux du Poucet et de la Praz. On peut dire, d'après la morphologie mamelonnée de ses pentes, qu'il est occupé par plusieurs glissements de terrain anciens. L'étude de photographies aériennes (fig. 3.4) permet d'en individualiser particulièrement trois qui sont :

- VIII Le glissement du Poucet (Orelette)
- IX Le glissement de Francoz
- X Le glissement de Bonvillard

tous orientés vers le Sud.

### 1°) Caractéristiques générales des glissements

Sur l'ensemble de ce versant (exposé au Sud), les phénomènes climatiques sont plutôt défavorables à la stabilité. En effet, si l'on remonte à la période de déglaciation würmienne, celle-ci fut ressentie beaucoup plus tôt et beaucoup plus rapidement sur ce versant ; si l'on s'intéresse à la période actuelle, le nombre de cycles journaliers gel/dégel durant la saison froide est plus grand et la fonte des neiges au printemps plus rapide (celle-ci entraîne une concentration dans le temps de la quantité d'eau circulant sur et dans le versant).

Par contre, la structure géologique du substratum houiller est plutôt favorable à la stabilité, car les couches ont, en général, une orientation N 0 à N 20 avec des pendages vers l'Est ou vers l'Ouest, forts.

A l'exception des glissements de Francoz qui présentent (fig. 3.4 et 3.28a) un aspect simple avec une niche d'arrachement semi-circulaire et une langue de glissement unique très peu reprise par des mouvements postérieurs, les deux autres paraissent très complexes : le glissement du Poucet est en grande partie oblitéré par l'érosion torrentielle récente, si bien que l'on ne distingue plus, actuellement, de zone d'arrachement et que le seul vestige est l'extrémité inférieure de la masse glissée ; le glissement de Bonvillard (fig. 3.28b) montre, au contraire, de très nombreux arrachements et langues de glissement se recoupant ou se superposant ; certains sont encore très actifs.

2°) Monographies des glissementsa) Le glissement du Poucet

L'ensemble de ce glissement est visible en photographie aérienne sur le cliché n° 144 de la mission Modane - Lanslebourg de 1967, dans sa moitié Ouest (fig. 3.28a).

- Dimensions du mouvement : Longueur ..... 3,5 km  
 Largeur ..... 1,5 km  
 Superficie ..... 6 km<sup>2</sup>  
 L/l ..... 2,5

- Pente :

La partie inférieure du glissement (entre Le Poucet, Orelette et Les Replats) montre un bombement dans le versant avec une pente d'environ 27°. La partie médiane, entre Les Replats et Genevret, est une zone d'érosion très intense, engendrée par les torrents du Poucet, de l'Arpont et leurs affluents. Elle montre des ravins profonds (parfois plus de 30 m) entaillés dans des matériaux hétérogènes plutôt meubles, avec une pente de 32° en moyenne. La partie sommitale, à l'amont de Genevret, présente une zone de moindre pente (moins de 10°) surmontée par une falaise où la pente peut dépasser 40°.

- Géologie du substratum :

Nous sommes, ici, dans la zone de passage du houiller productif (Ouest) au houiller stérile (Est) (voir 2ème partie).

Remarquons la présence, entre Genevret et Pierre Aiguë d'un affleurement de Houiller, isolé au milieu de matériaux remaniés et glissés, dont on ne voit pas s'il est en place ou s'il représente un énorme paquet glissé resté cohérent.

La fracturation a été mesurée sur quatre stations situées respectivement au Nord de la Lozière, sur le sommet coté 2.945 m au Sud du Col de Château-Bourreau, dans la falaise à l'Est du Bois Noir et 100 m à l'Est de Genevret (nous ne nous occuperons pas, pour l'instant, des données recueillies sur cette dernière station de mesure, car elle est peut-être située sur un paquet glissé).

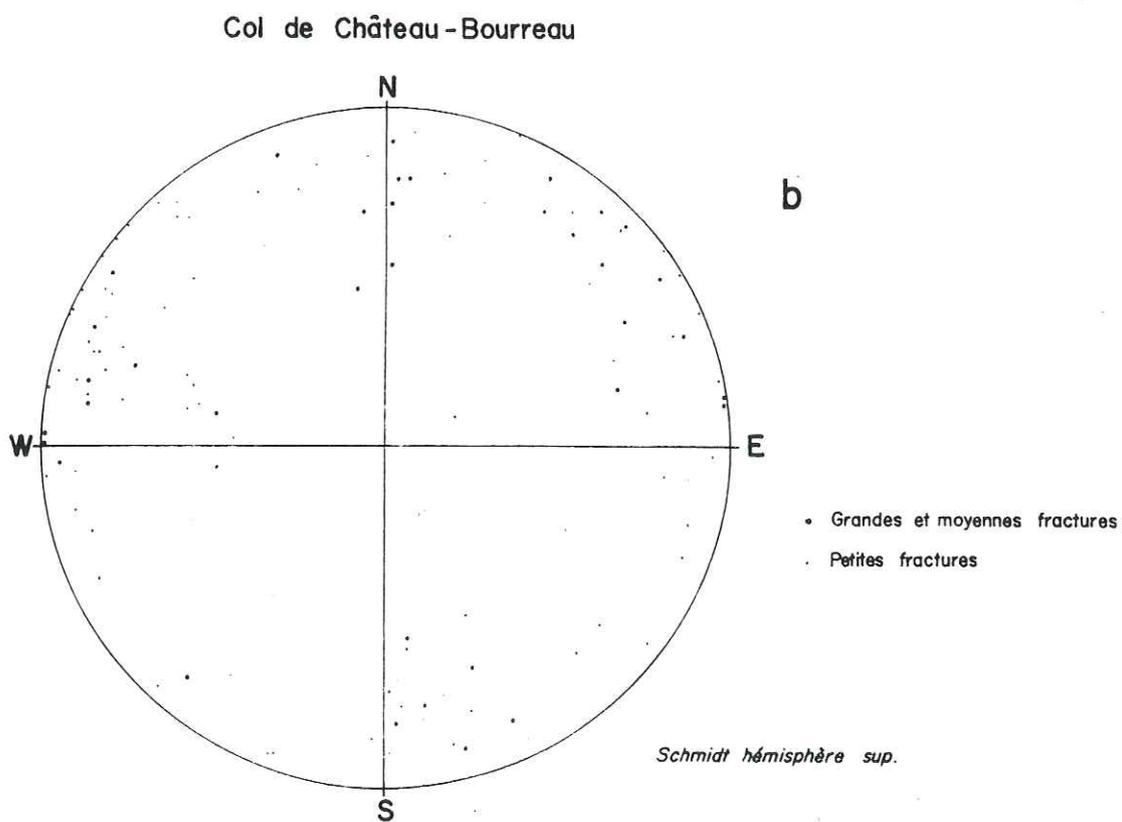
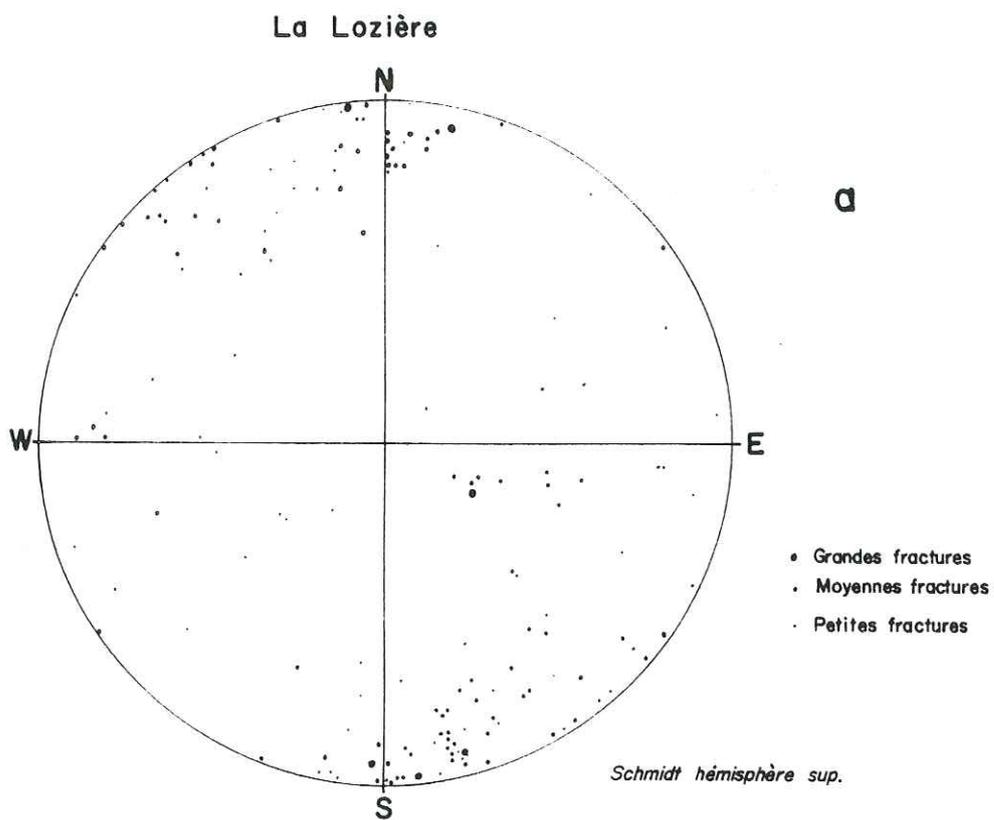
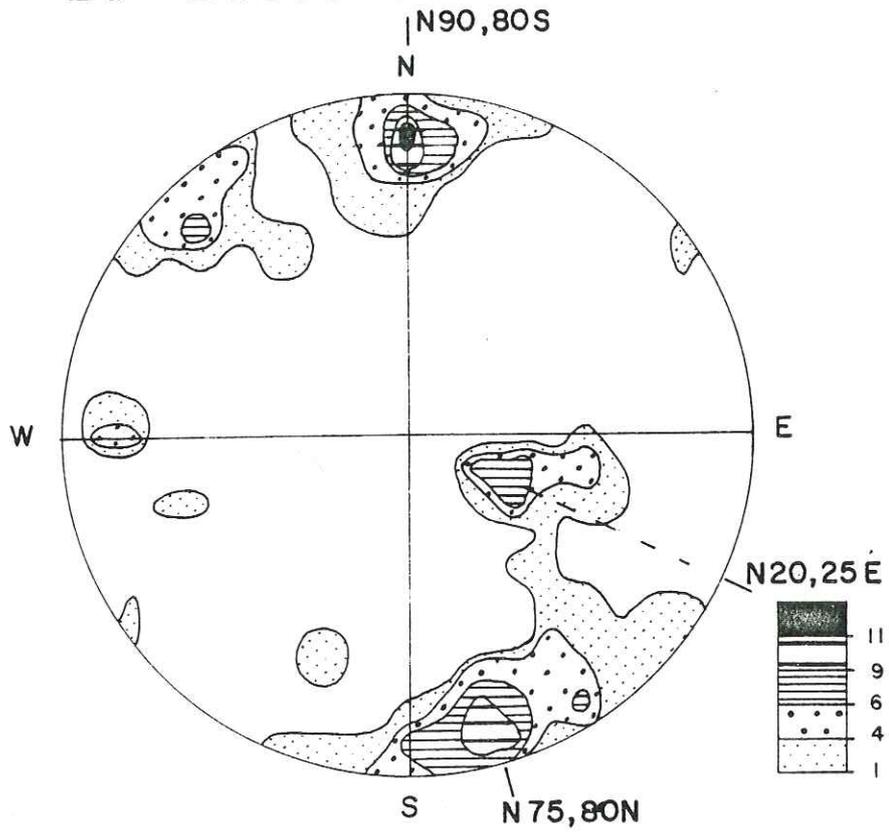


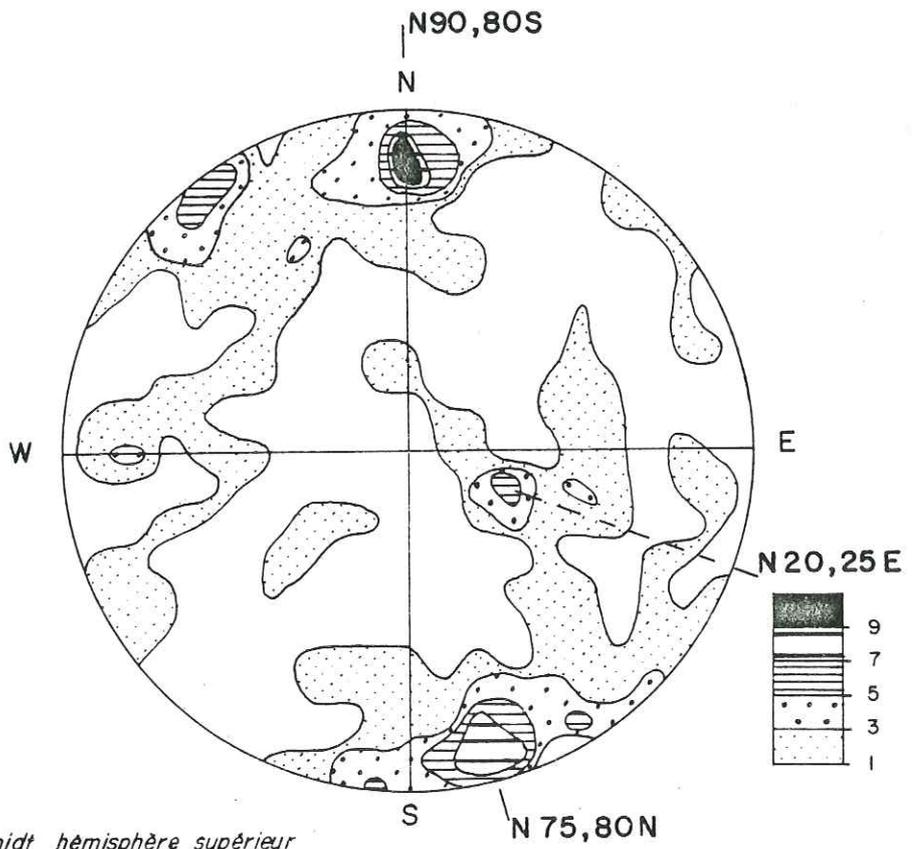
Fig. 3.29 : Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures

# La Lozière

Grandes et moyennes fractures (79 mesures)



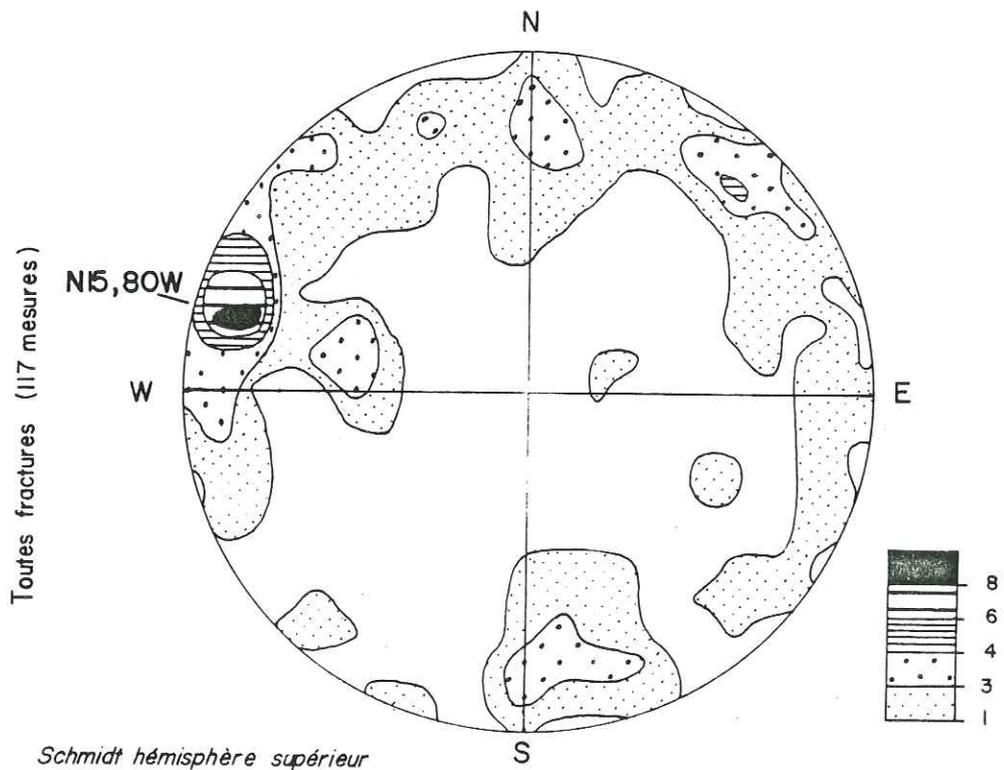
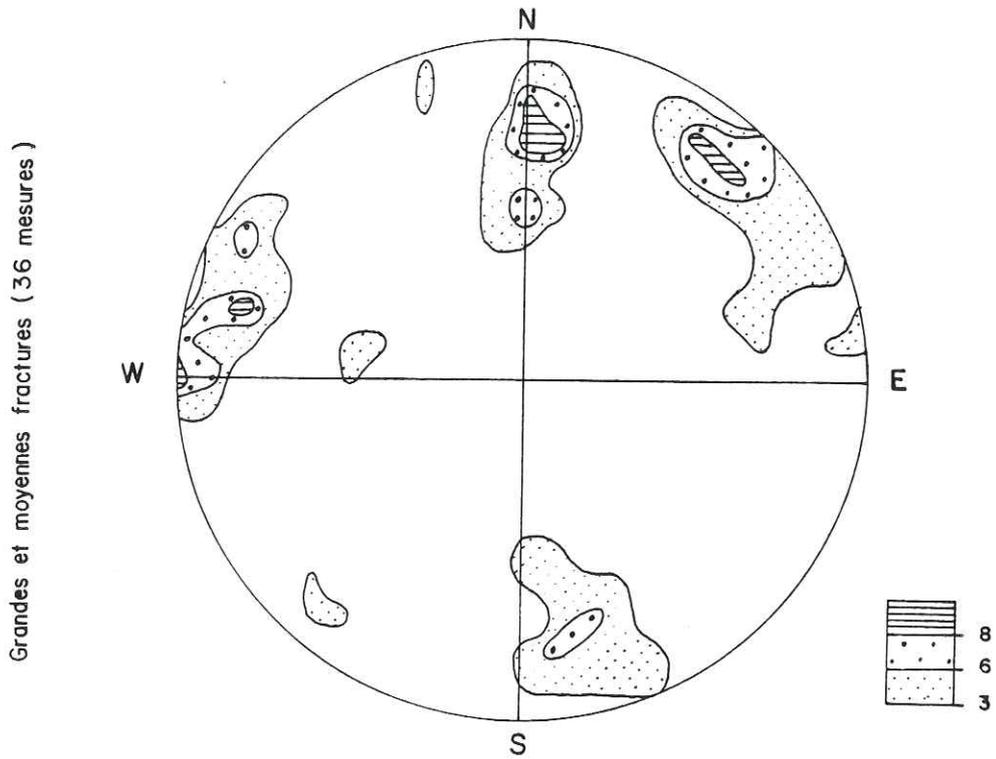
Toutes fractures (149 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 330a : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

# Col de Château-Bourreau

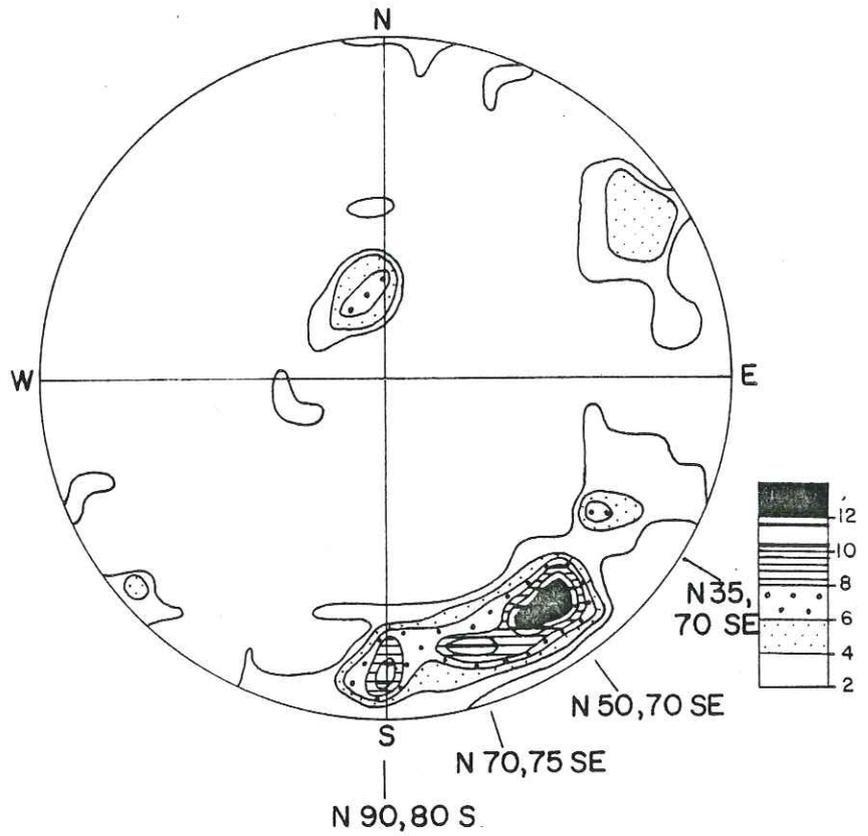


Schmidt hémisphère supérieur

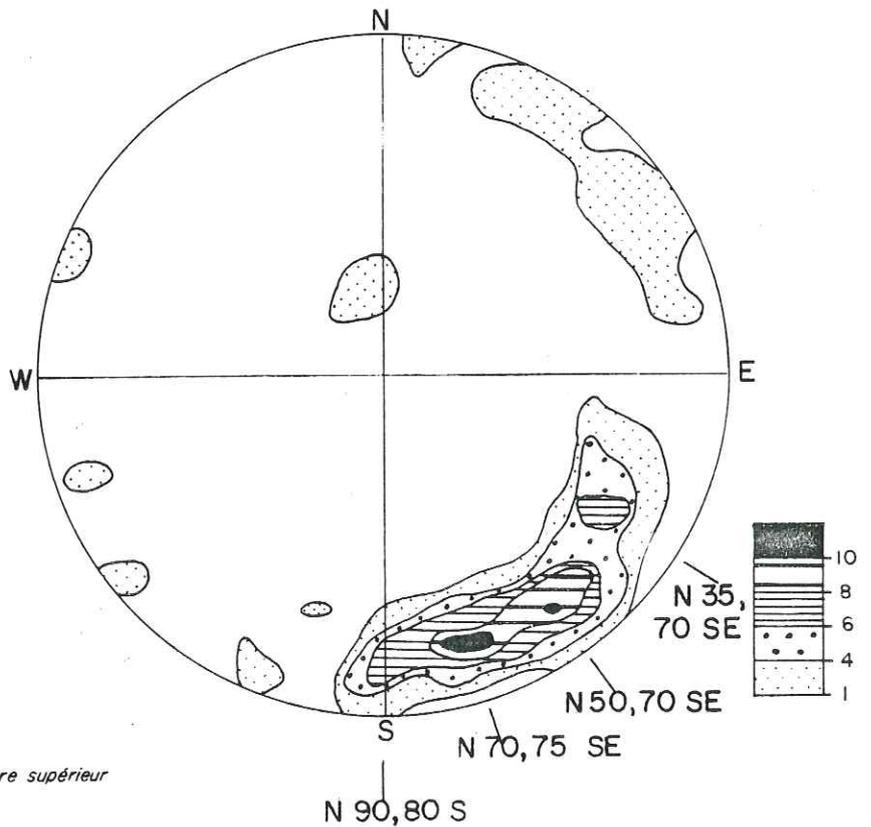
Fig. 330b : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

# Le Bois Noir

Grandes et moyennes fractures (51 mesures)



Toutes fractures (137 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 330c : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

Sur deux de ces stations (La Lozière et Col de Château-Bourreau) l'examen du report sur canevas de Schmidt des pôles de fracture (fig. 3.29a et b) montre une répartition presque homogène des fissures dans toutes les directions.

Si l'on examine les comptages statistiques sur canevas de Schmidt (fig. 3.30a-b-c), on peut voir que deux stations (La Lozière et Bois Noir) montrent des directions majeures de la fissuration, situées entre N 50 et N 90 avec des pendages forts (vers le Nord ou vers le Sud) à verticaux ; une station (Col de Château-Bourreau) montre une famille dominante de direction N 15 avec un pendage fort (80°) vers l'Ouest, et une station (La Lozière) présente une famille importante de fissures planes (N 20, 25 E).

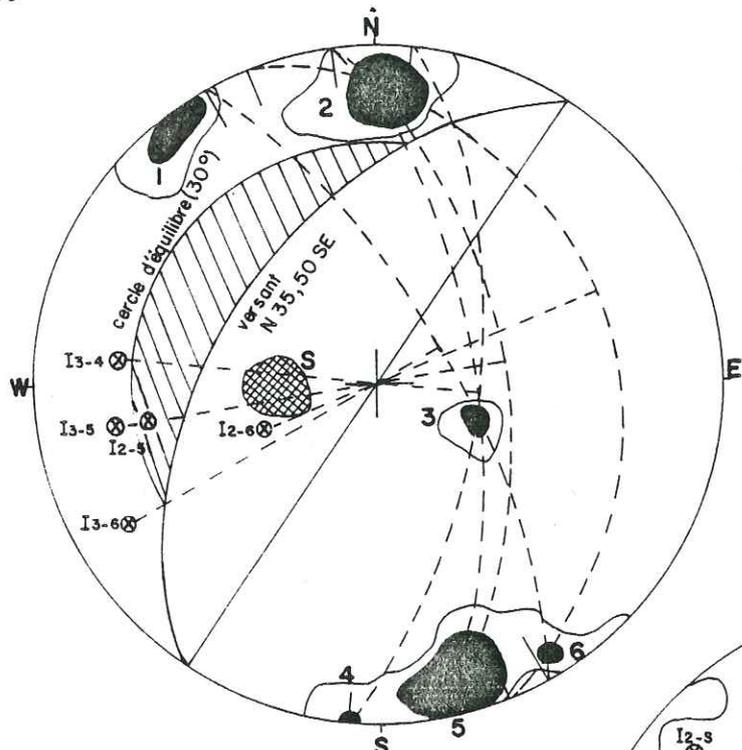
- Hydrogéologie :

L'eau de ruissellement se concentre dans les torrents du Poucet, de l'Arpont et leurs affluents, qui prennent naissance entre 2.000 et 2.200 m d'altitude.

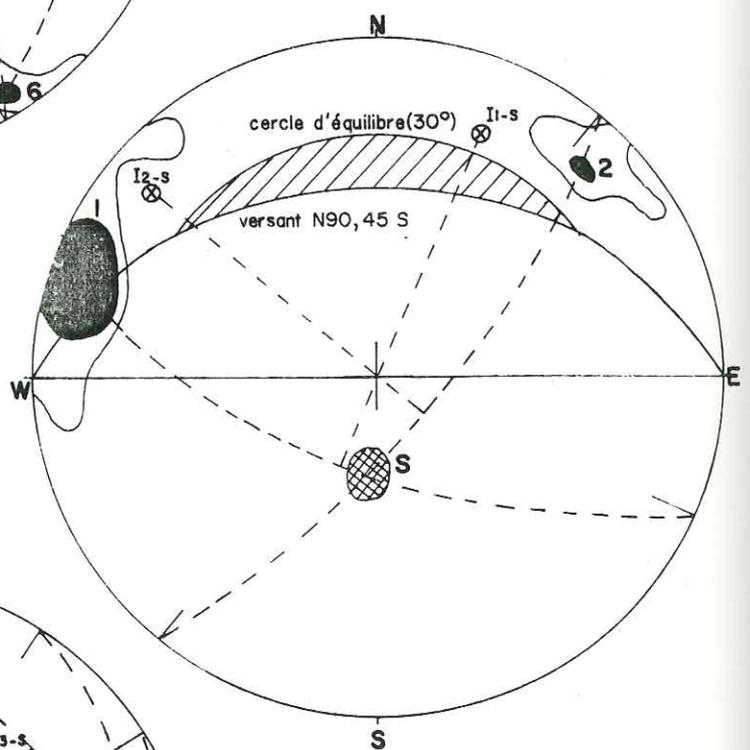
On trouve quelques sources vers 2.550 m dans les falaises situées au Nord des ruines du Grand Plan, qui sont les exurgences de la nappe de fissure du Houiller ; mais également dans les éboulis (à l'Est des Ruines du Grand Plan vers 2.300 m et au Sud du Col de Château-Bourreau) et sur la langue terminale du glissement (à l'Est des Replats à 1.700 m), qui sont des exurgences d'une nappe d'imprégnation.

- Hypothèse sur la surface de rupture :

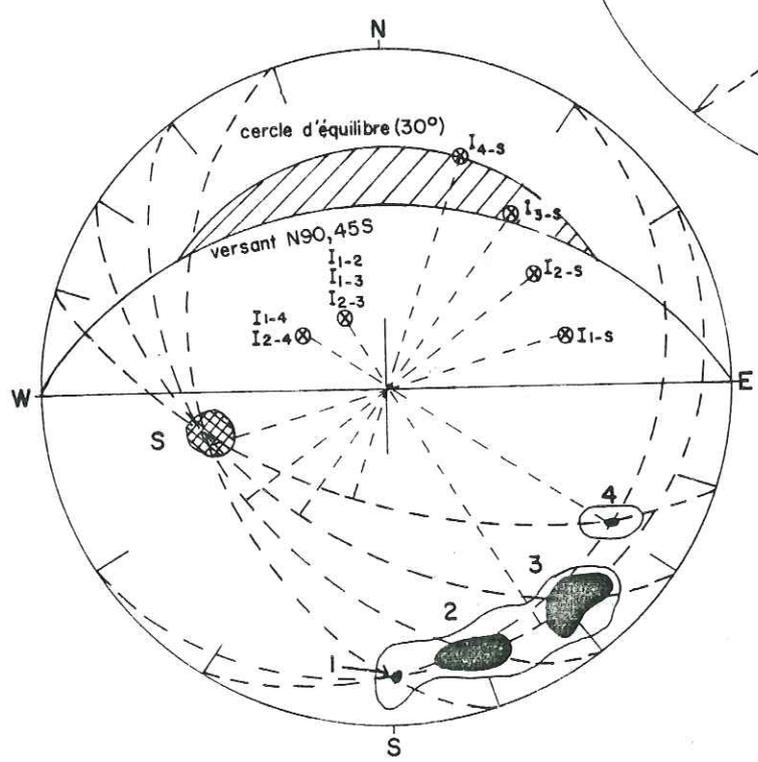
Le mécanisme de ce très vaste glissement n'est, à première vue, pas très clair et peut donner lieu à plusieurs interprétations différentes. Les difficultés résultent d'une part, de ce que l'on ne voit pas ressortir dans la topographie de niche d'arrachement bien individualisée d'où proviendrait l'énorme quantité de matériaux glissés, visibles au pied du versant et, d'autre part, de la présence entre Pierre Aiguë et Genevret d'un affleurement de Houiller dont on ne sait pas s'il est en place où s'il s'agit d'un très vaste paquet glissé.



a - La Lozière



b - Col de Château-Bourreau



c - Le Bois Noir

Fig. 3.31 : Fracturation et instabilités potentielles.

L'étude de la fracturation fournit les données les plus sûres. Elle montre (fig. 3.29) qu'il existe, étant donné la relative dispersion des plans mesures, une réelle possibilité pour que le substratum rocheux puisse être assimilé à un terrain meuble et que l'hypothèse d'une surface de rupture de forme circulaire soit raisonnable. Mais il existe, néanmoins, sur chaque station de mesure, des familles dominantes qui peuvent avoir une influence sur la stabilité du versant (fig. 3.31), soit isolément comme la famille S (direction moyenne du litage originel) (fig. 3.31b) qui peut entraîner un glissement couche sur couche, soit en se combinant deux à deux comme on peut le voir pour les stations La Lozière (fig. 3.31a) et Bois Noir (fig. 3.31c) où certains dièdres individualisés par les familles majeures sont potentiellement instables pour une pente du versant et un angle de frottement moyens. C'est le cas des dièdres créés par les familles 2 et 5 pour la station La Lozière et les familles 3 et 5 pour le Bois Noir. Les autres dièdres peuvent devenir instables moyennant une légère augmentation de la pente du versant ou une faible diminution locale de l'angle de frottement (qui peut être due à la présence d'une lentille de charbon par exemple).

La combinaison de ces cas d'instabilité (nombreux dièdres instables et fracturation relativement dense et dispersée) peut aboutir à un glissement généralisé du versant où des mouvements à surfaces de rupture plus ou moins circulaires côtoieront des mouvements à surface de rupture plane ou en forme de dièdre.

- Conclusion :

Les remarques précédentes conduisent, afin de reconstituer le glissement initial, à faire des hypothèses sur l'emplacement de la niche d'arrachement principale et sur la topographie du versant avant le glissement.

Plusieurs solutions sont alors possibles. Elles sont présentées sur les coupes longitudinales et transversales fig. 3.32 à 3.36.

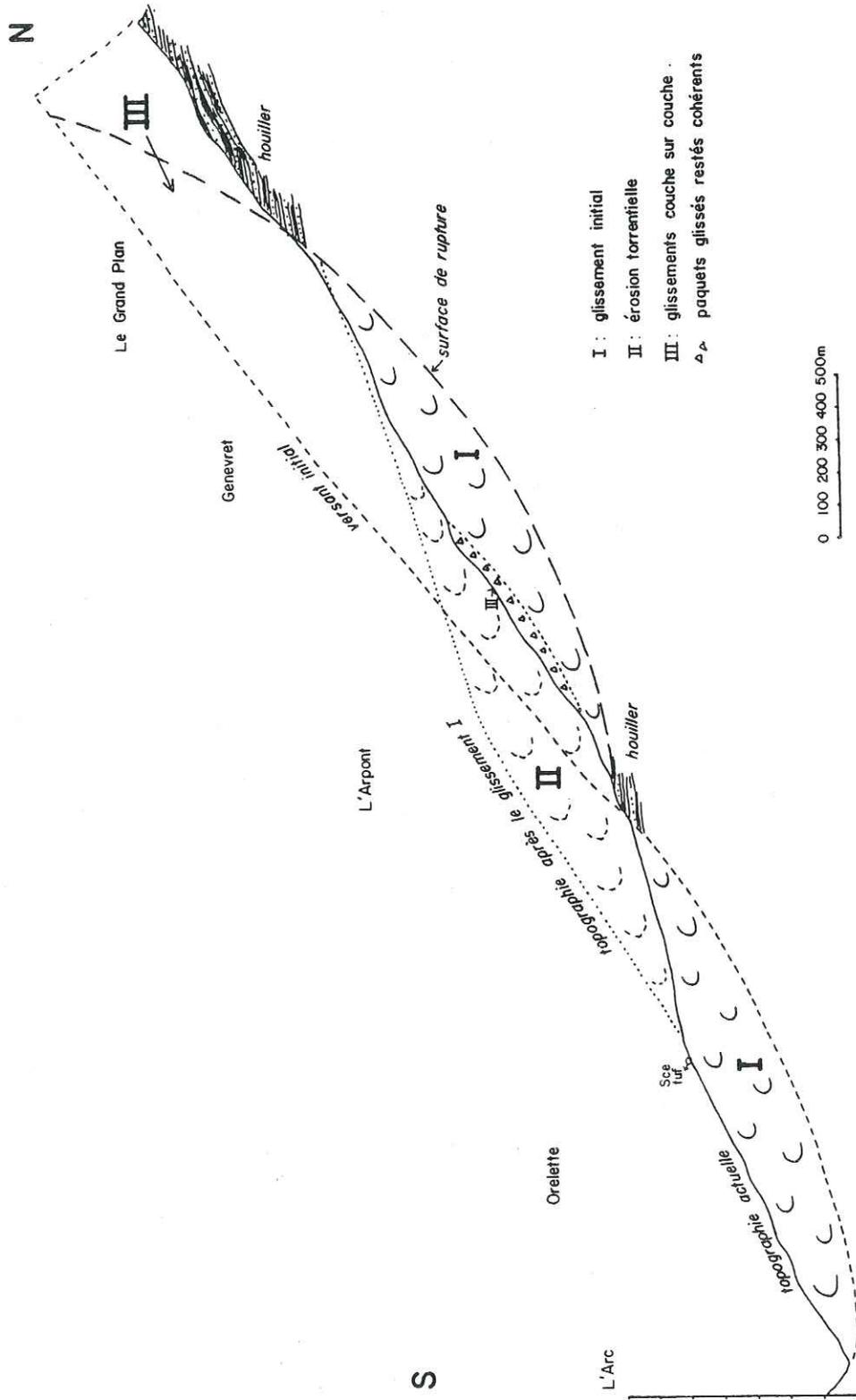


Fig. 3.32 : Glissement du Poucet - Hypothèse n° 1 - Coupe Longitudinale schématique

La première hypothèse (fig. 3.32) postule un gigantesque glissement circulaire prenant naissance au sein du substratum rocheux et dont la niche d'arrachement passerait par les falaises situées au Nord des Ruines du Grand Plan et se poursuivrait plus haut jusqu'à un sommet aujourd'hui décapé par l'érosion. La langue de glissement, très épaisse, serait par la suite entaillée par l'érosion régressive des torrents du Poucet et de l'Arpont jusqu'à laisser apparaître le substratum près des Chalets de l'Arpont. Le sommet de la montagne serait également décapé, peut-être en partie par des phénomènes de glissements couche sur couche, sur des plans de direction EW à faible pendage Sud (direction locale de la stratification). Les matériaux ainsi arrachés se mêleraient à ceux déjà remaniés par le glissement principal, puis seraient en partie éliminés par l'érosion torrentielle pour ne laisser que quelques grands paquets restés cohérents (entre Pierre Aiguë et Genevret).

La seconde hypothèse (fig. 3.33 et 3.34) n'admet qu'un glissement de moindre ampleur avec une niche d'arrachement située plus bas dans le versant et passant au niveau de Genevret. Elle monterait un peu plus haut en altitude que le versant actuel (environ 200 m de plus) dans une partie aujourd'hui décapée par l'érosion. Le corps du glissement aurait, dans ce cas, une épaisseur moindre dans sa partie supérieure.

La partie sommitale du versant subirait par la suite des glissements couche sur couche entraînant une accumulation de matériaux meubles et de grands paquets restés cohérents dans l'excavation laissée par l'arrachement. Ce sont ces matériaux qui seraient ensuite attaqués par l'érosion régressive des torrents. Les phénomènes de glissements couche sur couche dans le sommet du versant ont pu intéresser également des couches plus profondes et créer un bombement (falaise au Nord des Ruines du Grand Plan) et une flexure des couches dans le secteur sommital.

La dernière hypothèse (fig. 3.35 et 3.36) tient compte du fait qu'il pouvait exister sur le versant ancien (avant le glissement) des ravins assez profonds (50 à 100 m) entaillés par des torrents postglaciaires (fig. 3.36) et des ondulations longitudinales

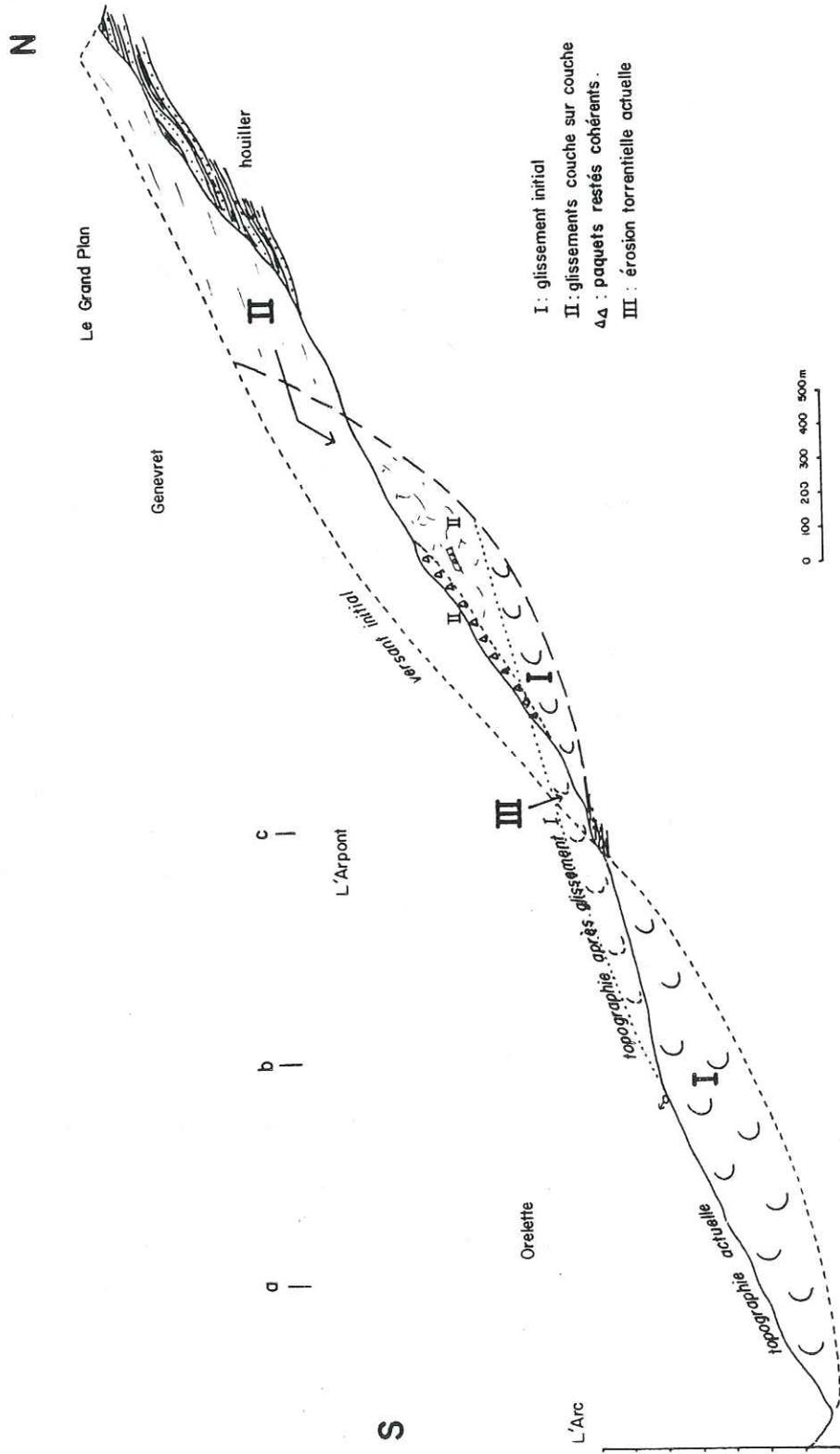


Fig. 3.33 : Glissement du Poucet - Hypothèse n° 2 - Coupe longitudinale schématique

W

E

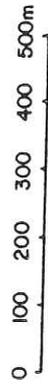
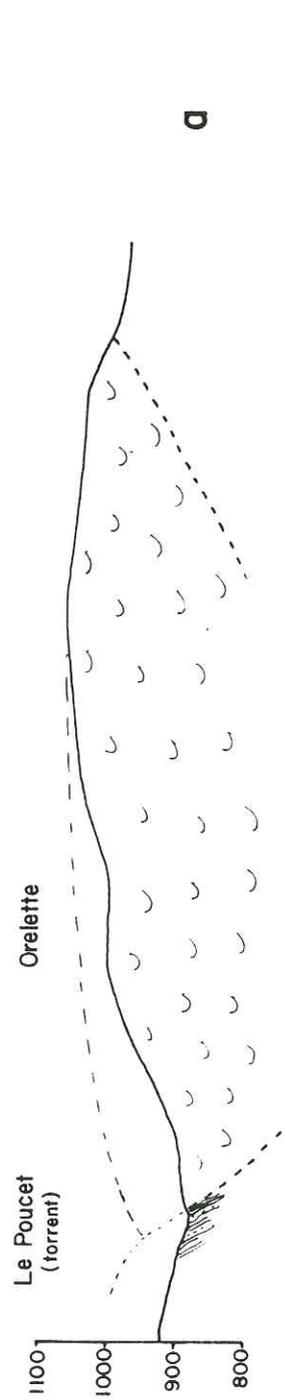
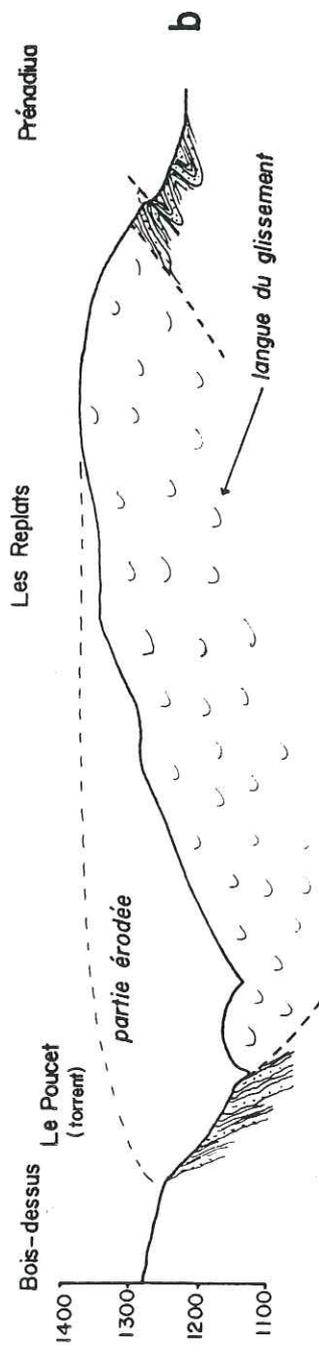
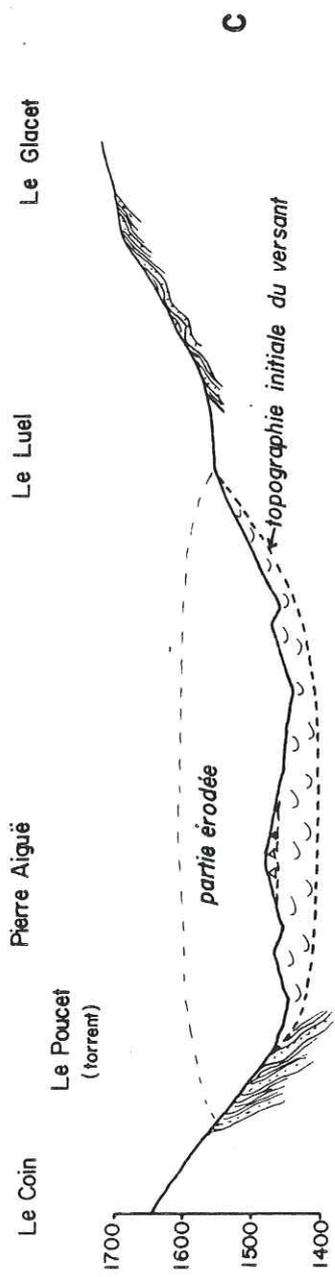


Fig. 3.34 : Glissement du Poucet - Hypothèse n° 2 - Coupes transversales schématiques de la partie inférieure

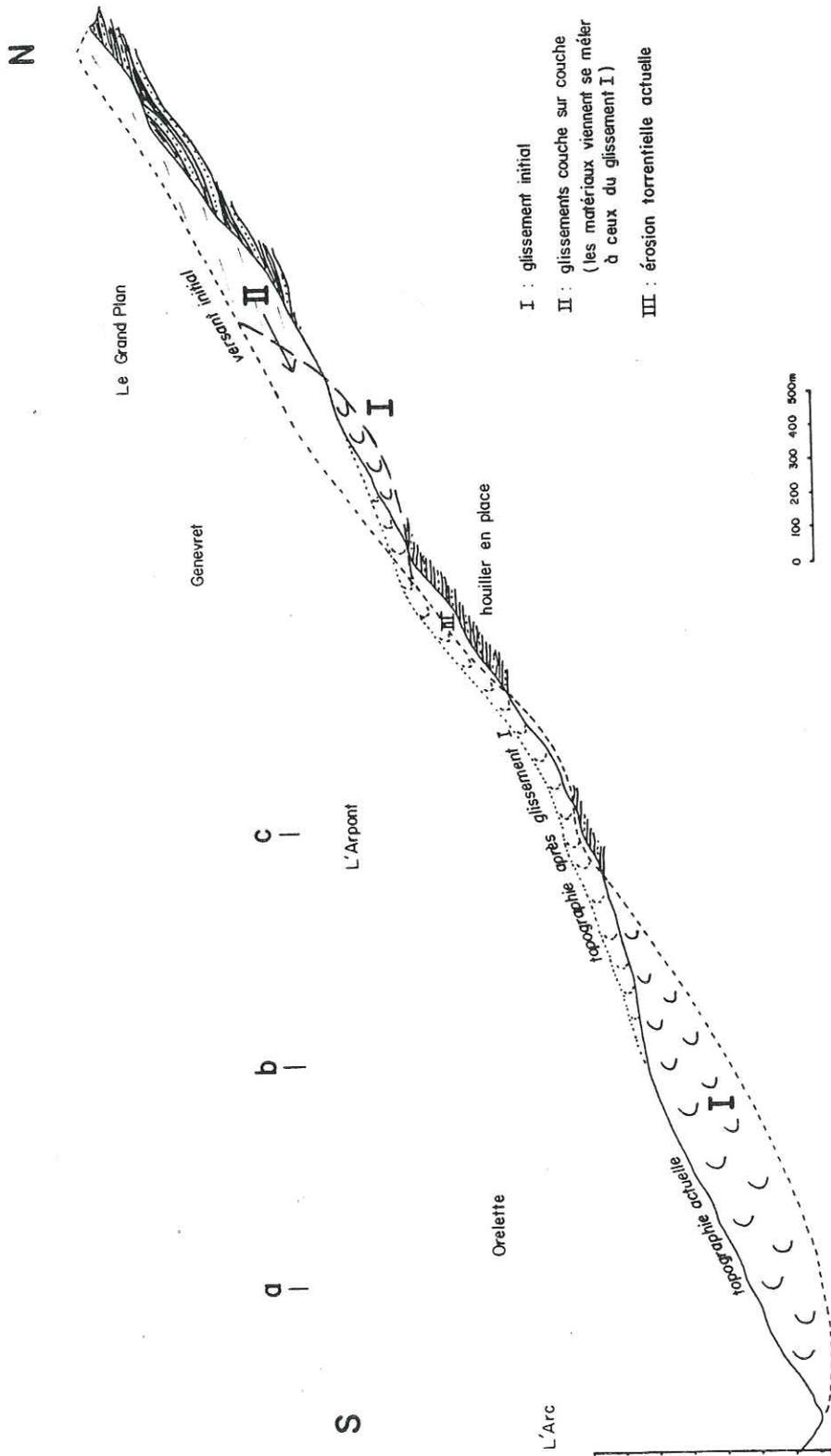


Fig. 3.35 : Glissement du Poucet - Hypothèse n° 3 - Coupe longitudinale schématique

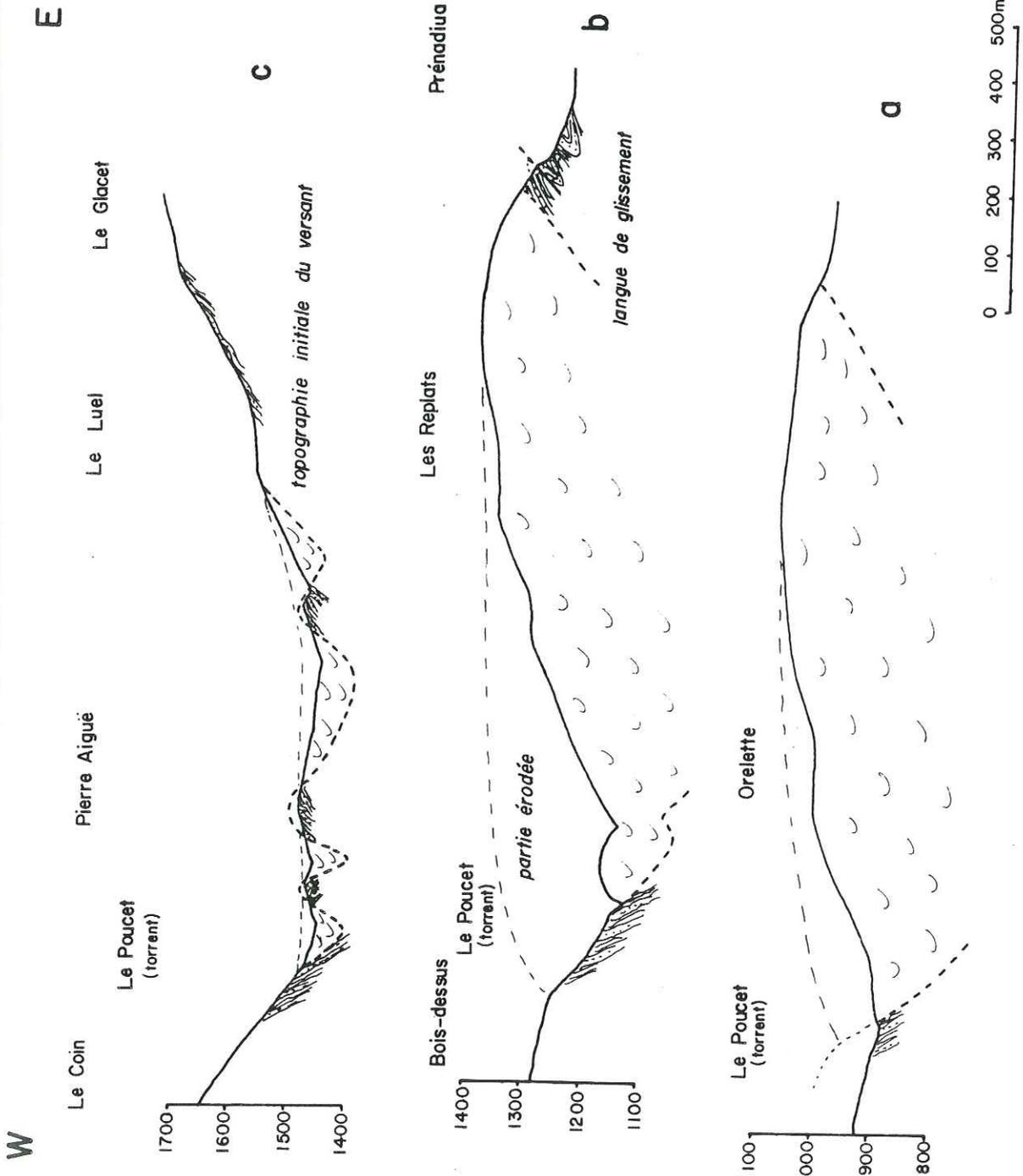
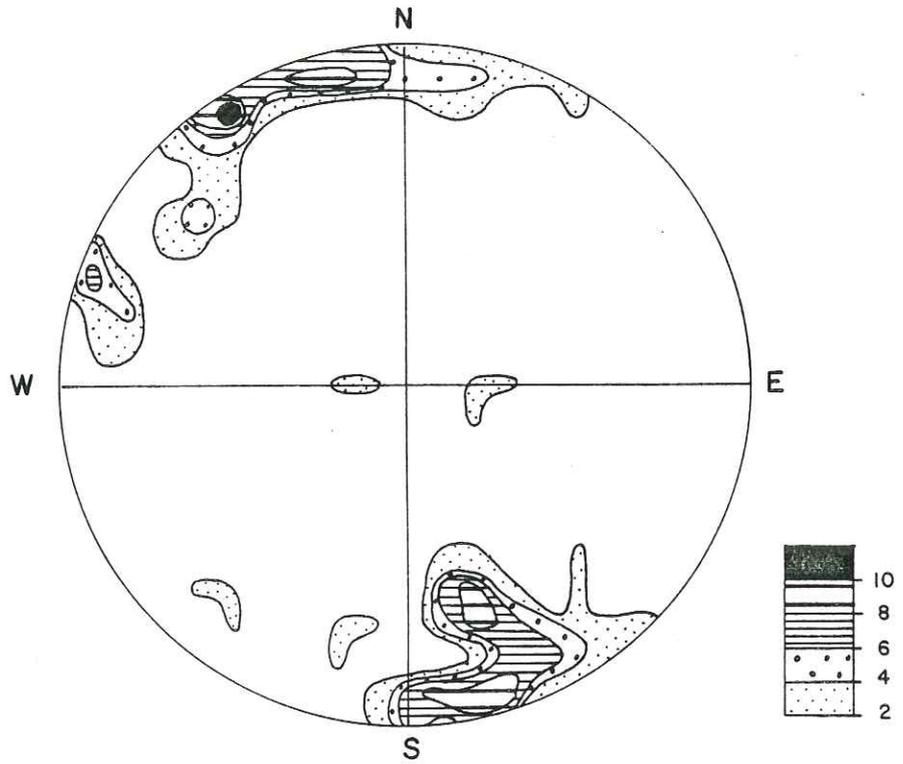


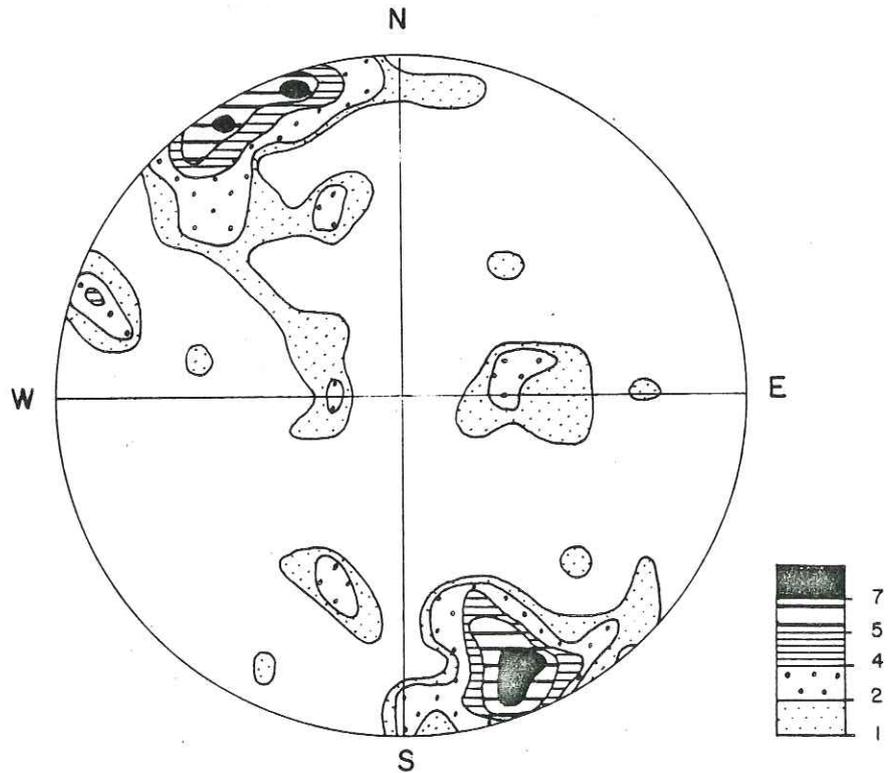
Fig. 3.36 : Glissement du Poucet - Hypothèse n° 3 - Coupes transversales schématiques de la partie inférieure

# Genevret

Grandes et moyennes fractures (49 mesures)



Toutes fractures (135 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 3.37 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

provenant du déblaiement par le glacier de l'Arc de couches plus tendres (fig. 3.35) (voir également Ch. III - 2ème partie). Un glissement de matériaux fluides, gorgés d'eau, se serait alors déclenché avec une niche d'arrachement située dans la falaise au Nord des Ruines du Grand Plan sur une surface de rupture circulaire. Le corps du glissement, très peu épais dans sa partie supérieure (moins de 50 m) aurait cheminé dans les ravins déjà existants (en débordant parfois) et les matériaux se seraient accumulés à la sortie des ravins au pied du versant en venant buter contre le flanc Sud de la Vallée de l'Arc.

L'érosion récente des torrents du Poucet et de l'Arpont aurait, par la suite, décapé une partie des matériaux glissés.

Dans cette hypothèse, l'affleurement situé entre Pierre Aiguë et Genevret peut alors être considéré comme du houiller en place, ainsi qu'auraient tendance à le prouver les pendages des couches et les mesures de fracturation relevés près de Genevret qui sont parfaitement conformes avec ceux relevés alentour sur du Houiller indiscutablement en place (fig. 3.37).

#### b) Les glissements de Francoz

Ils apparaissent en photographie aérienne dans la partie Est du cliché n° 144 de la mission Modane - Lanslebourg de 1967 (fig. 3.28a).

#### - Dimensions des mouvements :

· <u>Glissement A</u> :	Longueur .....	1,85 km	
	Largeur .....	0,8 km	L/1 = 2,3
	Superficie .....	1,5 km <sup>2</sup>	
· <u>Glissement B</u> :	Longueur .....	2 km au moins	
	Largeur .....	0,8 km	L/1 = 2,5
	Superficie .....	1,6 km <sup>2</sup>	

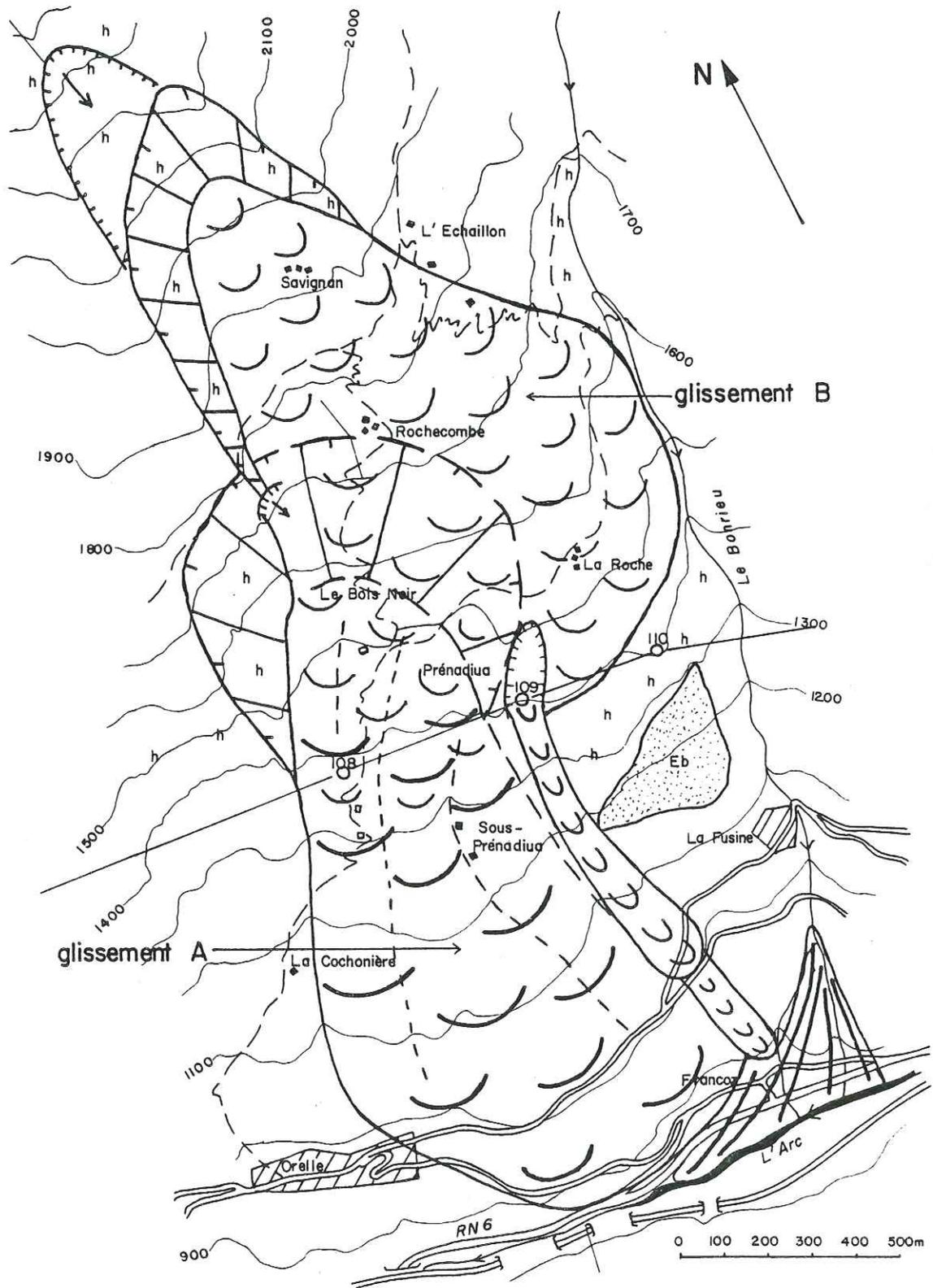


Fig. 3.38 : Les glissements de Francoz (morphologie, géologie)

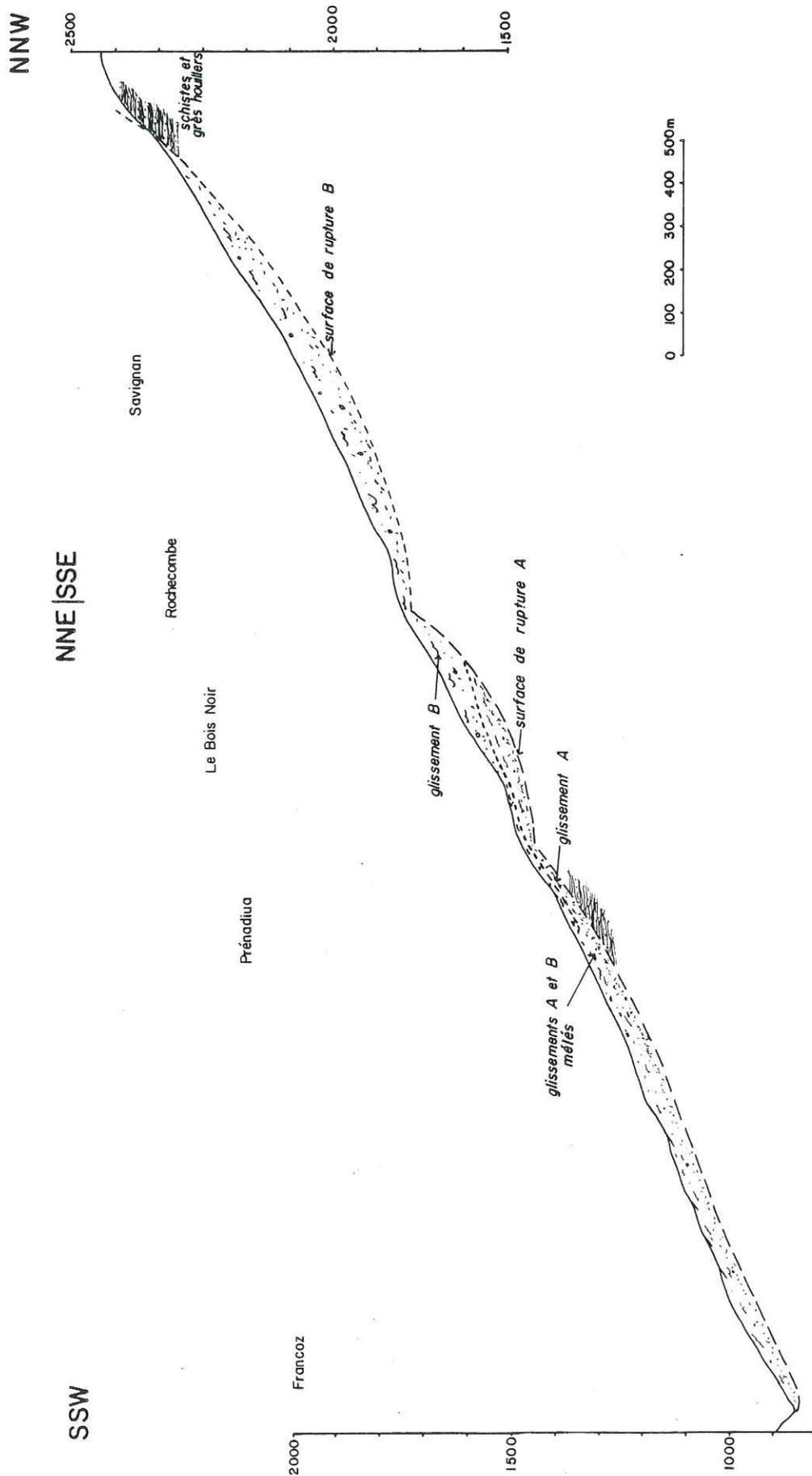


Fig. 3.39 : Les glissements de Francoz - Coupe longitudinale interprétative

- Pente :

La pente moyenne entre le sommet de la niche d'arrachement B et la Vallée de l'Arc est de  $28^\circ$  environ. Elle dépasse  $35^\circ$  dans la niche d'arrachement B et  $30^\circ$  dans la niche d'arrachement A, alors que sur les langues de glissement elle est d'environ  $25^\circ$  avec de petits replats à  $10^\circ$ .

- Hydrogéologie :

Il n'existe pas, dans ce secteur, d'écoulements permanents, mais seulement quelques rus temporaires. Par contre, vu le nombre important d'anciens alpages, il devait y avoir quelques sources réparties sur l'ensemble des deux glissements que je n'ai malheureusement pas découvertes (peut-être se sont-elles bouchées, faute d'entretien, depuis l'abandon des alpages, ce qui pourrait avoir des conséquences néfastes sur la stabilité de la tranche superficielle de terrain).

- Hypothèse sur les surfaces de rupture :

La forme topographique des niches d'arrachement approximativement semi-circulaires nous incite à considérer des surfaces de rupture plus ou moins circulaires (fig. 3.38). Nous ne possédons pas de mesures de la fracturation à proximité immédiate des niches d'arrachement, mais les stations de mesures les plus proches (Col de Château-Bourreau et l'Arcelin) montrent une répartition presque homogène des pôles de fractures reportés sur canevas de Schmidt (fig. 3.29b et 3.40b) ce qui, ajouté à une forte densité de fracturation peut justifier des ruptures circulaires dans le substratum rocheux.

- Conclusion (fig. 3.38 et 3.39) :

Nous avons donc, apparemment, affaire à deux glissements au sein du massif rocheux, qui ont entraîné les terrains de couverture (moraines, éboulis, etc.) susjacents.

Chronologiquement, le glissement A est antérieur au glissement B dont la langue recouvre et comble en partie la niche d'arrachement.

Ces glissements sont anciens si l'on en juge par leur morphologie émoussée. Les premiers mouvements ont dû débiter immédiatement après le retrait du glacier würmien de l'Arc par suppression de la butée en pied de versant.

Des mouvements plus récents et plus superficiels (reptation, solifluxion) ont sans doute contribué ensuite à mélanger les matériaux issus des deux premiers glissements en aval de Prénadiua.

### c) Le glissement de Bonvillard

Il apparaît sur la photo-interprétation du cliché n° 142 de la mission Modane - Lanslebourg de 1967 (fig. 3.28b).

- Dimensions du mouvement : Longueur ..... 3,2 km  
 Largeur ..... 2 km  
 Superficie ..... 6,4 km<sup>2</sup>  
 L/l ..... 1,6

#### - Pente :

La pente moyenne du versant est de 29°, plus raide au sommet sous la crête du Rocher Renod (Ouest) où elle atteint plus de 45°, avec des zones de replats comme les Arponnets, Précourt (10° et même parfois moins) où se sont installés les chalets d'alpage.

#### - Géologie du substratum :

Nous avons affaire, ici, au Houiller stérile. La fracturation tient un rôle important comme partout ailleurs. Elle a été mesurée sur trois stations situées respectivement à l'Arcelin, 500 m au Nord des Arponnets et 1 km à l'Est de Bonvillard.

Il faut tout d'abord noter l'intensité de la fissuration. En effet, pour les trois stations de mesures, sur 10 m de long, nous avons noté plus de 150 discontinuités.

La répartition en direction de ces fissures est relativement homogène sur chaque station. Ceci est très net pour la station

des Arponnets (fig. 3.40a), un peu moins pour l'Arcelin (fig. 3.40b) où la majorité des pôles de fractures se trouve dans la moitié Sud, et Bonvillard (fig. 3.40c) où le quart Nord-Est est pratiquement vierge.

Il ressort, toutefois, quelques familles importantes que l'on peut séparer grossièrement en trois catégories :

- . celles de direction plutôt Est-Ouest (l'Arcelin : N 90 vertical et N 70, 55 S - fig. 3.41a ; Bonvillard : N 30 vertical et N 90, 70 S - fig. 3.41b),
- . celles de direction plutôt Nord-Sud (l'Arcelin : N 20, 60 E ; Bonvillard : N 0, 85 E et N 10, vertical ; Les Arponnets : N 15, 80 E - fig. 3.41c)
- . celles de fractures plutôt plates (Bonvillard : N 160, 55 W ; Les Arponnets : N 150, 20 SW).

- Hydrogéologie :

L'écoulement chenalisé de surface est concentré dans le torrent du Bonrieu, mais aucun cours d'eau permanent ne circule sur le versant considéré. L'eau est néanmoins présente dans le terrain sous forme d'une nappe d'imprégnation dans les formations superficielles (moraines, colluvions, glissements anciens, etc.). Elle affleure parfois dans des zones humides (Les Arponnets) ou surgit à la faveur de variations de perméabilité du terrain en de petits suintements ou sources. Elle est alimentée par les eaux météoriques, mais aussi par la nappe de fissure du Houiller qui donne des débits importants dans la galerie Bonrieu - Bissorte (voir Ch. V - 2ème Partie).

- Hypothèse sur les surfaces de ruptures :

L'intensité de la fracturation et sa répartition relativement homogène nous incitent à envisager des ruptures circulaires dans le substratum rocheux, ainsi que tendrait à le montrer la forme en plan des niches d'arrachement (fig. 3.42).

Mais, il ne faut pas négliger les effets que peuvent avoir les grandes familles de fractures citées ci-dessus. Sur ce versant orienté au Sud, les familles de fractures EW verticales ou à

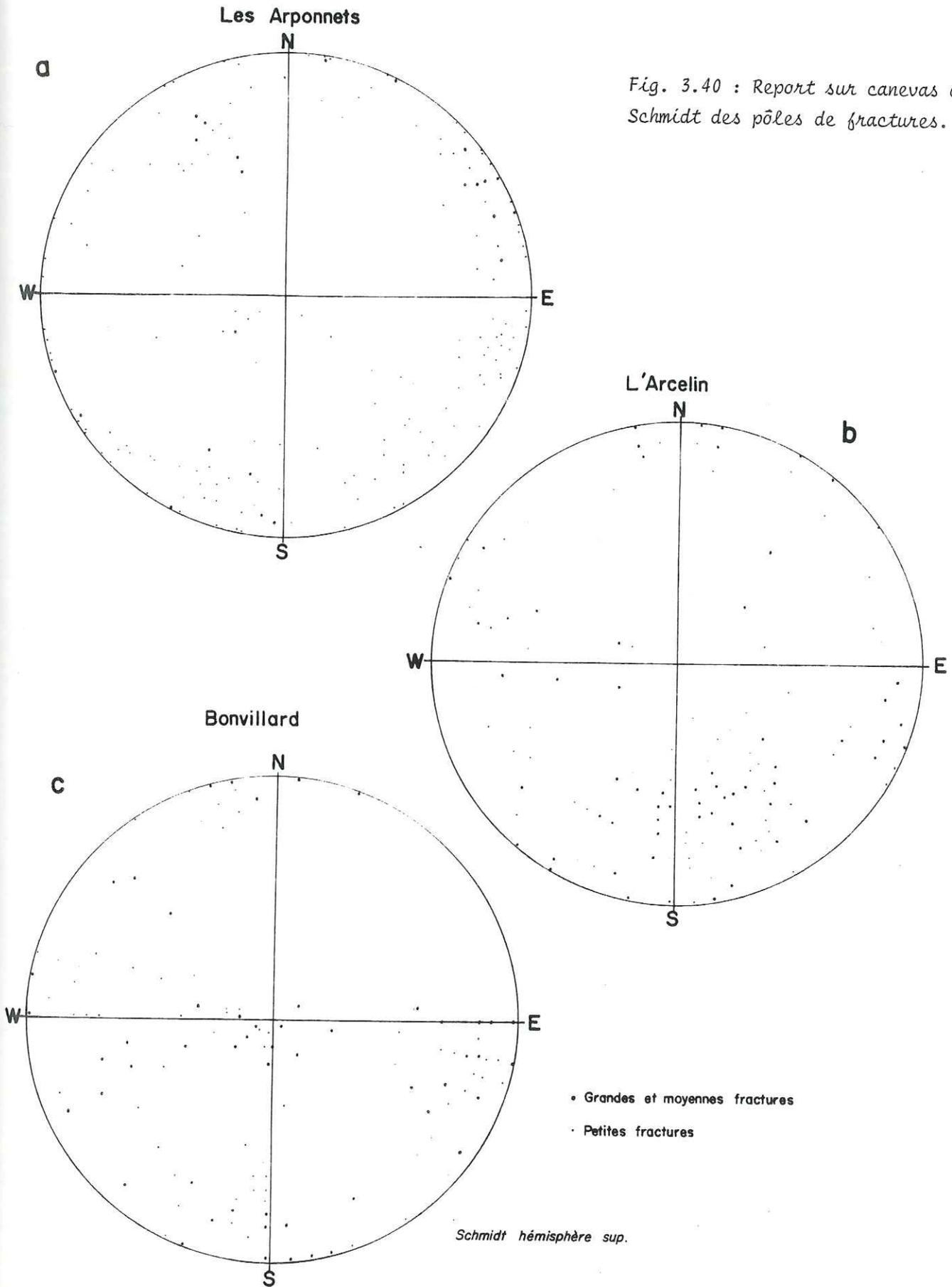
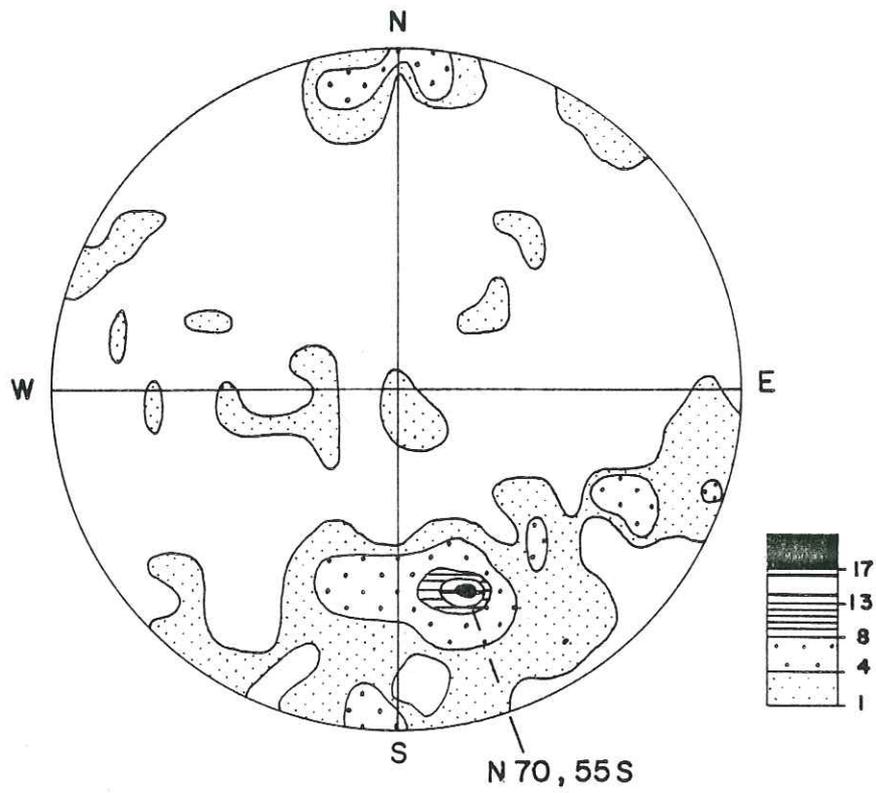


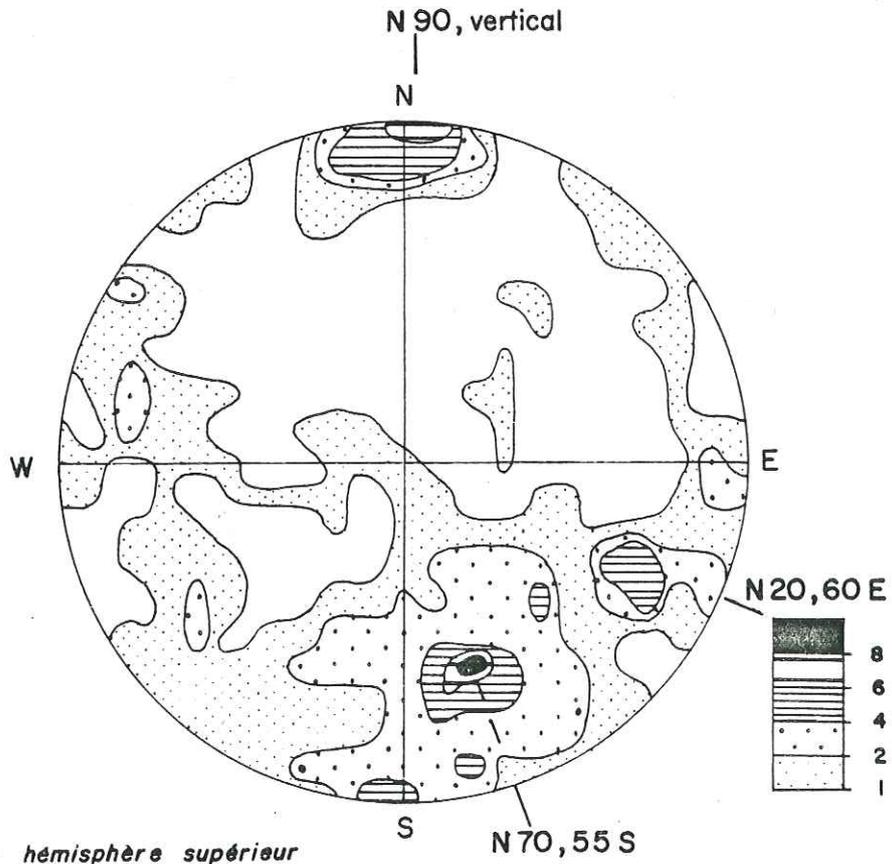
Fig. 3.40 : Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures.

L'Arcelin

Grandes et moyennes fractures (71 mesures)



Toutes fractures (153 mesures)

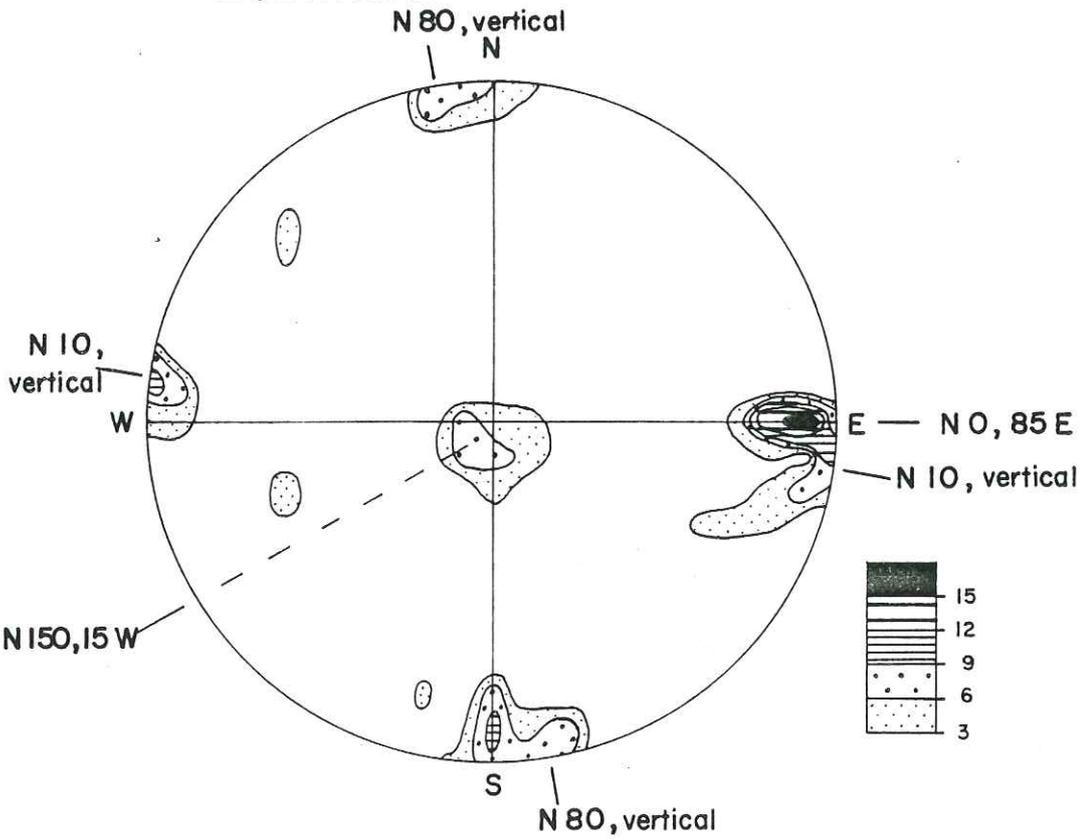


Schmidt hémisphère supérieure

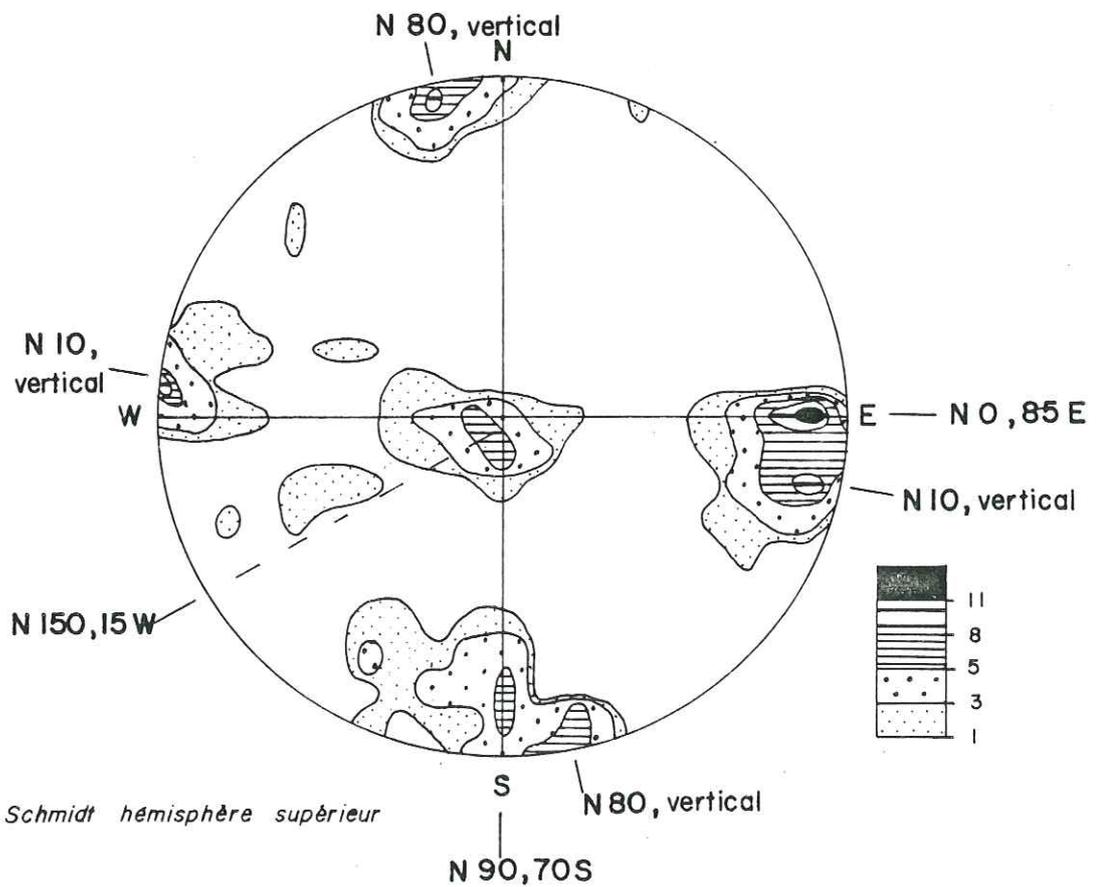
Fig. 3.41a : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

Bonvillard

Grandes et moyennes fractures (65 mesures)



Toutes fractures (150 mesures)

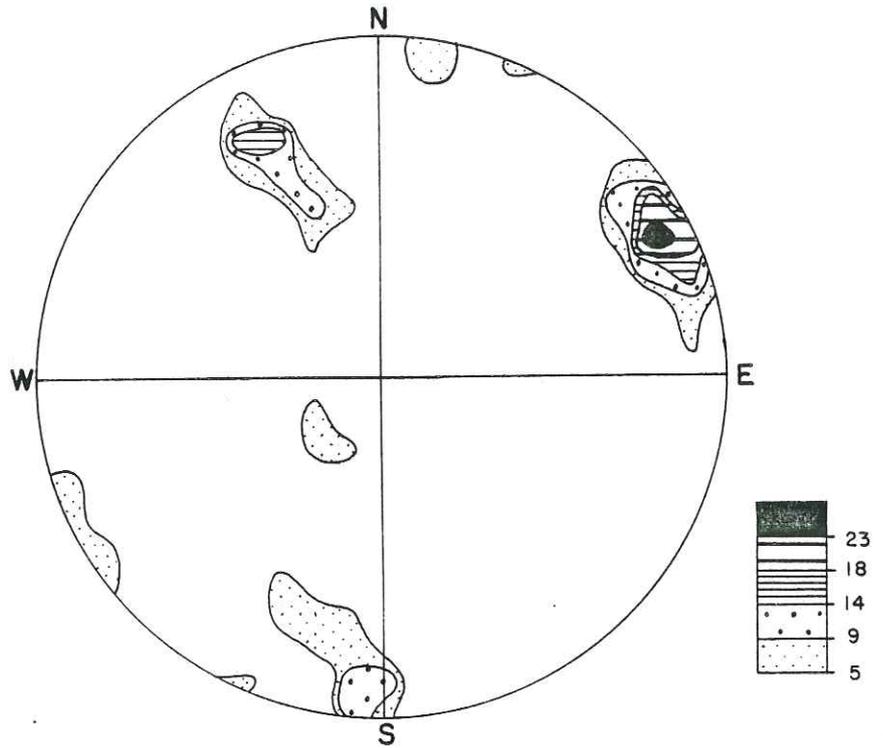


Schmidt hémisphère supérieure

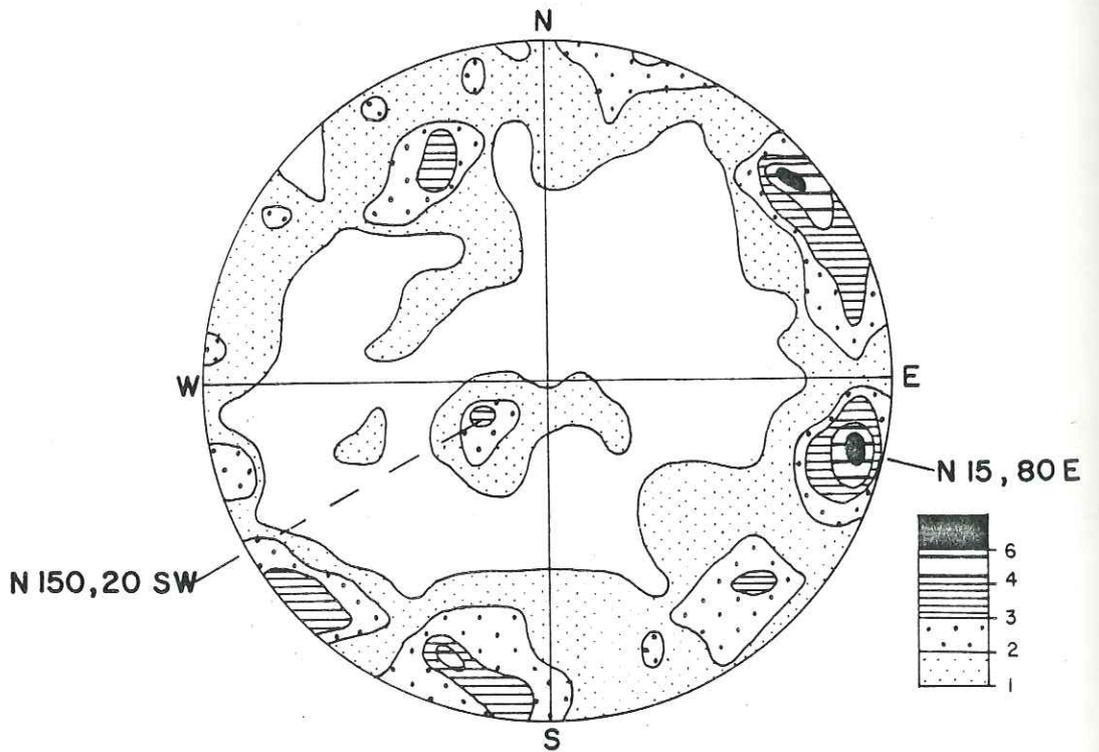
Fig. 3.41b : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

Les Arponnets

Grandes et moyennes fractures (22 mesures)



Toutes fractures (160 mesures)



Schmidt hémisphère supérieur

Fig. 3.41c : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

fort pendage Sud auront tendance à jouer en fauchage, ce qui augmentera encore la décohésion de la tranche superficielle du versant, et les familles subhorizontales à pendage Sud (malgré la faible valeur de ce pendage) pourront créer localement des glissements couche sur couche qui peuvent être à l'origine du déclenchement de mouvements plus importants n'ayant pas forcément le même mécanisme.

- Conclusion (fig. 3.42 et 3.43) :

Sur ce versant très affecté par des mouvements de terrain, on observe tout d'abord deux glissements très importants par leur superficie, emboîtés l'un dans l'autre, affectant le substratum houiller. Le plus ancien (glissement A) a atteint la ligne de crête, probablement dès la fin du retrait des glaciers würmiens, sous la forme d'un glissement en masse de tout le versant, sur une surface circulaire et jusqu'à une profondeur importante (200 m ?), créant ainsi une dépression (relative) dans le haut du versant et un bombement (relatif) dans le bas.

Ensuite, le glissement B, légèrement plus récent, reprend une partie de la masse précédemment glissée, mais restée relativement cohérente, selon un processus identique mais de moindre ampleur. Les terrains de couverture (moraines, éboulis, etc.) entraînés dans le mouvement peuvent, en sus, connaître une évolution propre selon un mécanisme plus proche de la coulée (glissement Ba). La base de ce glissement dégénère par la suite en plusieurs coulées (Ca, Cb et Cc) de grande ampleur, descendant jusqu'à l'Arc, sur lesquelles se trouve installé le hameau de Bonvillard.

A ces glissements anciens viennent se superposer des mouvements plus récents comme la coulée D qui s'étend à l'amont des chalets d'Arponnet ou les glissements E à l'aval de ceux-ci.

Le premier occupe une combe herbue formant trouée dans la forêt et correspond probablement à des matériaux en mouvement lent de type coulée, accompagné de reptation et de solifluxion épidermique, remaniant des débris provenant de l'altération superficielle du Houiller (déjà en partie glissé lui-même).

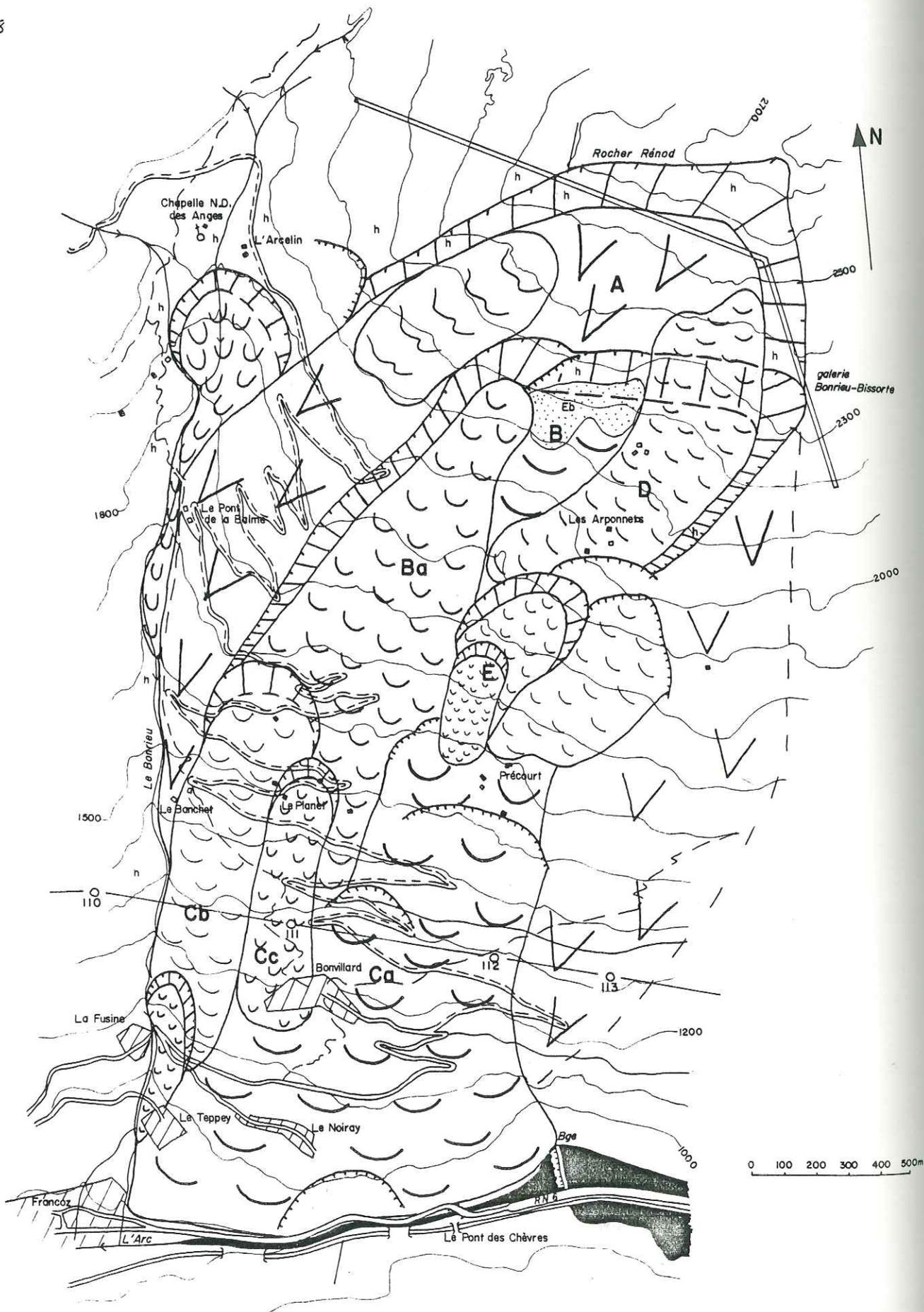


Fig. 3.42 : Glissement de Bonvillard (morphologie, géologie)

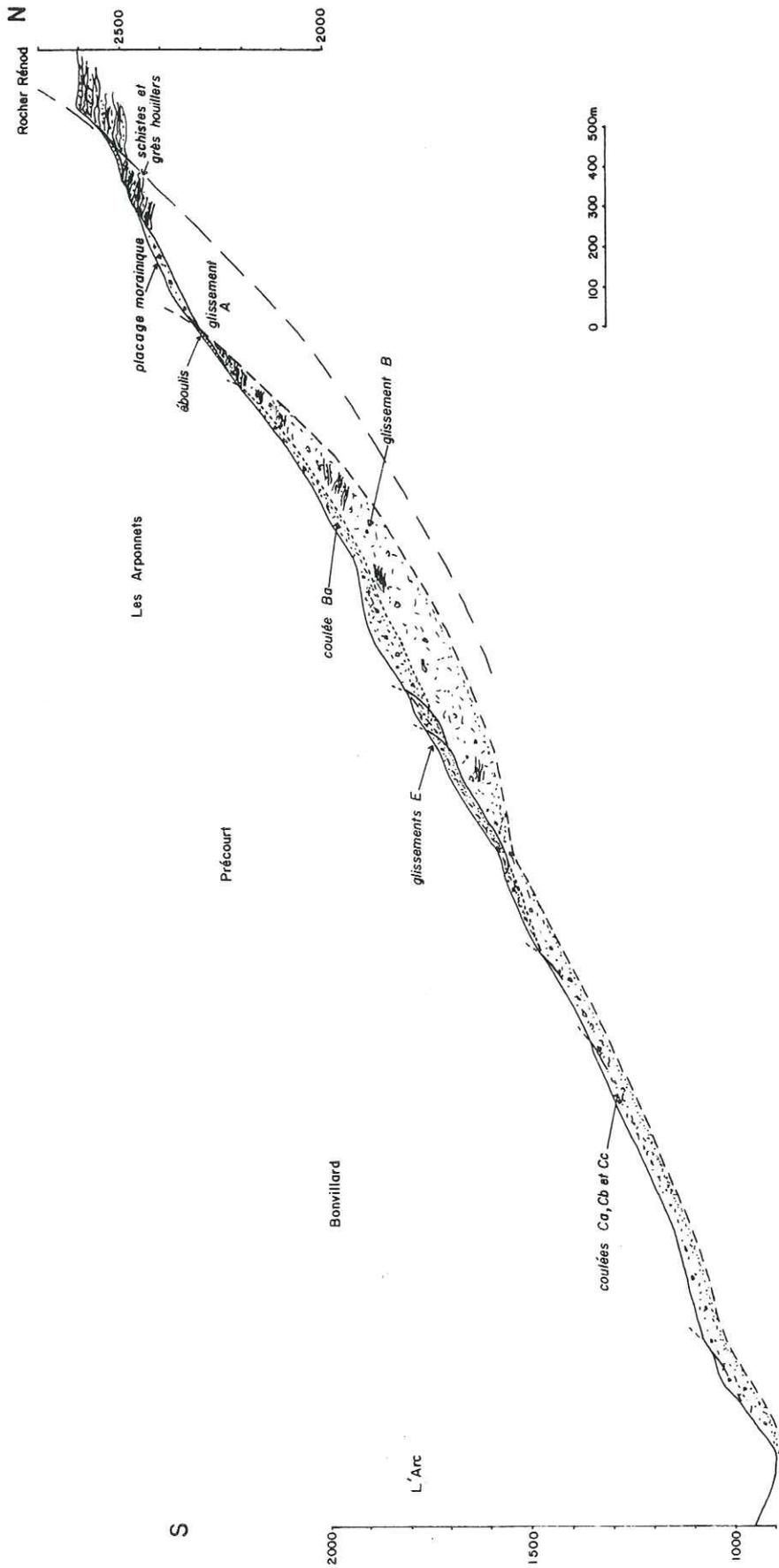


Fig. 3.43 : Glissement de Bonvillard - Coupe longitudinale interprétative

Les seconds sont des glissements très récents (début en 1955) et superficiels, provenant de la mise en mouvement des terrains de couverture (placage morainique, colluvions, éboulis) sur le substratum anciennement glissé.

Ils sont encore actifs actuellement avec des vitesses de déplacement variables : lente pour la première (chalets d'alpages lézardés et inclinés) et plus rapide pour les seconds dont la vitesse de progression avait été estimée en 1965 (soit 10 ans après la mise en mouvement) à plus d'un mètre par mois (voir détails sur ces glissements des Arponnets - 4ème partie).

---

QUATRIÈME PARTIE

LES RISQUES NATURELS

CHAPITRE I : LES CARTES ANALYTIQUES

CHAPITRE II : SYNTHÈSE DES CONDITIONS DE STABILITÉ VIS-À-VIS DES  
MOUVEMENTS DE TERRAIN

---

Les phénomènes que nous venons de décrire (glissements anciens, coulées, etc) auxquels on peut ajouter les chutes de blocs, écroulements de pans de falaises, ravinement, etc, sont des aléas géodynamiques externes (faits géologiques éventuellement répétitifs).

Le risque naturel associe la probabilité d'occurrence de ces aléas à la notion de dommage aux personnes et aux biens (on peut étendre cette dernière notion à la perte de valeur des terrains qui, par le seul fait qu'ils sont menacés, cessent d'être cessibles, constructibles ou aménageables).

L'évaluation du risque tiendra donc compte de deux composantes : la plus ou moins grande probabilité d'apparition d'un type d'instabilité (qui échappe à toute évaluation chiffrée et ne peut être qu'estimée faute d'observations échelonnées dans le temps) et la gravité de ses conséquences. Elle sera explicitée sur un document synthétique (carte des risques) résumant les données de plusieurs cartes analytiques, confrontées avec les cartes d'aménagement.

Nous nous contenterons, pour notre part, de présenter quelques cartes analytiques (carte des pentes, carte des instabilités, etc) et un document de synthèse des conditions de stabilité.

---

## C H A P I T R E I

### LES CARTES ANALYTIQUES

Elles représentent graphiquement les facteurs d'instabilité déterminants c'est-à-dire ceux dont l'évolution peut remettre en cause l'équilibre naturel existant. Nous avons choisi d'en dessiner quatre.

#### A - CARTE DES PENTES (Annexe V)

Elle met en évidence le degré de déclivité des versants.

##### 1°) Méthode d'élaboration

L'élaboration d'une telle carte peut se faire en traçant sur un fond topographique au 1/25.000, un carroyage de 1 cm de côté (250 m) ; au centre de chaque carreau, on reporte la valeur de la différence d'altitude entre les cotes extrêmes. Il suffit ensuite de faire tracer par ordinateur les courbes d'"isovariation de pente".

Nous avons choisi de sélectionner sept classes qui sont, par ordre de pente croissante : 0-10 %, 10-20 %, 20-30 %, 30-40 %, 40-50 %, 50-100 % et plus de 100 %.

## 2°) Analyse succincte

L'examen de cette carte (annexe V) permet de diviser notre secteur en deux zones :

- à l'Ouest : le vallon des Encombres, presque uniquement réduit à un vaste versant de rive gauche d'un affluent de l'Arc, qui coule du Nord vers le Sud et dont tous les affluents sont parallèles et de direction ENE-WSW, montre une pente modérée (30 à 50 %) dirigée vers l'WSW,
- à l'Est : le versant de rive droite de l'Arc dont la pente est plus forte (50 à 100 %) et dirigée en moyenne vers le Sud.

Cette différence entre les deux zones montre que la pente des versants est intimement liée à la lithologie (Houiller productif, plus schisteux à l'Ouest et Houiller stérile, plus gréseux à l'Est) et à la structure (couches de direction Nord-Sud affectées par des plis d'axe Nord-Sud) du substratum.

En effet, à l'Est la direction du versant est perpendiculaire à la direction des couches et la série est plus gréseuse, ce qui explique la pente forte, alors qu'à l'Ouest, dans une série plus schisteuse, le versant est très souvent conforme à la structure (pendage général vers l'Ouest) et se décompose en secteurs longitudinaux Nord-Sud avec une bande médiane à pente forte (50 à 100 %) à l'emplacement du synclinal occidental et des grandes niches d'arrachement, et une bande à pente faible (moins de 20 %), au fond du vallon, qui représente une zone de bourrage et d'accumulation.

## B - CARTE LITHOLOGIQUE ET STRUCTURALE A FINALITE GEOTECHNIQUE (Annexe VI)

Il s'agit, ici, de classer les formations géologiques selon leur nature lithologique et leur qualité géotechnique. On est donc amené d'emblée à considérer deux grandes catégories de matériaux : les roches (substratum) et les terrains meubles de couverture.

1°) Le substratum

Il est ici constitué, en majeure partie, d'une série rythmique faite d'une alternance maintes fois répétée, mais avec des proportions variables, de schistes, grès et conglomérats du Houiller et du Permien. A l'échelle de 1/25.000 il est impossible de séparer cartographiquement ces divers constituants. Les seules données dont on puisse tenir compte sont l'importance des schistes, plus grande dans le Houiller productif que dans le Houiller stérile et l'existence des lentilles de charbon les plus développées.

Une très petite superficie du terrain en place est constituée de roches tendres et solubles (gypse) qu'il est nécessaire de distinguer compte tenu de ses propriétés particulières.

La seule approche des qualités mécaniques a consisté en quelques essais de cisaillement réalisés sur des échantillons de schiste et de charbon qui sont les maillons les plus faibles de la chaîne représentée par la série houillère.

Les résultats obtenus ne peuvent donner qu'un ordre de grandeur d'autant plus que l'appareillage dont dispose le laboratoire de l'I.R.I.G.M. n'est pas adapté au cisaillement de roches cohérentes et que les essais ont consisté à cisailier un plan de schistosité auparavant décollé ou de la poussière de charbon (c'est sous cette forme qu'il se présente le plus souvent au contact des épontes stériles). Ces résultats sont résumés dans le tableau 4.1 (voir résultats détaillés en annexe I).

	Cohésion apparente c (hg/cm <sup>2</sup> )	Angle de frottement $\phi$ (°)	Angle de frottement résiduel $\phi_r$ (°)
Schiste noir (plan de schistosité décollé)	0,18	28	23
Charbon (poussière)	0,56	21	7

Tableau 4.1 : Caractéristiques mécaniques des schistes et charbon houiller

Deux expériences qu'il a été possible de réaliser sur des plans de schistosité non ouverts et sur un bloc de charbon dur, ont fourni des valeurs en moyenne trois à quatre fois supérieures à celles-ci.

Donc, le fait que le rocher soit de moins bonne qualité si les discontinuités (schistosité, diaclases) y sont nombreuses et ouvertes, exige de cartographier cette particularité défavorable et même, en certaines stations de mesures, d'évaluer l'intensité de la fracturation.

## 2°) Les terrains meubles de couverture

Nous avons distingué quatre classes principales :

### a) Les matériaux crus :

Eboulis vifs et chaos de blocs, très instables.

### b) Les cônes de déjection et alluvions de vallée :

La plupart du temps bien drainés, ils présentent une pente faible garante de leur stabilité.

### c) Les matériaux morainiques et éboulis stabilisés :

Constitués d'éléments de tailles très diverses, ils sont emballés dans une matrice argilo-sableuse qui peut compromettre leur stabilité.

Différentes analyses (granulométrie, limites d'Atterberg, cisaillement) permettent de se faire une idée de leurs caractéristiques géotechniques (voir Annexe I). Leur granulométrie est très étalée, depuis les blocs énormes (plusieurs m<sup>3</sup>) jusqu'aux argiles (environ 8 %). La matrice argilo-sableuse est moyennement plastique ( $I_p = 13$ ) avec une cohésion d'environ 0,3 kg/cm<sup>2</sup> et un angle de frottement de 23°. Selon la nomenclature du L.C.P.C. on peut les classer à la limite des graves argileuses et des graves limoneuses.

### d) Les matériaux remaniés par d'anciens glissements (substratum désorganisé, moraines, éboulis et colluvions mêlés) :

Terrains hétérogènes, où des blocs de toutes tailles (pouvant aller jusqu'à des panneaux de plusieurs centaines de mètres restés à peu près cohérents) sont disséminés dans une matrice sablo-argileuse.

Les analyses effectuées sur des échantillons de moraines remaniées montrent que leurs caractéristiques géotechniques ne sont pas sensiblement différentes de celles des moraines en place : la proportion d'argile y est un peu plus faible (5,5 %), ce qui est probablement dû au lessivage durant et après leur remaniement. Il en résulte que la matrice est devenue faiblement plastique ( $I_p = 9$ ) sans que les paramètres mécaniques se trouvent sensiblement modifiés ( $0,3 < c < 0,5 \text{ kg/cm}^2$  ;  $\phi = 21 \text{ à } 22^\circ$ ). On peut également les classer dans les graves argileuses ou graves limoneuses.

#### C - CARTE DES CONDITIONS HYDRAULIQUES (Annexe IV)

Elle indique les sources et le réseau hydrographique superficiel, les zones de marécages, d'eaux stagnantes, ainsi que deux sondages indiquant localement la surface piézométrique de la nappe d'imprégnation dans les terrains meubles en juillet 1982 (voir Ch. V - 2ème Partie).

#### D - CARTE DES INSTABILITES (Annexe VII)

Deux sortes d'instabilité (déclarées ou potentielles) peuvent être décrites d'après nos observations de terrain complétées par une enquête succincte effectuée auprès des habitants, du service R.T.M. (Restauration des Terrains en Montagne) de l'O.N.F., du B.R.G.M. (fichier des mouvements de terrain) et de l'E.D.F.

##### 1°) Les instabilités déclarées

Elles recouvrent les mouvements récents et les mouvements actifs présentant des formes nettes qui attirent l'attention.

##### a) Les chutes de blocs diverses :

Elles affectent le substratum rocheux et se localisent en aval des abrupts (éboulis actifs). Les chutes de blocs peuvent être sporadiques le long d'une falaise (nappes d'éboulis actifs) ou concentrées dans des couloirs (couloirs d'éboulis actifs), mais elles sont, au départ, intimement liées à la fracturation du rocher. Le relevé ponctuel de cette dernière, dans des stations de mesures localisées dans les abrupts engendrant des chutes de blocs, permet de déterminer en ces points les familles de discontinuités et d'appré-

Col des Encombres

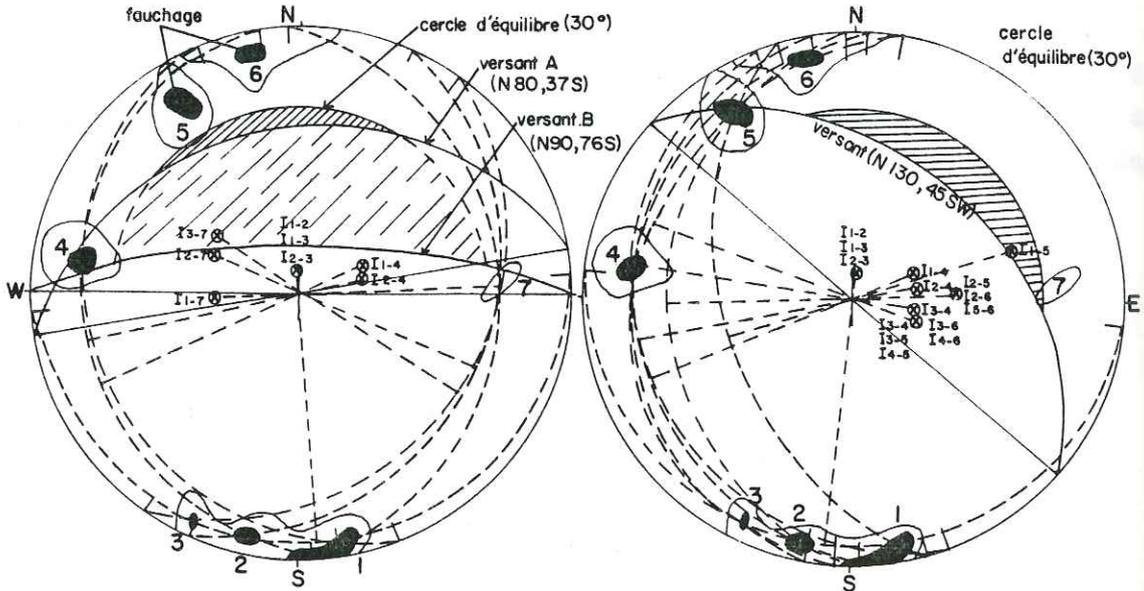


Fig. 4.2 : Fracturation et instabilités potentielles

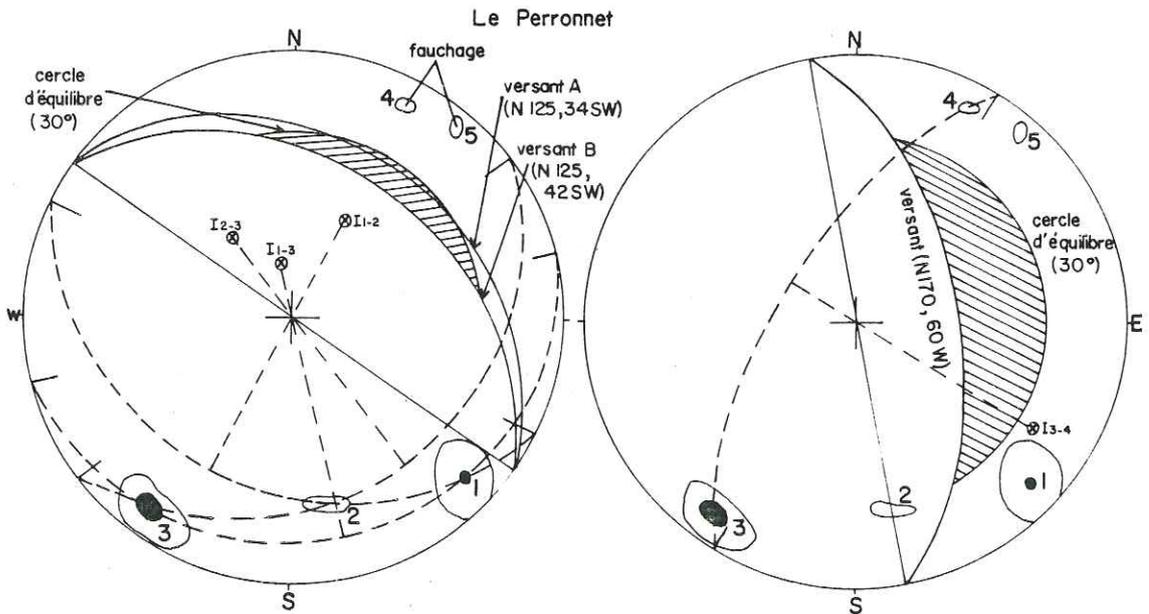


Fig. 4.1 : Fracturation et instabilités potentielles

hender comment elles se combinent pour individualiser des blocs, ainsi que la stabilité potentielle de ceux-ci. Nous allons illustrer cela par deux exemples :

- Le Perronnet :

La fracturation a été relevée 100 m à l'Ouest du Perronnet. Nous pouvons voir sur la fig. 4.1 que, pour un versant de direction N 125 (fig. 4.1a), trois familles de fractures (les familles 1 à 3) sont susceptibles de se combiner deux à deux pour individualiser des blocs qui pourront glisser selon l'arête du dièdre qu'elles déterminent, à condition que la pente du versant soit plus forte que le plongement de cette droite et que le frottement le permette (angle de frottement inférieur à l'angle de plongement de la ligne). Sur la fig. 4.1a, les versants considérés (observés sur le terrain) dont la pente est respectivement de  $34^\circ$  et  $42^\circ$  vers le Sud-Ouest, ne sont pas assez raides pour que le glissement se produise, sauf si des irrégularités locales les portent temporairement au-delà de  $60^\circ$ .

Sur la fig. 4.1b, le versant a une direction N 170 et une pente de  $60^\circ$  vers l'Ouest. L'intersection des plans des familles 3 et 4 nous donne une ligne dont l'angle de plongement est inférieur à l'angle du versant, mais également inférieur à un angle de frottement moyen évalué à  $30^\circ$  pour ce matériau. Dans ce cas-là encore, le bloc ainsi individualisé sera potentiellement stable, sauf si des conditions particulières (présence d'eau par exemple) abaissent la valeur de l'angle de frottement.

On peut signaler en outre que, dans le cas "a", les familles 4 et 5 autorisent le processus de fauchage qui évoluera éventuellement en basculement de panneaux.

- Col des Encombres :

Sur cette station de mesures située 500 m à l'Ouest du Col des Encombres, sept familles de fractures ressortent. Dans le cas de versants de direction Est-Ouest inclinés vers le Sud (fig. 4.2a), les familles 1, 2, 3, 4 et 7 peuvent se combiner deux à deux pour individualiser des blocs. Parmi les dix combinaisons possibles, huit dièdres doivent être examinés de plus près. En adoptant un angle de frottement moyen ( $30^\circ$ ), on constate que seuls les blocs individualisés par les familles 3 et 7 sont instables pour le versant B de la fig. 4.2a, alors que tous les autres sont stables dans les conditions représentées par celle-ci. D'autre part, les familles 5 et 6, prises individuellement cette fois, sont susceptibles de favoriser le fauchage.

*Dans le cas d'un versant, orienté N 130 et incliné vers le Sud-Ouest, parmi toutes les combinaisons autorisées par la présence de six directions de fracturation (fig. 4.2b), c'est seulement le dièdre  $I_{1-5}$  qui constitue une menace certaine d'instabilité, alors que les autres ne deviendraient dangereux que si la pente du versant dépassait  $60^\circ$ .*

Les exemples d'écroulements rocheux et de chutes de blocs dangereux sont peu nombreux dans notre secteur. Néanmoins, grâce au fichier des mouvements de terrain du B.R.G.M. et aux archives du service R.T.M. de la Savoie, il est possible d'en dresser une liste (Tableau 4.2).

b) L'érosion actuelle :

Due au ruissellement des eaux météoriques, elle se localise sur le tracé des ravins encaissés dans les terrains meubles (Le Poucet, par exemple) ou dans les entonnoirs de réception torrentielle. Les matériaux enlevés, dont le volume est difficilement évaluable, sont évacués par les torrents et étalés sur leurs cônes de déjection.

c) Les laves torrentielles :

Ce sont des crues boueuses susceptibles de transporter en même temps des blocs volumineux. L'accroissement de la charge solide peut résulter d'une intensification saisonnière de l'érosion par ravinement, ou d'une rupture des berges par sapement ou glissement, qui provoque d'abord une rétention des eaux, bientôt suivie d'une débâcle.

Le phénomène est répétitif et se produit souvent au printemps, lorsque la fonte des neiges est accompagnée de fortes pluies.

Les archives du B.R.G.M. (fichier des mouvements de terrain) et du service R.T.M. permettent de dresser une liste des principales laves ayant dévalé les torrents de notre secteur depuis plusieurs siècles (Tableau 4.3).

L'activité du torrent du Poucet, attestée depuis fort longtemps (1741), se manifeste encore de nos jours (1980), tandis que les autres torrents voient leur activité diminuée, voire stoppée, par des travaux de correction (seuils, canalisation du torrent sur son cône, etc.) et de reboisement entrepris depuis la fin du siècle dernier. Mais des conditions exceptionnelles peuvent, néanmoins, leur donner un regain d'activité comme ce fut le cas du ruisseau de la Grollaz en 1955.

Tableau 4.2 : Les éboulements et écroulements rocheux

DATE	LOCALISATION	ORIGINE	ARRIVEE DES MATERIAUX	LONGUEUR	VOLUME ESTIME	CONDITIONS METEO	REMARQUES	SOURCE D'INFORMATION
31 déc. 1891	Saint-Martin-de-la-Porte	Falaise du Pas du Roc	A proximité de la RN 6	-	Blocs énormes	-	-	Républicain de Savoie 5 et 6 janvier 1892
1903	"	"	"Pertes" de la Grollaz	-	-	-	-	Archives R.T.M.
9 mars	"	"	"	-	1500 m <sup>3</sup>	Fonte des neiges	-	"
Hiver 1979-80	"	"	"	-	-	-	La "perte" de la Grollaz fut obstruée entraînant la formation d'une lave boueuse et l'inondation de la plaine du Temple.	"
Novembre 1913	Nord de Francoz	Falaise de la Fusine	-	1 km	Chute d'un rocher de 10 m <sup>3</sup> entraînant une grande quantité de pierres et de boue	-	-	Journal de la Vallée de Thons. 15 novembre 1913.

Tableau 4.3 : Les laves torrentielles

TORRENT	DATE	POINT DE DEPART	LIEU D'EPANDAGE DES MATERIAUX	LONGUEUR	DENIVEL-LATION	VOLUME ESTIME	CONDITIONS METEO	CAUSES	DEGATS	REMARQUES	SOURCE D'INFORMATION
ST-BERNARD ou ST-MARTIN	1435 1439	Petit Col des Encombres	Vallée de l'Arc	7 km	1800 m	Enorme ?	Fortes pluies.	- Ravinement - Effondrement berges - Dissolution gypse ?	Destruction d'un hameau (Plan Bucin) près de Saint-Martin-de- la-Porte.	Le bassin est toujours en mou- vement : en 1913 le déplace- ment fut de : - 0,5 cm entre 1650 et 1250 m - 5 cm entre 1250 et 1050 m	Matériaux et Calanités, Suisse. N° 32 -1933.
	1649 Septembre 1881	Sud Petit Col des Encombres	"	5 à 6 km	1500 m	Enorme ?	Fortes pluies.	"	Destruction d'un hameau (Les Granges).	"	"
LA GROLLAZ	1824 1871 1876 1877	"	"	"	"	"	"	"	"	"	Rapport Ponts et Chaussées : A.D. Savoie.
	24.05.1891	Péclet	Entre Beaune et St-Michel- de-Maurienne	3,5 km	700 m à 800 m	1.800 m <sup>3</sup> 3.600 m <sup>3</sup>	Pluies abondantes. Fonte des neiges.	"	Peu nombreux : curage du lit en amont et dépôt à l'aval.	Le cône de déjection s'allonge	Archives R.T.M.
	Février 1965	Péclet	Vallée de l'Arc	5 km	1000 m	-	- Pluies exceptionnelles du 10.01 au 09.02 Lame d'eau : - St-Martin (820 m) : 311 mm. - Le Thyl (1.380 m) : 360 mm. - Fonte des neiges (Foenn) démonte les versants Jusq. 1.500.	- Glissement important dans le haut du bassin (1.800 m) et petits glissements des berges.	RR 6 coupée. RR 6 coupée 2 fois en mai/juin RR 6 recouverte plusieurs fois	Vitesse des laves : 2 km/h Composition : 2/3 boue et et 1/3 pierrailles. Blocs jus- qu'à 1,5 m <sup>3</sup> . A Beaune : L = 120 m ; l = 10 à 20 m et h = 1,5 m.	"
	06.07.1894	-	-	-	-	-	-	-	Destruction de seuils de correction du profil du torrent.	L'obstruction de la "perte de la Grollaz" au Pas-du-Roc pro- voque l'inondation de la plai- ne du Temple (lotissement) à Saint-Michel-de-Maurienne.	"
LE VIGRY	06.04.1901	-	Vallée de l'Arc	-	-	-	Pluies et fonte des neiges.	-	Routes coupées en 3 endroits à Villard-Bernon, aux Teppes et au Vigny.	-	"
	1910	-	"	-	-	-	-	-	RR 6 recouverte de boue sur 150 m	-	"
	13.07.1928	-	-	-	-	-	-	-	Les laves envahissent la plaine du Temple.	-	"

Date	Lieu	Vallée de l'Arc	Longueur	Largeur	Volume	Pluies	Erosion torrentielle	Route	Barrage de l'Arc derrière lequel se forma un lac noyant le hameau de la Denise.	Matériaux et Calamités, Suisse.
22.12.1740	-	Vallée de l'Arc	-	-	-	-	Erosion torrentielle.	-	-	Archives R.T.H.
1812 1859 1877 1901 1905	-	"	-	-	-	Pluies.	Erosion torrentielle.	-	-	"
08.07.1910	-	"	-	-	30.000 m <sup>3</sup>	Pluies torrentielles. Fonte des neiges.	-	-	Barrage de l'Arc donnant un plan d'eau de 4,2 m de haut. Les laves charriaient des blocs allant jusqu'à 20 m <sup>3</sup> !	"
23.11.1944	Cote 1.100 m	"	1 km	300 m	15.000 m <sup>3</sup> à 20.000 m <sup>3</sup>	Pluies torrentielles. Fonte des neiges.	A la cote 1.100 m, arrachement des berges sur 50 m de large.	Destruction du pont reliant Le Poucet aux Bastillères.	-	"
11.06.1950	-	"	-	-	-	Violent orage, grêle.	-	-	-	"
27.05.1951	-	-	-	-	-	Pluies torrentielles. Fonte des neiges.	-	Chemin Le Poucet - Les Bastillères coupé. Digue E.D.F. emportée.	-	"
12.06.1952	-	-	-	-	20 m <sup>3</sup> (rochers)	Violent orage, grêle.	-	Route coupée entre Le Poucet et Les Bastillères.	-	"
09.02.1955	Genevret	Vallée de l'Arc	2,5 km	1200 m	40.000 m <sup>3</sup>	Pluies exceptionnelles (voir plus haut). Fonte des neiges.	Eboulements et affouillement des berges. Glissement vers 1000 m sous Orélette.	RN 6 coupée sur 80 m.	-	"
11.04.1963	N. d'Orélette vers 1.200 m	"	1,2 km	300 m	-	-	Glissement de terrain vers 1.100 m en rive gauche du torrent de l'Arpont.	Destruction des chemins reliant Orélette à Bois-Dessus et Le Poucet aux Bastillères.	-	"
02.05.1966	-	"	-	-	-	Fonte des neiges.	-	Destruction de la passerelle entre Le Poucet - Les Bastillères	-	"
05.05.1977 mai 1978	L'Arpont	"	2 km	800 m	-	Fortes pluies. Fonte des neiges.	-	-	En 1977 : 5 laves successives. Le cours du torrent change 2 fois sur son cône.	"
14 et 15 Juin 1980	-	"	-	-	-	-	Effondrement des berges	-	-	"
01.04.1981	Ravin de l'Isle (1900 m) et ravin du Bois	"	2 km	1100 m	-	-	-	-	Plusieurs laves entre le 31 mars et le 2 avril. D'abord blocs, puis boue (Front de blocs : h = 3 m ; L = 30 m) Vitesse : 2 m/s.	"

LE POUCKET



DATE	LOCALISATION	ORIGINE	ARRIVEE DES MATERIAUX	LONGUEUR	LARGEUR	VOLUME ESTIME	CONDITIONS METEO	DEGATS	REMARQUES
2 avril 1960	Nord d'Oreille	100 m à l'Est du Luel	-	100 m	40 m	-	Fonte des neiges et pluies exceptionnelles (voir Tableau Laves)	Chemin Le Luel-Rochecombe emporté sur 50 m.	-
20 avril 1962	Sud de Bois-Dessus	Répétition du même glissement, dégénération en lave, qui s'est produit en février 1955							
1er avril 1963	Nord de la Buffaz	200 m en amont du hameau	-	Arrachement de 3200 m <sup>2</sup>		1000 m <sup>2</sup> de boue dans le ruisseau	"	-	-
18 juin 1966	Berge du torrent de la Grollaz	Branche du Richardeau	-	40 m 10 m	- -	200 m <sup>3</sup> -	"	-	-

d) Les glissements et coulées récents (moins de 30 ans) et anciens encore actifs :

\* Les glissements récents ont généralement une extension limitée et une épaisseur faible. Ils n'intéressent que des terrains meubles de couverture (moraines, etc.) et des terrains remaniés de glissements anciens. Le tableau 4.4 établit une liste des principaux glissements qui ont été dénombrés par le service R.T.M. de la Savoie pendant les 50 dernières années.

Ce tableau, ainsi que le tableau 4.2, permet de voir que ces glissements, s'ils ne sont pas très dangereux en eux-mêmes, peuvent avoir des conséquences très néfastes lorsqu'ils dégénèrent en laves boueuses.

L'un des glissements cités dans ce tableau (celui qui s'est déclenché en 1955 au Nord de Bonvillard près des chalets des Arponnets) est particulièrement intéressant et mérite que l'on s'y arrête un peu. En effet, il est possible de suivre son évolution sur les photographies aériennes dont nous disposons (clichés 112 et 113, 224 et 225, 142 et 143, 437 et 439 des missions successives Modane - Lanslebourg de 1953, 1962, 1967 et 1970 et les clichés 343 et 344 de la mission de 1980).

- Situation :

*Au Nord de Bonvillard, la zone en mouvement s'étage entre les cotes 1530 à l'Ouest des chalets de Prêcourt, et 1850 sous les chalets des Arponnets.*

- Dimensions du mouvement : Longueur = 700 à 750 m  
 Largeur = 450 m  
 L/l = 1,7

- Pente :

*La pente moyenne entre les Arponnets et Prêcourt est de 30°. Elle est plus raide au sommet, dans la zone d'arrachement principale (entre 1850 et 1900 m) où elle atteint 36° et vers la base (entre 1600 et 1650 m) : 39°.*

*Il existe, toutefois, des zones de replats situées au-dessus de la zone glissée (replat des Arponnets : 22°), au pied (replat de Prêcourt : 16°) et en son milieu (entre les cotes 1700 et 1750 m : 23°).*

- Morphologie :

Le mouvement actif qui nous intéresse ici (appelé glissement des Arponnets), concerne une partie d'un glissement ancien (glissement de Bonvillard) décrit dans la troisième partie du présent mémoire.

Sur l'ensemble du versant, limité par le torrent du Bonrieu à l'Ouest, la vallée de l'Arc au Sud, la crête du Rocher Rénod au Nord et une légère éminence (formée de terrains en place) dont E.D.F. a tiré parti pour ancrer le départ de la galerie Bonrieu - Bissorte à l'Est, on observe une morphologie accidentée de vagues, caractéristique de glissements anciens (dans la partie supérieure du versant) et de coulées anciennes (partie inférieure).

En détaillant un peu, le glissement des Arponnets nous montre, à l'heure actuelle, une morphologie chaotique, mais où une végétation de broussailles reprend. Pendant l'été 1955, on pouvait y voir de "nombreux décrochements superficiels entre 1700 et 1800 m" (note R.T.M. du 17 août 1955). En 1965, la morphologie était "très chaotique avec des niches d'arrachement toutes fraîches, des conifères déracinés tout récemment et couchés en tous sens, encore verts, des crevasses importantes" (étude de P. ANTOINE - 25 novembre 1965).

Enfin, il faut signaler qu'à l'amont du glissement s'étend une vaste combe herbeuse en trouée dans la forêt de conifères.

- Géologie des terrains de couverture :

Ils résultent d'un mélange de moraines et d'éboulis remaniés par des glissements anciens ayant pris naissance au sein du substratum rocheux (voir 3ème Partie). Ces terrains sont constitués, en général, d'une matrice argileuse ( $\approx 5\%$  d'argile) emballant des blocs de taille parfois considérable (plus de  $100\text{ m}^3$ ). Ils portent localement dans le haut du versant des coulées de gros blocs ("casses") ou de matériaux schisteux (combe des Arponnets).

- Géologie du substratum :

Ce sont les terrains habituels du Houiller stérile à gros bancs de grès et conglomérats et bancs plus minces de schistes noirs. Le pendage général des couches est dirigé vers l'Ouest et la série présente de nombreux replis à

déversement Est, ce qui n'est pas défavorable à la stabilité du versant. Par contre, la fracturation très dense du massif dégrade les caractéristiques mécaniques du rocher.

- Hydrogéologie :

Il n'existe pratiquement pas, sur ce versant, de ruisseaux permanents canalisant les eaux de ruissellement. Quelques petites sources émergent à la base (cote 1530 m), au milieu (cote 1700 m) et à l'amont (cote 1900 à 1950 m) du glissement. Des jaugeages ont été effectués en 1965 sur ces sources donnant un débit de 2 l/s à la base et 1 l/s à l'amont du glissement. Cette dernière mesure représente l'eau qui suinte d'une zone gorgée d'eau située au pied de la coulée de schistes houillers de la combe des Arponnets.

Ceci montre qu'il existe une nappe d'imprégnation dans les terrains meubles de couverture, qui recoupe la surface topographique en amont et au milieu du glissement. Cette nappe est alimentée par les eaux de ruissellement qui s'infiltrent dans la partie supérieure de la combe des Arponnets (qui s'étend jusqu'à 2300 m), mais aussi par une nappe de fissure plus profonde existant au sein du substratum houiller et plus particulièrement dans les gros bancs de grès très fissurés (dans la galerie Bonrieu - Bissorte, à la cote 2100 m de très grosses venues d'eau (plus de 75 l/s) ont été notées dans de tels bancs).

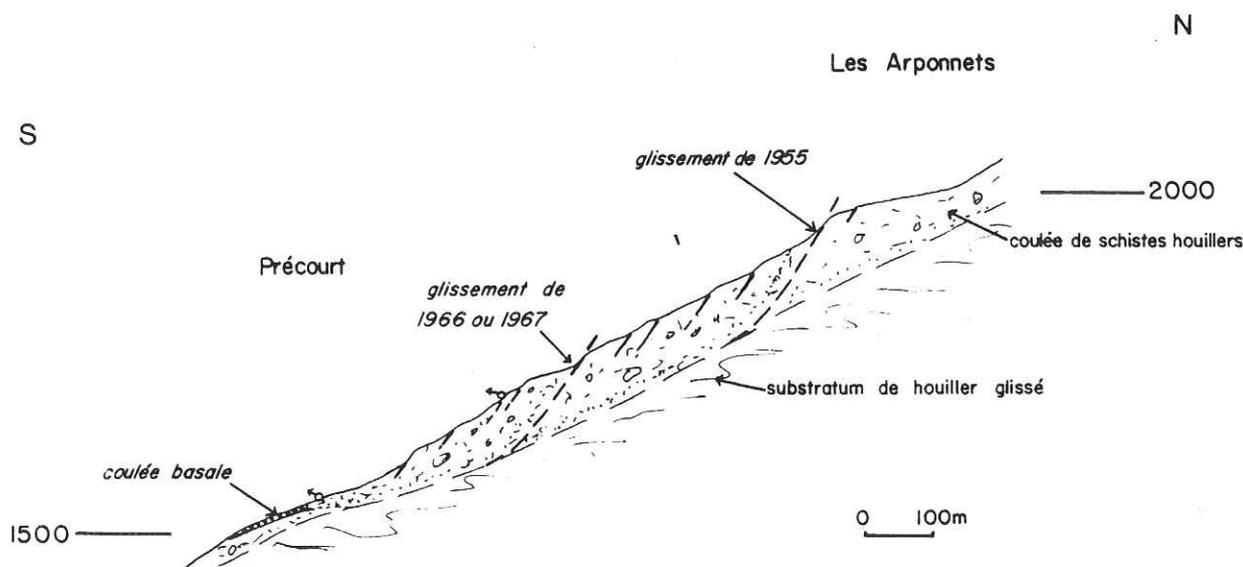
Si l'on tient compte du fait qu'en février 1955 le glissement fait suite à une période de précipitations exceptionnelles (plus de 300 mm entre le 10 janvier et le 9 février) accompagnée d'une fonte des neiges quasi totale jusque vers 1700 m (dont la tranche équivalente peut être estimée entre 300 et 500 mm), les terrains au sein desquels il s'est déclenché devaient être totalement saturés et de fortes pressions pouvaient exister au sein de la nappe de fissures.

- Hypothèse sur la surface de rupture :

Aucun indice ne permet de dire que les terrains houillers participent au mouvement. La surface de rupture correspondrait donc à la limite entre les terrains de couverture et le substratum.

- Conclusion :

Ce glissement qui provient de la mise en mouvement de l'épais placage de terrain de couverture sur le substratum houiller, lui-même anciennement glissé (voir 3<sup>ème</sup> Partie), s'est déclenché à la suite des phénomènes météorologiques exceptionnels qui se sont produits aux mois de janvier et février 1955 (fig. 4.3).



Mais le fait important est que les mouvements ne se sont pas arrêtés une fois les conditions hydrologiques redevenues normales. En effet, en 1965 P. ANTOINE avait estimé, grâce aux photographies aériennes de 1962 et à divers repères sur le terrain, le déplacement approximatif à 50 m pour les 3 ans, soit 15 à 17 m par an (plus d'un mètre en moyenne par mois).

Nous pouvons, quant à nous, suivre l'évolution du glissement sur les photographies aériennes prises en 1953, 1962, 1967, 1970 et 1980 (fig. 4.4).

En 1953 (fig. 4.4a), nous voyons très nettement la coulée de schistes houillers de la combe des Arponnets coupée à sa base (sous les Arponnets) par plusieurs ébauches d'arrachements (se traduisant par une petite rupture de pente où apparaît le terrain à nu). A l'aval, nous voyons des traces

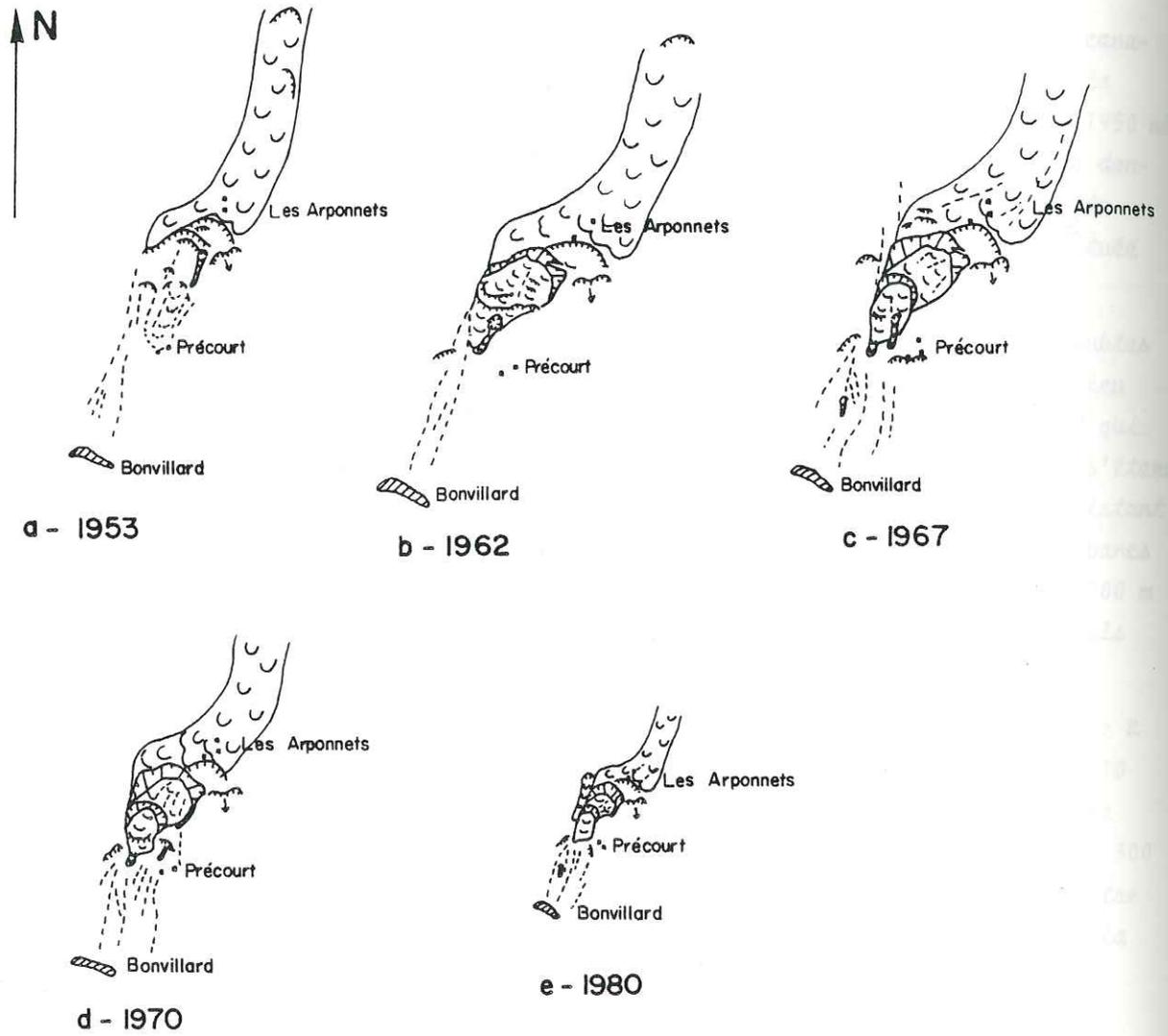


Fig. 4.4 : Evolution du glissement des Arponnets entre 1953 et 1980 (photo-interprétation)

d'anciens glissements soit circonscrits (au-dessus de Prêcourt), soit plus généralisés (indiqués par les alignements de végétation), ainsi qu'une courte lave boueuse ayant emprunté un petit thalweg.

En 1962 (fig. 4.4b), un glissement s'est produit (celui de février 1955) selon l'ébauche d'arrachement intermédiaire de 1953. Le corps du glissement est bien marqué jusqu'au-dessus de Prêcourt où un petit arrachement secondaire dégénère en lave boueuse.

En 1967 (fig. 4.4c), un second glissement s'est produit dans le corps du glissement de 1955, dont la langue en mouvement ne dépasse que très peu celle du glissement précédent. A sa base, il dégénère en une petite lave. Le premier glissement, quant à lui, a progressé, si l'on en croit la plus grande hauteur de la niche d'arrachement et les premiers indices d'alignements dans le corps de la masse glissée.

En 1970 (fig. 4.4d), les choses semblent s'être pratiquement stabilisées (ou, en tous cas, les mouvements sont de trop faible ampleur pour être perçus à cette échelle).

Enfin, en 1980 (fig. 4.4e), il semblerait que les mouvements soient arrêtés, car on voit se développer sur les terrains remaniés et mis à nu, une nouvelle végétation broussailleuse qui n'existait pas en 1970.

Entre 1955 et 1980, deux glissements se sont donc individualisés puis déclenchés (de façon très rapide pour le premier), ont évolué durant plusieurs années pour enfin acquérir une stabilité apparente. Mais le secteur ne peut pas pour autant être qualifié de stable, car il existe encore, sous les Arponnets, des ébauches d'arrachements qui ne demandent que la réapparition de conditions météorologiques défavorables pour engendrer de nouveaux glissements qui, s'ils étaient de plus grande ampleur que ceux qui se sont produits, pourraient menacer le hameau de Bonvillard.

\* En général, les coulées que nous avons pu observer représentent l'évolution finale des grands glissements anciens décrits dans la troisième partie et ont pris naissance parfois depuis longtemps, mais leur activité n'a pas cessé et il est possible de mesurer la progression actuelle des terrains.

De telles mesures ont été réalisées en 1913 par l'O.N.F. sur les coulées terminales des Encombres : elles montrent un déplacement de 0,5 cm par an entre 1650 et 1250 m d'altitude et de 5 cm par an entre 1250 et 1050 m.

D'autres mesures, réalisées par l'E.D.F. sur l'ancienne prise du Pont-des-Chèvres, montrent que la vallée de l'Arc se referme de 7 cm par an en moyenne du fait de l'avancement des coulées de la base des glissements de Bonvillard.

#### e) Les indices d'instabilité diffuse

Ils sont nombreux et peuvent signaler le déplacement lent d'une langue de coulée, la gestation d'un glissement isolé ou l'existence de mouvements épidermiques (reptation ou solifluxion).

Ces indices se marquent dans la topographie : "crevasses" ouvertes dans les prés (début d'arrachement), "pieds de vache" (reptation) ; dans la végétation : arbres penchés ou en "tuyaux de pipe" ; ou dans les constructions humaines : maisons détruites, murs lézardés, routes qui s'affaissent, pylônes penchés et tordus.

#### 2°) L'instabilité potentielle

Elle concerne des zones apparemment stables, mais où l'on prévoit la possibilité de mouvements par l'observation de facteurs défavorables qui peuvent résulter :

- d'une dégradation des qualités mécaniques du terrain (anciens mouvements apparemment stabilisés, mais qui peuvent être source d'ennuis ultérieurs),
- d'un concours de circonstances (pétrographiques, structurales, hydrogéologiques) qui a déjà donné des résultats fâcheux ailleurs,
- d'une transformation morphologique introduisant des conditions aux limites moins favorables (déséquilibre provoqué par un départ de mouvement déjà accompli au voisinage et surtout à l'aval).

Les éboulis et écroulements "anciens", par leur présence, rappellent qu'il n'y a rien de nouveau sous le soleil et que des processus apparemment arrêtés peuvent appartenir à une catégorie cyclique et sont susceptibles de rajeunissement (chute d'un bloc isolé) et de reprise (la désagrégation mécanique des éléments schisteux entraîne la présence d'une matrice fine légèrement argileuse qui leur confère une stabilité douteuse).

### 3°) La sismicité

Un séisme est une succession de secousses d'ampleur variable, qui peuvent influencer le déclenchement et la progression des mouvements de terrain soit directement en modifiant l'accélération de la pesanteur, soit indirectement en modifiant les caractéristiques physiques des terrains.

Dans le premier cas, les secousses sismiques peuvent, soit provoquer des chutes de blocs ou écroulements rocheux (avalanche rocheuse du Huascarán en 1970), soit augmenter la distance parcourue par des masses en mouvement (Séisme du Chili en mai 1960, H. TAZIEFF), le terrain se comportant alors comme une "table vibrante".

Dans le second cas, les secousses peuvent engendrer, soit une diminution de la perméabilité des terrains meubles du fait de la diminution de la porosité (augmentation de la compaction) sous l'effet des vibrations avec possibilité d'apparition d'un état transitoire nommé boullance (perte de consistance par disparition du frottement intergranulaire), soit des phénomènes de thixotropie (liquéfaction des terrains sous l'effet d'une agitation) dans les sols très argileux à forte teneur en eau.

Aucun épïcêtre macrosismique n'est connu sur notre secteur s'étude, par contre, il en a été individualisé plusieurs à proximité :

- à Foncouverte (23/04/1736) avec une intensité M.K.S. de V-VI,
- près de St-Jean-de-Maurienne (décembre 1838, juin 1840 et 22/07/1881) avec des intensités M.K.S. de VI-VII.
- près de Moûtiers (04/07/1930), ressenti en Maurienne avec une intensité M.K.S. de V.

Les intensités maximales connues ou supposées sont donc dans notre secteur, de l'ordre de VI à VII (VOGT J. - 1979 -).

## C H A P I T R E II

### SYNTHESE DES CONDITIONS DE STABILITE VIS-A-VIS DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

Il s'agit, à partir des cartes de facteurs (cartes analytiques) réalisées précédemment, de déterminer une zonation des versants selon leur stabilité potentielle. Afin de ne pas surcharger le document, nous avons choisi de distinguer quatre zones de stabilité :

- zone à stabilité assurée,
- zone à stabilité peu douteuse (quelques précautions sont nécessaires dans le cas d'aménagements importants),
- zone à stabilité très douteuse (précautions nécessaires dans tous les cas d'aménagement),
- zone instable.

La détermination du qualificatif à attribuer à un secteur donné se fera en plusieurs étapes.

En premier lieu, on essayera, dans la mesure du possible, de reconnaître le type de mouvement susceptible de se produire, chacun d'entre eux étant caractérisé par des paramètres tels que le volume, l'extension et la vitesse des matériaux déplacés.

Puis, on tentera d'estimer le degré d'instabilité par l'analyse des différents facteurs pouvant influencer le déclenchement d'un tel mouvement. Les facteurs sont ceux figurés sur les cartes analytiques :

- la morphologie (carte des pentes),
- la lithologie, la structure et les propriétés mécaniques du terrain (carte lithologique et structurale à finalité géotechnique),
- l'hydrogéologie (carte du réseau hydrographique et des sources),

- l'existence de mouvements antérieurs (carte des instabilités)

auxquels il faut ajouter :

- la végétation,
- l'activité humaine (protections existantes, travaux...).

En affectant chacun de ces facteurs d'un qualificatif (favorable s'il contribue à assurer la stabilité, défavorable dans le cas contraire), on obtiendra une première approximation sur la stabilité d'après le nombre plus ou moins grand des facteurs défavorables existants.

Par la suite, ce résultat sera nuancé en tenant compte du poids relatif de ces divers facteurs selon le type de mouvement.

Sur le document cartographique synthétique (Annexe VIII), apparaîtront donc des zones de couleurs différentes avec en surcharge des symboles explicitant le type de mouvement envisageable et les facteurs favorables et/ou défavorables qu'il aura été possible de mettre en évidence.

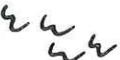
**Géologie:**

-  Alluvions
-  Eboulis actifs
-  Eboulis stabilisés
-  Glaciaire
-  Substratum houiller

**Géomorphologie:**

-  Arrachements principaux, niches d'arrachement
-  Falaises, ruptures de pente, talus
-  Ravinements, têtes d'érosion
-  Cônes de déjection torrentielle

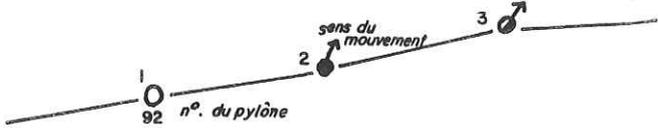
Terrains en mouvement

-  Corps d'un glissement
-  Langue d'un glissement
-  Glissements diffus
-  Paquets glissés
-  Glaciers rocheux
-  Laves boueuses
-  Bourrelets
-  Alignements (végétation, cheminement de blocs)

**Hydrologie:**

-  Cours d'eau : 1- principaux  
2- secondaires
-  Sources
-  Zones humides, marécages

**Constructions :**

-  Maisons : 1- intactes  
2- ruines
-  Routes : 1- intactes  
2- dégradées
-  Chemins carrossables : 1- intacts  
2- dégradés
-  Sentiers
-  Lignes électriques : 1- pylônes stables  
2- pylônes en mouvement lent  
3- pylônes très déformés
-  Arbres : 1- penchés  
2- en "tuyaux de pipes"

CONCLUSION

## CONCLUSION

L'instabilité naturelle des versants montagneux a fait l'objet, dans un passé récent, de nombreuses études, surtout depuis l'intensification des aménagements en montagne.

La présente étude ne s'est pas uniquement intéressée au recensement systématique et à la description des mouvements gravitaires, mais surtout au comportement d'une formation lithostratigraphique particulière (le Houiller briançonnais) vis-à-vis de ces mêmes mouvements.

L'utilisation conjointe des méthodes de cartographie détaillée des affleurements et des morphologies caractéristiques, de mesures systématiques de la fracturation et de la photo-interprétation, a permis de préciser les points suivants :

Sur le plan géologique, ce mémoire apporte quelques précisions sur la structure de l'éventail briançonnais en Maurienne, sur le mécanisme de la phase cassante la plus récente qui détermine deux familles de failles en décrochement : N50-60 dextre et N130-140 sénestre, et sur les modalités de la circulation souterraine et du stockage de l'eau aussi bien dans les terrains meubles de couverture que dans le substratum rocheux fissuré.

Mais le point essentiel de cette étude est de montrer l'existence de très grands glissements anciens (probablement contemporains du retrait des derniers glaciers würmiens) affectant le substratum houiller. L'analyse détaillée de ces mouvements (cartes monographiques, coupes longitudinales et transversales...) nous permet de déterminer les différents mécanismes ayant conduit à leur déclenchement et de montrer que, en raison de la densité de fracturation du massif, ce sont les ruptures de type circulaire qui prédominent. Cependant, dans le haut des versants, des raisons structurales (pendage des couches conforme à la pente du versant) font que ce sont des ruptures planes de type couche sur couche qui apparaissent en priorité. De plus, on observe que le pied de tous ces glissements dégénère la plupart du temps en coulées de matériaux peu cohérents, ayant parfois cheminé sur de

très longues distances (plusieurs kilomètres). Leur vitesse de déplacement n'a probablement jamais été très élevée et, du reste, n'est pas nulle aujourd'hui (quelques dm par an en certains points).

Ces grands mouvements anciens sont actuellement, à l'exception des coulées terminales, pratiquement stabilisés dans les conditions naturelles existantes. L'activité résiduelle se résume à quelques glissements circulaires circonscrits et isolés ne concernant que les terrains de couverture (nous décrivons dans le mémoire le plus spectaculaire d'entre eux) et à des laves boueuses dévalant les torrents affluents de l'Arc et, en particulier, le torrent du Poucet.

L'aboutissement final de toutes ces observations est le dessin d'une carte de synthèse, laquelle, en tenant compte des facteurs d'instabilité déterminés par l'étude de nombreux exemples, définit le degré de stabilité des versants étudiés, préparant le dessin de cartes de type "risques naturels".

Cette dernière partie du travail laisse entrevoir une possibilité, en complétant les données obtenues sur les facteurs d'instabilité par d'autres, provenant de régions différentes, de détermination de la zonation du degré de stabilité par une pondération précise et chiffrée des facteurs en cause, pouvant donner lieu à un traitement informatisé.

## ANNEXES

ANNEXE I : ANALYSE D'ÉCHANTILLONS AU LABORATOIRE

ANNEXE II : FRACTURATION

(ANNEXES HORS TEXTE)

ANNEXE III : CARTE GÉOLOGIQUE

ANNEXE IV : CARTE DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET DES SOURCES

ANNEXE V : CARTE DES PENTES

ANNEXE VI : CARTE LITHOLOGIQUE ET STRUCTURALE À FINALITÉ  
GÉOTECHNIQUE

ANNEXE VII : CARTE DES INSTABILITÉS

ANNEXE VIII : CARTE DE SYNTHÈSE DES CONDITIONS DE STABILITÉ  
VIS-À-VIS DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

---

ANNEXE I

ANALYSE D'ECHANTILLONS AU LABORATOIRE

Nous avons effectué quelques analyses d'échantillons afin d'obtenir un ordre de grandeur des paramètres géotechniques de quelques matériaux fréquents dans notre secteur d'étude.

Ces échantillons ont été prélevés dans des terrains de couvertures, remaniés ou non, ainsi que dans le substratum rocheux (Tableau A.1).

Echantillon	Date de prélèvement	Lieu de prélèvement	Type de mouvement	Formation d'origine
M1	05.11.81	500 m au Nord d'Orelette près de la confluence du Ruisseau de l'Arpont.	Ancien glissement du Poucet.	Moraine.
M2	"	Au Nord de Saint-Michel-de-Maurienne. Lieu-dit "Le Noiray".	Ancien glissement de la Traversaz	Moraine.
M4	"	500 m à l'Est de la Traversaz.	Non remanié.	Moraine locale.
Sc 1	15.09.82	250 m au Sud du Col de Monfiot.	Glissements couche sur couche.	Schistes noirs.
Sc 2	"	Col de la Grande Combe.	"	"
C1	09.10.81	Le Thyl-Dessous.	Non remanié.	Charbon.
C2	05.11.81	500 m à l'Est de la Traversaz.	"	Charbon : blocs et poussière.

*Tableau A.1 : Localisation des échantillons*

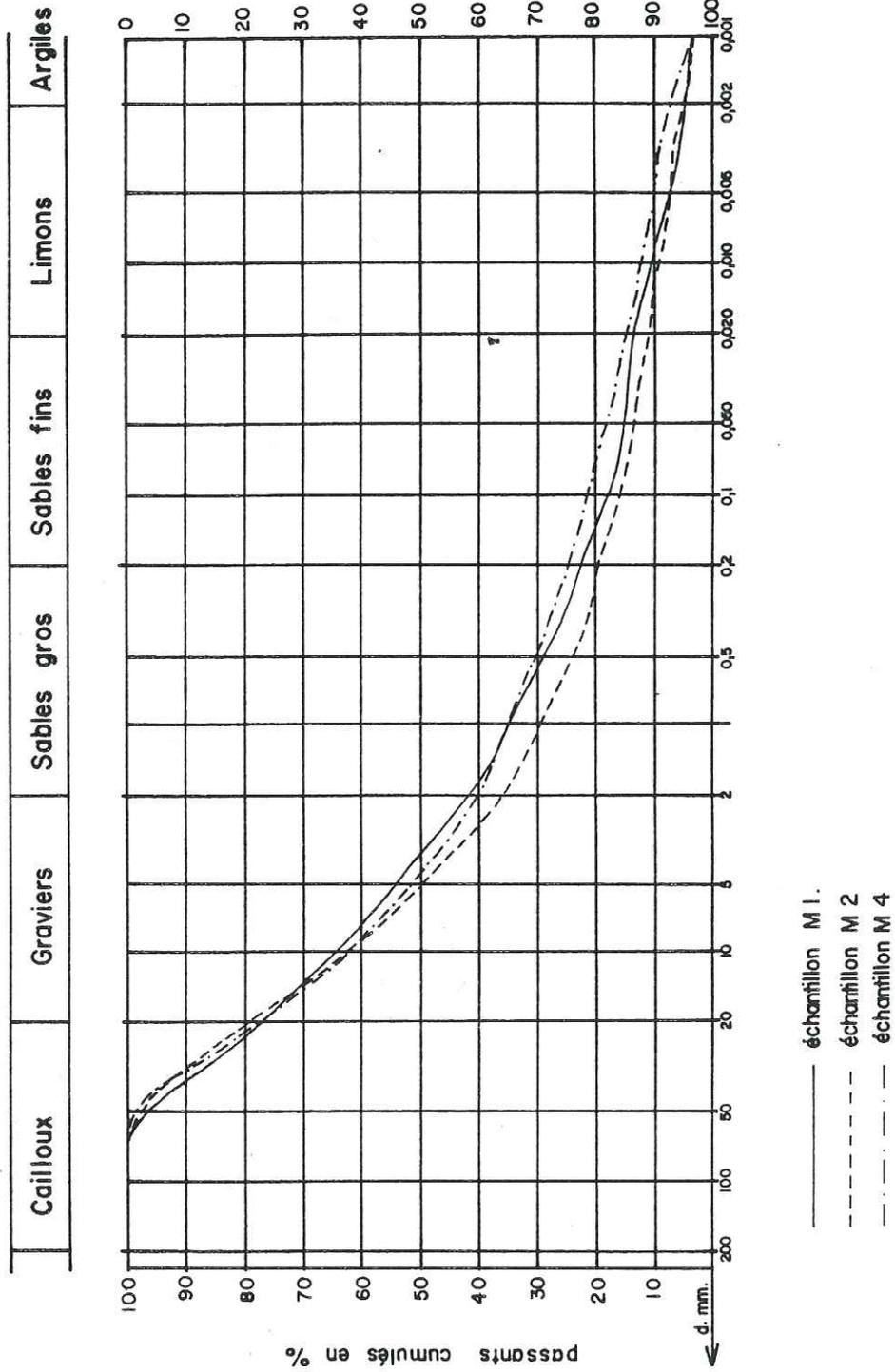


Fig. A.1 : Analyse granulométrique - Courbes de pourcentages cumulés

## A - GRANULOMETRIE

La dimension des grains et la distribution des dimensions sont des paramètres qui permettent d'identifier un sol et d'apprécier ses propriétés hydrologiques et mécaniques.

L'analyse a été effectuée sur les échantillons de terrain de couvertures (moraines) remaniés ou non.

### 1°) Méthode

L'analyse s'effectue sur un échantillon d'une dizaine de kilogrammes et ne tient donc pas compte des gros cailloux et des blocs (plus de 5 cm). Elle se fait par tamisage à l'eau jusqu'à 40 $\mu$ , puis, pour la fraction la plus fine, par sédimentométrie.

### 2°) Résultats

Les courbes granulométriques sont tracées sur papier semi-logarithmique (fig. A.1). On peut les qualifier de bien graduées (granulométrie très étalée).

Les paramètres caractéristiques, qui figurent dans le tableau A.2, sont :

Ar : pourcentage de fraction argileuse (< 20 $\mu$ )

Cu : coefficient d'uniformité  $\frac{d_{60}}{d_{10}}$

Cc : coefficient de courbure  $\frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}}$

$d_{10}$ ,  $d_{30}$  ... : dimensions des grains déterminées sur les courbes granulométriques par les valeurs de fréquences cumulées 10 %, 30 %, ...

$K = 50 \times (d_{10})^2$  : ordre de grandeur de la perméabilité calculé au moyen de la relation de Hazen, avec K en cm/s et d en cm.

On peut également ne considérer que la matrice (fraction inférieure à  $400\mu$ ) qui est utilisée pour déterminer les limites d'Atterberg (voir paragraphe suivant), en représentant les résultats de l'analyse granulométrique sur un triangle de répartition (fig. A.2).

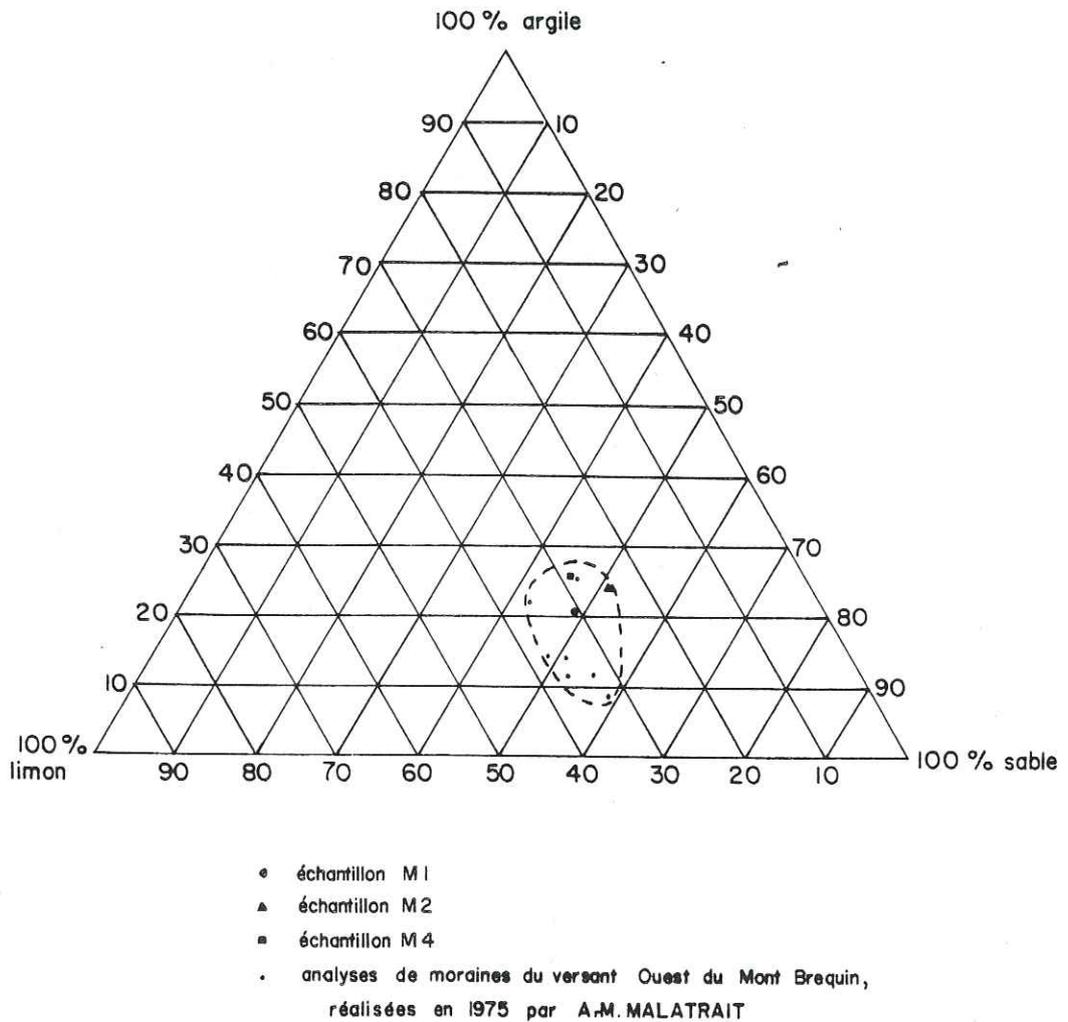


Fig. A.2 : Représentation de la fraction inférieure à  $400\mu$  sur un triangle de répartition.

Les résultats sont peu dispersés. Le centre de gravité correspond à :

- Sable : 51 %
- Limon : 31 %
- Argile : 18 %

## B - LES LIMITES D'ATTERBERG

Ce sont les teneurs en eau aux changements d'état du matériau : la limite de liquidité (Wl) marque le passage de l'état plastique à l'état liquide, et la limite de plasticité (Wp), le passage de l'état plastique à l'état solide. La différence entre ces deux limites est l'indice de plasticité (Ip) qui mesure l'étendue de la zone pour laquelle le matériau est plastique, donc susceptible de grandes déformations sans ruptures.

### 1°) Méthode

Les essais sont effectués sur la matrice (fraction inférieure à 400 $\mu$ ) des échantillons meubles, à l'aide de l'appareil "Fall cone".

Le principe consiste à laisser tomber sur l'échantillon un cône d'un certain poids et d'un certain angle au sommet et de mesurer l'enfoncement qui dépend de la cohésion du matériau.

PAUTE et MACE (1968) ont déterminé la corrélation entre la limite de liquidité, obtenue par la méthode classique, et le "nombre de finesse F", défini par KARLSON en 1961 comme étant la teneur en eau correspondant à un enfoncement de 1 cm du cône 60 g, 60° (Tableau A.3).

h/mm	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
7	1,21 - 3,5	1,20 - 3,4	1,19 - 3,2	1,18 - 3,0	1,17 - 2,9	1,16 - 2,7	1,15 - 2,6	1,14 - 2,5	1,14 - 2,3	1,13 - 2,2	M N
8	1,12 - 2,1	1,11 - 1,9	1,11 - 1,8	1,10 - 1,7	1,10 - 1,6	1,09 - 1,4	1,09 - 1,3	1,07 - 1,2	1,07 - 1,1	1,06 - 1,0	M N
9	1,05 - 0,9	1,05 - 0,8	1,04 - 0,7	1,04 - 0,6	1,03 - 0,5	1,03 - 0,4	1,02 - 0,3	1,01 - 0,3	1,01 - 0,2	1,00 - 0,1	M N
10	1,00 ± 0	1,00 + 0,1	0,99 + 0,2	0,99 + 0,2	0,98 + 0,3	0,98 + 0,4	0,97 + 0,5	0,97 + 0,5	0,96 + 0,6	0,96 + 0,7	M N
11	0,96 + 0,7	0,95 + 0,8	0,95 + 0,9	0,94 + 0,9	0,94 + 1,0	0,94 + 1,1	0,93 + 1,1	0,93 + 1,2	0,93 + 1,3	0,92 + 1,3	M N
12	0,92 + 1,4	0,92 + 1,4	0,91 + 1,5	0,91 + 1,5	0,91 + 1,6	0,90 + 1,7	0,90 + 1,7	0,90 + 1,8	0,89 + 1,8	0,89 + 1,9	M N
13	0,89 + 1,9	0,88 + 2,0	0,88 + 2,0	0,88 + 2,1	0,88 + 2,1	0,87 + 2,2	0,87 + 2,2	0,87 + 2,2	0,87 + 2,3	0,86 + 2,3	M N
14	0,86 + 2,4	0,86 + 2,4	0,86 + 2,5	0,85 + 2,5	0,85 + 2,5	0,85 + 2,6	0,85 + 2,6	0,84 + 2,7	0,84 + 2,7	0,84 + 2,7	M N

Relation entre h, en dixièmes de millimètre, M et N. M et N se rapportent à la formule :  $F = M \cdot w + N$   
 où F = nombre de finesse pour la méthode du Swedish Geotechnical Institute (SGI) à 1 point, et  
 h = pénétration du cône à la teneur en eau w (cône 60° — 60 g)

Tableau A.3 : Détermination du "nombre de finesse"

Ils aboutissent aux régressions suivantes (fig. A.3) :

$$F = 0,91 W_L + 5,65$$

$$\text{et } W_L = 1,088 F - 5,44$$

Coefficient de corrélation :  
 $r = 0,995$

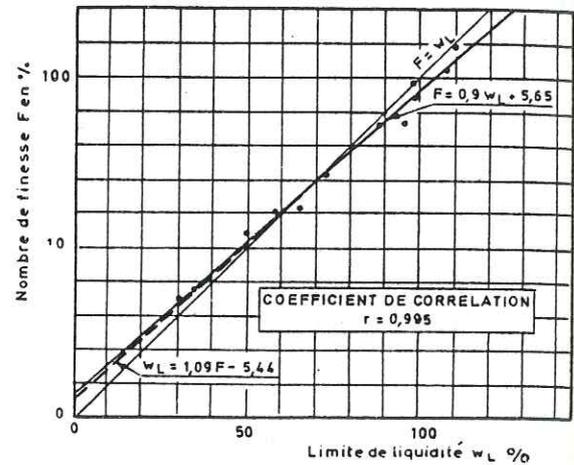


Fig. A.3 : Corrélation "limite de liquidité - nombre de finesse"

De la même manière, ils ont défini un "nombre de plasticité P" (que l'on détermine avec les cônes de 100 g, 30° ou 400 g, 30° - Tableau A.4), et l'on comparé à  $W_p$  obtenu par la méthode classique.

h (mm) (cône 0,4 kg)	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	12	13	14	15
h (mm) (cône 0,1 kg)					4		4,5		5		5,5	6	6,5	7	7,5
A	1,08	1,03	0,99	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,80	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69
B	-0,41	-0,15	+0,06	+0,24	0,40	0,54	0,66	0,77	0,87	0,96	1,04	1,19	1,32	1,42	1,52

Relation entre la profondeur de pénétration  $h$ , exprimée en millimètres, et les coefficients A et B se rapportant à la formule  $P = A \cdot w + B$   
où P est le nombre de plasticité, caractéristique voisine de la limite de plasticité  $w_p$ ,  $h$  est la profondeur de pénétration correspondant à la teneur en eau  $w$

Tableau A.4 : Détermination du "nombre de plasticité"

La régression liant les deux paramètres est (fig. A.4) :

$$P = 0,82 W_p + 5$$

$$\text{et } W_p = 1,131 P - 3,00$$

Coefficient de corrélation :

$$r = 0,967$$

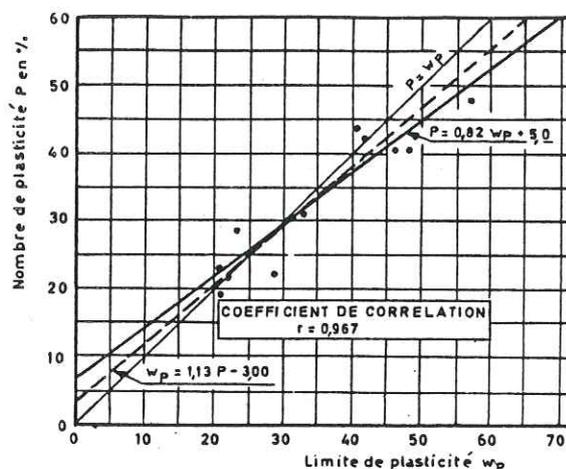


Fig. A.4 : Corrélation "limite de plasticité - nombre de plasticité"

## 2°) Résultats

Ils figurent dans le tableau A.2 à la suite des caractéristiques granulométriques, et peuvent être représentés commodément sur le diagramme de plasticité (fig. A.5) issu de la classification de CASAGRANDE.

Les échantillons testés ont une plasticité faible.

ECHANTILLON	Ar (%)	d10 (mm)	d30 (mm)	d60 (mm)	Cu	Cc	K (cm/s)	Wl	Wp	Ip	Classification LPC
M1	5,5	0,008	0,6	8	1000	5,62	$3 \cdot 10^{-5}$	25,5	15,5	10	GA-GL
M2	5,5	0,012	1,1	9	750	11,20	$1 \cdot 10^{-4}$	26	17,5	8,5	GA-GL
M4	7,7	0,005	0,5	9	1800	5,50	$1 \cdot 10^{-5}$	36	23	13	GA-GL
C2 poussières	-	-	-	-	-	-	-	27	16	11	Ap

Tableau A.2 : Distribution des dimensions suivant les divers paramètres granulométriques - Limites d'Atterberg.

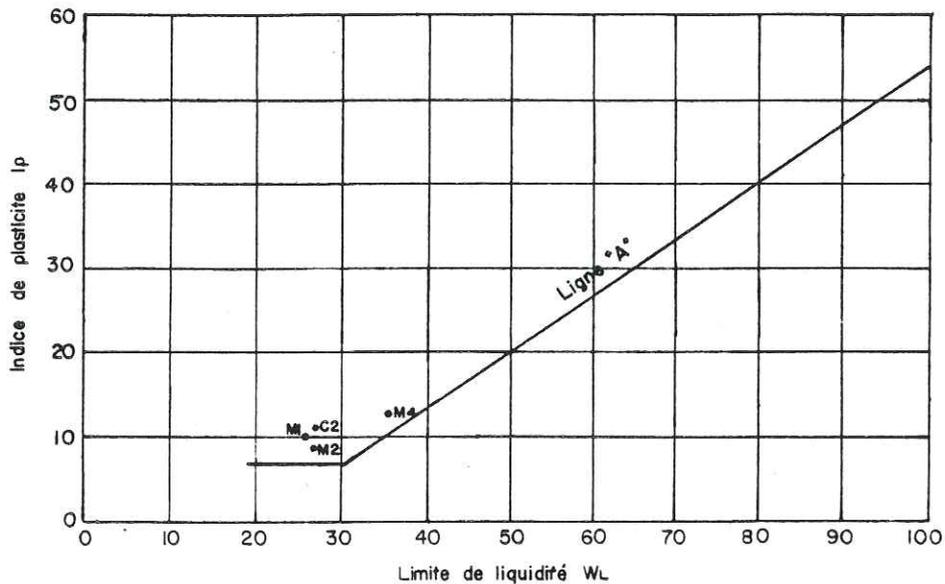


Fig. A.5 : Diagramme de plasticité de Casagrande

### C - ESSAIS DE CISAILLEMENT

Lorsque l'on cisaille un matériau, soumis à une contrainte normale  $\sigma_n$ , à une vitesse constante, on observe (fig. A.6) :

- une zone où les déformations sont réversibles : c'est le domaine élastique,
- un domaine à déformations non réversibles ou domaine plastique,
- un point de rupture de l'échantillon qui donne sa résistance maximale ou résistance de pic (valeur à partir de laquelle la contrainte ne peut plus augmenter),
- une zone où la contrainte se stabilise à une valeur dite résistance de plasticité parfaite ou résiduelle (elle ne se modifie pas lorsque la déformation augmente).

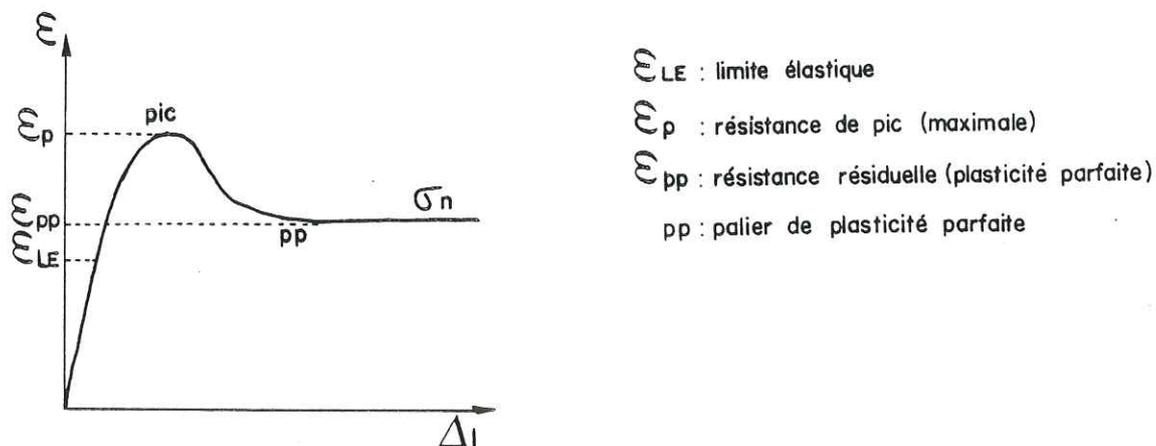
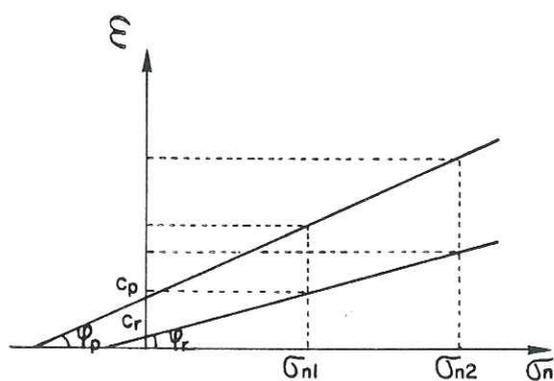


Fig. A.6 : Courbe "contrainte - déformation"

En effectuant des essais sous des contraintes normales différentes, on peut construire les courbes intrinsèques du matériau relatives aux résistances de pic et résiduelles (fig. A.7).

Ces courbes sont assimilées à des droites d'angle  $\phi'$  et d'ordonnée à l'origine  $c'$ , et illustrent la relation exprimée par la loi de Coulomb.



$\phi_p$  } angles de frottement interne  
 $\phi_r$  } de pic et résiduel

$c_p$  } cohésions de pic et résiduelle  
 $c_r$  }

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \phi$$

$$\text{ou } \tau = c' + \sigma_n' \operatorname{tg} \phi' = c' + (\sigma_n - u) \operatorname{tg} \phi'$$

u: pression interstitielle

Fig. A.7 : Courbes intrinsèques de pic et résiduelle

1°) Méthode

Cet essai a été réalisé à l'aide d'un appareil à cisaillement pour sols dans une boîte carrée.

Pour des raisons de capacité de la machine, on n'a pu traiter que des matériaux meubles (matrice inférieure à  $400\mu$  ou poussière de charbon), des roches peu résistantes (charbon) et des roches plus résistantes (schistes noirs), mais en cisillant sur un plan de schistosité décollé avant la manipulation.

2°) Résultats

Ils sont présentés sous forme de courbes contrainte-déformation (fig. A.8 et A.9) et de courbes intrinsèques (fig. A.10).

Les valeurs caractéristiques des matériaux ( $c$  et  $\phi$ ) sont présentées dans le tableau A.5.

ECHANTILLON	M1	M2	M4	C2	Sc2 (plans décollés)
C(kg/cm <sup>2</sup> )	0,52	0,32	0,31	0,56	0,19
$\phi(^{\circ})$	21	23	21	28	

Tableau A.5 : Caractéristiques mécaniques des matériaux testés

Fig. A.8 : Cisaillement de matériaux meubles à la boîte carrée -  
Courbes "contrainte - déformation".

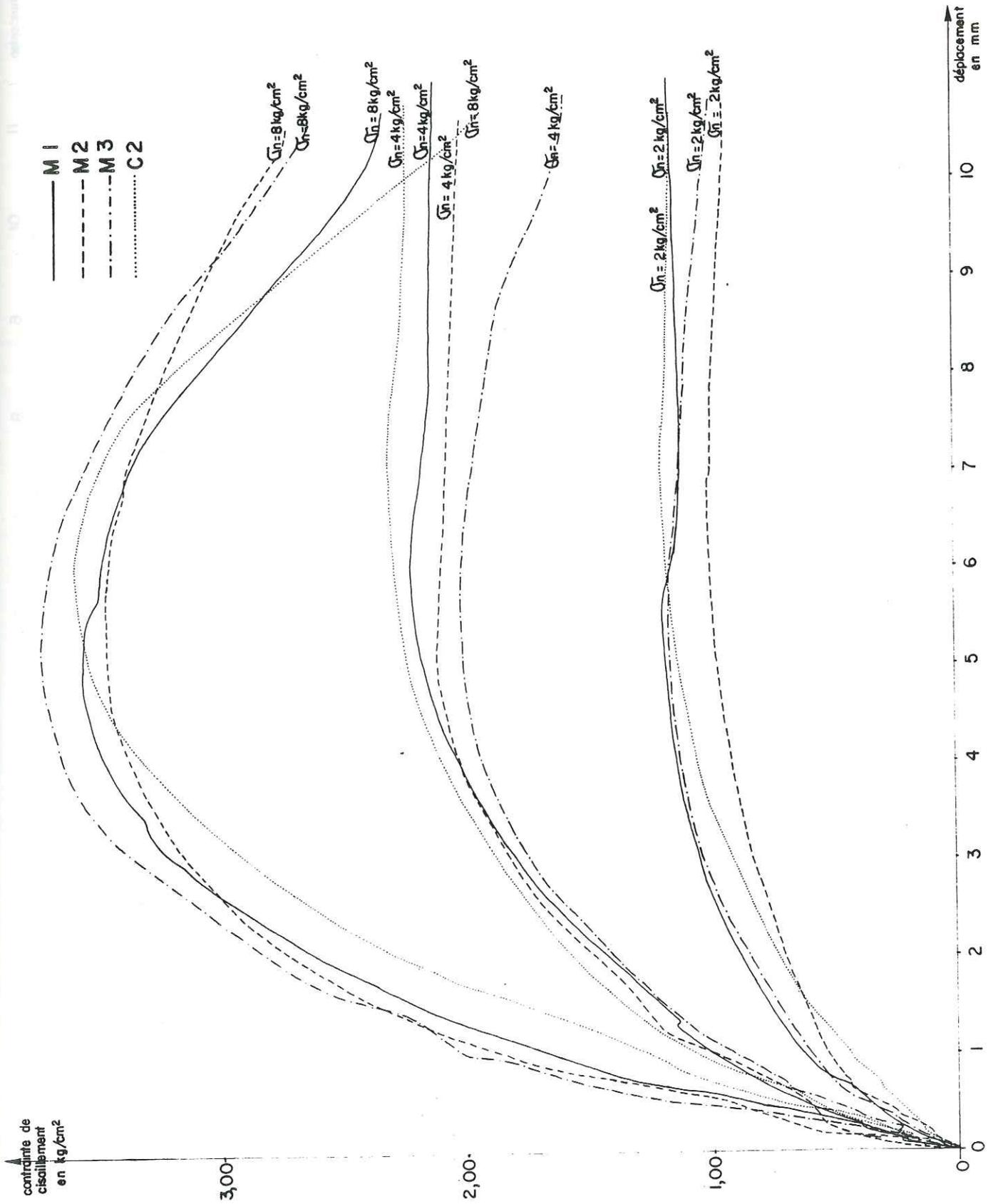


Fig. A.9 : Cisaillement de matériaux rocheux, selon un plan de schistosité décollé - Courbes "contrainte - déformation".

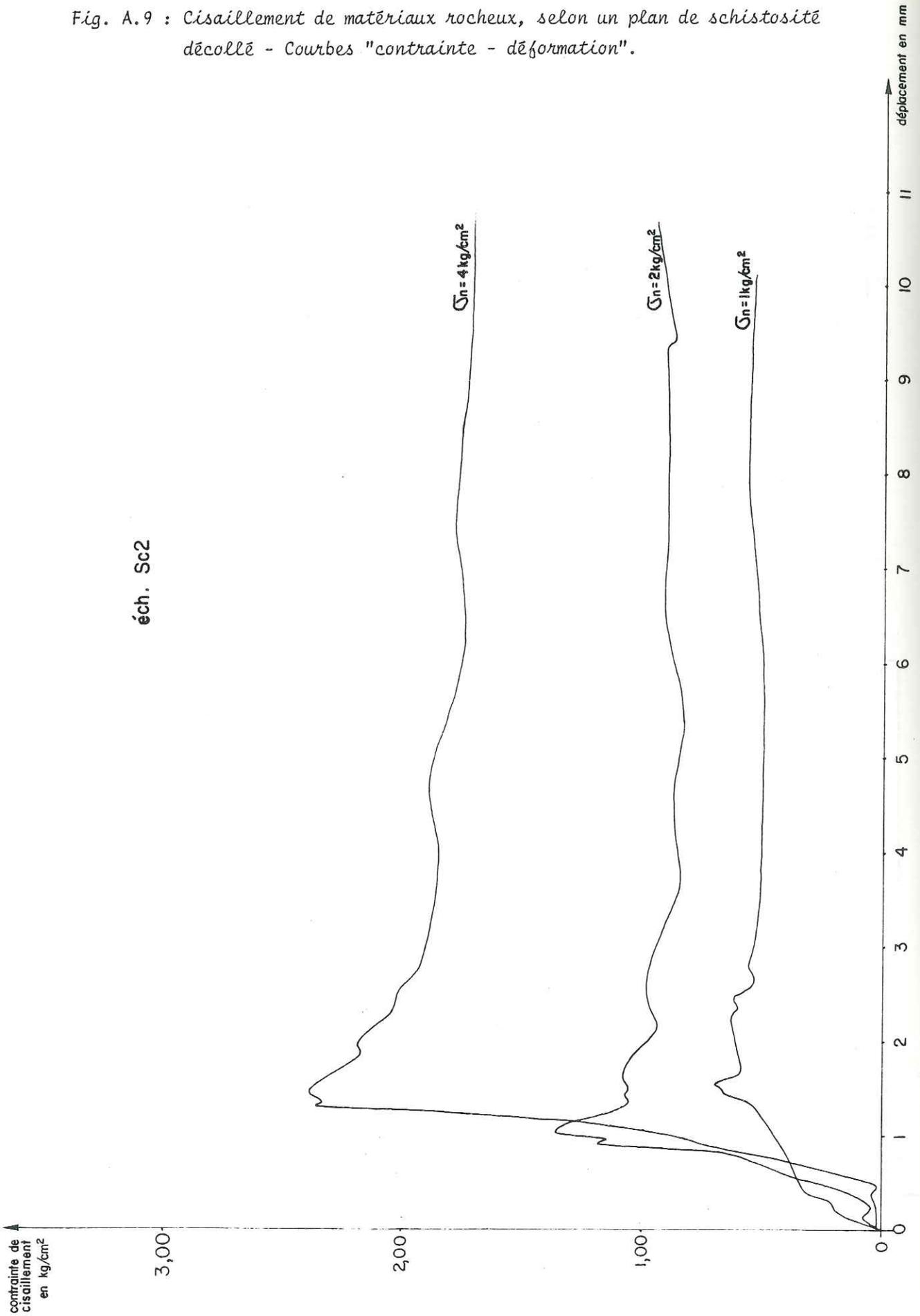
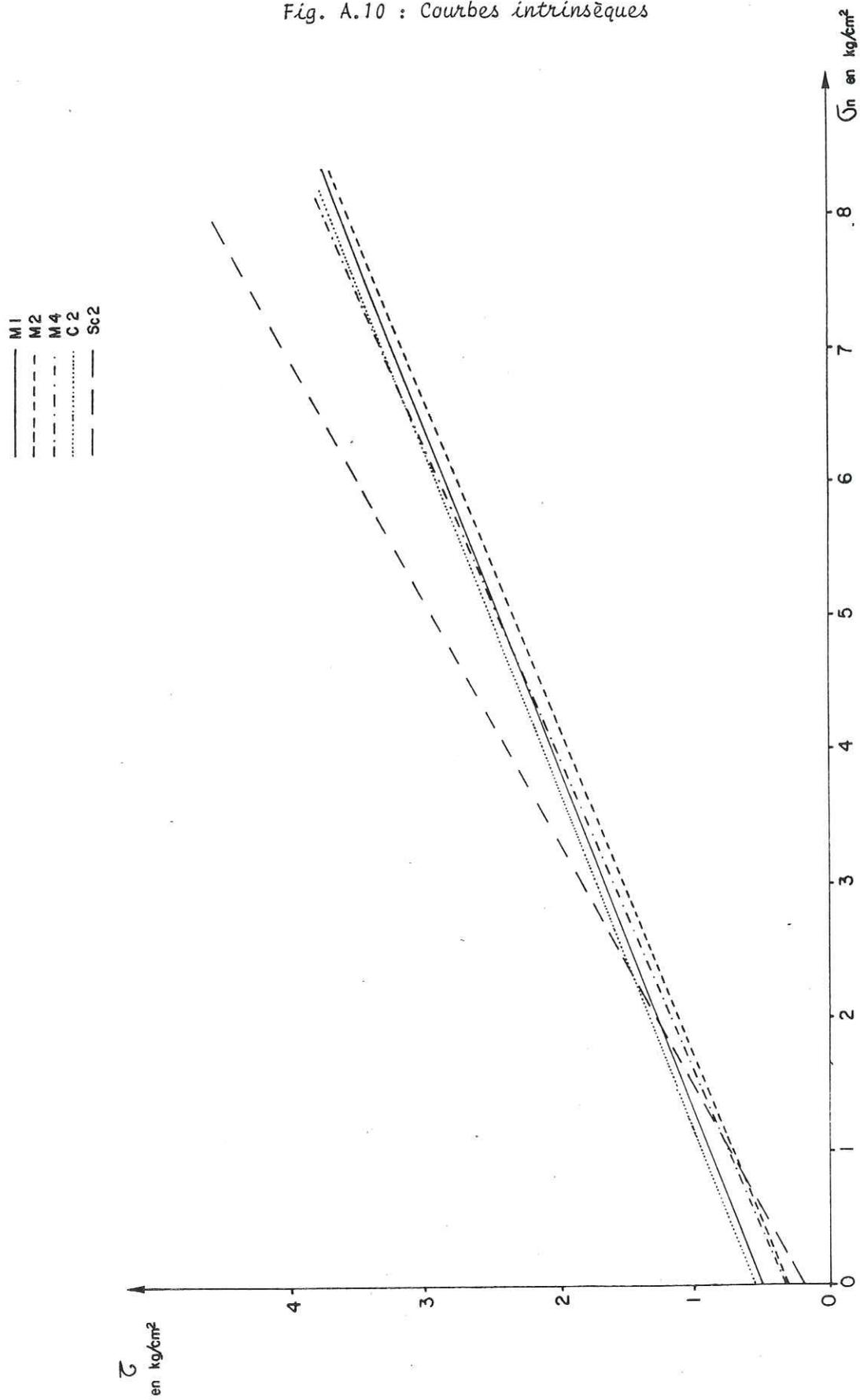


Fig. A.10 : Courbes intrinsèques



A titre indicatif, nous avons réalisé des essais sur des schistes noirs, intacts, en sollicitant une rupture selon un plan de schistosité, et sur des charbons massifs :

ECHANTILLON	Sc2	Sc1	C1
$\sigma_n$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2	0,25	0,25
$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> ) rupture	5	1,30	1

Tableau A.6 : Contraintes de cisaillement à la rupture

Ils montrent que les valeurs des contraintes de cisaillement à la rupture sont, pour ces échantillons, de l'ordre de 4 fois supérieures aux valeurs obtenues pour des plans de schistosité décollés ou pour de la poussière de charbon.

ANNEXE IIFRACTURATION

1°) Report sur canevas de Schmidt (hémisphère supérieur) des pôles de fractures (fig. A.11).

2°) Comptage statistique sur canevas de Schmidt (fig. A.12).

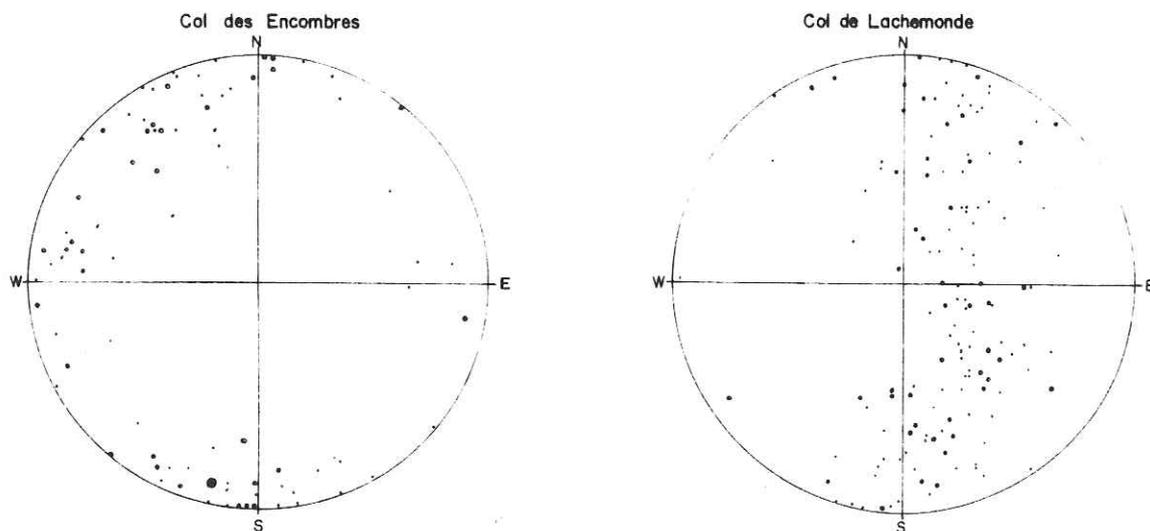
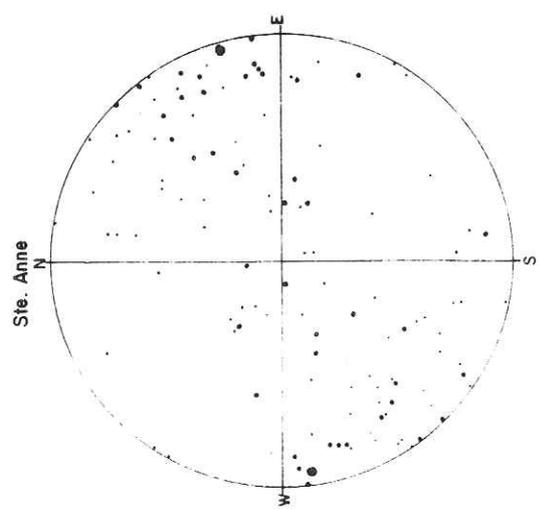
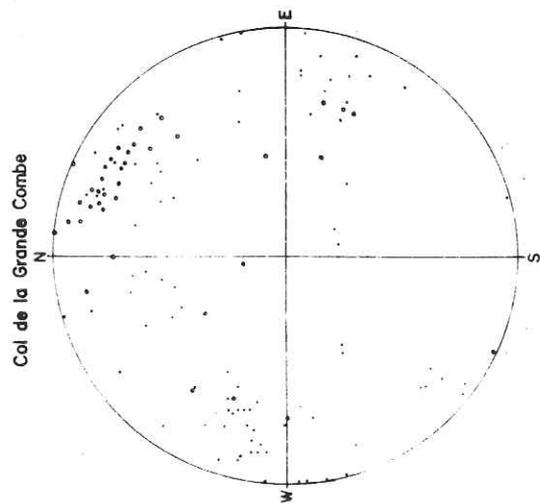
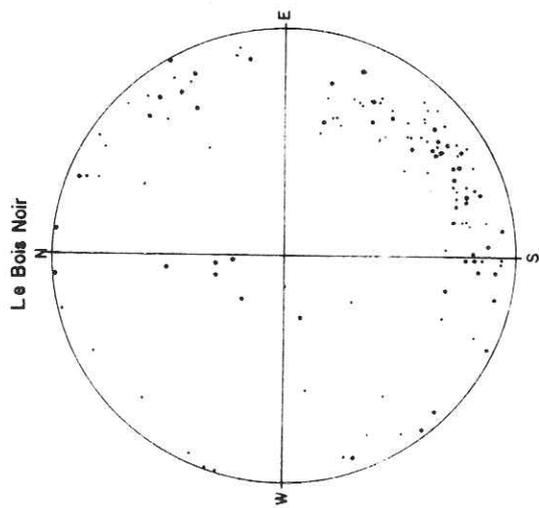
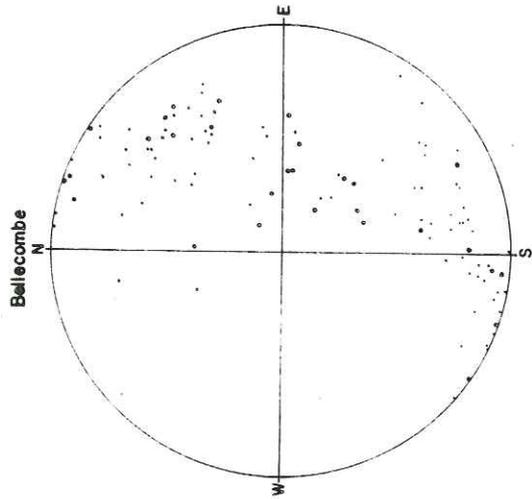
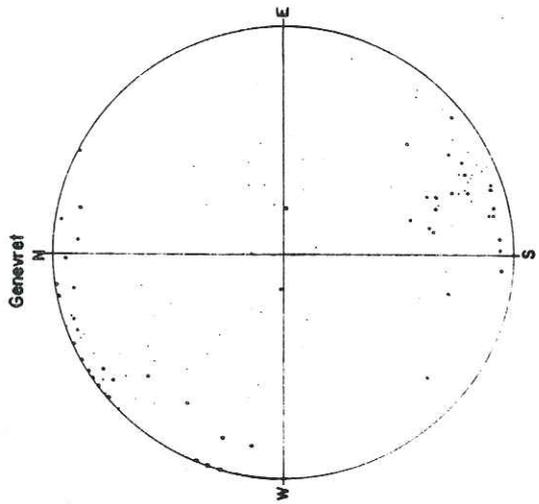
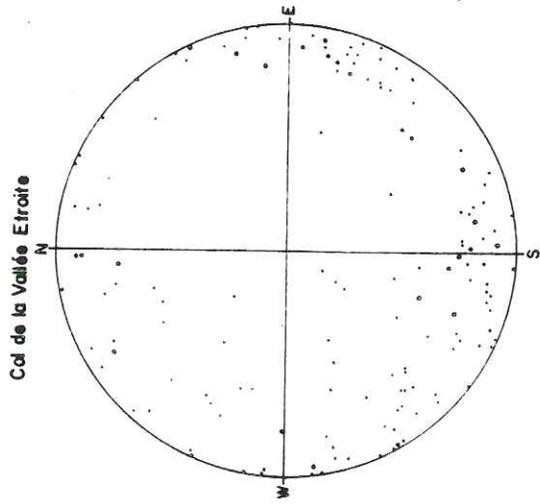
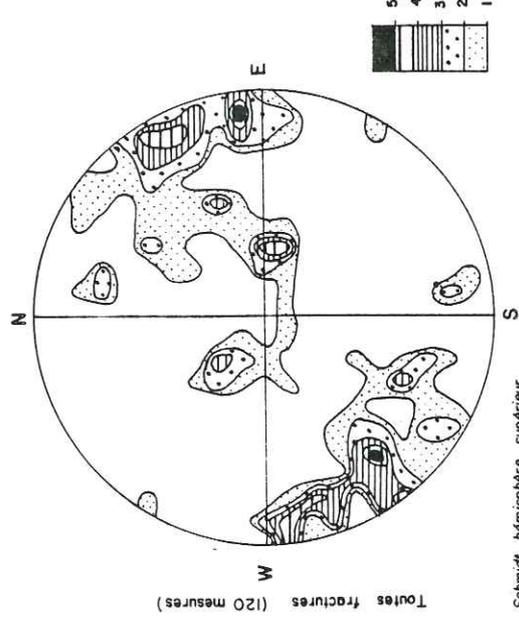
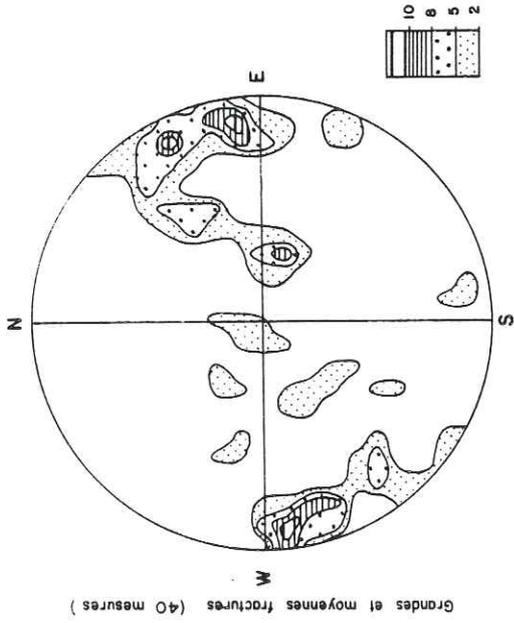


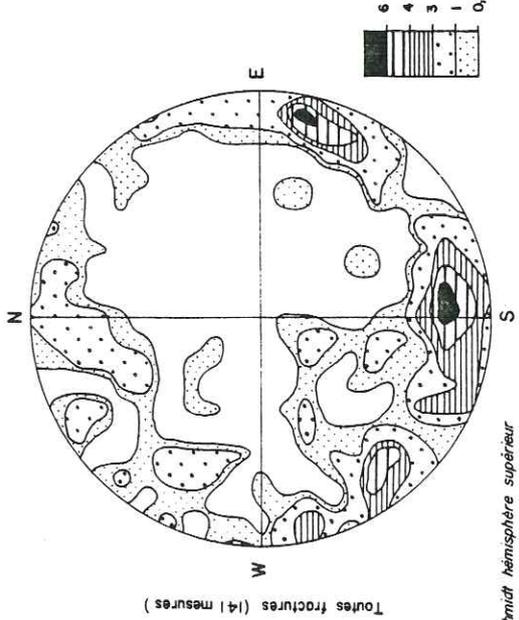
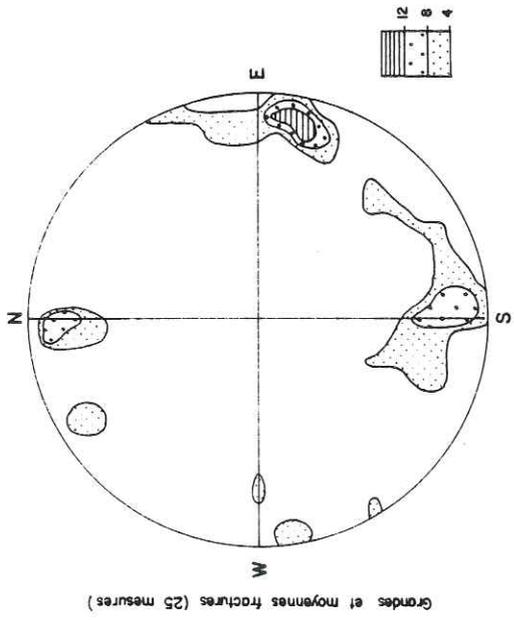
Fig. A.11 : Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures



Ste. Anne



Col de la Vallée Etroite



Bellecombe

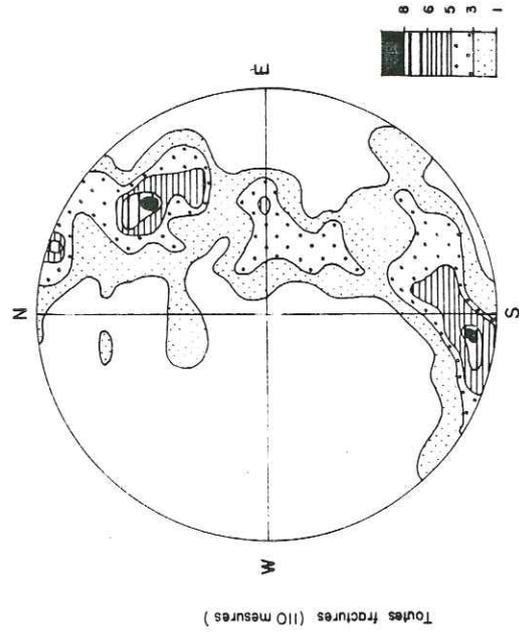
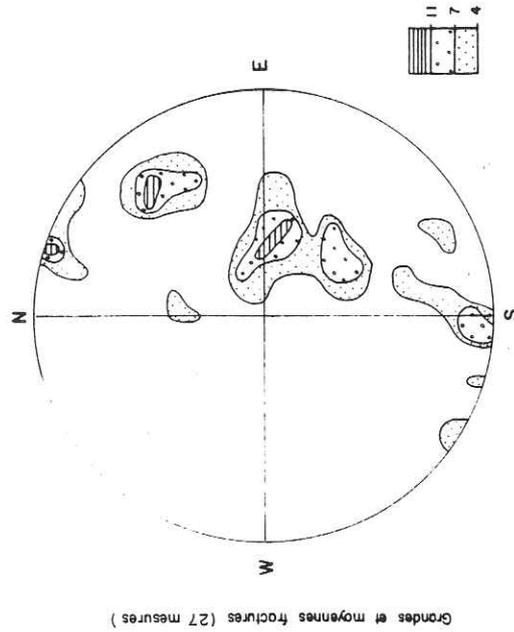


Fig. A.12 : Comptage statistique sur canevas de Schmidt

BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE

- ANTOINE P., BIAREZ J., DESVAREUX P., MOUGIN J.-P. (1971) : Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. T.L.G.G., 47, pp. 5 à 24.
- ANTOINE P., DAYRE M., FABRE D., GIRAUD A., LETOURNEUR J. (1974) : Notice explicative de la carte Z.E.R.M.O.S., région de Moutier (Savoie). Ed. B.R.G.M.
- ANTOINE P., PACHOUD A. (1976) : Enseignements tirés de deux essais de cartographie systématique des glissements de terrain. B.L.L.P.C. Stabilité des talus - Versants naturels. N° spécial II, mars 1976, pp. 31 à 39.
- AZIMI C., DESVAREUX P., GIRAUD A., MARTIN-COCHER J. (1982) : Méthode de calcul de la dynamique des chutes de blocs. Application à l'étude du versant de la Montagne de la Pale (Vercors). B.L.L.P.C., 122, nov. déc. 1982, pp. 93 à 102.
- BEAUJOINT N., MARTIN A. (1966) : Observation du comportement d'un talus naturel. C.R. 1er Cong. Int. de Méc. des Roches - Lisbonne 1966, vol. II, pp. 147 à 151.
- BLANCHARD R. (1950) : Les Alpes occidentales, t.3, Arthaud, Grenoble.
- BOMBARD J.-P. (1968) : Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Essai méthodologique. Thèse 3ème cycle, U.S.M.G.
- B.R.G.M. : Fichier des mouvements de terrain.
- CAILLEUX A., TRICART J. (1967) : Traité de géomorphologie t.2 : le modelé des régions périglaciaires. Soc. d'Et. d'Ens. Sup., Paris.
- CONEDERA C., ERCOLI A. (1973) : Méthodologie photo-interprétative pour l'analyse de la stabilité des versants. Symposium S.S.S.C., Cannes, France, les 25, 26 et 27 oct. 1973, pp. 100 à 108.
- DEBELMAS J. et Coll. (1970) : Alpes (Savoie et Dauphiné). Collection des guides géologiques régionaux. Masson, Paris, 213 pages.
- DERRUAU M. (1967) : Précis de géomorphologie. Masson, Paris, 5ème Ed., 416 pages.
- DESVAREUX P. (1970) : Recherche d'une méthode d'étude des mouvements de terrain et applications pratiques. Thèse Docteur-Ingénieur U.S.M.G.
- FABRE J. (1951) : Résumé des études sur le Carbonifère Briançonnais. 3ème Cong. de Stratigraphie du Carbonifère, Heerlem, p. 203.
- FABRE J. (1953) : Sur la tectonique de la zone houillère briançonnaise en Maurienne. C.R.A.S., t. 237, pp. 344-345.
- FABRE J. (1958) : Contribution à l'étude de la zone houillère en Maurienne et en Tarentaise (Alpes de Savoie). Mémoires du B.R.G.M.
- FABRE R. (1982) : Le paléozoïque briançonnais au Nord de Névache : analyse des déformations alpines d'un secteur de la zone "axiale" briançonnaise. Thèse 3ème cycle, U.S.M.G.
- GOGUEL J. (1943) : Sur une influence possible du reboisement sur les glissements de terrain C.R.A.S., t. 216.
- HOEK E., BRAY J.-W. (1981) : Rock slope engineering, 3ème Ed., Institution of mining and metallurgy, London.
- HUGONIN J., SACCONI J.-M. (1976) : Les conditions géologiques d'un aménagement régional. La vallée de Névache (Hautes-Alpes). Thèse 3ème cycle, U.S.M.G.
- HUMBERT M. (1972) : Les mouvements de terrain. Principe de réalisation d'une carte prévisionnelle dans les Alpes. Bull. B.R.G.M. (2), III, n° 1, pp. 13 à 28.
- HUMBERT M., PACHOUD A. (1970) : Carte prévisionnelle de stabilité des terrains du Val Thorens (Savoie). Essai méthodologique. Ed. B.R.G.M., Orléans. 1 carte 1/10.000.

- KARLSON P. (1961) : Suggested improvements in the liquid limit test with reference to flow properties of remoulded clays. Swedish Geot. Inst., Cong. Int. de Mécanique des Sols, Paris 1961, Dunod Ed., traduction L.P.C. Saint-Brieuc. D.320.
- KIRALY L. (1969) : Statistical analysis of fractures (orientation and density). Géol. Rundschau, 59, 1, pp. 125 à 151, nov. 1969.
- KIRALY L., MATHEY B., TRIPET J.-P. (1971) : Fissuration et orientation des cavités souterraines. Région de la grotte de Milandre (Jura tabulaire). Bull. Soc. Neuchâteloise des Sciences Naturelles, t.94, pp. 99 à 114.
- KOENIG J.-G., JULIEN A., PLAUT E. (1980) : La route d'accès au tunnel alpin du Fréjus. Revue générale des routes et des aérodromes. N° 567, sept. 1980.
- KUKAL Z. (1971) : Geology of recent sediments.
- LAUTRIDOU J.-P. (1971) : Conclusions générales des expériences de géligraction expérimentale. Bull. Centre de Géomorph., C.N.R.S., Caen, 10, pp. 63 à 84.
- LETOURNEUR J. (1968) : Les mouvements du sol. Examen des facteurs géologiques de l'instabilité superficielle. T.L.G. Ecole des Mines. Saint-Etienne, 1, 70 pages.
- MAHIEU J.-L., GUILLOPE P., HERNANDEZ F. (1977) : Localisation des zones instables pour l'établissement d'une carte Z.E.R.M.O.S. Une méthode de levé "géodynamique" dans le Calvados. B.L.L.P.C., n° 88, mars-avril 1977, pp. 61 à 66.
- MALATRAIT A.-M. (1975) : Analyse et classement des mouvements gravitaires (feuille Saint-Jean-de-Maurienne au 1/50.000). Thèse 3ème cycle, U.S.M.G.
- MENEROUD J.-P. (1976) : Expérience de cartographie géotechnique systématique pour les P.O.S. dans les Alpes-Maritimes. B.L.L.P.C., n° 85, pp. 51 à 56.
- MOUGIN P. (1914) : Les torrents de Savoie. Grenoble, Soc. His. Nat. Savoie, 1251 pages.
- MOUGIN J.-P. (1973) : Les mouvements de terrain. Recherche sur les apports mutuels des études géologiques et mécaniques à l'estimation de la stabilité des pentes. Thèse Docteur-Ingénieur, U.S.M.G.
- MOULINIER (1924) : Gisements houillers des Alpes françaises. T.L.G.G. XIII, pp. 189 à 253.
- OLIVIER G., RENET J.-P. (1976) : Essai de cartographie des risques liés à des mouvements de terrain dans la région de Saint-Martin-de-Belleville. B.L.L.P.C., Stabilité des talus - Versants naturels. N° spécial II, mars 1976, pp. 40 à 55, 5 cartes.
- ONDE H. (1937) : La Maurienne et la Tarentaise. Etude de géographie physique. Ed. Arhand, 623 pages, Rev. Géol. Alpine I, II.
- PACHOUD A. (1971) : Hydrogéologie de la Maurienne occidentale. Lyon B.R.G.M., Serv. Géol. Régional Jura-Alpes, oct. 1971, 60 pages, 4 pl.
- PACHOUD A. (1976) : Atlas des sites présentant des risques liés au sol et au sous-sol. Département de la Savoie. 1 carte 1/100.000 et notice 19 p. Ed. B.R.G.M. Orléans.
- PAUTE J.-L., MACE Y. (1968) : Le pénétromètre de consistance, évaluation de la consistance des sols fins. Bull. Lab. Rout. P. et Ch., 33, août-sept. 1968, 540, pp. 105 à 116.
- PAUTRE A., SCHNEIDER B. (1973) : Les conséquences de l'avalanche rocheuse du Huascarán (Pérou, 1970) étaient-elles prévisibles ? Symp. Nat. S.S.S.C., t.1, 25, 26 et 27 sept. 1973, pp. 194 à 199.
- ROBERT J.-P. (1976) : Les décrochements, fracturations et mouvements de blocs associés ; exemple des massifs subalpins dauphinois. Thèse 3ème cycle, U.S.M.G.
- ROCHET L. (1980) : Protection contre les éboulements rocheux. Méthodologie des études spécifiques. Application à l'étude de la zone de La Praz sur la ligne S.N.C.F. Culoz - Modane. B.L.L.P.C., 106, mars-avril 1980, pp. 57 à 68.
- SHADE J. (1983) : Le synchinal de St Martin de Belleville et son Permien uranifère (zone houillère briançonnaise - Alpes de Savoie). Thèse 3ème cycle, U.S.M.G.

- TAZIEFF H. (1960) : A propos de la signification tectonique des importants glissements de terrain provoqués par le grand séisme du Chili de mai 1960. C.R.A.S., 251, n° 20, pp. 2204 à 2206.
- VACHER J.-P. (1971) : Contribution à l'étude hydrologique du bassin versant de l'Isère. Thèse 3ème cycle, Bordeaux, 2 vol. de 101 pages.
- VERGER F. (1963) : Les techniques d'analyse granulométrique. Mémoire et documents du C.N.R.S., t. IX, fasc. 1.
- VIALON P., RUHLAND M., GROLIER J. (1976) : Eléments de technique analytique. Masson.
- VOGT J. (1979) : Les tremblements de terre en France. Mém. B.R.G.M., n° 96.

RAPPORTS INEDITS

- ANTOINE P. (1965) : Etude géologique du glissement de terrain de Bonvillard. R.T.M. Savoie.
- BOIS J.-P., FABRE J. (B.R.G.M.) (1958) : Galerie du Bonrieu. E.D.F..
- GOGUEL J. (1955) : Rapport de visite à l'éboulement de la Saussaz. R.T.M. Savoie.
- MARIE R. : Carte de localisation des mouvements de terrain et des crues torrentielles. CEMAGREF.
- NICOUD G. (Université de Savoie) (1978) : Inventaire des ressources en eau potable en montagne. Secteur de la Maurienne (vallée de l'Arc) en amont de Saint-Jean-de-Maurienne.
- PACHOUD A. (1976) : Examen géologique des origines du cône torrentiel du Poucet. Commune d'Orelle (Savoie). R.T.M. Savoie.
- PETITEVILLE P. (1978) : Ligne 400.000 V Albertville - Villarodin. Note sur la stabilité de la ligne. E.D.F., Division Géologie Géotechnique.
- ? (1955) : Note sur les cataclysmes survenus au cours de l'hiver 1954-1955 sur le territoire d'Orelle. R.T.M. Savoie.
- ? (1961) : Le torrent de la Grollaz. Notice descriptive sommaire. R.T.M. Savoie.

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Pages</u>
<u>PREMIERE PARTIE :</u>	
1.1 - Précipitations moyennes annuelles .....	17
1.2 - Hauteur des précipitations .....	17
1.3 - Précipitations moyennes mensuelles entre 1936 et 1965 .....	18
1.4 - Précipitations moyennes mensuelles entre 1963 et 1972 .....	18
1.5 - Températures moyennes annuelles .....	20
1.6 - Températures moyennes mensuelles et annuelles de 1936 à 1972	20
1.7 - Caractéristiques des torrents affluents de l'Arc .....	24
1.8 - Prélèvements en ruisseaux sur les bassins versants de Saint-Martin-de-la-Porte, de la Grollaz et du Vigny .....	25
 <u>DEUXIEME PARTIE :</u>	
2.1 - Rapport des fentes à quartz aux fractures totales par classe de direction .....	66
2.2 - Sources répertoriées sur les bassins versants de Saint- Martin-de-la-Porte, de la Grollaz et du Vigny .....	86-87
 <u>TROISIEME PARTIE :</u>	
3.1 - Classification des mouvements de terrain .....	104
 <u>QUATRIEME PARTIE :</u>	
4.1 - Caractéristiques mécaniques des schistes et charbon houiller	195
4.2 - Les éboulements et écroulements rocheux .....	201
4.3 - Les laves torrentielles .....	202-203
4.4 - Les glissements récents .....	204-205
 <u>ANNEXES :</u>	
A.1 - Localisation des échantillons .....	225
A.2 - Distribution des dimensions suivant les divers paramètres granulométriques - Limites d'Atterberg .....	231
A.3 - Détermination du "nombre de finesse" .....	229
A.4 - Détermination du "nombre de plasticité" .....	230
A.5 - Caractéristiques mécaniques des matériaux testés .....	234
A.6 - Contraintes de cisaillement à la rupture .....	238

LISTE DES FIGURES

## LISTE DES FIGURES

	<u>Pages</u>
<u>PREMIERE PARTIE :</u>	
1.1 Situation géographique de la zone étudiée .....	10
1.2 Orohydrographie .....	12
1.3 Carte des isohyètes moyennes (1963 à 1967) .....	16
1.4 Histogramme de répartition des précipitations moyennes mensuelles - Station du Thyl .....	19
1.5 Débits moyens mensuels en m <sup>3</sup> /s de l'Arc au Pont-de-la-Madeleine (476 m) .....	23
<u>DEUXIEME PARTIE :</u>	
2.1 Schéma structural régional .....	28
2.2 Coupe schématique de la Maurienne en rive droite de l'Arc .....	30
2.3 La mésoséquence de base et ses différents termes lithologiques .....	38
2.4 Coupe schématique à travers la zone houillère .....	39
2.5 Coupes géologiques interprétatives .....	40
2.6 Coupe détaillée entre le Petit Col des Encombres et le Perronnet .....	43
2.7 Plissement dans le houiller au Sud du P.C. 2362 (d'après photographie) .....	44
2.8 Carte schématique des courants glaciaires au début du retrait würmien .....	46
2.9 Auge glaciaire encaissée (roche dure) .....	48
2.10 Auge glaciaire évasée (roche tendre) .....	48
2.11 Profils transversaux à la vallée de l'Arc entre Sainte-Anne et la Praz .....	49
2.12 Profil longitudinal du lit de l'Arc - Niveaux successifs possibles de la surface du glacier würmien .....	50
2.13 "Pieds-de-vaches" ou terrassettes (schéma) .....	53
2.14 Glacier rocheux (schéma) .....	53
2.15 Localisation des stations de mesures de la fracturation .....	56
2.16 La fracturation du secteur (photo-interprétation) .....	60
2.17 Rosace des directions de fractures, en longueurs cumulées, repérées sur la photo- interprétation du secteur .....	60
2.18 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des fractures relevées sur tout le secteur d'étude .....	62
2.19 Rosaces des directions de fractures verticales et à pendage fort (+ 70°) sur tout le secteur .....	64
2.20 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des fentes à quartz (185 mesures) .....	65
2.21 Rosace des pourcentages de fentes à quartz par rapport aux fractures totales, par classe de directions .....	66
2.22 Schéma des décrochements associés à une zone en compression .....	67
2.23 Position schématique des deux zones en décrochement (avec leurs riedels) associées à une compression Est-Ouest .....	68
2.24 Rosace des directions de fractures à pendage faible, mesurées sur tout le secteur ..	69
2.25 Fracturation du secteur Est (photo-interprétation) .....	70
2.26 Rosace des directions de fractures, en longueurs cumulées, repérées sur la photo- interprétation du secteur Est .....	70
2.27 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur les stations 12 à 17 (environ 1000 mesures) .....	71
2.28 Rappel des principales directions ressortant sur chaque station de mesures .....	58
2.29 Fracturation du secteur Ouest (photo-interprétation) .....	74-75
2.30 Rosace des directions de fractures, en longueurs cumulées, repérées sur la photo- interprétation du secteur Ouest .....	75
2.31 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur les stations 1 à 12 (1150 mesures) .....	73
2.32 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 4 ..	77
2.33 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 8 ..	79
2.34 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 2 ..	80
2.35 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 14 ..	82
2.36 Comptage statistique sur canevas de Schmidt des mesures effectuées sur la station 5 ..	83
2.37 La circulation de l'eau en milieu fissuré .....	90
2.38 Alimentation de la nappe d'imprégnation par la nappe de fissures .....	91
2.39 Coupe schématique du recouvrement quaternaire - Possibilités de circulation et de stockage de l'eau .....	92
2.40 Sondage carotté 1 : photographies des boîtes de carottes et interprétation .....	94-95
2.41 Sondage carotté 2 : photographies des boîtes de carottes et interprétation .....	96-97
2.42 Schéma d'une source en milieu rocheux .....	98
2.43 Lithologie et venues d'eau dans la galerie Bonrieu - Bissorte .....	99

## TROISIEME PARTIE :

3.1	Les différents types de mouvements de terrain .....	106-107
3.2	Localisation des clichés utilisés .....	112
3.3	Figures utilisées pour la photo-interprétation et la cartographie des mouvements de terrain .....	217
3.4	Photo-interprétation d'ensemble .....	114
3.5	Photo-interprétation du glissement de la Traversaz .....	120
3.6	Photo-interprétation du versant situé à l'amont de Sainte-Anne .....	121
3.7	Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (La Traversaz) .....	121
3.8	Comptage statistique sur canevas de Schmidt (La Traversaz) .....	122
3.9	Glissement de la Traversaz - Coupe longitudinale interprétative .....	124
3.10	Glissement de la Traversaz (morphologie, géologie) .....	125
3.11	Photo-interprétation du versant Ouest du Mont-Brequin .....	127
3.12	Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (Les Avanières) .....	129
3.13	Comptage statistique sur canevas de Schmidt (Les Avanières) .....	130
3.14	Glissement des chalets de Beaune - Coupe longitudinale interprétative .....	132
3.15	Glissement des chalets de Beaune (morphologie, géologie) .....	133
3.16	Evolution dans le temps du glissement des chalets de Beaune (coupes longitudinales schématiques) .....	134
3.17	Glissement du ruisseau de la Grollaz (morphologie, géologie) .....	136
3.18	Glissement du ruisseau de la Grollaz - Coupe longitudinale interprétative .....	137
3.19	Photo-interprétation de la partie haute de la vallée des Encombres .....	140
3.20	Glissement du ruisseau de Champieu (morphologie, géologie) .....	142
3.21	Glissement du ruisseau de Champieu - Coupe longitudinale interprétative .....	143
3.22	Partie supérieure du versant Ouest du Mont-Brequin - Coupe longitudinale interprétative des mouvements gravitaires .....	147
3.23	Coulées terminales des Encombres (photo-interprétation) .....	149
3.24	Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (La Léchère - Le Perronnet) ...	151
3.25	Comptage statistique sur canevas de Schmidt (Col des Encombres - Le Perronnet) ....	152-153
3.26	Les glissements et coulées du sommet des Encombres (morphologie, géologie) .....	154
3.27	Schéma de l'évolution hypothétique du versant Est de la vallée des Encombres (coupes longitudinales schématiques) .....	158-159
3.28	Le versant Mont-Brequin - Rocher Rénod (photo-interprétation) .....	160
3.29	Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (La Lozière - Col de Château-Bourreau) .....	163
3.30	Comptage statistique sur canevas de Schmidt (La Lozière - Col de Château-Bourreau - Le Bois Noir) .....	164-166
3.31	Fracturation et instabilités potentielles (La Lozière - Col de Château-Bourreau - Le Bois Noir) .....	168
3.32	Glissement du Poucet : Hypothèse n° 1 - Coupe longitudinale schématique .....	170
3.33	Glissement du Poucet : Hypothèse n° 2 - Coupe longitudinale schématique .....	172
3.34	Glissement du Poucet : Hypothèse n° 2 - Coupes transversales schématiques de la partie inférieure .....	173
3.35	Glissement du Poucet : Hypothèse n° 3 - Coupe longitudinale schématique .....	174
3.36	Glissement du Poucet : Hypothèse n° 3 - Coupes transversales schématiques de la partie inférieure .....	175
3.37	Comptage statistique sur canevas de Schmidt (Genevret) .....	176
3.38	Les glissements de Francoz (morphologie, géologie) .....	178
3.39	Les glissements de Francoz - Coupe longitudinale interprétative .....	179
3.40	Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures (Les Arponnets - L'Arcelin - Bonvillard) .....	183
3.41	Comptage statistique sur canevas de Schmidt (L'Arcelin - Bonvillard - Les Arponnets)	184-186
3.42	Glissement de Bonvillard (morphologie, géologie) .....	188
3.43	Glissement de Bonvillard - Coupe longitudinale interprétative .....	189

PagesQUATRIEME PARTIE :

4.1	Fracturation et instabilités potentielles (Le Perronnet) .....	198
4.2	Fracturation et instabilités potentielles (Le Col des Encombres) .....	198
4.3	Coupe longitudinale du glissement des Arponnets .....	209
4.4	Evolution du glissement des Arponnets entre 1953 et 1980 (photo-interprétation) ....	210

ANNEXES :

A.1	Analyse granulométrique - Courbes de pourcentages cumulés .....	226
A.2	Représentation de la fraction inférieure à 400 $\mu$ sur un triangle de répartition .....	228
A.3	Corrélation "limite de liquidité - nombre de finesse" .....	230
A.4	Corrélation "limite de plasticité - nombre de plasticité" .....	231
A.5	Diagramme de plasticité de Casagrande .....	232
A.6	Courbe "contrainte - déformation" .....	233
A.7	Courbes intrinsèques de pic et résiduelles .....	233
A.8	Cisaillement de matériaux meubles à la boîte carrée - Courbes "contrainte - déformation" .....	235
A.9	Cisaillement de matériaux rocheux, selon un plan de schistosité décollé - Courbes "contrainte - déformation" .....	236
A.10	Courbes intrinsèques .....	237
A.11	Report sur canevas de Schmidt des pôles de fractures .....	239-240
A.12	Comptage statistique sur canevas de Schmidt .....	241

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
<u>SOMMAIRE</u> .....	5
<u>INTRODUCTION</u> .....	7
<u>PREMIERE PARTIE : LE MILIEU NATUREL</u> .....	9
<u>CHAPITRE I : CADRE GEOGRAPHIQUE</u> .....	11
A - OROHYDROGRAPHIE .....	11
1°) <u>Les vallées</u> .....	11
2°) <u>Le relief</u> .....	13
B - ACTIVITES ECONOMIQUES ET PEUPEMENT .....	13
C - VEGETATION .....	14
D - CONCLUSION .....	14
<u>CHAPITRE II : CLIMAT</u> .....	15
A - LES VENTS .....	15
B - LES PRECIPITATIONS .....	15
C - LES TEMPERATURES .....	20
D - CONCLUSION .....	21
<u>CHAPITRE III : HYDROLOGIE</u> .....	23
A - L'ARC .....	23
B - LES AFFLUENTS .....	24
<u>DEUXIEME PARTIE : ETUDE GÉOLOGIQUE</u> .....	27
<u>CHAPITRE I : GEOLOGIE REGIONALE</u> .....	29
<u>CHAPITRE II : GEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE</u> .....	33
A - STATIGRAPHIE .....	33
1°) <u>Les terrains de couverture</u> .....	33
a) Les éboulis .....	33
- éboulis vifs	
- éboulis à gros blocs	
- éboulis stabilisés	
b) Les alluvions .....	34
- alluvions torrentielles, cônes de déjection	
- alluvions de fond de vallée	
- glaciaire et fluvio-glaciaire	
c) Les colluvions .....	35
d) Les tufs .....	35

	<u>Pages</u>
2°) <u>Le Trias</u> .....	35
3°) <u>Le Permien</u> .....	36
4°) <u>Le Carbonifère</u> .....	36
a) <u>Le Carbonifère supérieur</u> .....	36
b) <u>Le Houiller productif</u> .....	36
c) <u>Le Houiller stérile</u> .....	38
B - <u>STRUCTURE DU SUBSTRATUM</u> .....	39
1°) <u>La bordure occidentale</u> .....	42
2°) <u>Le synclinal occidental</u> .....	44
3°) <u>L'anticlinal médian</u> .....	45
<u>CHAPITRE III : MORPHOLOGIE DES VERSANTS - STRUCTURE DU RECOUVREMENT QUATERNAIRE</u> .....	47
A - <u>LES PHENOMENES GLACIAIRES</u> .....	47
1°) <u>Les glaciers</u> .....	47
2°) <u>L'érosion glaciaire</u> .....	48
3°) <u>Les accumulations résultantes aux glaciations</u> .....	51
B - <u>LES AUTRES AGENTS DE LA MORPHOGENESE</u> .....	51
1°) <u>Les phénomènes climatiques</u> .....	51
a) <u>Le gel</u> .....	51
b) <u>Le modelé des versants en zone périglaciaire</u> .....	52
2°) <u>L'érosion torrentielle</u> .....	54
<u>CHAPITRE IV : LA FRACTURATION</u> .....	59
A - <u>GENERALITES</u> .....	59
B - <u>TRAITEMENT DES DONNEES</u> .....	61
C - <u>ETUDE GENERALE</u> .....	61
1°) <u>Les principales directions</u> .....	61
2°) <u>Les critères d'interprétation</u> .....	64
3°) <u>Conclusions</u> .....	67
D - <u>ETUDE DETAILLEE</u> .....	69
1°) <u>Le secteur Est</u> .....	71
2°) <u>Le secteur Ouest</u> .....	73
E - <u>QUELQUES EXEMPLES PONCTUELS</u> .....	76
1°) <u>Le Col de Lachemonde</u> .....	76
2°) <u>Les Avanières</u> .....	78
3°) <u>La Léchère</u> .....	81
4°) <u>Le Bois Noir</u> .....	81
5°) <u>Le Col de la Grande Combe</u> .....	81
<u>CHAPITRE V : HYDROGEOLOGIE</u> .....	85
A - <u>LA CIRCULATION DE SURFACE</u> .....	85
B - <u>LA CIRCULATION SOUTERRAINE</u> .....	90
1°) <u>Les terrains de couverture</u> .....	91
2°) <u>La zone décomprimée de surface</u> .....	98
3°) <u>La zone profonde</u> .....	100

	<u>Pages</u>
<u>TROISIEME PARTIE : LES MOUVEMENTS DE TERRAIN</u> .....	101
<u>CHAPITRE I : RAPPELS SUR LES MOUVEMENTS DE TERRAIN - QUELQUES NOTIONS DE BASE</u> .....	105
A - LES DIFFERENTS TYPES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN - CLASSIFICATION .....	105
B - STABILITE ET INSTABILITE DES VERSANTS .....	108
1°) <u>Les lois fondamentales de la physique</u> .....	108
2°) <u>La loi rhéologique</u> .....	108
3°) <u>Les conditions aux limites</u> .....	108
C - LES FACTEURS D'INSTABILITE .....	109
D - COEFFICIENT DE SECURITE .....	110
<u>CHAPITRE II : ETUDE PHOTO-INTERPRETATIVE ET DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN ANCIENS</u> .....	113
A - PHOTO-INTERPRETATION D'ENSEMBLE .....	115
B - LE VERSANT "COL DES ENCOMBRES - MONT-BREQUIN" .....	115
1°) <u>Caractéristiques générales des mouvements</u> .....	116
a) Caractères généraux des glissements circulaires .....	117
b) Caractères généraux des glissements couche sur couche .....	118
c) Caractères généraux des mouvements par solifluxion et reptation .....	118
d) Caractères généraux des coulées .....	118
2°) <u>Monographies sommaires des principaux glissements</u> .....	119
a) Glissement de la Traversaz .....	119
b) Glissement des chalets de Beaune .....	128
c) Glissement du ruisseau de la Grollaz .....	135
d) Glissement du ruisseau de Champieu .....	141
e) Glissement de la partie haute du versant Est des Encombres .....	145
f) Glissements et coulées des Encombres .....	148
3°) <u>Déterminisme géologique des glissements affectant le substratum</u> .....	156
C - LE VERSANT "MONT-BREQUIN - ROCHER RENOD" .....	161
1°) <u>Caractéristiques générales des glissements</u> .....	161
2°) <u>Monographies des glissements</u> .....	162
a) Glissement du Poucet .....	162
b) Glissement de Francoz .....	177
c) Glissement de Bonvillard .....	181
<u>QUATRIEME PARTIE : LES RISQUES NATURELS</u> .....	191
<u>CHAPITRE I : LES CARTES ANALYTIQUES</u> .....	193
A - CARTE DES PENTES .....	193
1°) <u>Méthode d'élaboration</u> .....	193
2°) <u>Analyse succincte</u> .....	194
B - CARTE LITHOLOGIQUE ET STRUCTURALE A FINALITE GEOTECHNIQUE.....	194
1°) <u>Le substratum</u> .....	195
2°) <u>Les terrains meubles de couverture</u> .....	196
a) Les matériaux crus	
b) Les cônes de déjection et alluvions de vallée	
c) Les matériaux morainiques et éboulis stabilisés	
d) Les matériaux remaniés par d'anciens glissements	

	<u>Pages</u>
C - CARTE DES CONDITIONS HYDRAULIQUES .....	197
D - CARTE DES INSTABILITES .....	198
1°) <u>Les instabilités déclarées</u> .....	198
a) Les chutes de blocs diverses .....	198
- Le Perronnet .....	199
- Le Col des Encombres .....	199
b) L'érosion actuelle .....	200
c) Les laves torrentielles .....	200
d) Les glissements et coulées récents (moins de 30 ans) et anciens encore actifs .....	206
- Les glissements .....	206
- Les coulées .....	211
e) Les indices d'instabilités diffuses .....	212
2°) <u>L'instabilité potentielle</u> .....	212
3°) <u>La sismicité</u> .....	213
 <u>CHAPITRE II : SYNTHESE DES CONDITIONS DE STABILITE VIS-A-VIS DES MOUVEMENTS DE TERRAIN</u> .....	215
 <u>CONCLUSION</u> .....	219
 <u>ANNEXES</u> .....	223
<u>ANNEXE I - ANALYSES D'ECHANTILLONS AU LABORATOIRE</u> .....	225
A - GRANULOMETRIE .....	227
1°) <u>Méthode</u> .....	227
2°) <u>Résultats</u> .....	227
B - LIMITES D'ATTERBERG .....	229
1°) <u>Méthode</u> .....	229
2°) <u>Résultats</u> .....	231
C - ESSAIS DE CISAILLEMENT .....	232
1°) <u>Méthode</u> .....	234
2°) <u>Résultats</u> .....	234
<u>ANNEXE II - LA FRACTURATION</u> .....	239
1°) <u>Report des pôles de fractures sur canevas de Schmidt</u> .....	239
2°) <u>Comptage statistique sur canevas de Schmidt</u> .....	239
 <u>ANNEXES III à VIII : Cartes (hors texte).</u>	
 <u>BIBLIOGRAPHIE</u>	
 <u>LISTE DES TABLEAUX</u>	
 <u>LISTE DES FIGURES</u>	
 <u>TABLE DES MATIERES</u>	

DERNIERE PAGE D'UNE THESE

3È CYCLE, DOCTEUR INGÉNIEUR OU UNIVERSITÉ

Vu les dispositions de l'arrêté du 16 avril 1974,

Vu les rapports de M. P. ANTOINE.....

M. ....

Monsieur MARTIN-COCHER Joël..... est autorisé  
à présenter une thèse en vue de l'obtention du grade de DOCTEUR de TROISIEME CYCLE  
.....

Grenoble, le 21 SEP. 1984

Le Président de l'Université Scientifique  
et Médicale

M. TANCHE



A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'M. Tanche', is written over a horizontal line.

THESE de 3<sup>e</sup> cycle GÉOLOGIE APPLIQUÉE

*Titre de l'ouvrage :*

**ÉTUDE GÉOLOGIQUE DE LA STABILITÉ  
DES VERSANTS DE LA RIVE DROITE DE L'ARC  
ENTRE SAINT-MICHEL-DE-MAURIENNE ET LA PRAZ  
(SAVOIE)**

*Nom de l'auteur :* Joël MARTIN-COCHER

*Établissement :* Institut de Recherches Interdisciplinaires de  
Géologie et de Mécanique

**RÉSUMÉ**

Depuis plusieurs années, l'équipe de géologie appliquée de l'I.R.I.G.M. s'est intéressée d'une part à l'étude des mouvements gravitaires, et d'autre part, à l'étude des formations régionales susceptibles de poser des problèmes d'ordre géotechnique.

Cette étude visant à définir les caractéristiques des mouvements de terrain (ainsi que leurs mécanismes de déclenchement) rencontrés sur un versant où seuls des terrains houillers apparaissent (Houiller briançonnais de la rive droite de l'Arc en Maurienne), s'inscrit donc dans cette ligne de recherche.

L'essentiel de l'étude est constitué par une analyse des conditions géologiques (lithologie, structure, fracturation, hydrogéologie) pouvant influencer sur la stabilité des versants, ainsi qu'une description détaillée, à l'aide d'exemples, des différents mécanismes de déclenchement et de progression des mouvements gravitaires anciens. Il est montré qu'en raison de la densité de fracturation du massif, ce sont les ruptures de type circulaire qui prédominent.

Toutes les données recueillies sur le terrain sont présentées soit à l'aide de cartes monographiques (par glissement), soit à l'aide de cartes analytiques générales : cartes des pentes, carte du réseau hydrographique et des sources, carte lithologique et structurale, carte des instabilités.

Une carte synthétique essaie de rendre compte du degré de stabilité des versants étudiés, préparant ainsi le dessin de cartes de type « risques naturels ».

**MOTS-CLÉS**

Savoie ; Maurienne ; Houiller briançonnais ; Schistes ; Grès ; Charbon ; Fracturation ; Hydrogéologie ; Circulations souterraines ; Morphogenèse ; Morphologie glaciaire ; Photo-interprétation ; Mouvements de terrain ; Stabilité de versant ; Glissement circulaire ; Glissement plan ; Coulée ; Lave boueuse ; Risques naturels ; Géotechnique.

E R R A T A

Pages	Lignes				
7	8	au lieu de	nous avons	lire	avons-nous
	11	"	vois ferrée	"	voie ferrée
	6 (bas)	"	natural	"	naturel
	2 (bas)	"	ormis	"	hormis
19	9	"	165	"	265
20	tableau 1.6	"	(mm)	"	(°C)
21	10	"	conduisent	"	se condensent
23	1 (bas)	"	étudus	"	étendus
38	3	"	à grains fins	"	à grain fin
51	1	"	résultantes aux	"	résultant des
98	3 (bas) et 8 (bas)	"	Traveraz	"	Traversaz
148	16	"	(voir	"	(voire
155	15 (bas)	"	(fig. 3.24)	"	(fig. 3.23)
195	tableau	"	C (hg/cm <sup>2</sup> )	"	C (kg/cm <sup>2</sup> )
209	figure	"		"	Fig. 4.3. - Coupe longitudinale du glissement des Arponnets.
233	Fig. A.6 et A.7	"	$\epsilon$	"	$\tau$
245	1, 8, 24	"	DESVAREUX	"	DESVARREUX
	4	"	Moutier	"	Moûtiers
246	1	"	remoulded days	"	remoulded clays
		"	Geology of recent sediments"	"	Geology of recent sediments. Central Geological Survey. Prague.
	12	"	géligracton	"	gélifraction
	2 (bas)	"	synchinal	"	synclinal
247	6	"	technique	"	tectonique
262	15	"	résultantes aux	"	résultant des