



HAL
open science

Analyse et classement des mouvements gravitaires - Feuille St Jean de Maurienne à 1/50 000°

Alain-Michel Malatrait

► **To cite this version:**

Alain-Michel Malatrait. Analyse et classement des mouvements gravitaires - Feuille St Jean de Maurienne à 1/50 000°. Géomorphologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1975. Français. NNT: . tel-00511834

HAL Id: tel-00511834

<https://theses.hal.science/tel-00511834>

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.

N° d'ordre

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ

(Troisième cycle de GÉOLOGIE APPLIQUÉE)

par

Alain-Michel MALATRAIT

ANALYSE ET CLASSEMENT DES MOUVEMENTS GRAVITAIRES

FEUILLE ST-JEAN-DE-MAURIENNE A 1/50 000

Soutenue le 27 Juin 1975, devant la Commission d'Examen :

R. BARBIER Professeur à l'USMG Président

J. LETOURNEUR Professeur à l'Ecole des Mines de St-Etienne Examineur

R. MICHEL Professeur à l'USMG Examineur

P. ANTOINE Maître-Assistant à l'USMG Examineur

J. GOGUEL Professeur à l'Ecole des Mines de Paris Invité

A V A N T - P R O P O S

Au moment où je termine ce travail de recherche, il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui m'ont permis de le réaliser.

Monsieur le Professeur R. BARBIER, qui m'a initié à la Géologie appliquée et accordé la confiance de son patronage. Je l'en remercie respectueusement.

A Monsieur P. ANTOINE qui m'a confié cette étude et conseillé dans mes recherches, j'exprime mes vifs remerciements.

Je remercie également Monsieur le Professeur J. GOGUEL et Monsieur le Professeur R. MICHEL pour avoir accepté aimablement de faire partie du jury.

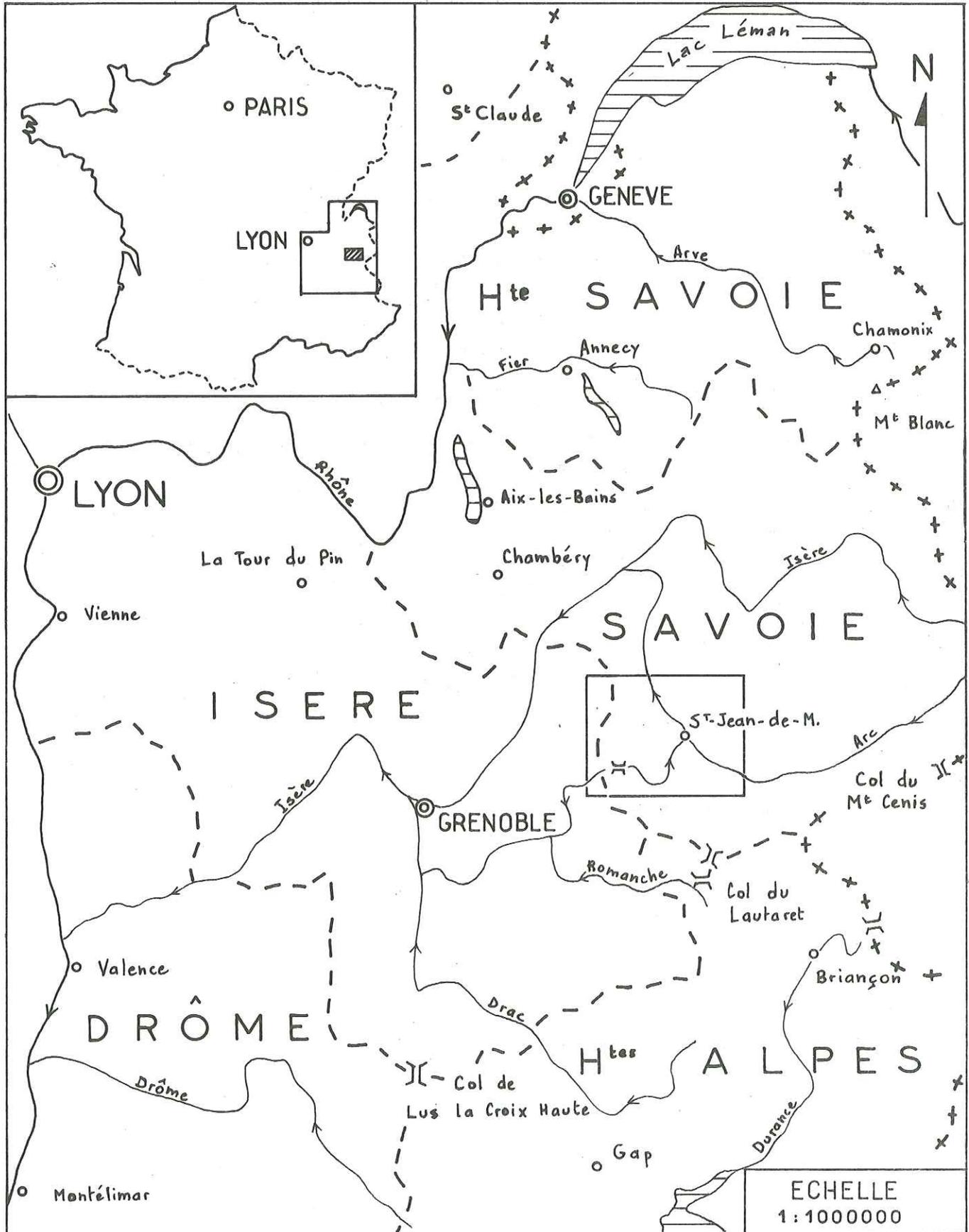
Je ne peux oublier Monsieur le Professeur J. LETOURNEUR qui m'a fait profiter de sa grande expérience lors de nombreuses discussions, pendant lesquelles j'ai apprécié ses critiques et son enthousiasme. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Enfin, ce mémoire n'aurait pu voir le jour sans l'appui du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Que les nombreuses personnes qui m'ont aidé de près ou de loin, Monsieur M. HUMBERT notamment, veuillent bien accepter mes sincères remerciements.

S O M M A I R E

- Introduction
 - Chapitre 1 : Caractéristiques géographiques et hydrologiques
 - Chapitre 2 : Données géologiques et géomorphologiques
 - Chapitre 3 : Généralités sur les mouvements de terrain
 - Chapitre 4 : Méthode de recensement et documents établis
 - Chapitre 5 : Répartition et fréquence des divers types de mouvements.
Facteurs principaux de leur apparition
 - Chapitre 6 : Analyse de divers types de mouvements circonscrits,
simples ou isolés
 - Chapitre 7 : Analyse de mouvements généralisés et/ou complexes
 - Conclusions
 - Annexe : analyse d'échantillons au laboratoire
 - Bibliographie
 - Liste des tableaux
 - Table des figures
 - Table des matières.
-

Fig.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE
DE LA FEUILLE S^t-JEAN-DE-MAURIENNE
AU 1/50000



I N T R O D U C T I O N

De nombreux chercheurs, surtout géologues et mécaniciens des sols, ont exploré le phénomène "mouvement de terrain" poussés, en particulier, par le désir d'en élucider le mécanisme. Une quantité de classifications et de modèles théoriques ont été proposés, la plupart du temps basés sur des cas isolés, apparus spontanément ou, plus souvent encore, à la suite de travaux.

Parmi ces mouvements, les plus anciens, d'aspect complexe, parfois difficiles à déceler et à localiser, n'ont pas toujours été remarqués, bien qu'ils soient largement répandus dans nos régions alpines. Nous les avons particulièrement recherchés.

Notre but était en effet d'améliorer la connaissance de l'instabilité naturelle, en inventoriant d'une manière systématique les mouvements d'une région délimitée. Ce travail fait suite à ceux qui ont été poursuivis dans notre Laboratoire (1) par J.-P. BOMBARD (1968) (synthèse des connaissances actuelles sur les mouvements de terrain), puis par P. DESVARREUX (1971) et J.-P. MOUGIN (1973) (analyses théoriques à partir d'études géologiques et mécaniques).

En montagne, d'autre part, le développement rapide d'aménagements qui se heurtent sans cesse à des difficultés inopinées relevant d'un domaine insuffisamment connu, a renforcé l'intérêt de prévoir et de localiser les zones instables. Ceci s'est même traduit, sur le plan administratif, par la décision de dresser, en temps utile, des cartes Zermos dans ces régions.

Aussi, depuis quelques années, notre Laboratoire et le B.R.G.M. (2) ont-ils consacré une part de leur activité au recensement des mouvements de terrain. Un travail de cartographie méthodique, entrepris en 1971 sur la feuille La Grave au 1/50 000, a été complété par la mise au point d'une fiche-questionnaire destinée à la description de chaque cas. Un relevé de tous les types de mouvements, actuels ou anciens, sur une coupure au 1/20 000, ainsi que la méthodologie de leur étude ont été présentés au symposium national "Sol et Sous-sol et Sécurité des constructions" (Cannes - Oct. 1973), puis au Salon de l'Aménagement de la Montagne (Grenoble - Avril 1974).

La feuille St Jean-de-Maurienne au 1/50 000, objet de la présente monographie, choisie pour la multiplicité et l'étendue des mouvements que l'on y observe, a été mise en chantier dès l'automne 1972.

Les campagnes de terrain et les interprétations photogéomorphologiques ont permis de dégager les principaux problèmes posés par la cartographie et la description de plus de 200 cas et d'autre part d'analyser et de classer les divers types rencontrés.

Ce travail comprend deux parties, les quatre premiers chapitres présentant le cadre des diverses analyses exposées dans les trois suivants. Les sujets principaux se répartissent ainsi :

- Les chapitres 1 et 2 sont réservés à la description du contexte régional (géographie, hydrologie, géologie et géomorphologie). Ils recueillent des informations générales mais aussi des données de détail, utiles pour l'analyse d'un mouvement.

(1) Laboratoire de Géologie Appliquée de l'Université de Grenoble.

(2) Bureau de Recherches Géologiques et Minières - Orléans.

- Le chapitre 3 contient un rappel sommaire sur les mouvements de terrain, dont une classification purement descriptive est proposée.

- Une méthodologie est présentée dans le chapitre 4 qui expose, notamment, la forme nouvelle donnée à la fiche analytique.

- Dans le chapitre 5, les mouvements de la région, pris dans leur ensemble et considérés avec leurs principales caractéristiques, font l'objet d'une analyse abordant leur répartition, leur fréquence et les facteurs déterminants de leur apparition.

- Les chapitres 6 et 7, enfin, sont consacrés à la description d'une série d'exemples choisis pour leur aspect singulier, voire spectaculaire, ou parce qu'ils sont représentatifs d'un groupe de mouvements de même type.

- Une annexe rassemble les résultats d'études effectuées en laboratoire afin de caractériser, sur échantillons, certaines particularités propres aux diverses formations géologiques qui sont affectées par des mouvements gravitaires.

C H A P I T R E 1

CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES
ET HYDROLOGIQUES

- I. Cadre géographique
- II. Le climat
- III. L'hydrologie

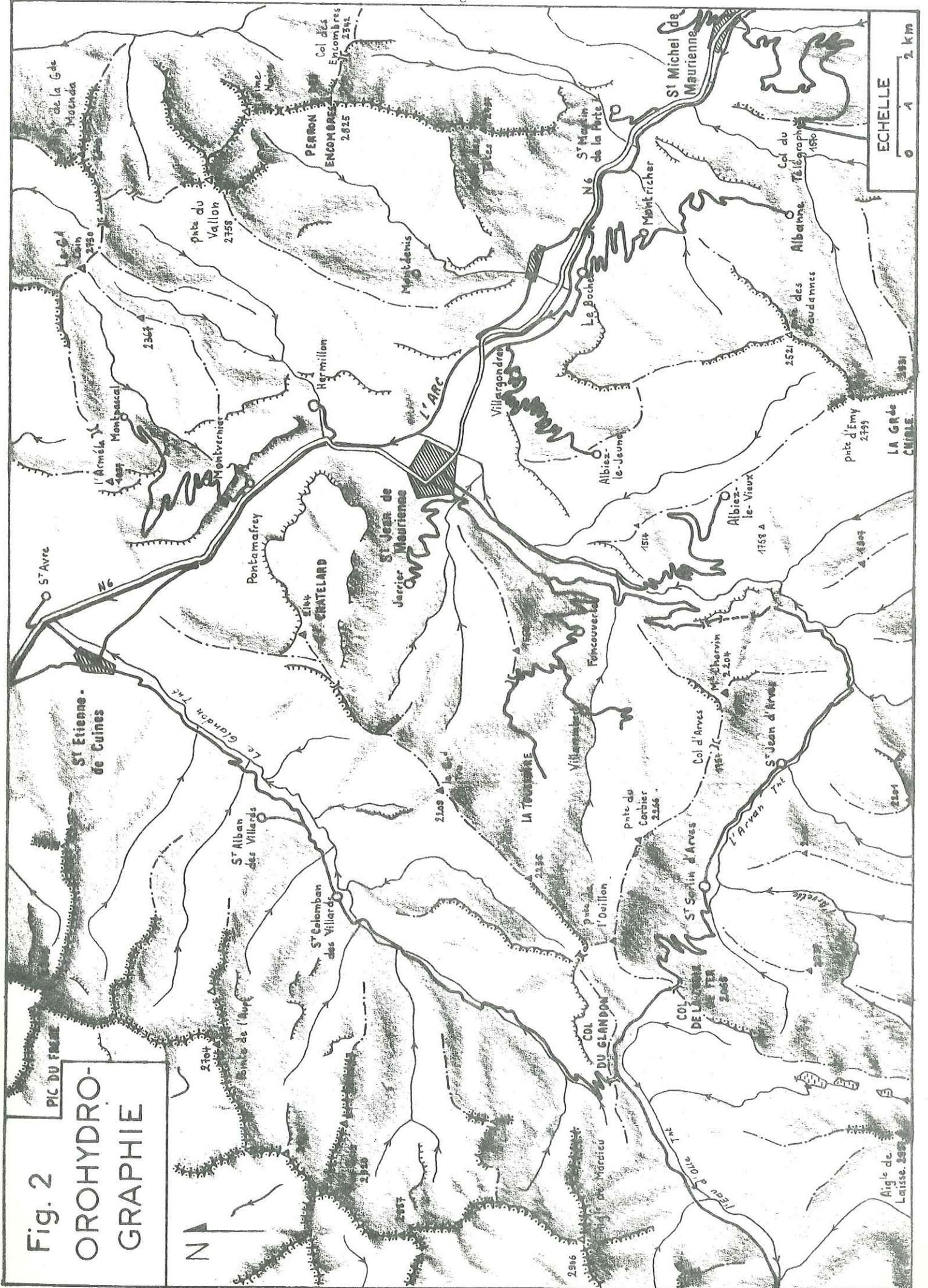


Fig. 2
**OROHYDRO-
 GRAPHIE**

ECHELLE
 0 1 2 km

N

Aigle de
 Laisse. 2097

I - CADRE GEOGRAPHIQUE

Au coeur des Alpes françaises, la feuille I.G.N. St-Jean-de-Maurienne au 1/50 000 couvre la partie sud-ouest du département de la Savoie, et déborde légèrement à l'Ouest sur l'Isère. Elle comprend essentiellement la Moyenne-Maurienne, bassin intra-montagneux drainé par l'Arc, affluent important de l'Isère, et les massifs qui l'entourent. L'étendue de la feuille est de 560 km².

A - L'OROGRAPHIE (fig. 2)

Le fond de la vallée de l'Arc couvre en superficie 5 % de la feuille, tandis que 72 % de celle-ci appartiennent à des altitudes supérieures à 1 400 m (24 % pour la tranche 1 400 - 1 800 m).

1 - Les vallées

a) La vallée de l'Arc

C'est une vallée très importante, pénétrant les Alpes jusqu'à la frontière italienne. Elle recoupe les reliefs en dessinant une suite de verrous alternant avec des ombilics. Les parties élargies correspondent à des roches plus tendres, ou au débouché de bassins versants occupés par des affluents importants, et les parties étroites à des tronçons de raccordement en même temps qu'à des roches plus dures. Son altitude varie sur cette feuille de 700 m (St-Michel-de-Maurienne) à 450 m (La Chambre).

b) Les vallées secondaires

A peu près perpendiculaires à la vallée de l'Arc, elles sont encaissées et mènent à des cols élevés : Col du Glandon (1 924 m) et Col de La Croix de Fer (2 067 m). Les principales sont, en rive gauche, celles de l'Arvan et du Glandon.

2 - Les unités orographiques

Elles sont orientées, en général, conformément à l'arc alpin.

a) La chaîne de Belledonne, à l'Ouest, forme une barrière importante, orientée NE-SW, dominant la plaine de l'Isère. Les sommets sont nombreux et déchiquetés. Parmi les principaux, on peut citer le Pic du Frêne (2 805 m) et le Puy Gris (2 908 m). Des petits glaciers de cirque, voyant peu le soleil, subsistent au-dessus de 2 400 m.

b) Le massif des Grandes Rousses, au Sud-Ouest, forme une chaîne encore plus élevée (3 440 m au Pic de l'Etendard), orientée NNE-SSW. Il est représenté ici par son extrémité nord (Aiguille de Laisse : 2 997 m), en forme d'échine s'abaissant rapidement jusqu'au Col de La Croix de Fer.

c) La bordure occidentale du massif de la Vanoise, située au Nord de l'Arc. Elle est représentée par des crêtes découpées et de nombreux sommets déchiquetés, dont les principaux sont : le Perron des Encombres (2 835 m), le Grand Coin (2 730 m), la Pointe du Vallon (2 758 m), l'Aiguille de la Grande Moenda (2 708 m) et la Croix des Têtes (2 497 m).

d) La chaîne des Aiguilles d'Arves, au Sud de l'Arc et à l'Est de la feuille I.G.N., est représentée par son extrémité nord, avec une direction nord-sud. Elle forme une crête monoclinale, élevée et aiguisée, portant ici la Pointe d'Emy (2 797 m) et la Grande Chible (2 932 m).

e) Dans la région centrale de la feuille, cernée par la vallée du Glandon et les Grandes Rousses à l'Ouest, la vallée de l'Arc au Nord et la chaîne des Aiguilles d'Arves à l'Est, des reliefs moins vigoureux apparaissent dominés par les massifs qui les entourent. Les sommets principaux n'y dépassent guère 2 200 m : Grand Châtelard (2 144 m), Grand Tru (2 209 m), Pointe du Corbier (2 265 m), Mont Charvin (2 207 m) et Pointe de l'Ouillon (2 432 m).

B - LES ACTIVITES ECONOMIQUES ET LE PEUPEMENT

Cette région très montagneuse est assez peuplée. Elle possède une activité économique non négligeable grâce au secteur industriel, bien que celui-ci connaisse une crise depuis quelques décennies.

1 - La vallée de l'Arc

Elle constitue une voie de communication naturelle permettant le passage en Italie (Turin) par le Col du Mont Cenis (RN 6) ou le tunnel du Fréjus (voie ferrée) bientôt doublé par un tunnel routier.

C'est surtout la mise en valeur de la houille blanche, dès la fin du XIXe siècle, qui provoqua l'essor économique de la Maurienne. De nombreuses industries se sont installées dans la vallée : chimie, aluminium, aciers électriques... Aussi, le rôle économique de la vallée dépasse-t-il largement le cadre régional. Citons le cas de Péchiney qui élabore ici 1/3 de la production nationale en aluminium. L'industrialisation s'est accompagnée d'un essor démographique considérable, au détriment des communes rurales. St-Jean-de-Maurienne (6 000 hab.) et à un degré moindre, St-Michel-de-Maurienne (2 500 hab.) constituent des foyers d'immigration importants.

Dans la vallée, la densité de la population est de 200 à 400 habitants par km².

2 - Les vallées secondaires

Elles sont moins parcourues, mais permettent une liaison saisonnière entre l'Arc et la Romanche. Jalonnées de hameaux, vivant essentiellement d'agriculture et d'élevage, la densité y est de 20 à 50 habitants par km².

3 - La montagne

Elle est occupée par de vieux villages installés en général sur des replats bien exposés, tels Jarrier, La Rochette, Albiez-le-Jeune, Montpascal, Montvernier, etc.. Ces villages, dont l'activité est étroitement liée à l'agriculture, se dépeuplent lentement (exemple : Montpascal où, pour la première fois en 1973-74, il n'est resté personne en hiver).

L'habitat montagnard ne dépasse pas 1 600 m. Au-dessus, on trouve des chalets d'alpage habités en été, jusqu'à 2 000 m.

Le fait le plus marquant est l'aménagement assez récent de certaines zones favorables à la pratique des sports d'hiver et au développement du tourisme en été. Ainsi, certaines communes ont-elles pu bénéficier d'un regain d'activité telles Albiez-le-Vieux, St-Sorlin-d'Arves et St-Jean-d'Arves. Les handicaps du passé (neige et altitude), sont devenus les atouts du présent.

Des stations de sports d'hiver ont été créées de toutes pièces dans des zones jusque là désertes, posant ainsi des problèmes d'équipement : sites constructibles, routes d'accès, adductions d'eau, etc.. Ce sont les stations de la Toussuire (1 700 - 2 240 m) étalée sur un plateau glaciaire, et du Corbier (1 600 - 2 270 m), créée il y a 6 ans. Tous les domaines skiables se trouvent sur des reliefs émousés correspondant à des formations schisteuses.

Celles-ci opposent aux projets de génie civil des problèmes de stabilité qui ne semblent pas être toujours abordés à temps. La route de Fontcouverte au Corbier en est un exemple caractéristique : sur 8 km elle traverse 6 glissements actifs ! Depuis deux ans le trafic est interrompu et détourné par la Toussuire, sur une route tracée rapidement dans des formations glaciaires gorgées d'eau au printemps.

Par ailleurs, on ne considère pas toujours que l'implantation d'immeubles importants (tours de 18 étages au Corbier) nécessite des précautions sérieuses. On passe outre à celles-ci également, lors de l'installation de remontées mécaniques : des chemins sont tracés pour transporter le matériel, sur des pentes souvent raides, ceci sans se soucier de la stabilité du versant. Il s'ensuit des glissements peu étendus mais nombreux, donnant à la montagne, jadis couverte d'alpages réguliers, un aspect de chantier permanent et favorisant par là la reprise rapide de l'érosion sur les pentes.

Sur le plan des équipements importants, mentionnons le projet de construction d'un barrage à Grand'Maison, dans la vallée supérieure de l'Eau d'Olle.

C - LA VEGETATION

L'influence de la végétation sur le terrain est connue et décrite depuis longtemps.

Dans un autre ordre d'idées, certaines espèces fournissent des renseignements intéressants, telles que les plantes hydrophiles révélant, par exemple, la présence d'une nappe dont le toit est proche de la surface topographique, ou encore les associations végétales propres aux terrains argileux, etc..

On peut sommairement schématiser la répartition de la végétation naturelle suivant l'altitude. La vallée de l'Arc est occupée par le chêne pubescent et des phréatophytes tels que le saule, le frêne et l'aulne blanc. Ses flancs, jusqu'à l'altitude de 800 m environ, sont favorables aux chênes pubescent et sessile. Plus haut, les étages montagnard et subalpin comportent des feuillus (hêtre) et des résineux (épicéa, sapin et pin) alternant avec des prairies jusqu'à 1 800 m. Au-dessus, c'est le domaine des pâturages avec, par endroits, des landes à genévriers nains ou à rhododendrons, tandis que l'aulne vert peut vivre jusqu'à 2 200 m sur des versants nord humides. L'étage alpin donne des "pelouses" au-delà de 2 300 m. L'altitude maximale où l'on rencontre les derniers arbres présente une dissymétrie marquée suivant l'exposition des versants : ubac et adret.

Nous mentionnerons ici le rôle, néfaste pour la végétation, des déchets rejetés dans l'atmosphère par les usines. Des études ont montré que toutes les espèces d'arbres étaient atteintes, et que l'influence était ressentie par certaines plantes jusqu'à 2 000 m d'altitude. Entre autres conséquences, ceci se traduit par un éclaircissement de la forêt. On risque de voir des versants perdre leur couvert végétal, et devenir alors la proie d'une érosion dévorante.

II - LE CLIMAT

Il est de type continental humide, avec des variations importantes dans le détail.

A - LES VENTS

Il n'y a pas de station anémométrique en Maurienne. La station la plus proche est celle de Challes-les-Eaux, près de Chambéry. On ne peut guère s'y référer car les vents locaux cachent les tendances plus générales, les directions originelles étant déviées et canalisées par les reliefs.

Les vents du Nord sont froids (bise), et d'origine continentale. Les principales précipitations sont apportées par les vents d'Ouest, mais aussi quelquefois par la Lombarde (Sud-Est). Signalons le vent chaud et sec du Midi soufflant pendant la saison froide (föhn).

Enfin, des brises de montagne, montante ou descendante, se font sentir dans les vallées.

B - LES TEMPERATURES

Elles varient en fonction de l'altitude et de l'exposition (adret et ubac). Dans la vallée de l'Arc, la moyenne annuelle varie de 8 à 10°C (9,2°C à St-Marie-de-Cuines). Elle est encore de 6 à 7°C au-dessus de 1 400 m sur les versants bien ensoleillés : 6,7°C à Montpascal (1 450 m), 6,9°C à Thyl (1 380 m) et 6,1°C à Valmeinier (1 470 m), (ces deux dernières localités étant situées hors de la feuille St-Jean-de-Maurienne, mais très proches de St-Michel-de-Maurienne).

Selon J.P. VACHER (1971), l'amplitude moyenne de variation de température (θ maxi - θ mini) est la plus faible en décembre (7 à 8°C) et la plus forte en juillet (11 à 13°C), mois le plus chaud. Ces amplitudes sont un peu plus fortes en altitude à la faveur d'un meilleur ensoleillement et d'un air plus sec. Ceci est sensible surtout pendant les mois d'hiver.

La répartition du froid au cours de l'année se fait de façon symétrique autour du pôle de janvier, mois le plus froid (tabl. 1).

Tableau 1

Températures moyennes mensuelles et annuelles (°C) pour 4 stations
(1946 à 1972)

Station	Alt.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle	Amplitude annuelle
Le Thyl	1380	- 1,4	- 0,9	3,0	6,0	10,2	13,0	15,6	14,8	12,3	7,5	3,1	0,1	6,9	17,0
Le Glandon*	540	0,1	1,6	6,6	10,4	14,5	17,6	20,0	18,9	15,9	10,3	4,5	0,8	10,1	19,9
Montpascal	1450	- 1,8	- 1,4	2,7	5,8	9,9	12,8	15,5	14,6	12,1	7,3	2,8	- 0,2	6,7	17,3
Le Bouchet	1150	- 1,4	0,3	4,9	7,9	12,0	14,7	16,7	15,9	13,1	8,3	3,3	0,2	7,9	18,1

* hameau de Ste-Marie-de-Cuines

Le froid conditionne la durée de la rétention nivale, la durée et l'intensité de l'évapotranspiration, l'existence d'une couverture végétale. Il conditionne aussi la gélifraction et la présence des glaciers, deux facteurs dont le rôle est prépondérant dans la morphologie montagnarde.

Il est donc intéressant de considérer :

- le nombre de jours pendant lesquels le terrain reste gelé ;
- le nombre de jours pendant lesquels la température de l'air reste négative ;
- le nombre d'alternances gel-dégel.

Nous verrons plus loin l'importance de chacun de ces facteurs.

La fréquence du cycle gel-dégel varie considérablement suivant l'exposition. En moyenne il se répète au minimum une centaine de fois par an au-dessus de 1 200 m. Par comparaison, on peut citer le cas extrême des Andes équatoriales, où l'on observe plus de 300 cycles par an (M. DERRUAU, 1967).

La pénétration du gel dans le terrain n'est pas très importante durant l'hiver. Elle ne dépasse guère un mètre au-dessous de 2 300 m sur les versants bien exposés. Sur les versants nord elle peut dépasser 2 m en-dessous de 2 000 m.

Notons que la végétation atténue considérablement les effets du gel, et qu'un sol gelé a une perméabilité très faible.

Afin de montrer les variations thermiques dans la région, nous avons représenté le gradient vertical de la température moyenne mensuelle, pour 16 stations (fig. 4 et 5), et sa variation (fig. 3), pour la période 1963-1967.

C - LES PRECIPITATIONS

1 - Les précipitations totales

Elles varient en fonction de l'altitude et de l'exposition du versant (contre ou sous le vent).

Les premiers massifs à l'Ouest, très exposés aux vents océaniques, sont les plus arrosés (plus de 2 m par an sur Belledonne). Les précipitations diminuent progressivement vers l'Est. Elles ne dépassent guère 1000 mm par an en-dessous de 1 400 m. La vallée de l'Arc ne reçoit que 600 à 800 mm par an (fig. 6).

Tableau 2

Précipitations annuelles par station (mm)

Stations	Alt.	Précip. moy. 1936-65	Précip. moy. 1956-65	Précip. moy. 1963-67	Situation
Jarrier	1080	872	904	888	Confluent Arvan-Arc
Montgellafrey	1080	1096	1078	1158	Vallée du Bugeon
Montpascal	1450	1004	1029	1074	B.V. de la Ravoire
Orelle	830		741	727	Vallée de l'Arc
St-Alban-des-Villards ..	1100	1184	1145	1075	Vallée du Glandon
Le Bouchet	1150	1110	1121	1124	Vallée du Glandon
Ste-Marie-de-Cuines	545	963	932	930	Confluent Glandon-Arc
Entraigues	1285	918	958	887	Vallée de l'Arvan
St-Félix-Montricher	620			715	Vallée de l'Arc
St-Martin-de-la-Porte ..	820	752	723	686	Vallée de l'Arc
St-Sorlin-d'Arves	1550			1074	Vallée supérieure de l'Arvan
Le Thyl	1380	943	899	863	Vallée de l'Arc
Valmeinier	1470	850	849	781	Vallée de la Nouvache

Fig. 3

VARIATION DU GRADIENT VERTICAL DE LA TEMPERATURE (1963-1967)

BASSIN DE L'ISERE

degré / mètre

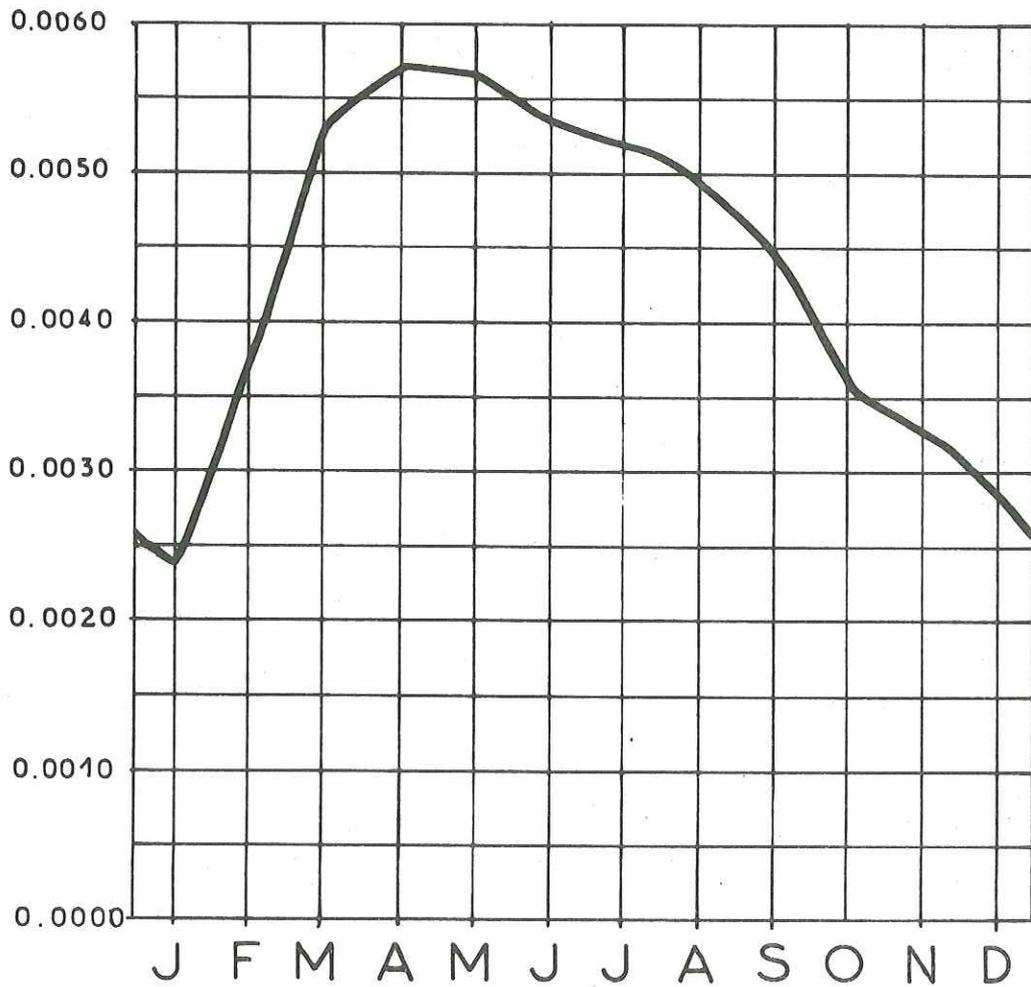


Tableau 3

Précipitations moyennes mensuelles pour 5 stations
entre 1936 et 1965 (mm)

Stations	Alt.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Montpascal	1450	102*	95*	61°	72°	76	90	76	88	80	69°	100*	96*	1021
Jarrier	1080	92*	87*	51°	54°	63	76	65	73	73	64	84*	86*	872
St-Martin-la-Porte	790	75*	68	44°	44°	51°	68	55	65	68	61	74*	75*	752
St-Alban-des-Villards	1100	131*	115*	77°	73°	78°	93	83	99	98	87	123*	122*	1184
Le Thyl	1380	97*	93*	60°	63°	68	75	59	72	77	81	93*	99*	943

maximums : *

minimums : °

Tableau 4

Précipitations moyennes mensuelles pour 3 stations
entre 1963 et 1972 (mm)

Stations	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
Montpascal	92	80	101*	96	87	86	87	91	60°	50°	112*	114*	1074
Jarrier	52°	47°	103*	58	65	68	84	94	58	56°	112*	94	888

maximums : *

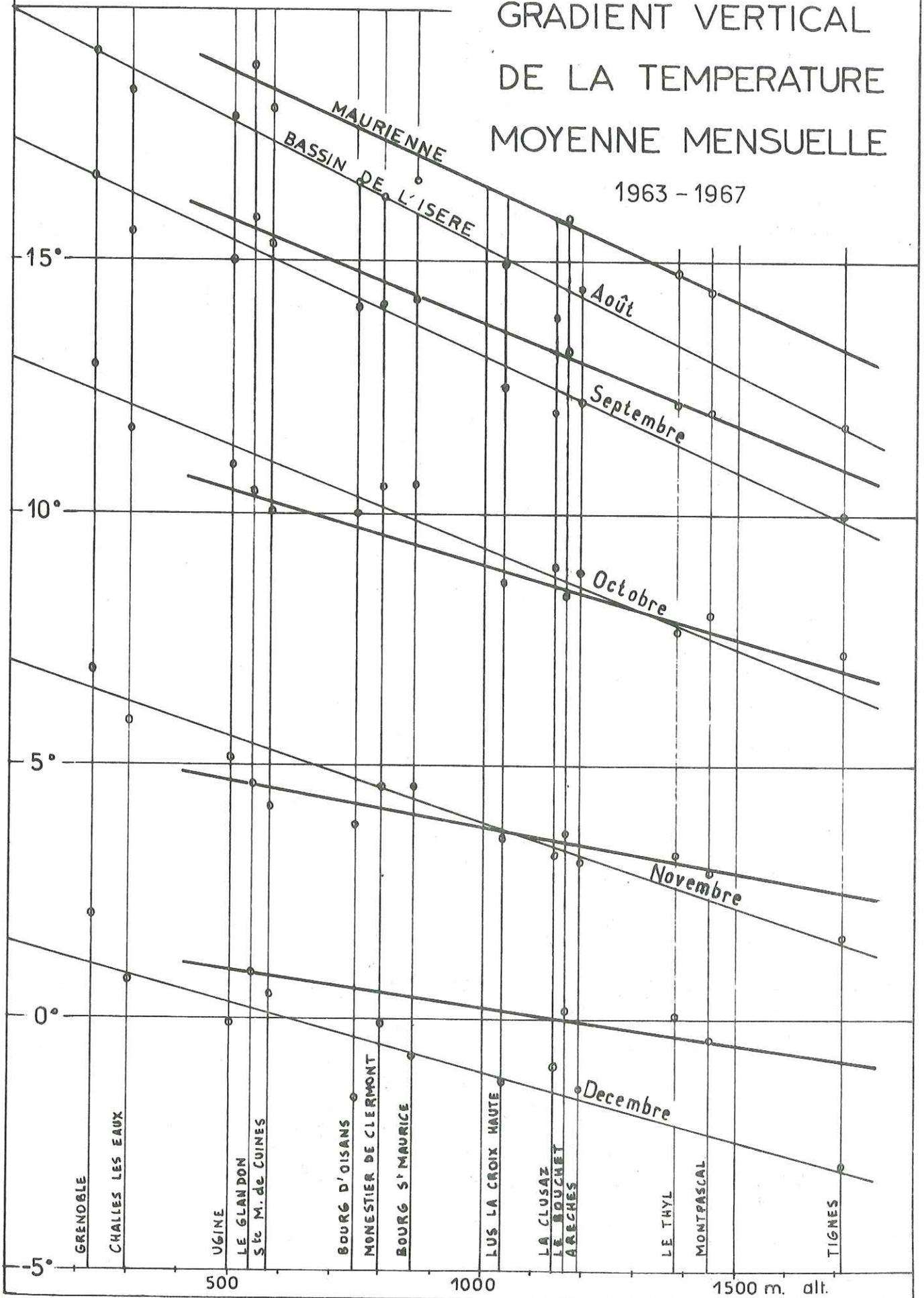
minimums : °

Les 10 dernières années (1963 à 1972) montrent des précipitations abondantes au début de l'hiver (novembre, décembre) et du printemps (mars, avril), et des précipitations faibles en automne (septembre, octobre) et au coeur de l'hiver (janvier, février). La déficience des précipitations hivernales se traduit en altitude par la faible épaisseur de la couverture nivale, et de ce fait par une protection moins efficace du terrain contre le gel.

Fig.4

GRADIENT VERTICAL DE LA TEMPERATURE MOYENNE MENSUELLE

1963 - 1967



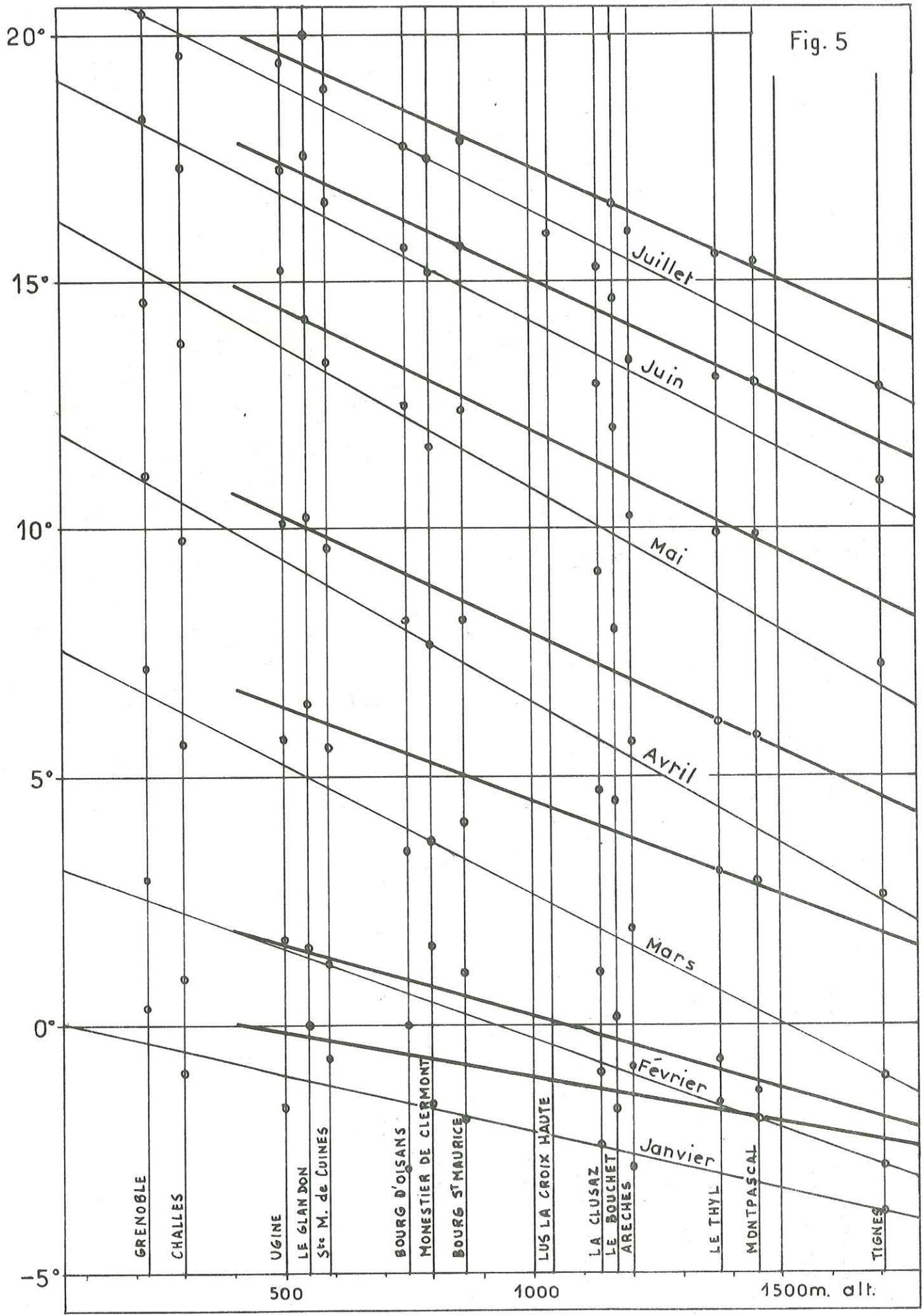
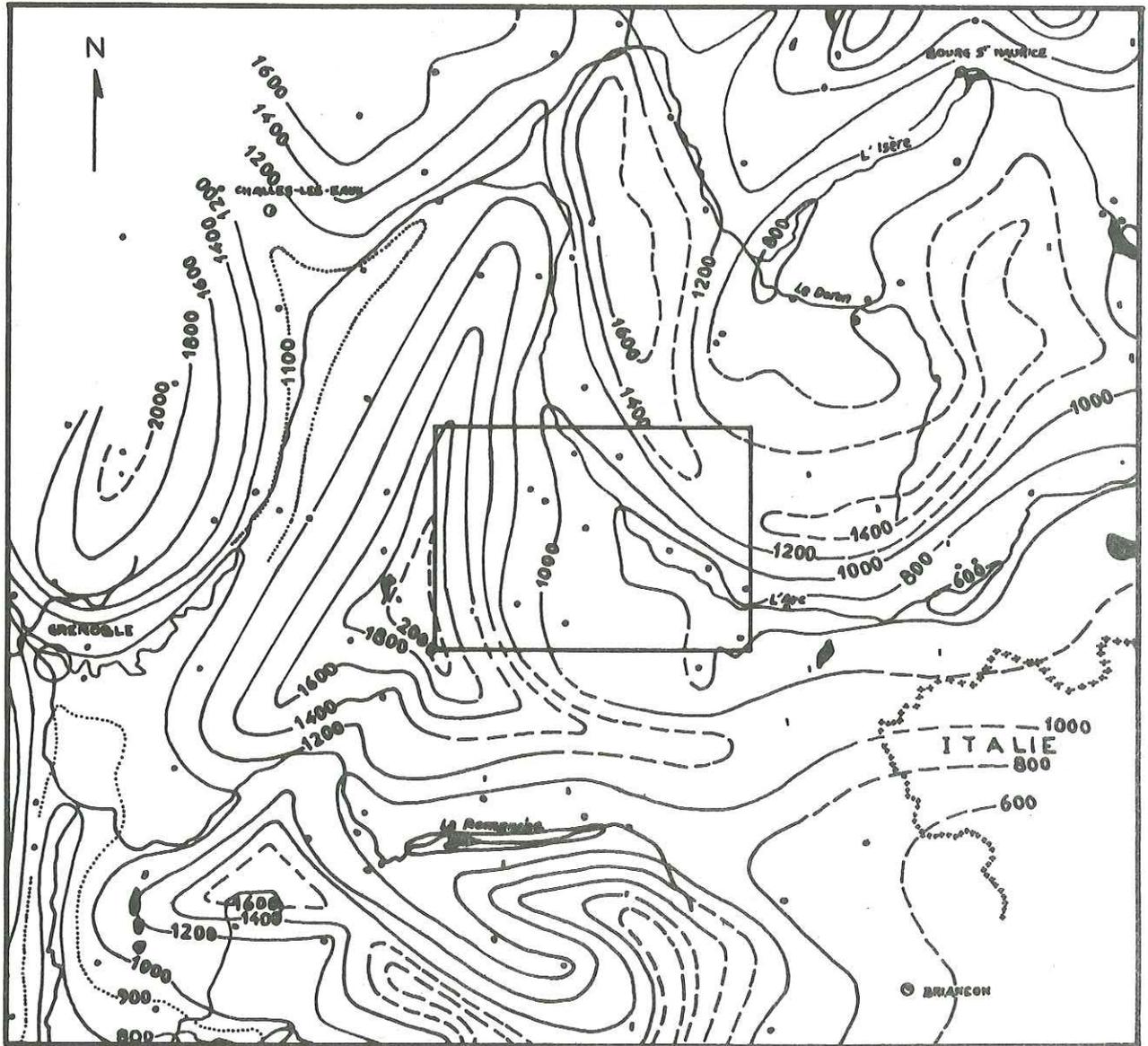


Fig.6

CARTE D'ISOHYETES (1963 - 1967)



Etablie par J-P Vacher

Fig. 7 PROFIL TOPOGRAPHIQUE ET COUPE DANS LES

(C)

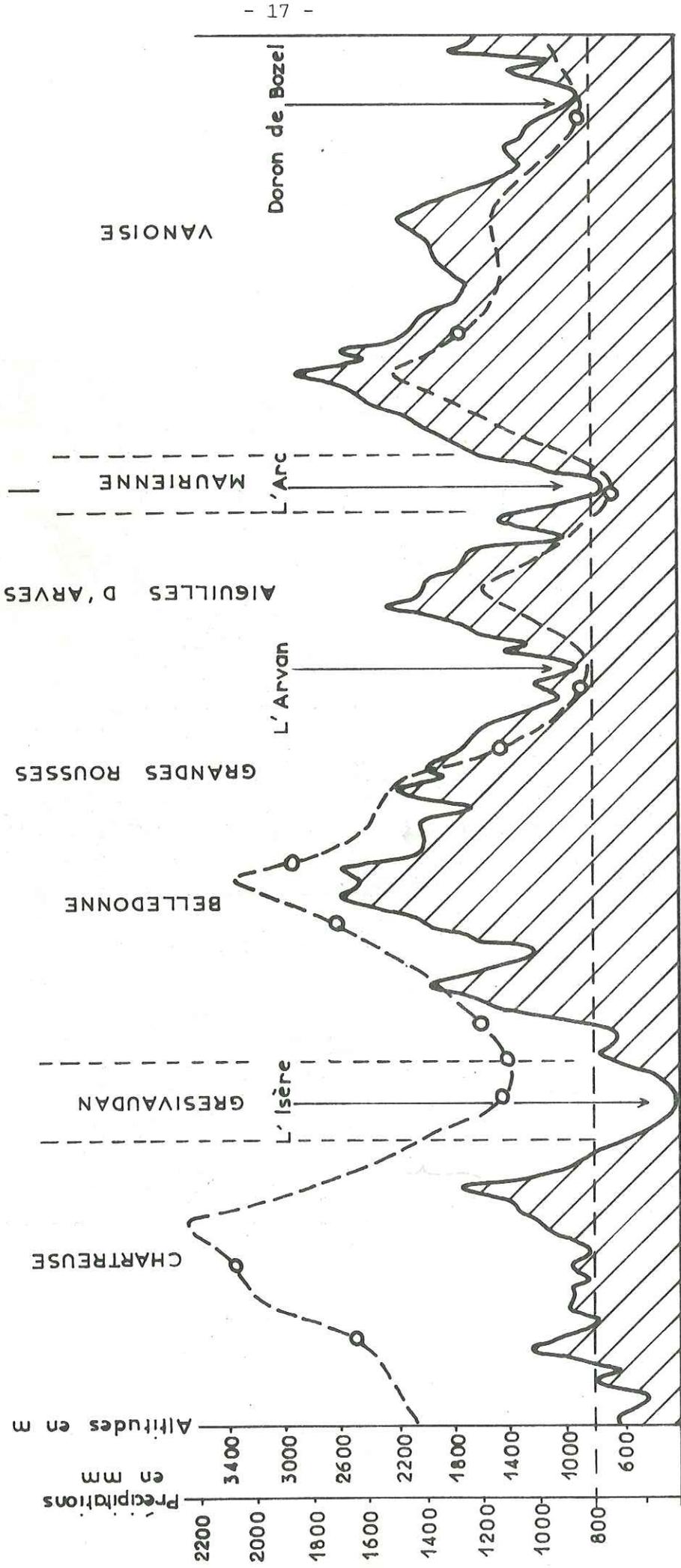
N↗NE

(B)

E↗SE S↗SW

(A)

W↙NW

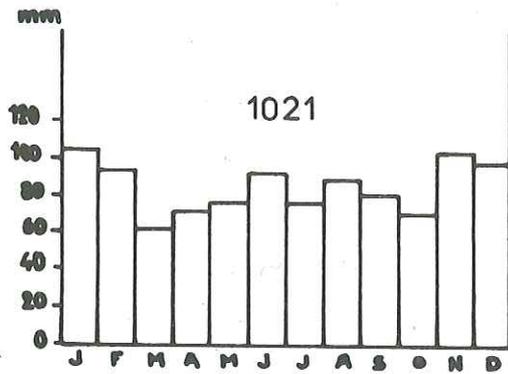


Profil topographique

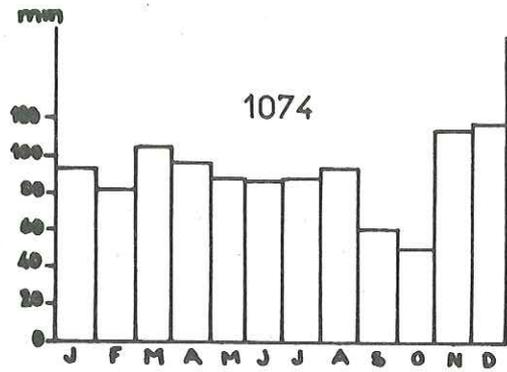


o STATION

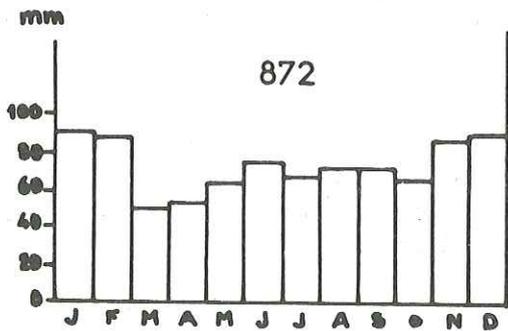
Fig. 8 HISTOGRAMMES DE REPARTITION DES PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES



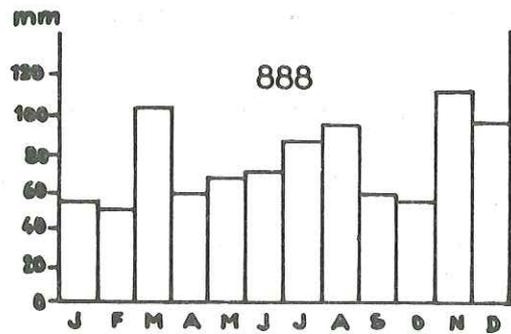
Montpascal (36-65)



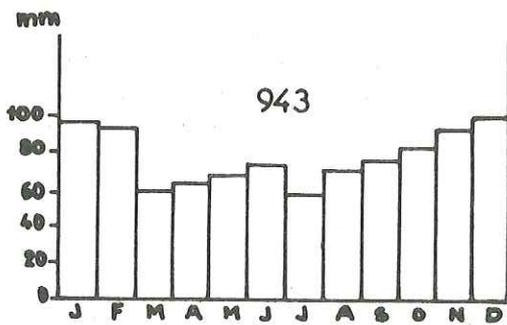
Montpascal (63-72)



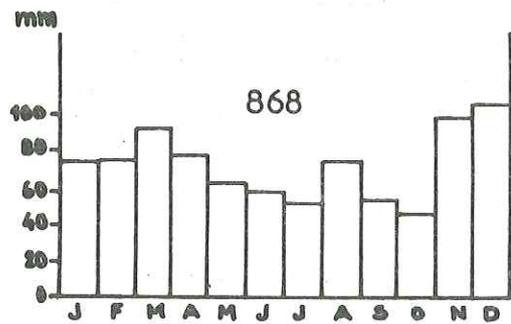
Jarrier (36-65)



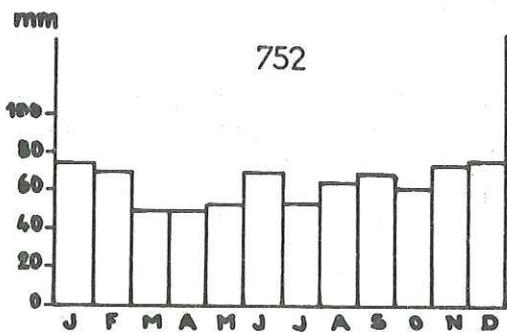
Jarrier (63-72)



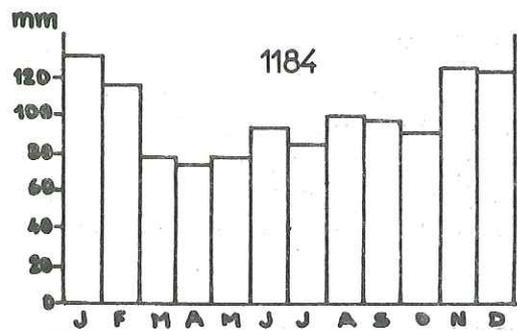
Le Thyl (36-65)



Le Thyl (63-72)



S^t Martin-la-Porte (36-65)



S^t Alban-des-Villards (36-65)

2 - La neige

La répartition de l'enneigement est comparable à celle des précipitations. Les variations sont également très sensibles à l'exposition : adret et ubac.

En général, le manteau neigeux persiste au-dessus de 1 300 m depuis novembre jusqu'en avril, février étant le mois le plus enneigé. On peut considérer :

- le nombre de jours pendant lesquels le sol est couvert de neige ;
- le nombre de jours où les précipitations se font sous forme de neige et de grêle ou sous forme de pluie ;
- le coefficient de niviosité qui est le rapport du nombre de jours de chute de neige au nombre total de jours de précipitations ;
- l'épaisseur du manteau neigeux. Ce dernier facteur influe sur la température du sol, la neige y amortissant les variations de la température extérieure.

Les versants bien ensoleillés sont les plus touchés par les variations thermiques, faute de conserver une protection nivale régulière durant toute la saison froide.

3 - Le brouillard et la brume

Ils se développent avec une grande fréquence pendant la saison froide (forte nébulosité). Ils stagnent dans les vallées, provoquant une inversion des températures, car les zones élevées restent ensoleillées.

Dans la vallée de l'Arc, le brouillard est présent de 50 à 80 jours par an. Il est rare en été.

4 - Les apports occultes

Ils sont représentés par la rosée et le givre. Si leur importance est négligeable quant au bilan hydrologique (1), nous les mentionnerons pourtant car leur influence dans l'humidification du sol est sensible au niveau des alpages.

III - L'HYDROLOGIE

Le réseau hydrographique, assez dense, est en partie orienté par la configuration tectonique de la région dont les lignes directrices sont NNE-SSW. Il y a cependant des exceptions notables : l'Arvan entre St-Jean-d'Arves et l'Arc lui-même.

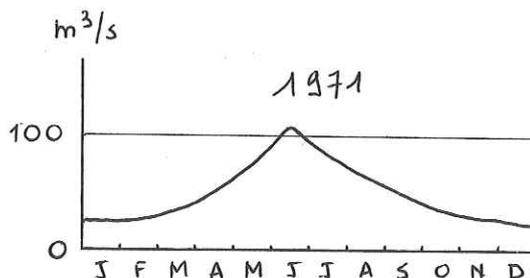
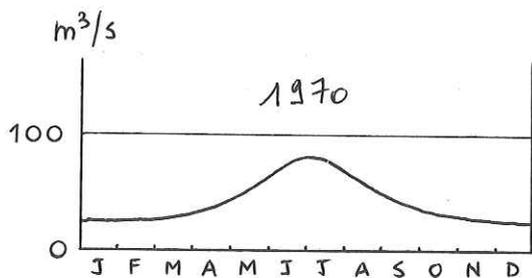
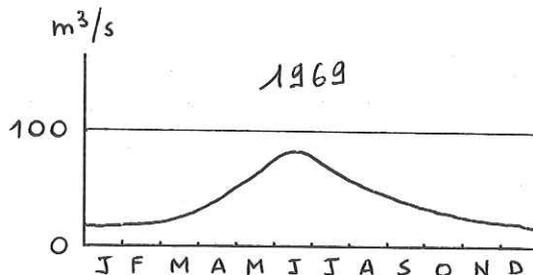
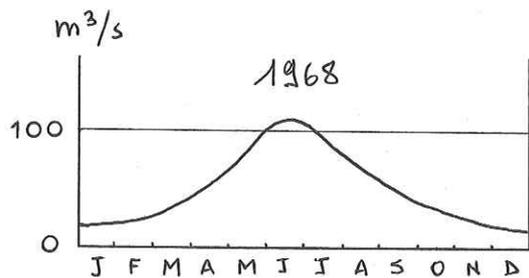
ST Sorlin et

A - L'ARC

Drain de la Maurienne, l'Arc prend sa source près du Col de l'Iseran, au pied des glaciers, et se jette dans l'Isère après 120 km de cours. Au niveau de notre région, il coule vers le Nord-Ouest, à travers des gorges (Pas du Roc, Pontamafrey) alternant avec des bassins alluvionnés. Son régime est torrentiel, avec un étiage d'hiver et des hautes eaux d'été (fig. 9).

(1) Compensation par la sublimation de la neige.

Fig. 9 - Débits moyens mensuels en m³/s de l'Arc au Pont de La Madeleine (476 m alt.)



La pente du lit varie de 10 à 15 % entre St-Michel-de-Maurienne et La Chambre.

Ses principaux affluents sont en rive gauche : torrents de la Valloirette, de l'Arvan et du Glandon.

B - DEBITS DE PETITS TORRENTS

Nous disposons de quelques données ponctuelles résultant de mesures de débits effectuées sur 4 petits bassins versants (9 à 15 km²) situés sur le versant est du massif de Belledonne (1).

Les valeurs annuelles des débits moyens mensuels sont données dans le tableau ci-après (tabl. 5) sous forme de débits moyens (m³) et de modules (l/s.km²).

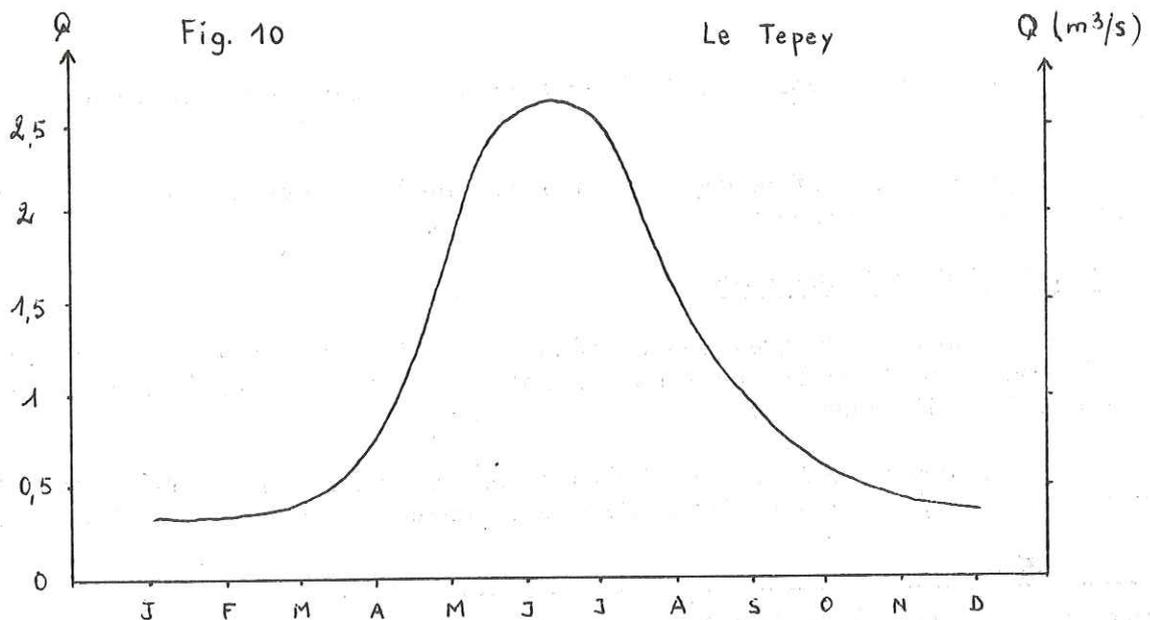
(1) E.D.F. R.E.H. Alpes Nord-Chambéry.

Tableau 5

Nom de la station	Altit. station	Surface du B.V. en km ²	Altit. du point le plus élevé	1970 (année pluvieuse)		1971 (année sèche)		Moyenne de 1966 à 1972	
				m ³ /s	l/s.km ²	m ³ /s	l/s.km ²	m ³ /s	l/s.km ²
Le Tepey	1200	14,27	2908	1,21	84,79	0,89	62,37	1,03	72,18
Comberousse	1155	11,64	2908	1,02	87,63	0,62	53,26	0,85	73,02
Le Merlet aval	1055	8,77	2727	0,73	83,05	0,37	42,09	0,55	62,57
La Reisse	700	9,41	2805	0,83	88,20	0,36	38,25	0,57	60,57

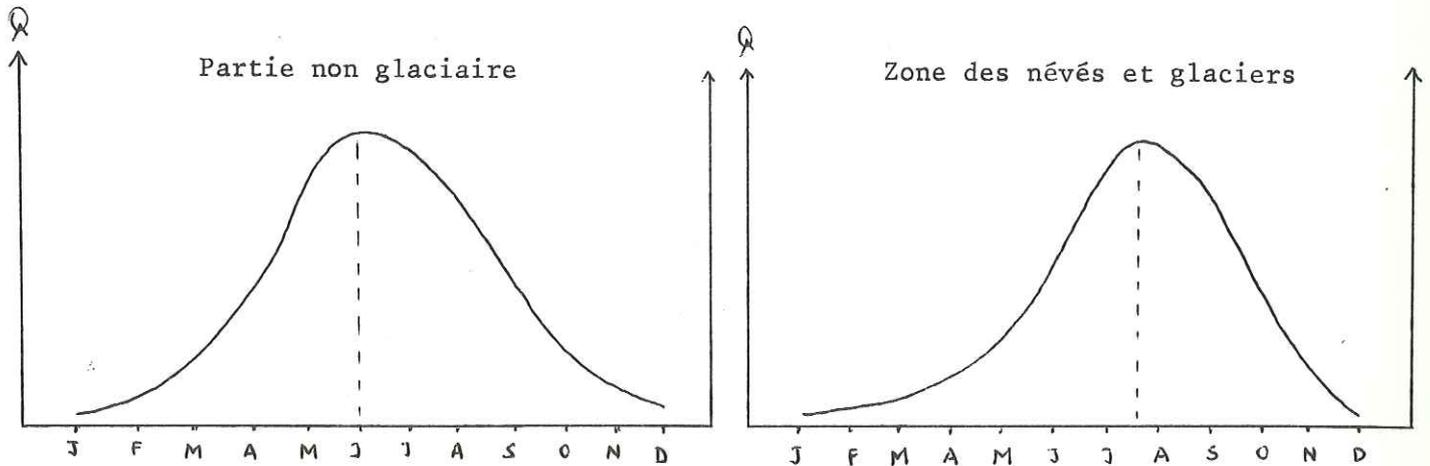
Les modules sont forts : ils correspondent à des précipitations abondantes, mais aussi à la régression des surfaces englacées. D'autre part, ils sont très fluctuants, suivant de près, en particulier, les précipitations.

La répartition annuelle des débits moyens mensuels a été établie pour le Tepey sur 6 ans (fig. 10).



On peut comparer cette courbe à celles des torrents alpins en général (d'après P. MOUGIN : "Les Torrents de Savoie" ; fig. 11).

Fig. 11



C - L'EVAPOTRANSPIRATION

Elle varie très sensiblement avec l'altitude (tabl. 6).

Tableau 6

Stations	Altitude	Hauteur d'eau en mm/an
St-Marie-de-Cuines	520 m	491
Le Thy1	1380 m	430
Valmeinier	1470 m	404

A 2 000 m, elle est environ de 350 mm/an.

Notons que la sublimation de la neige n'est pas prise en compte.

SITUATION GEOLOGIQUE GENERALE

CHAPITRE 2

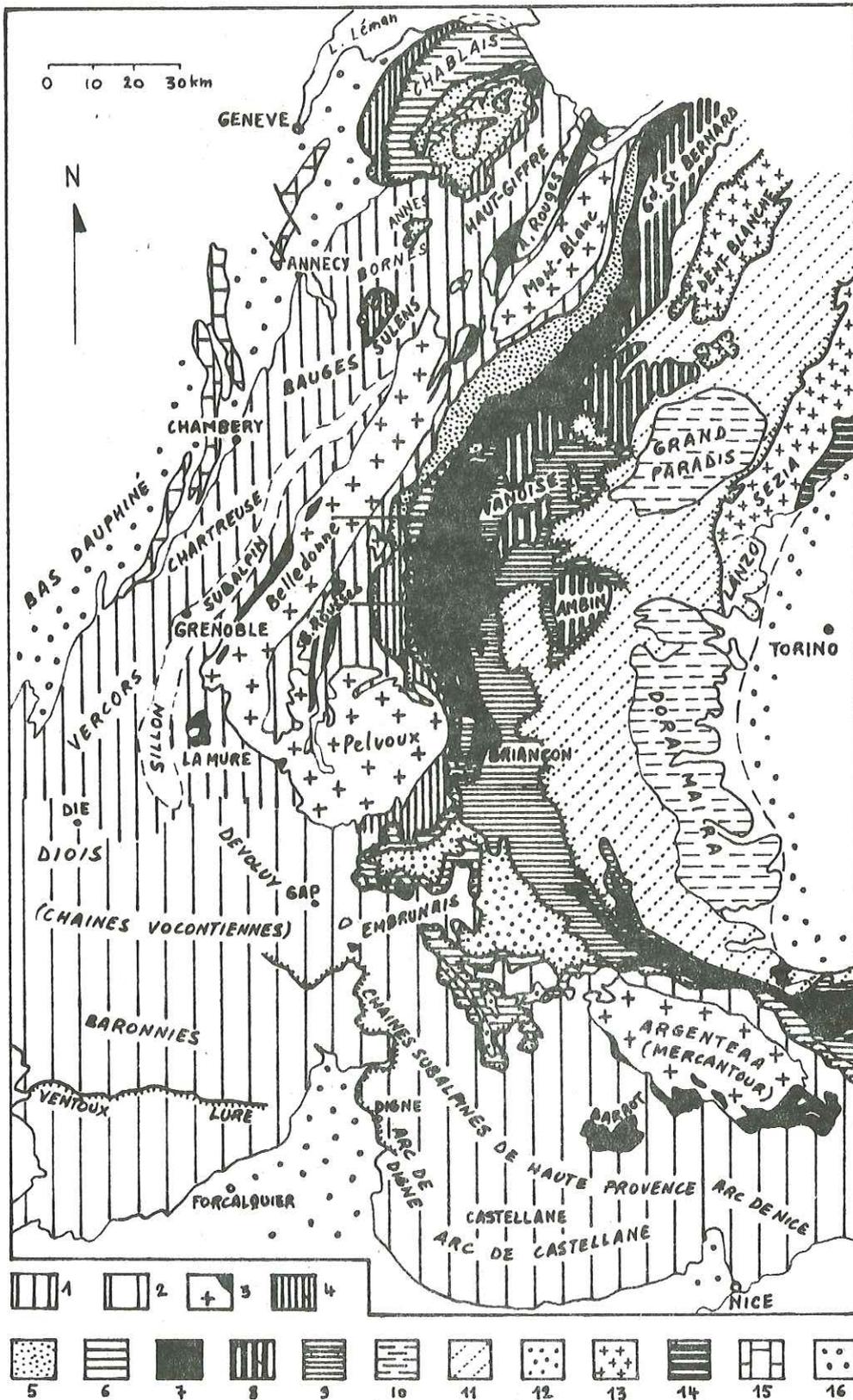
DONNEES GEOLOGIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES

I. La géologie

II. Les caractéristiques géomorphologiques

Fig. 12

SITUATION GEOLOGIQUE GENERALE



SCHEMA STRUCTURAL DES ALPES FRANCO-ITALIENNES

1. Chaînes subalpines septentrionales. - 2. Chaînes subalpines meridionales.
3. Massifs cristallins externes et bassins permo-houillers. - 4. Zone ultra-dauphinoise. - 5. Zone Valaisane. - 6. Zone subbriançonnaise. - 7. Zone houillère briançonnaise. - 8. Zone Vanoise-Mont Pourri (Permo-Houiller briançonnais métamorphique). - 9. Mésozoïque briançonnais. - 10. Massifs cristallins internes piémontais. - 11. Zone des Schistes lustrés piémontais.
12. Nappes du Flysch à Helminthoides et Flysch de la Simme sl. - 13. Zone Sesia. - 14. Zone d'Ivrée. - 15. Jura - 16. Bassins molassiques péri-alpins.

Fig. 13 SITUATION TECTONIQUE

I_a & I_b ZONE DAUPHINOISE AUTOCHTONE
(Cristallin et sédimentaire)

II ZONE ULTRADAUPHINOISE PARAUTOCHTONE
(Ecaille des Aiguilles d'Arves)

ZONE SUBBRIANÇONNAISE

NAPPE DES BRECHES DE TARENTOISE

NAPPE DU PAS DU ROC

III_a Digitation du Niélard

IV_a Ecailles Externes

III_b Digitation de Moutiers

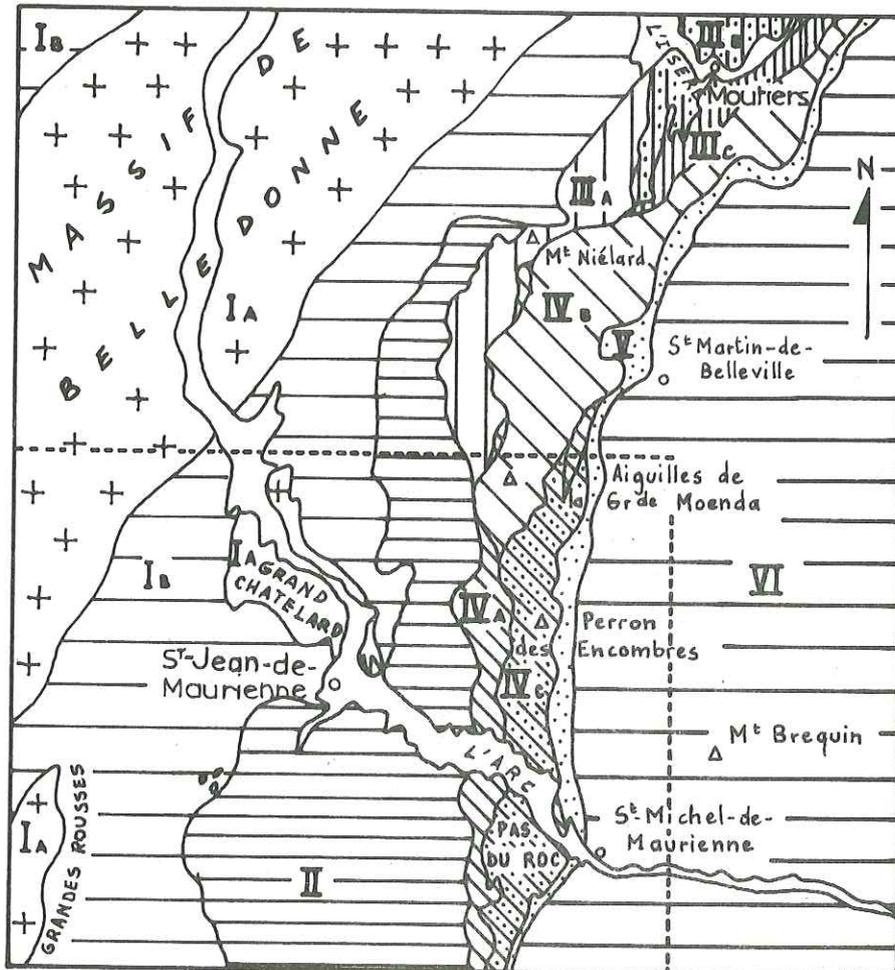
IV_b Digitation de la Grande Moenda

III_c Faisceau de Salins

IV_c Digitation du Perron des Encombres

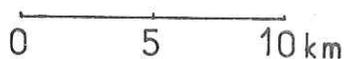
V ZONE DES GYPSES

VI ZONE DU BRIANÇONNAIS

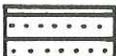


D'après R. Barbier (1948)

ECHELLE



LEGENDE DE LA Fig. 14

		Cristallin	
Z. dauphinoise		Lias inférieur calcaire et Rhétien	} 
		Lias supérieur schisteux	
		Trias indifférencié	
Z. ultradauphinoise		Flysch nummulitique des Aig. ^{lles} d'Arves	
		Lias, Trias et Permien	
		Gypses triasiques	
		Lias calcaire	
		Lias schisteux	
Z. subbriançonnaise		Ecailles externes	} NAPPE DU PAS DU ROC
		Digitation du Perron des Encombres	
		Digitation de la Grande Moenda	
		Digitation du Niélard	
Z. des Gypses		Trias et blocs-klippes	
Z. du Briançonnais		Permien et Houiller	

I - LA GEOLOGIE

Nous ne saurions trop répéter qu'une bonne connaissance de la géologie facilite beaucoup la compréhension des phénomènes mécaniques qui affectent les versants montagneux. Les données lithologiques, structurales, hydrogéologiques, etc., conditionnent en effet les problèmes géotechniques que nous allons évoquer.

Nous regrettons donc de ne pouvoir, dans le cadre de ce mémoire, donner qu'un aperçu des nombreux détails qui constituent autant de données servant les diverses interprétations.

A - GEOLOGIE DU SUBSTRATUM

Les données géologiques générales ont été puisées essentiellement dans le mémoire de R. BARBIER (1948). La carte géologique de St-Jean-de-Maurienne au 1/50 000 est en cours d'édition. Sa situation dans les Alpes françaises et un schéma structural sont présentés sur les figures 12 et 13.

1 - Grands traits structuraux

Lorsqu'on aborde le domaine de la feuille St-Jean-de-Maurienne, après avoir franchi d'Ouest en Est les chaînes subalpines et le sillon subalpin, on rencontre successivement une série d'unités structurales, allongées dans le sens de l'arc alpin et fortement individualisées par leur morphologie (fig. 14 et 15).

a) Les massifs cristallins externes (Zone dauphinoise)

Ils sont formés de roches cristallines et cristallophylliennes très résistantes à l'érosion. Ce sont les chaînes de Belledonne et des Grandes Rousses, hérissées de pics élevés, et le petit massif du Rocheray, sorte de coupole surbaissée, traversée par l'Arc à l'aval de St-Jean-de-Maurienne.

b) La couverture des massifs cristallins externes (Zone dauphinoise)

Elle est représentée principalement par des terrains marno-schisteux, appartenant surtout au Lias, en dépression par rapport aux massifs cristallins.

c) La zone ultradauphinoise

Cette unité comprend deux parties :

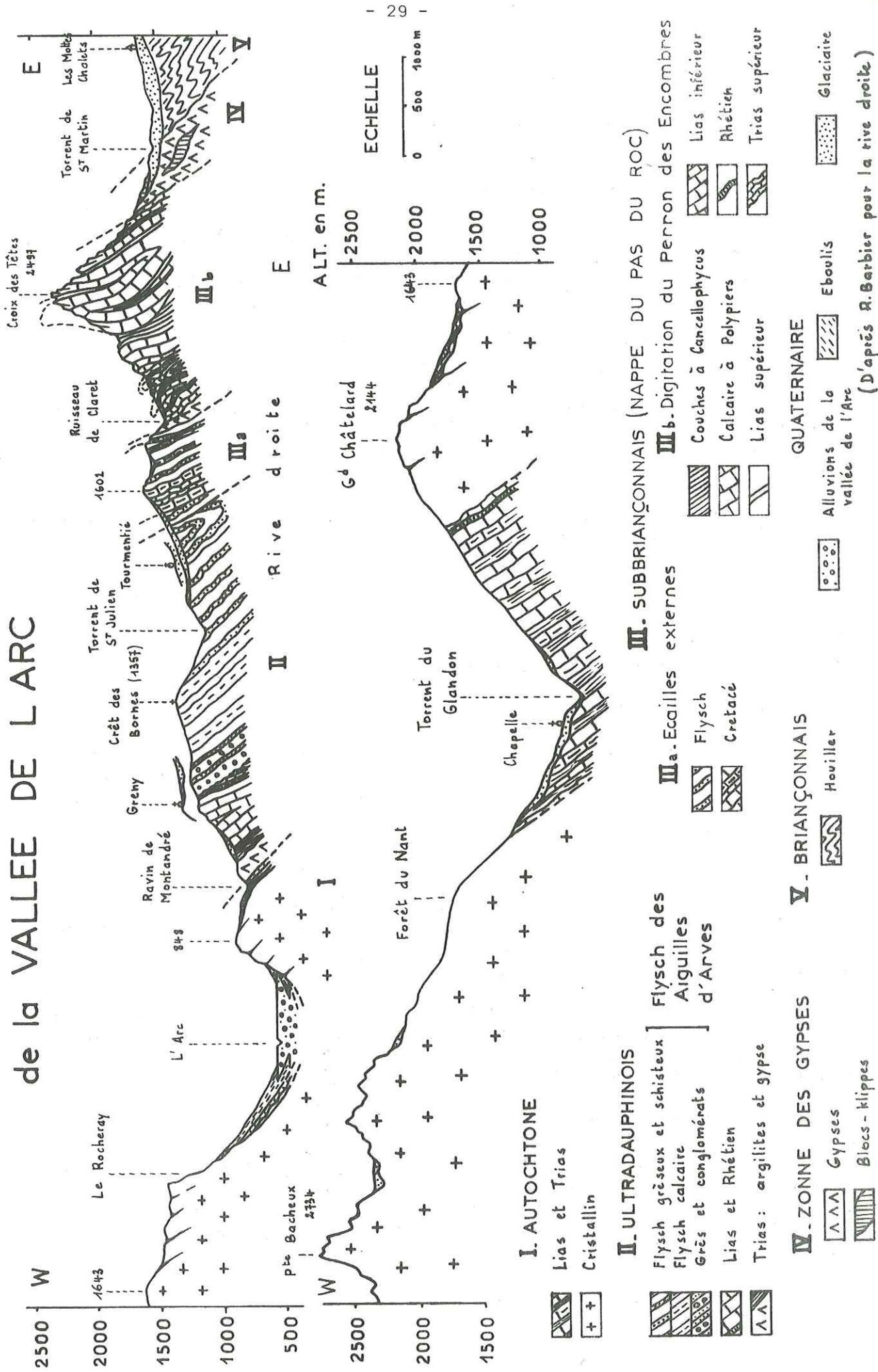
- une zone formée essentiellement de schistes, calcaires marneux et gypse appartenant à différents étages allant du Houiller au Lias supérieur ;
- le Flysch nummulitique des Aiguilles d'Arves reposant en discordance sur les formations précédentes. Il est formé de grès, conglomérats, calcaires et calcschistes, donnant "une longue cuesta surplombant la dépression de la zone dauphinoise et constituant un des traits les plus caractéristiques de la morphologie de cette région" (R. BARBIER).

d) La zone subbriançonnaise

Elle est marquée par une hétérogénéité des terrains déterminant une série de crêtes découpées et de vallons encaissés, orientés sensiblement (NS) ^{N-S}. Cette zone est essentiellement représentée ici par les formations calcaires et marno-schisteuses de la nappe du Pas du Roc, divisée elle-même en digitations (1).

(1) Replis locaux de la nappe.

Fig. 15 COUPE TRANSVERSALE de part et d'autre



(D'après R. Barbier pour la rive droite)

e) La zone des Gypses

Elle forme une cicatrice importante séparant les zones subbriançonnaise et briançonnaise.

f) La zone briançonnaise

Appelée aussi "zone houillère briançonnaise", elle se caractérise par une certaine homogénéité des matériaux schisteux et gréseux, qui lui confèrent une morphologie assez douce, faite de croupes arrondies et de versants peu accidentés. Elle n'est représentée sur cette feuille que dans l'angle sud-est.

2 - Stratigraphie sommaire

Les conditions de la sédimentation ont varié d'un point à un autre (sillons, hauts-fonds, zones émergées). On ne s'étonnera donc pas de constater que la même division stratigraphique est représentée d'un point à un autre par des roches variées, accumulées avec des puissances diverses, ou même par rien du tout (lacune).

Par ailleurs, pour plus de détails, on pourra se référer à la thèse de R. BARBIER (1948) et bientôt, à la notice de la carte St-Jean-de-Maurienne.

a) Le Houiller

Il est représenté par des "sédiments continentaux très homogènes sur de vastes étendues" (ibid.). On ne le rencontre, dans cette région que dans la zone briançonnaise à l'Est, sous forme de grès et schistes.

b) Le Permien

Il n'apparaît qu'en de rares endroits dans la zone u.d. (versants W et S du Grand Coin), sous forme de schistes siliceux et micacés, verts et violets. Dans la zone briançonnaise, il ressemble au Houiller schisteux (Col des Encombres).

c) Le Trias

Il figure surtout sous son faciès lagunaire, les quartzites et le calcaire dolomitique (Trias inférieur et moyen) étant peu répandus. Les gypses (Trias moyen) sont abondants, mais presque toujours en situation tectonique anormale, très souvent le long des lignes de décollement majeur où ils sont injectés, telle la "zone des gypses". Des cargneules y sont dispersées en îlots.

Les argilites bariolées (Trias supérieur) passent directement au Rhétien dans la zone u.d., alors qu'on observe une prédominance de dolomies, avec des lits d'argilites, dans la digitation du Perron des Encombres. La digitation de la Grande Moenda montre un faciès intermédiaire (fig. 16).

d) Le Rhétien

Il reste peu individualisé dans l'épaisse série marno-calcaire de la couverture des massifs cristallins externes. Dans la zone u.d., il apparaît sous forme de calcaires et de schistes argileux sombres (versant sud-ouest du Grand Coin). Dans la zone subbriançonnaise, on trouve essentiellement des calcaires et calcschistes sombres, avec les classiques niveaux à *Avicula contorta*.

Fig. 16

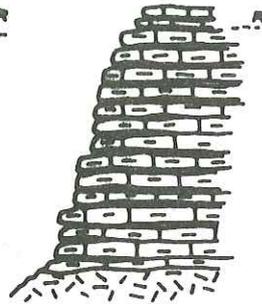
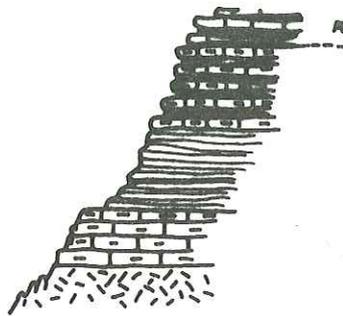
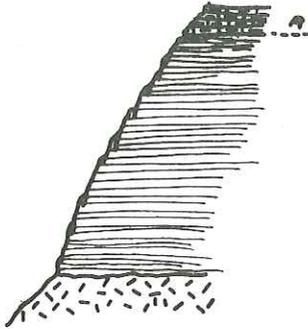
Echelle : 0 10 20 m

ZONE ULTRADAUPHINOISE

DIGITATION DE LA GRANDE MOENDA

DIGITATION DU PERRON DES ENCOMBRES

LEGENDE



-  Rhétien
-  Dolomies
-  Argilites
-  Gypses et cargneules

(D'après R. Barbier)

Coupes schématiques montrant les variations latérales de faciès dans le Trias supérieur

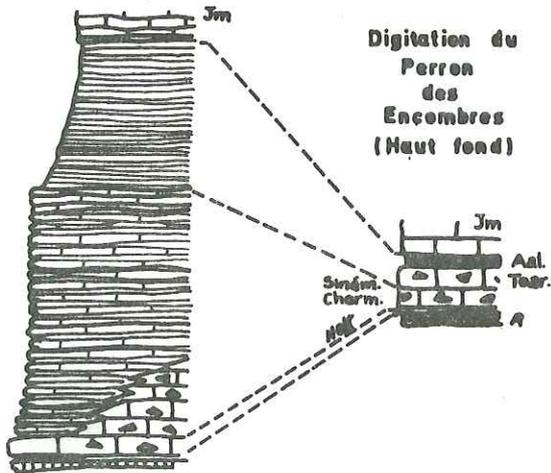
Fig. 17

Echelle : 0 50 100 150 200 m

NAPPE DU PAS DU ROC

Digitation de la Grande Moenda (Sillen)

LEGENDE



-  Marnes et marno-calcaires
-  Dogger
-  Schistes et calcschistes
-  Calcaires à silex
-  Rhétien

(D'après R. Barbier)

Coupes schématiques montrant les variations latérales de faciès du Lias dans les différentes unités

e) Le Lias

C'est une énorme accumulation de calcaires marneux et de schistes argileux recouvrant les massifs cristallins externes (zones d. et u.d.). On y distingue traditionnellement un Lias inférieur calcaire et un Lias supérieur schisteux (faciès vaseux). R. BARBIER décrit ainsi cette série, sur la rive droite de l'Arvan : "On voit se dresser une importante falaise de marno-calcaires dominant les argilolites du Trias supérieur et correspondant au Lias inférieur calcaire. Vers le haut, la série devient plus schisteuse et détermine le replat d'Albiez-le-Vieux ; elle monte dans le synclinal de Villargondran jusqu'aux schistes à miches aaléniens".

L'auteur fait remarquer, par ailleurs, que le Lias inférieur fait défaut dans la couverture du Rocheray.

Dans la zone subbriançonnaise, les faciès sont tantôt néritiques (Perron des Encombres), tantôt vaseux (Grande Moenda), (fig. 17).

f) Le Dogger

La sédimentation est terrigène dans les zones d. et u.d., avec des marno-calcaires noirs souvent difficiles à distinguer du Lias. La digitation du Perron des Encombres montre des calcaires massifs à polypiers (Croix des Têtes, Valloirette).

g) Le Callovien et l'Oxfordien

Ils ne figurent que dans la digitation du Perron des Encombres. La série comprend trois termes : calcaires à *Cancellophycus* (Callovien), brèches à ciment calcaire du Télégraphe et schistes (Oxfordien), (fig. 18).

h) Le Jurassique supérieur

Il est représenté par des calcaires massifs de teinte claire, dans quelques "blocs-klippes", au front de la nappe du Pas du Roc (Ecailles Externes) et dans la Zone des Gypses (versant est du massif de la Croix des Têtes et verrou du Pas du Roc).

i) Le Crétacé

Il est également visible dans les blocs-klippes mentionnés ci-dessus. Sa série comprend :

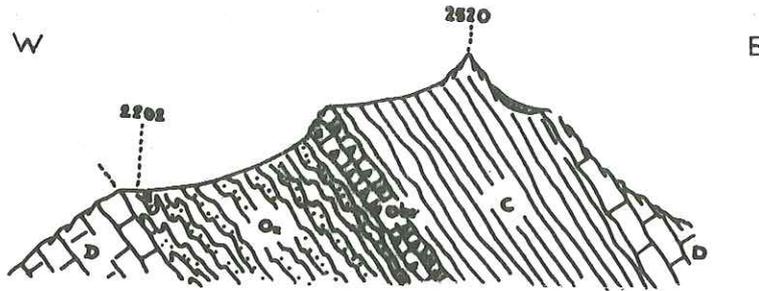
- calcaires, calcschistes et microbrèches (Crétacé inférieur).
- calcaires ou "marbres" en plaquettes de teinte claire (Crétacé supérieur).

j) Le Nummulitique

On le rencontre sous l'aspect d'un épais conglomérat de base surmonté par des calcaires, schistes et grès (fig. 19). Cet ensemble forme le Flysch des Aiguilles d'Arves (zone u.d.), caractérisé par son énorme épaisseur (environ 2 000 m) ainsi que des lambeaux dans les Ecailles externes de la nappe du Pas du Roc.

Fig. 18

Echelle :



(D'après R. Barbier)

Coupe de l'arête nord de la Croix des Têtes : Le Callovo-oxfordien en série renversée dans le flanc inverse du synclinal de la Valloirette (D, Dogger ; C, couches à Cancellophycus calloviennes; Obr, brèches du Télégraphe ; Ox, série schisteuse oxfordienne).

Fig. 19

Echelle :



FLYSCH DES AIGUILLES D'ARVES



- A Couches d'Albanne
- Fg Flysch gréseux
- Fs Flysch schisteux
- Fc Flysch calcaire
- Gc Grès et conglomérats de base

NAPPE DU PAS DU ROC - (Ec. Ext.)



- Fsg Flysch schisto-gréseux
- Fc Flysch calcaire
- Cc Calcaires et conglomérats à grandes Nummulites
- Sc Série compréhensive

(D'après R. Barbier)

Coupe schématique montrant les variations de faciès du flysch dans les différentes unités

3 - Aperçu tectonique

a) L'orogénèse alpine

Nous avons vu plus haut que la région a été immergée du Trias supérieur au Tertiaire, sauf certaines zones où s'érigeaient des cordillères qui périodiquement étaient exondées.

C'est juste avant le Lutétien que les mouvements commencent à être très violents dans la zone des Aiguilles d'Arves. "Ils donnent lieu à des plis très accentués suivis par un phénomène d'érosion, avant les dépôts du Nummulitique qui se trouve alors être transgressif sur toute la série jusqu'au Permien. Ces mouvements s'amortissent très rapidement vers l'Est" (R. BARBIER). Ensuite se produisent les mouvements de surrection des zones internes qui conditionnent la sédimentation détritique du flysch, accompagnée, dans la zone du Flysch des Aiguilles d'Arves, par une forte subsidence.

"Les mouvements préparatoires aboutissent à la phase paroxysmale alpine, provoquant la surrection complète de la chaîne, avec la mise en place des nappes, suivie de la surrection des massifs cristallins externes" (ibid.).

b) Les divers styles tectoniques

. L'*écaïlle des Aiguilles d'Arves* est constituée, note R. BARBIER, d'un vaste pli-faille paraautochtone dont le flanc est, seul, est conservé, tandis qu'à l'Ouest il y a chevauchement de cette unité u.d. sur la zone d. autochtone par l'intermédiaire d'une épaisse lame de gypse".

. La *nappe du Pas du Roc* se caractérise par deux décollements majeurs dédoublant sa série stratigraphique :

- décollement au niveau du Trias gypseux, "qui a complètement séparé la partie supérieure de son substratum et lui a permis de s'épancher au loin, lors des mouvements paroxysmaux de l'orogénèse alpine" (ibid.).
- décollement au sommet de la série schisteuse de l'Oxfordien ayant entraîné la formation des "Ecaïlles Externes" par les terrains les plus élevés : Malm, Crétacé et Nummulitique, "La nappe du Pas du Roc est caractérisée par une tectonique souple, grâce à laquelle elle a pu s'épancher très loin vers l'Ouest, par-dessus les unités précédentes" (ibid.), (fig. 20).

Les nappes houillères du briançonnais, avec leurs nombreux replis, montrent également un style souple.

On mettra l'accent sur le fait qu'il s'agit ici de style tectonique général, c'est-à-dire que, dans les unités déplacées, ce n'est pas la compétence individuelle des bancs qui est considérée, mais plutôt celle de l'ensemble qu'ils forment.

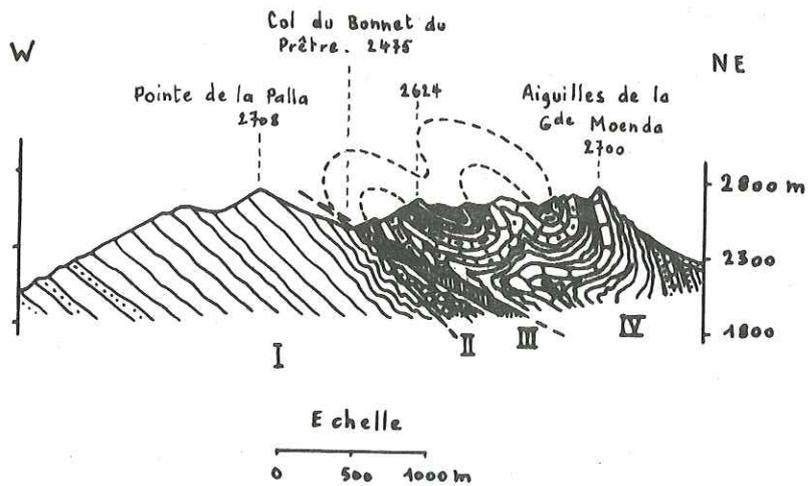
c) Quelques données sur les déformations naturelles des roches

Les témoins de ces déformations sont les plis, la schistosité, les diaclases, les failles et les microstructures déformées (1).

(1) Terminologie tirée de la thèse de J.-P. GRATIER et alii (1973).

Fig. 20

EXEMPLE DE TECTONIQUE SOUPLE: DIGITATION DE LA Gde MOENDA



- | | | | |
|--|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | I | FLYSCH DES AIGUILLES D'ARVES | |
| | II | ECAILLES EXTERNES | |
| | III | LAMES DE GYPSES ET CARGNEULES | |
| | IV | DIGATION DE LA GRANDE MOENDA | |
| | Oxfordien | | Lias inférieur et moyen |
| | Calc. à Cancellophyeus | | Rhétien |
| | Dogger | | Argilites |
| | Lias supérieur | | Cargneules |

(D'après R. Barbier)

Dans notre région, les déformations schisteuses sont abondantes. La schistosité de flux y est essentielle. Généralement, elle se confond avec la stratification.

La schistosité de fracture et les diaclases, qui nous intéressent beaucoup plus, sont denses. Elles résultent de déformations cassantes, et sont ou non le siège de recristallisations. Dans certains cas, le remplissage d'une fissure joue le rôle de ciment résistant, mais souvent la seule existence d'une discontinuité même cicatrisée (par exemple, dans des schistes, une diaclase colmatée par du quartz ou de la calcite) se traduit en une zone de faiblesse, exploitée par les variations thermiques (gel en particulier) et les contraintes dues à la tectonique, aux secousses sismiques, voire aux glaciers. Ceci conduit à nouveau à une fissure ouverte.

Il n'en va pas de même pour des roches plus compétentes (grès, conglomérats, calcaires) où les fissures recimentées peuvent augmenter la résistance de l'ensemble. Par contre les fissures ouvertes par les efforts tectoniques (traction) ont une extension, semble-t-il, plus grande que dans des formations incompétentes.

Dans les formations liasiques des zones dauphinoise et ultradauphinoise, les mesures que nous avons effectuées sur les plans de fractures indiquent 4 directions principales, les pendages étant toujours très redressés (60 à 90°) :

- N 45 à N 70, pendage SE à S
- N 100 à N 110, pendage S à SW
- N 130 à N 140, pendage SW
- N 170 à N 10, pendage W

B - LES FORMATIONS QUATERNAIRES

Elles sont très répandues, parfois puissantes, et toujours très diversifiées. Témoins, en maint endroit, d'une érosion intense accompagnant la dernière glaciation, elles ne correspondent pas toujours, pétrographiquement, au substratum sur lequel elles reposent.

Nous ne parlerons pas des alluvions fluviales, comblant la vallée de l'Arc, et des cônes de déjection torrentiels, ces formations n'étant pas affectées par des mouvements naturels, sinon très localement, en bordure de l'Arc.

1 - Les colluvions

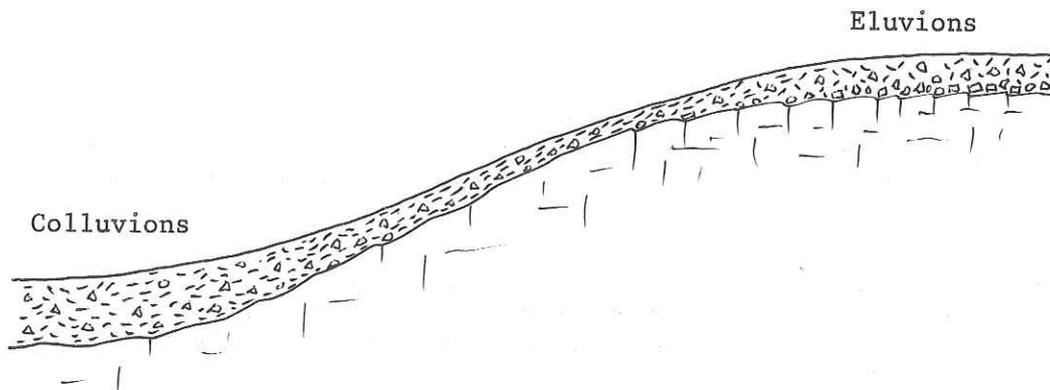
Ce terme assez vague, englobe tous les matériaux accumulés au pied d'une pente et issus d'une désagrégation de celle-ci (gélifraction, ruissellement diffus ...). Ils peuvent former également un manteau de débris à matrice argileuse, tapissant la pente sur une faible épaisseur.

C'est ce que l'on nomme communément "colluvions de versant".

Cette formation se rencontre en abondance sur les terrains schisteux du Lias mais guère au-dessus de 2 400 m, altitude à laquelle le terrain est dénudé, car soumis à l'action violente des agents atmosphériques. Les colluvions de versant sont soumises à des déplacements plus ou moins lents (reptation, solifluxion), sur des pentes variables.

2 - Les éluvions

Ce sont les produits d'altération sur place de la roche. Dans la région elles sont peu représentées. On les rencontre sur les formations schisteuses [régolite et sol, au sens où l'entend M. DERRUAU. 1961. (1)].



On notera par ailleurs l'influence de l'altitude et du climat actuel, peu favorable à la pédogenèse.

3 - Les éboulis

Ils sont formés d'éléments anguleux et généralement triés. On les rencontre essentiellement au pied des falaises du Cristallin, du Flysch des Aiguilles d'Arves et des calcaires de la nappe du Pas du Roc. Dans les formations schisteuses, ils sont peu importants et argileux.

On distingue classiquement les éboulis vifs, (pierriers), très instables, et les éboulis stabilisés (ou morts), envahis par la végétation et comportant alors très souvent une matrice d'éléments fins. Lorsque l'éboulis est consolidé (de façon souvent irrégulière), il forme une sorte de béton ou "brèche de pente".

Notons que la pente d'un éboulis dépasse exceptionnellement 35° (Cristallin et calcaire).

4 - Le glaciaire

Cette formation, englobant les moraines et le "fluvio-glaciaire", est abondante et diversifiée.

Au Sud et à l'Ouest de l'Arc, elle se compose essentiellement de fragments de roches cristallophylliennes et de flysch, et d'une matrice argilo-sableuse grise à beige. On la rencontre surtout sur les plateaux d'Albiez et de St-Jean-d'Arves.

(1) "Le régolite constitue le manteau de débris résultant de la fragmentation des roches sous-jacentes".

"Le sol est l'altération superficielle de la roche ou du régolite (sous l'action d'agents physiques, chimiques et biologiques) à condition que cette altération ait produit de fines particules fixant les ions nutritifs pour les plantes".

Au Nord de l'Arc, le Glaciaire est moins développé et plus calcaire, sauf à l'Est du Massif de la Croix des Têtes où il contient essentiellement des schistes et des grès du Houiller (versant ouest du Mont Brequin).

Nous reparlerons plus loin de ces formations à propos de l'érosion glaciaire.

C - DONNEES HYDROGEOLOGIQUES SOMMAIRES

Après la fonte des neiges, de même qu'après toute chute de pluie importante, les terrains sont le siège d'une infiltration puis d'un écoulement souterrain dont l'importance et la durée dépendent des caractéristiques hydrauliques des roches.

Sur le plan de l'infiltration, nous ne disposons que de renseignements généraux basés sur l'observation des sources et des suintements sur les sites de mouvements de terrain. Nous ne donnerons donc que les caractéristiques principales des formations rencontrées.

On divise communément les roches en trois catégories :

- les roches imperméables, poreuses ou non ;
- les roches perméables en petit, ou à perméabilité d'interstices ;
- les roches perméables en grand, ou à perméabilité de fissures et de chenaux.

1 - Les roches imperméables

Ce sont les schistes argileux, argiles et marnes, où l'infiltration est nulle. Les sources en sont absentes, sauf le long de leurs limites avec des terrains plus perméables.

2 - Les roches perméables en petit

Elles sont représentées par les terrains de couverture, où la perméabilité varie énormément, d'un endroit à un autre et suivant le mode de genèse. Ce sont les alluvions fluviales (vallée de l'Arc), les cônes de déjection torrentiels, les diverses formations glaciaires (très hétérogènes), les éboulis stabilisés et les glissements anciens. Ces formations, qui donnent des sources au débit souvent soutenu, sont le siège d'écoulements souterrains, soit dans leur masse soit, plus fréquemment, au contact du substratum sur lequel elles reposent.

3 - Les roches perméables en grand

Nous distinguerons deux cas : les roches à perméabilité de fissures et les roches à perméabilité de chenaux.

a) Les roches à perméabilité de fissures

La perméabilité y varie en fonction de l'extension et de la densité des fissures d'une part, et du type de roche d'autre part.

Ainsi, à la faveur de l'altération et de la fissuration, nous avons constaté localement l'existence de quelques écoulements souterrains peu importants, marqués par la présence de petites sources et suintements dans des schistes, calcschistes (Lias, Nummulitique) et des séries schisto-gréseuses (Permo-Houiller, Nummulitique) formations qui sont *a priori* pratiquement imperméables.

Les roches plus massives, telles les calcaires, grès et conglomérats, souvent très fracturées, donnent fréquemment des sources à leur contact avec des niveaux imperméables. Ainsi, la base des conglomérats du Flysch des Aiguilles d'Arves est-elle jalonnée de sources, parfois importantes (sources des torrents de la Ravoire et du Merderel).

b) Les roches à perméabilité de chenaux

Ce sont les calcaires karstiques, les gypses et les éboulis vifs (1). L'écoulement souterrain y est très aisé et donne des sources au débit important et fluctuant. C'est le cas des sources du Moulin de la Chaudanne, au pied du versant est de la Croix des Têtes.

Nous ne pouvons pas ici non plus, étoffer davantage ces considérations générales, qui sont parmi les plus importantes quant à l'estimation de l'état et de l'évolution d'un versant. J.P. MOUGIN note, que "ce sont le plus souvent des modifications des conditions hydrauliques d'un massif qui conduisent à sa rupture".

II - LES CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES

On situe trop peu souvent les mouvements de terrain dans leur contexte géomorphologique. Le modelé des versants n'est pourtant pas le fait du hasard. Bien que l'évolution des pentes soit, certes, souvent complexe, on doit tenter de la reconstituer, si l'on désire mieux comprendre à la fois l'aspect actuel et les tendances des transformations futures.

C'est dans cette optique que nous allons passer en revue les divers agents responsables des formes d'érosion, en notant la place prépondérante qu'ont tenue, dans un passé géologique récent (le dernier million d'années), les glaciations, séparées par des épisodes tempérés.

A - ANCIENS CLIMATS ET GLACIATIONS

1 - Généralités

Pendant les périodes froides, les glaciers des Alpes du Nord se sont étendus jusque dans la vallée du Rhône, modelant alors d'immenses régions. Si l'on parvient à distinguer les effets de plusieurs glaciations dans le Bas-Dauphiné (2), il n'en va pas de même dans nos massifs montagneux, le dernier stade glaciaire (Würm) et les stades de retrait subséquents ayant à peu près complètement oblitéré les traces des événements antérieurs.

Les climats interglaciaires devaient être sensiblement identiques à ceux que l'on connaît depuis quelques millénaires, c'est-à-dire favorables à l'implantation d'une végétation variée.

Le climat post-würmien retiendra plus longuement notre attention, car il explique la dernière déglaciation, et l'érosion intense qui l'a accompagnée.

La dernière glaciation aurait commencé voici 25 000 ans.

(1) Les éboulis vifs présentent en réalité une perméabilité d'interstices, mais leur inaptitude à garder l'eau nous permet de les ranger de préférence dans cette catégorie de roches.

(2) Une würmienne, une rissienne et une antérieure.

Entre 7 000 et 4 000 ans B.P. (1), le climat était plus chaud qu'il ne l'est actuellement, d'où un recul rapide des glaciers. Un épisode plus froid est intervenu entre 4 000 et 3 000 ans B.P.. Au cours des 3 000 dernières années, il semble que les glaciers n'aient pas cessé de reculer, phénomène coupé toutefois par des crues correspondant à des périodes froides historiques et de ce fait bien connues (au Moyen-Age, par exemple). Le réchauffement est net depuis 1900.

2 - Interprétation régionale

Il y a donc 25 000 ans, les glaces recouvraient l'ensemble de la région, à l'exception de pics et de crêtes élevées, et constituaient un inlandsis dont l'épaisseur devait dépasser 1 000 m par endroits.

Nous ne disposons guère de renseignements sur l'âge de la déglaciation locale. Par référence à des datations effectuées dans des régions du pourtour alpin (Bas Dauphiné, Plaine du Léman, etc.), il semble (considérant que nous sommes près de massifs élevés), qu'elle ne doive pas remonter à plus de 10 000 ans. Il est même probable que les parties supérieures des vallées affluentes de l'Arc (Glandon, Arvan) aient été occupées par des langues glaciaires, il y a seulement quelques milliers d'années (moraines locales très fraîches).

Au Würm, les grands courants glaciaires convergeaient vers le Nord, où se trouvait la dépression principale (vallée de l'Arc), sauf dans de petits secteurs n'appartenant pas à son bassin versant : torrents des Encombres au NE, de l'Eau d'Olle au SW et versant ouest de Belledonne (fig. 21). La région des cols de la Croix de Fer et du Glandon était occupée par un glacier important alimenté essentiellement en rive gauche. Le flux de l'Arvan était sans doute beaucoup plus complexe et plus considérable. Il semble que le Mont Charvin ait constitué un obstacle pour les courants de glace venant du Sud, et qu'il ait été contourné à l'Est par un bras qui envahissait ensuite le plateau d'Albiez et à l'Ouest par une diffluence (col d'Arves) (2) étalée vers le Nord sur les plateaux de la Toussuire et de la Rochette (3).

B - L'ÉROSION GLACIAIRE

1 - Les formes d'érosion

Nous ne parlerons pas de l'action des glaciers qui a pour effet principal d'accentuer les irrégularités du relief.

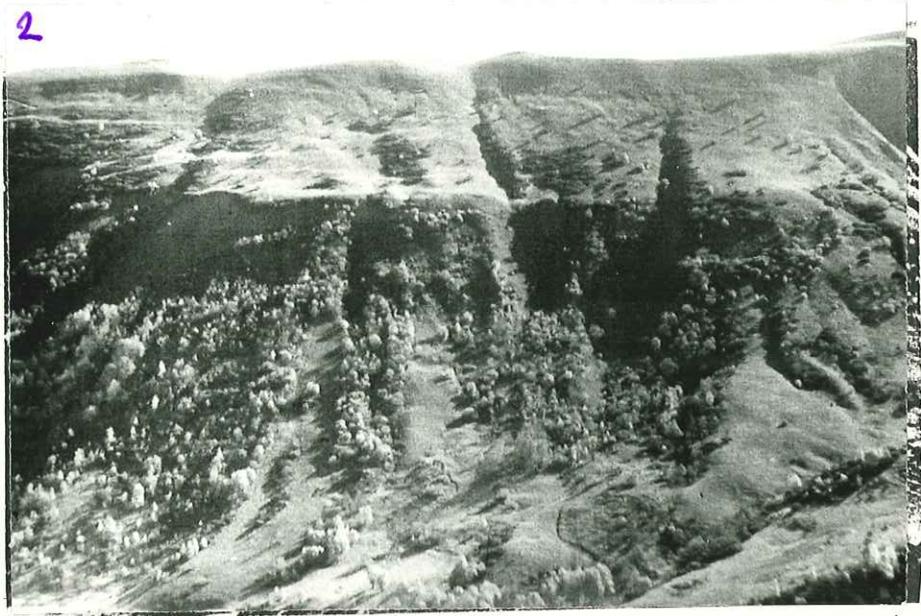
Le profil définitif des vallées a été acquis pendant la déglaciation, c'est-à-dire à une époque où les courants de glace étaient bien canalisés. Il en résulte généralement des vallées à flancs abrupts et aux profils transversaux variés. Une série de coupes perpendiculaires aux courants glaciaires permet de retrouver de vieilles surfaces d'érosion (fig. 22 et 23).

Le profil actuel des vallées de l'Arvan et de l'Arc correspond à un stade fini-glaciaire, se traduisant par des auges emboîtées, des gorges entaillant des verrous (Pas-du-Roc, Pontamafrey), et des vallées suspendues (Valloirette).

(1) Before present.

(2) Comme en témoigne la présence de blocs cristallins erratiques.

(3) On peut imaginer qu'au moment où la diffluence a cessé de fonctionner, la branche est reculait d'Albiez-le-Vieux aux Rieux, puis à Entraigues, approfondissant la vallée sous le Col d'Arves, ce qui expliquerait ce tronçon aberrant (NW-SE) de l'Arvan.



fanlement glaciaire en rive
droite de l'Arrette, au niveau
de "Pré Bernard"

Fig.21 CARTE DES COURANTS GLACIAIRES AU DEBUT DU RETRAIT WÜRMIEN

Echelle 0 1 2 3 4 5km

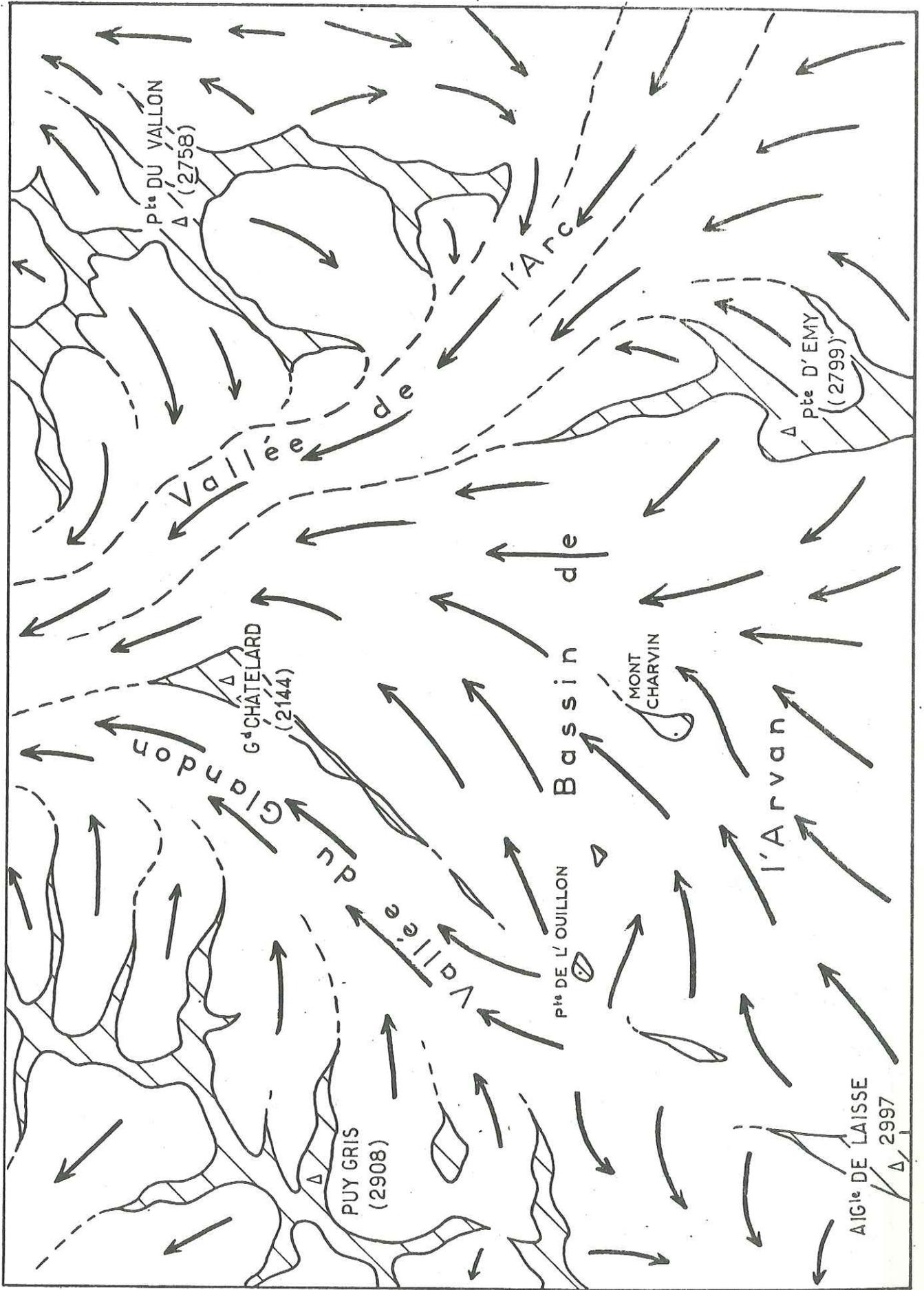


Fig.22 PROFILS TRANSVERSAUX DES PRINCIPALES VALLEES

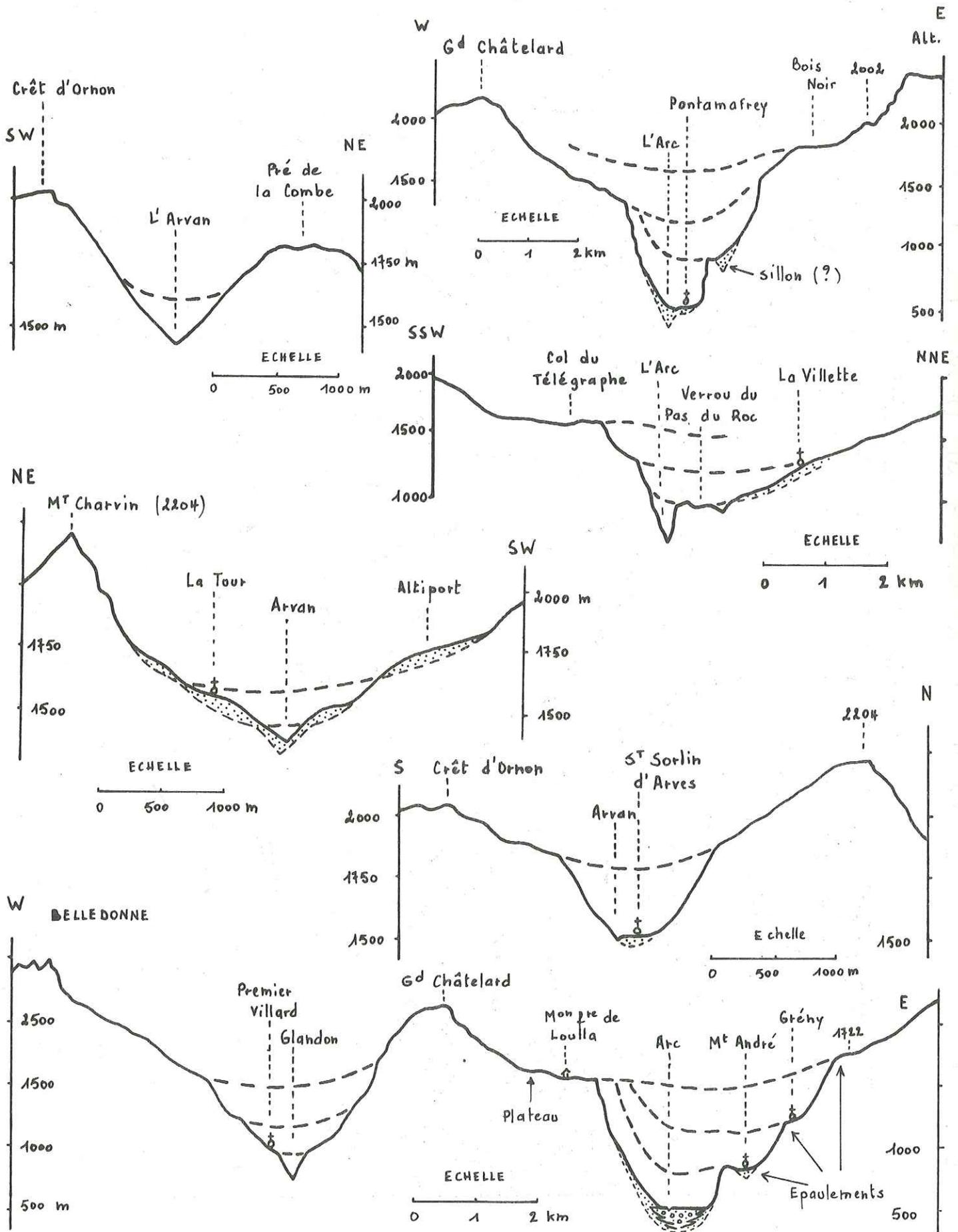
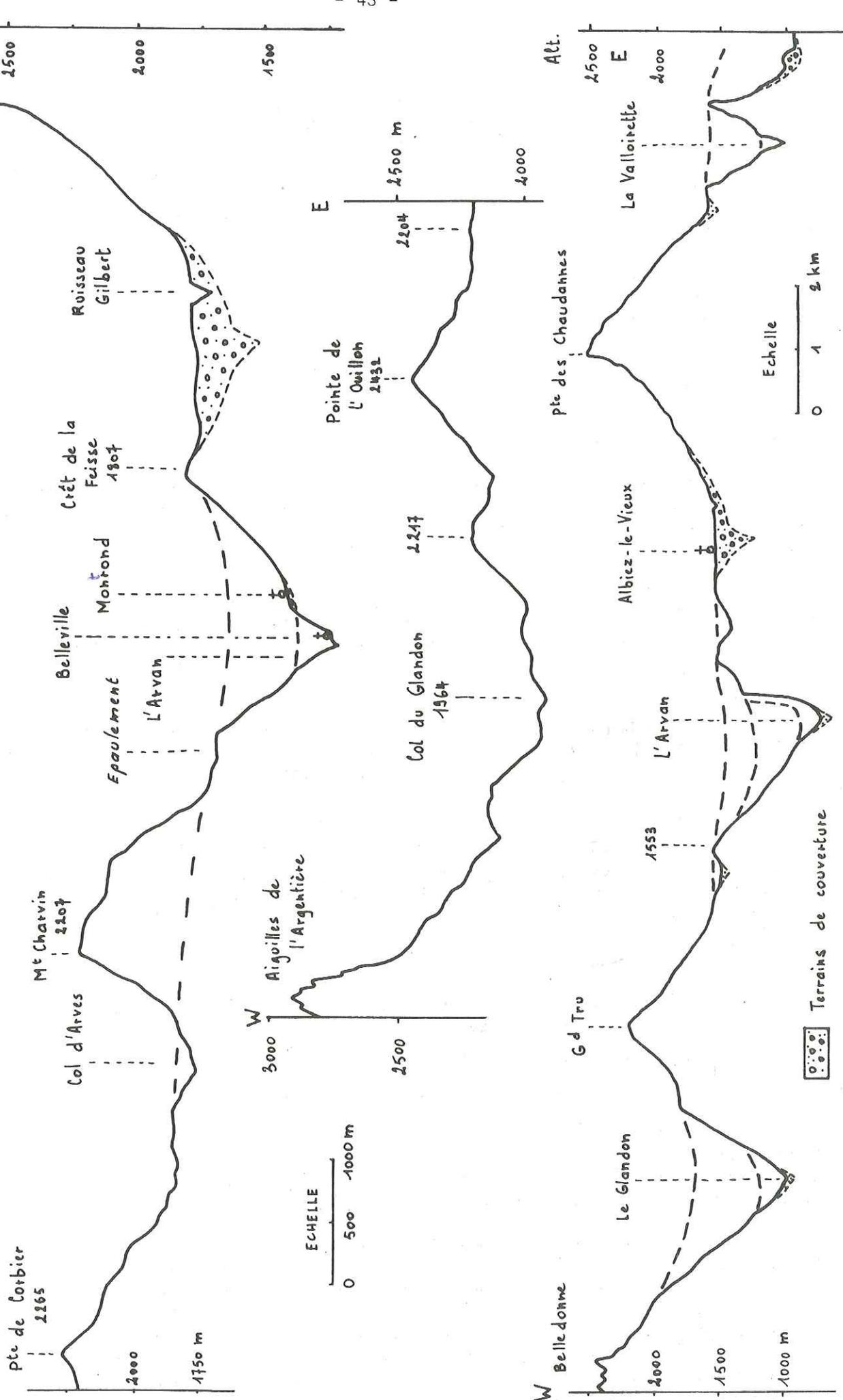


Fig. 23 PROFILS PERPENDICULAIRES AUX GRANDS COURANTS
GLACIAIRES WÜRMIENS

GLACIAIRES WÜRMIENS



2 - Les formes d'accumulation

Les moraines sont abondantes sur les plateaux. Elles sont très souvent mêlées à des éboulis poussés par les glaciers, et à divers matériaux transportés par les eaux de ruissellement au front de ceux-ci. Il en résulte des épandages importants, masquant la morphologie sous-jacente du substratum, et entaillés par l'érosion torrentielle post-glaciaire (Albiez, le Chalmieu, la Toussuire, Mont-richer, St-Jean-d'Arves ... (fig. 22 et 23).

Les moraines n'ont pas en général de formes typiques, sauf en haute montagne. Elles constituent des placages et des buttes plus ou moins importantes dispersées un peu partout.

Nous verrons à la fin de ce mémoire, en annexe, quelle est la composition de quelques moraines sièges de glissements.

C - LES PHENOMENES PERIGLACIAIRES

Rappelons que les zones qualifiées de périglaciaires sont celles où le gel fait sentir ses effets durant une grande partie de l'année. Dans les Alpes leur domaine commence approximativement à la limite supérieure des forêts (1 700 - 1 800 m pour la Savoie).

Les phénomènes périglaciaires, principalement les cycles gel - dégel fréquents et le ruissellement des eaux de fonte (de la neige et des glaciers), influent largement sur l'évolution de la morphologie, surtout en climat humide.

1 - Le gel

Nous rappellerons que ses effets sur la roche varient avec l'exposition et l'altitude d'une part, et avec la présence et la nature d'un manteau protecteur d'autre part : végétation, sol, neige, glace, etc..

a) Le comportement des roches au gel

Le fait majeur, lors du gel, est l'augmentation de volume de l'eau, accompagnée de pressions considérables (1). Le maximum de pression de la glace se situerait vers - 25°C (J.P. LAUTRIDOU, 1970). Les roches les moins gélives peuvent alors se fendre.

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte :

- l'intensité et la durée du gel, dont le rôle revêt une importance particulière en profondeur (dislocation) ;
- la fréquence du cycle gel-dégel ;
- la teneur en eau de la roche, au moment où survient le gel.

C'est avant tout à la faveur des fissures où l'absorption de l'eau est plus efficace et plus importante que dans les pores de la roche, que se développe la gélifraction. De nombreux travaux ont étudié expérimentalement ce processus (Centre de Géomorphologie de Caen et Laboratoire des Ponts et Chaussées).

(1) D'après C. ARCHIMBAUD et C. TOURENQ (1971), "la transformation de l'eau en glace à la pression atmosphérique s'accompagne d'une expansion de volume de 9 % et d'une expansion linéaire de 3 %", et "théoriquement, la pression interne développée par la cristallisation de la glace à volume constant, atteint 2 200 bars à -22°C ... En fait, la rupture due au gel n'est jamais brutale et totale, mais progressive, car les roches ne sont certainement pas soumises à de telles pressions hydrauliques, pour de nombreuses raisons".

Le degré de fissuration de la roche serait le critère fondamental pour caractériser sa résistance mécanique, et par là sa gélivité. D'autres critères, moins importants, entrent en ligne de compte, tels la texture, la schistosité, le litage. Ainsi, les schistes, constitués essentiellement par des minéraux phylliteux et ayant enregistré une ou plusieurs phases orogéniques, sont gélifs (1).

b) L'action superficielle

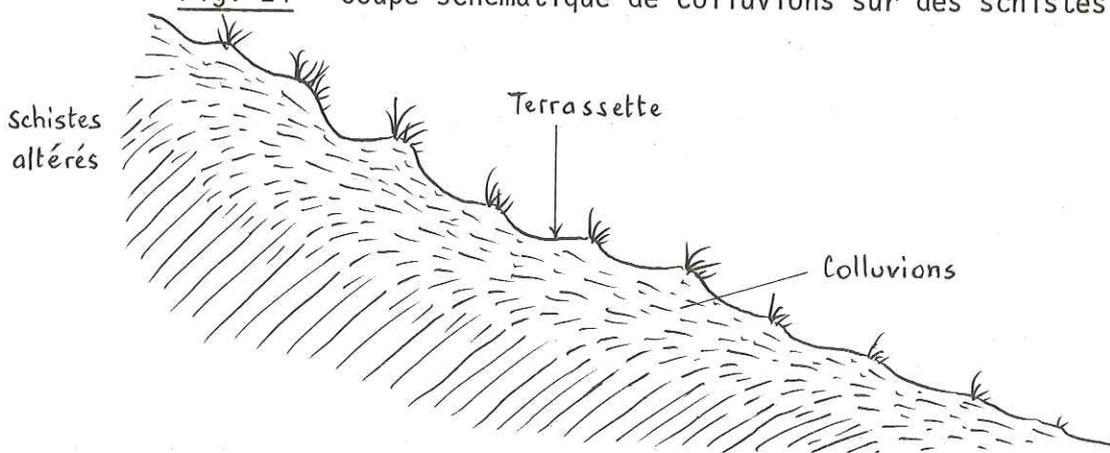
La fréquence du cycle gel-dégel produit un écaillage de la roche à nu, donnant des débris de formes diverses et de toute dimension suivant la dureté propre et la densité de la fissuration. Les recherches expérimentales montrent que "l'intensité du gel ne semble pas jouer un rôle sur la forme, par contre, 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 de limon" (J.P. LAUTRIDOU).

Il s'agit là de l'altération mécanique des roches, prédominante en climat froid, et donnant une bonne partie de la matrice des terrains de couverture.

A une autre échelle, et d'un point de vue mécanique, le jeu progressif des fissures dans les roches dures (causé par le gel et la décompression d'autre part) provoque la formation de massifs très déchiquetés, crevassés avec des chaos de blocs, des tours détachées des parois, etc., tel le massif du Coin du Châtel (calcaire gréseux et conglomérats), entièrement disloqué et instable (glissement récent de Montpascal sur son versant ouest) (2). Dans ce cas, la gélifraction entraîne la formation d'éboulis, de coulées de blocs, de glaciers rocheux et de moraines de névés, généralement instables. Ces accumulations se sont effectuées dès le retrait des glaciers.

Dans le cas de roches tendres (marno-schisteuses), il se produit un ameublissement et la formation de colluvions, instables sur les versants (fig. 24), (3).

Fig. 24 - Coupe schématique de colluvions sur des schistes altérés



- (1) De nombreux travaux ont été effectués sur les calcaires, les schistes et les grès. Ils ont permis de dégager certaines lois fondamentales, en particulier l'éventail très large des comportements au gel (échelle de gélivité), la liaison complexe gélivité-porosité, l'importance du ciment intergranulaire, la définition de courbes granulométriques (de débris) caractéristiques de chaque roche.
- (2) Ce glissement est à l'origine des coulées de Pontamafrey depuis 1965. Il fera l'objet d'une publication ultérieure.
- (3) Rappelons que les phénomènes de "creep" et solifluxion sont facilités par l'existence du couple mollisol-pergélisol.

Il faut noter que cette action a tendance à multiplier les ressauts rocheux (vires, abris sous roche) par érosion différentielle, mettant en évidence l'inégale sensibilité des diverses roches.

Rappelons qu'à la surface du sol, des éléments de toute taille peuvent se déplacer (cf. sols polygonaux, blocs redressés, etc.).

c) L'action profonde

Au maximum des glaciations, le gel a pu pénétrer la roche très loin en profondeur. Les sous-sols gelés actuels de Laponie (Tjäle) ou de Sibérie (Merzlota) peuvent atteindre 100 m d'épaisseur.

Après la disparition du pergélisol, le fait important est la diminution, en profondeur, de la résistance mécanique des roches par suite de la désagrégation des niveaux tendres et du décollement des lèvres des fissures (stratification, diaclases...). Ceci a une incidence sur les infiltrations, qui trouvent dans ces massifs aérés des voies de pénétration facile, et sur la stabilité des versants. On peut citer l'exemple des formations schisteuses qui présentent de nombreuses discontinuités liées à leur structure finement litée, mais aussi à leur fracturation dense, et à de nombreux niveaux argileux minces. Les massifs qu'elles constituent, généralement peu cohérents, sont le siège de glissements fréquents, tels ceux affectant le bassin versant du torrent de Bonrieu (Ouest de St-Jean-de-Maurienne) et les versants ouest et sud du Mont Brequin.

d) Conclusion sur le gel

Le gel peut se manifester selon trois rythmes distincts :

- *quotidien*, entraînant une gélifraction superficielle.
- *saisonnier*, c'est-à-dire développé pendant quelques mois, et cause au printemps de la solifluxion "sensu stricto".
- *séculaire*, voire *millénaire*, pénétrant les massifs en profondeur et responsable, une fois disparu, de leurs désordres.

2 - Le dégel et le ruissellement

La quantité d'eau libérée par la fonte des neiges et des glaces a joué un rôle certain dans l'évolution de la morphologie, lors du réchauffement post-würmien du climat. Ceci s'est traduit par l'encaissement des thalwegs, le remblaiement des dépressions, le ravinement, etc..

Une dénudation généralisée a été facilitée au niveau des terrains ramollis ou disloqués par le gel. Aux points où le ruissellement se montrait insuffisant, l'eau pénétrait ces terrains peu cohérents qui glissaient alors par paquets.

On peut concevoir que la disparition du gel profond, combinée à celle du calage des pentes par les glaciers, ont provoqué la mise en mouvement de versants entiers.

D - L'EROSION TORRENTIELLE

Nous ne ferons que la citer, en mentionnant l'importance de l'encaissement du réseau hydrographique (déjà ébauché pour les torrents sous-glaciaires), sur la stabilité des versants.

Les parties les plus profondes de nombreuses vallées actuelles dessinent, en coupe transversale, des gorges en forme de V (cf. coupes relatives à l'érosion glaciaire, fig. 22 et 23),

E - LES MOUVEMENTS GRAVITAIRES

Ce sont les déformations du terrain dues à l'action de la pesanteur.

Ils entrent pour une bonne part dans l'évolution géomorphologique des versants, et concernent aussi bien l'ensemble que le détail.

Ils comptent parmi les processus les plus actifs de l'érosion, bien qu'à l'échelle humaine du temps certaines de leurs manifestations puissent passer inaperçues.

CHAPITRE 3

GENERALITES SUR LES MOUVEMENTS
DE TERRAIN

- I. Importance du phénomène
- II. Définition
- III. Etudes antérieures
- IV. Classification descriptive

I - IMPORTANCE DU PHENOMENE

Par son ampleur, le phénomène "mouvement de terrain" peut constituer parfois une véritable catastrophe, au même titre qu'un séisme ou qu'un raz-de-marée. Nous citerons, pour mémoire, l'écroulement du Mont Granier (1248), qui ensevelit la petite ville de St-André, et récemment, l'avalanche rocheuse du Huascarán au Pérou (1970), qui raya de la carte la ville de Yungay (20 000 hab.) 5 minutes après un séisme. Cependant, certains mouvements de terrain ont des dimensions beaucoup plus réduites mais se révèlent proportionnellement, tout aussi meurtriers. On mentionnera entre autres cas, celui des petits écroulements très fréquents en montagne, qui menacent sans cesse, par leur soudaineté, l'activité humaine.

Il est souvent admis que, dans l'état actuel de nos connaissances, certaines catastrophes ne sont guère prévisibles (1). Ceci n'est pas toujours vrai (ROUBAULT 1970), et on peut rappeler à ce propos, des exemples tristement célèbres et récents : le Vajont (1963), où un glissement fut à l'origine de l'anéantissement de la ville de Longarone (2 000 victimes), et plus près de nous, la catastrophe du plateau d'Assy (1970) en Haute-Savoie, où une coulée emporta une partie d'un sanatorium et fit plus de 70 victimes.

Devant de telles catastrophes, l'opinion publique s'émeut, parce qu'il y a mort d'homme, mais combien de phénomènes identiques se sont-ils produits sans faire pour autant de victimes ? De ceux-ci, on parle moins, et surtout on les oublie. La littérature en fournit pourtant de nombreux exemples. Ce n'est d'ailleurs pas uniquement chez les spécialistes qu'il faut les rechercher, mais aussi et surtout, dans les témoignages du passé, comme l'a indiqué J. VOGT (1973).

On constate alors, que périodiquement il s'est produit des mouvements de terrain divers, ceux qui se répètent plus fréquemment n'étant pas forcément les plus dangereux (2).

Ces phénomènes, imputables à la nature défavorable du terrain et à la morphologie, affectent particulièrement les versants montagneux, perturbant çà et là l'activité humaine, croissante. Ceci se traduit par des dégâts causés aux routes et aux conduites, des maisons emportées ou endommagées, des villages menacés (Pontamafrey et le Bochet, dans notre région), et des surfaces importantes impropres à la construction, voire même à la culture.

Si, dans certains cas, les zones instables sont bien connues et surveillées, dans d'autres "elles sont laissées au hasard, non pas par fatalisme ou ignorance, mais par refus d'agir de certaines personnes" (J.P. MOUGIN, 1973). Ceci s'applique en particulier aux mouvements anciens, passant plus facilement inaperçus.

Cette contrainte de la nature nécessite des travaux souvent longs et coûteux, qui, s'ils ne sont pas précédés d'une étude par un spécialiste, peuvent se révéler inopérants et provoquer alors une catastrophe financière. On sait pourtant, que l'accroissement de la sécurité a une incidence économique. Celle-ci justifie dès lors les crédits qu'on peut lui accorder.

-
- (1) Les conséquences de l'avalanche rocheuse du Huascarán étaient-elles prévisibles ? Publication faite par A. PAUTE et B. SCHNEIDER au Symposium de Cannes (1973),
 - (2) Une falaise qui domine largement mais de loin un site au pied d'une pente peut être plus dangereuse qu'une falaise proche vue sous le même angle, car la force vive des matériaux qui s'en échapperont leur permettra de balayer une surface incomparablement plus étendue. Le danger vient du fait que l'éloignement endort la méfiance. Les exemples du Granier et du Huascarán sont assez significatifs à cet égard.

Nous rappellerons qu'au Symposium de Cannes, ce sens de l'obligation a été largement développé et que le plan Zermos, et les cartes de risques naturels ont été accueillis très favorablement par les administrations soucieuses de contrôler les divers aménagements.

II - DEFINITION

J.P. MOUGIN (1973) désigne par mouvement de terrain, le déplacement de masses de terrain sous l'action de la pesanteur, celle-ci constituant le moteur principal, excluant, à l'origine tout au moins du mouvement, toute autre intervention (eau, vent, glaciers, etc.).

A côté de ce trait, commun à tous les mouvements de terrain, nous observons dans la nature une grande variété de caractères secondaires et spécifiques, responsables de la diversité et de la complexité du phénomène, et que nous pouvons résumer ainsi :

- Existence ou non d'une ou plusieurs surfaces de rupture ou de discontinuité cinématique.
- Forme de la surface de rupture éventuelle.
- Type de terrain concerné.
- Teneur en eau du terrain avant le déclenchement du phénomène.
- Teneur en eau des terrains déplacés.
- Dimensions de la masse en mouvement et amplitude de son déplacement.
- Vitesse de déplacement.
- Remaniement interne du terrain transporté.

III - ETUDES ANTERIEURES

Les mouvements de terrain ont déjà suscité de nombreuses études. On peut juger de l'importance et de la diversité de celles-ci en citant simplement les travaux de K. TERZAGHI (1950), D.J. VARNES (1958), Q. ZARUBA et V. MENCL (1969) et R. POZZI (1970). L'étude de J.-P. BOMBARD (1968) nous paraît particulièrement utile, car elle expose les classifications existantes et analyse dans le détail les nombreux facteurs de l'instabilité.

Quant à la cartographie des mouvements de terrain, elle a déjà fait l'objet d'essais, tant en France qu'à l'étranger, mais ceux-ci restent souvent dispersés (1).

Afin de mettre au point une méthode appropriée, le B.R.G.M. et notre Laboratoire ont entrepris en commun, depuis 1970, le relevé systématique des mouvements de terrain dans certaines zones des Alpes. A titre expérimental, deux feuilles I.G.N. au 1/50 000 (La Grave et St-Jean-de-Maurienne) ont ainsi été mises en route en 1971 et 1972. La méthode proposée, ainsi que les résultats obtenus sur une coupure de la feuille La Grave ont été publiés et discutés au Symposium de Cannes (octobre 1973).

(1) Citons l'exception constituée par la Tchécoslovaquie dont le territoire est entièrement couvert par la cartographie des mouvements au 1/25 000.

IV - CLASSIFICATION DESCRIPTIVE

A - INTRODUCTION

Les critères de classification ont été étudiés par maints auteurs, ingénieurs ou géologues, tous influencés par leur formation (1). Il en résulte deux catégories de classifications, descriptive et géomécanique.

L'orientation de cette étude nous a conduit à rechercher une classification utilisable au stade du lever de terrain, c'est-à-dire au moyen des seules observations de surface.

Il est alors apparu que la classification de J.P. MOUGIN n'est pas totalement adaptée. Elle s'applique à des cas isolés et simples, représentés par des modèles schématiques, ceci dans un but de rationalisation, mais ne recouvre pas la totalité des processus naturels. Lui échappent, en effet, deux catégories beaucoup plus importantes de mouvements, ceux qui ont progressivement évolué d'un type à un autre, et ceux, généralisés et/ou complexes, dont il est difficile de distinguer des parties indépendantes. Leur superficie dépasse largement, nous le verrons plus loin, celle des cas simples. Cette classification s'est donc révélée tout de suite incomplète sur le plan descriptif.

D'autre part, avec le peu de moyens dont dispose le géologue de terrain, certains critères apparaissent trop rigoureux. Ainsi, il est difficile dans certains cas de se prononcer sur l'existence d'une surface de rupture définie.

Le fauchage mis à part, il existe des glissements dont la surface de rupture s'interrompt progressivement dans une masse disloquée, ou reste floue car on passe graduellement d'un fluage profond au substratum disloqué, déformé puis en place (voir, plus loin, l'analyse des glissements d'Ornon et de St-Sorlin-d'Arves, entre autres). Il est encore plus difficile d'estimer l'allure de cette surface (ou groupe de discontinuités importantes) dont on ne voit souvent qu'une petite partie sur le terrain (niche d'arrachement).

En bref, après l'étude de plus de 200 mouvements divers, la classification de J.P. MOUGIN, bien qu'elle essaie de concilier les préoccupations des géologues et des mécaniciens, s'est révélée à la fois trop théorique, trop schématique et incomplète dans le cadre précis de cette analyse systématique et purement descriptive.

Il nous est alors apparu plus efficace d'en élaborer une nouvelle en conservant certains critères déjà proposés : relations entre la surface de rupture et la géologie et terrains concernés.

B - LES CRITERES UTILISES

Ils constituent le sujet principal des discussions sur la manière d'établir une classification ; aussi, dans le cadre de notre étude, nous efforcerons-nous d'être bref.

En présence d'un mouvement de terrain, les caractères qui frappent en premier lieu l'observateur sont :

(1) Dans le but d'établir une classification internationale, NEMČOK, PAŠEK et RYBÁŘ (Tchécoslovaquie) tentent actuellement de recueillir le maximum de suggestions relatives aux critères spécifiques qu'ils ont proposés.

- l'ampleur et la forme générale
- le mode de déplacement
- la complexité ou l'unité du style
- le terrain en cause
- les déformations et l'état des matériaux déplacés : crevasses, bourrelets, dépressions, chaos de blocs, ravinement, etc.
- le degré de saturation des matériaux
- la présence et l'allure de la zone de départ : forme et importance de la niche d'arrachement, érosion ...
- éventuellement, dans certains cas, la vitesse de déplacement.

C'est à partir de ces caractères que nous avons dégagé les principaux critères de notre classification.

1 - Le mode de mouvement

Nous en distinguerons 8 (voir le tableau et les schémas de référence, (fig. 26 et 27) :

- les écroulements
- les affaissements
- le fauchage
- les glissements
- les coulées
- la reptation ("creep")
- la solifluxion
- les laves.

2 - La complexité du mouvement

On peut scinder tous les types de mouvements en deux groupes :

- les mouvements circonscrits, simples ou isolés.
- les mouvements généralisés et/ou complexes.

a) Les mouvements circonscrits, simples ou isolés

L'observation montre que les mouvements circonscrits et isolés, dont le mode est unique et quelconque, ne sont pas aussi courants que ceux dont le style initial a évolué vers un mode différent. Ce fait très fréquent, se localise au front de la masse déplacée qui apparaît avec un remaniement plus fort. Nous considérons encore ce type de mouvement comme simple.

Pour illustrer ce processus de filiation d'un mode à un autre nous prendrons l'exemple du mouvement d'En Brunet, décrit par J.P. MOUGIN (1973), et dont nous avons reconstitué schématiquement le mécanisme (fig. 25).

b) Les mouvements généralisés et/ou complexes

L'évolution peut aussi, échelonnée dans le temps, se propager dans la zone amont et (ou) les zones latérales : elle couvrira alors une grande étendue. On aboutit dans ce cas à une superposition et même à une intrication qui effacent peu à peu les processus élémentaires de mise en place. Nous qualifions alors ce phénomène de complexe. Les mouvements peuvent être très divers du sommet au front et latéralement. Les termes ultimes sont des coulées qui confluent et s'imbriquent, revêtant à l'occasion avec la langue terminale qui s'étire dans un vallon, l'aspect d'un appareil glaciaire. Au milieu des zones mouvantes apparaissent, en saillie, des îlots du socle ou des panneaux glissés.

Dans cette catégorie de mouvements nous rangeons un peu à part, ceux qui, par leur ampleur et leur délimitation rarement nette, ne peuvent plus être qualifiés d'isolés, bien que le style de leur déplacement paraisse homogène. C'est le cas des glissements de versant.

3 - La morphologie

Dans ce terme, nous entendons toutes formes d'ensemble et de détail susceptibles de révéler l'existence de mouvements et les mécanismes entrés en jeu. Ainsi, la seule étude morphologique permet-elle, dans bien des cas, de conclure quant au mode de mouvement, à son activité et à son ancienneté.

Les formes propres aux mouvements de terrain ont été décrites par de nombreux auteurs. Nous insisterons plus loin (chap. 5, 6 et 7) sur la description de certaines qui permettent de préciser le type, le degré actuel d'activité du mouvement, d'identifier les déplacements anciens, etc..

4 - L'ampleur et les dimensions

Parmi les caractéristiques mesurées, on peut citer :

- extension de la zone déformée, de la niche d'arrachement,...
- longueur et largeur des terrains déplacés et leurs variations (front plus large que la tête ...).
- épaisseur et volume estimés des terrains déplacés, etc..

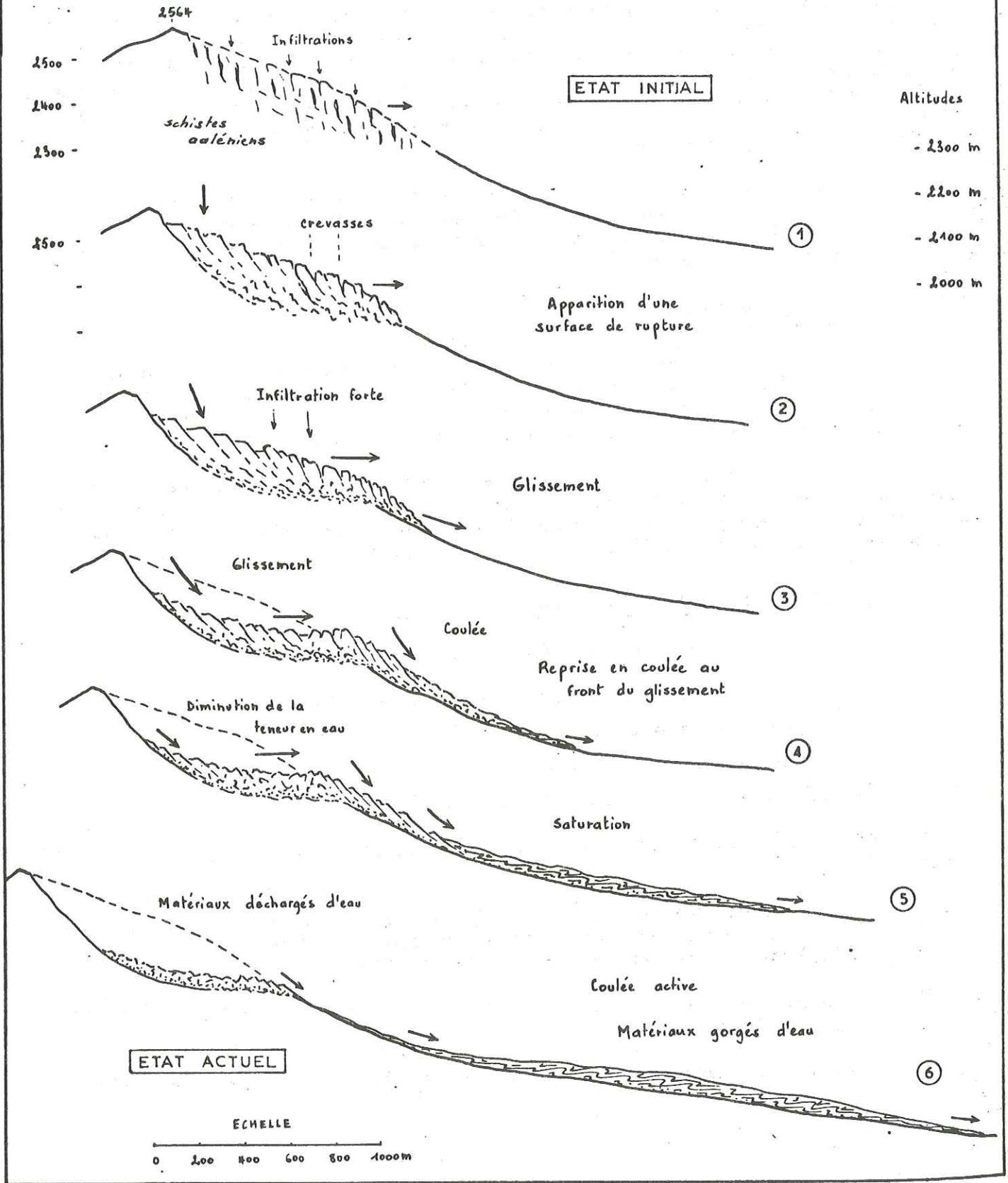
Certaines mesures peuvent s'exprimer sous la forme de rapports, les plus utilisés étant :

- le rapport d'extension $Re = L_1/L_2$, quotient de la distance entre le sommet de la zone de départ et le front de la masse déplacée (L_1) par la longueur de la zone de départ (L_2).
- le rapport L/l , égal au quotient de la longueur de la masse déplacée par sa largeur.

Ces deux rapports donnent une idée de la forme du mouvement considéré.

Fig. 25

GLISSEMENT D'EN BRUNET



5 - La géologie

Elle rassemble les données pétrographiques, sédimentologiques et structurales qui ~~permettent de caractériser~~ la géométrie interne et d'autre part la qualité mécanique des matériaux du massif étudié.

La lithologie et l'étude structurale permettent de ^{prendre compte de} (caractériser) la disposition et l'état de la roche : stratifiée, plissée, disloquée, broyée, ... consistante, massive, granuleuse, etc..

La qualité des matériaux peut se traduire par leur cohésion :

- roche à forte cohésion (solide, monolithique...);
- roche à faible cohésion (tendre, altérée, très fissurée...);
- roche meuble (granuleuse, pulvérulente, très altérée...).

D'un point de vue tectonique, on peut parler de compétence ou d'incompétence de la roche à l'échelle du banc, et de style cassant ou souple à l'échelle d'une formation ou d'un massif.

Par ailleurs, l'examen lithologique et structural permet de déduire les caractéristiques hydrauliques (perméabilité...) du massif étudié. Mais ceci ne prouve pas qu'il contient vraiment de l'eau.

Enfin, les sources, manifestations terminales des écoulements souterrains, fournissent parfois des renseignements sur la géométrie interne du massif.

6 - Le remaniement interne

J.P. MOUGIN constate que : "la notion de remaniement interne est directement liée à la densité de surfaces de rupture secondaire à l'intérieur de la masse en mouvement, ... et au mécanisme du mouvement. Ainsi peut-on avoir des mouvements à remaniements internes très différents pour des terrains de même nature".

Cette définition, qui rappelle celle de la mécanique des sols, s'applique plus particulièrement aux glissements et aux coulées. Afin de l'étendre à tous les types de mouvement, il serait nécessaire de faire intervenir en plus la notion de "liberté de jeu" des éléments en cours de trajet (1).

Ainsi, les blocs d'un écroulement, rebondissant et roulant sur la pente se déplacent-ils dans l'air librement. Ils peuvent se casser et se diviser fortement si le nombre de chocs est important. Par contre, les éléments d'une lave ne peuvent se mouvoir aussi librement, car ils baignent dans une phase liquide qui les freine. La vitesse de déplacement de l'ensemble est bien moindre et seuls les petits éléments se divisent, l'agitation n'étant pas assez forte pour fragmenter les gros (ils ne subissent qu'une usure). Dans le cas d'une coulée, la quantité d'eau étant bien plus faible, l'ensemble se comporte comme un fluide visqueux (densité élevée, frottements importants entre les éléments, déplacement lent).

On arrive ainsi aux glissements, où la phase solide, prédominante et transportée sans violence, peut rester cohérente.

(1) On peut parler aussi de "violence de l'agitation" des matériaux.

7 - La surface de rupture principale

La surface de rupture ou de discontinuité cinématique principale existe dans tous les types de mouvements à l'exception du fauchage et des plis "en genou" affectant les roches stratifiées. Des surfaces de rupture secondaires peuvent se produire à l'intérieur de la masse en mouvement.

La forme de la surface de rupture est toujours en relation avec la géologie : nature de la formation (homogène, hétérogène, meuble, cohérent, ...), structure, fracturation, etc. En général, elle a une concavité orientée vers le haut et des configurations très diverses : paroi subverticale, cuillère, dièdre, gouttière, etc.

Les types principaux de surface de rupture sont :

- surface apparue dans un matériau continu (surface courbe). Ce cas n'est pas fréquent dans la nature ;
- limite entre substratum et terrain de couverture ;
- limite entre substratum altéré ou peu cohérent et substratum sain ou cohérent ;
- surfaces de discontinuité liées à la stratification ou à la schistosité, et à la fracturation (failles, diaclases).

La surface de rupture (zone de départ pour certains auteurs) est souvent visible en partie à l'amont et constitue alors la niche d'arrachement, dont l'allure renseigne sur le mode et la fraîcheur du mouvement.

C - CLASSIFICATION

A partir des critères définis ci-dessus on peut dresser un tableau représentant 10 types de mouvements de terrain, regroupés en 2 classes (fig. 26 et 27). Ces types élémentaires et idéaux sont des représentations simples et commodes. Toutefois, on n'oubliera pas qu'il existe des cas douteux ou intermédiaires.

Quant aux types de terrains concernés par le mouvement, trois cas sont envisagés, permettant une distinction sommaire mais très utile pour la compréhension du mécanisme.

1 - Les mouvements circonscrits, simples ou isolés

a) Les écroulements

Ils consistent en une chute de masses rocheuses plus ou moins importantes, se détachant d'une paroi pour venir former au pied du versant un amas chaotique et aéré de matériaux grossiers.

Ces mouvements affectent les roches dures et homogènes formant une falaise (70° au surplomb) et parcourues par des fractures continues.

Le mécanisme général peut se décomposer en 4 phases :

- écartement des fissures en retrait de la falaise, conséquence du "foirage" des couches sous-jacentes, de l'action du gel, de la pression de l'eau, etc. Une masse rocheuse délimitée devient instable ;
- glissement et/ou basculement de cette masse par appel au vide ;

- écoulement proprement dit pendant lequel la roche est morcelée et se déplace à grande vitesse ;
- stabilisation rapide des matériaux écroulés donnant un chaos de blocs de toute taille (très fort frottement interne),

Divers types d'écroulements sont représentés sur la figure 27a.

Remarques : on mettra à part les éboulis vifs, les avalanches de pierres et les moraines de névés car les processus sont un peu différents et surtout parce qu'ils intéressent des masses peu importantes.

Les glaciers rocheux et les coulées de pierres sont des amas de matériaux de provenance diverse animés d'un mouvement lent.

b) Les affaissements

Ce sont des déplacements subverticaux, parfois brutaux (effondrements), causés par une ablation en profondeur due à la circulation de l'eau. Il en résulte une dépression de dimension très variable.

On peut distinguer plusieurs types d'affaissements suivant la nature et la structure de la roche (fig. 27 a).

c) Le fauchage

Mouvement affectant des roches stratifiées ou schisteuses : le bord libre des couches s'infléchit vers le bas de la pente (crochons) sans se désolidariser complètement du massif. La déformation est de style souple, mais des ruptures peuvent se produire localement. (fig. 27b).

d) Les glissements

Ils ont été largement décrits dans la littérature. On peut résumer ainsi leurs principales caractéristiques :

- Présence d'une surface de rupture continue.
- Remaniement interne faible et généralement plus fort vers le front.
- Extension de la masse glissée faible à moyenne.
- Les terrains concernés par la surface de rupture ne peuvent être des roches dures et massives,

Nous avons distingué 3 types de glissements, suivant le contexte géologique (fig. 27 b).

. Glissement affectant le substratum

On peut différencier deux styles suivant la nature et la structure du terrain :

- *roches incompetentes*, bien litées et contenant une certaine proportion de niveaux tendres (fig. 27 b, n° 6). La surface de rupture peut coïncider avec des surfaces structurales ou au contraire les recouper, ou encore combiner ces deux dispositions (dièdres dessinant un ou plusieurs couloirs), cas le plus fréquent.

CLASSIFICATION DES MOUVEMENTS DE TERRAINS

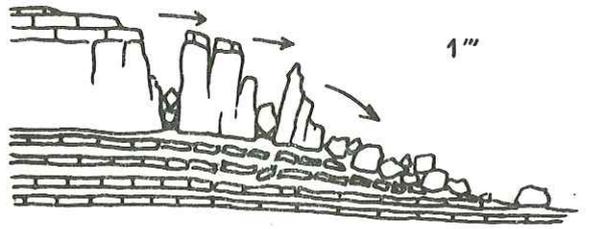
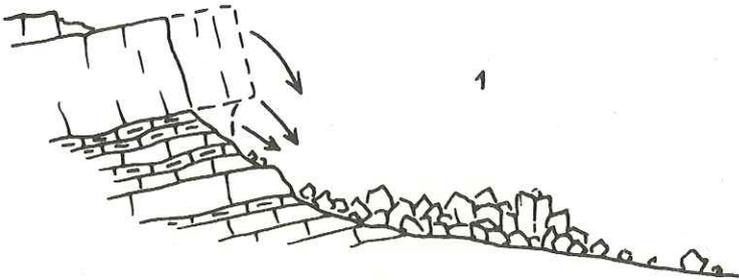
Fig. 26

CLASSE	TYPE	Terrains concernés			CARACTERES PROPRES COMPLEMENTAIRES	REMANIEMENT INTERNE	VITESSES	VOLUMES en m ³	L/I Rapport d'extension	TENEUR EN DES QUANTITE D'EAU POUR TERRAINS EN LES MOUVEMENTS ACTIFS	N ^o
		SUBSTRAT.	COUVERT.	SUBST. % COUV.							
Mouvements circonscrits, simples ou isolés	ECROULEMENTS	+			MASSE ROCHEUSE. EN UN SEUL TEMPS	MAXIMAL	Jusqu'à	Jusqu'à 500. 10 ⁶		FAIBLE A NULLE	1 2
		+			PAQUETS DE ROCHES. SUCCESION DANS LE TEMPS CON- DUISANT A UN EBOULIS GROSSIER	MAXIMAL	100 m/sec.	VARIABLE < 10 ⁶			
	AFFAISSEMENTS	+			DEPLACEMENT	FORT	QUELQUES cm/AN Jusqu'à 10 m/sec. (?)	?		FAIBLE A NULLE	3
			+		SUBVERTICAL FORMES D'ENTONNOIR						4
	FAUCHAGE	+			ROCHES STRATIFIEES OU SCHIS- TEUSES. PAS DE SURFACE DE GLISSEMENT	TRES FAIBLE	TRES LENTES	PEUT DEPASSER 10. 10 ⁶			5
	GLISSEMENTS	+			ROCHES PLUS OU MOINS COMPE- TENTES. PRESENCE FREQUENTE DE PAQUETS RESTES COHERENTS	FAIBLE	QUELQUES dcm/AN A QUELQUES m/min. LORS DE L'ACCE- LERATION FINALE	Jusqu'à 100. 10 ⁶	1,5 à 3	MOYENNE	6
		+				FORT				MOYENNE	7
			+		COHESION NON NULLE	FAIBLE				MOYENNE	8
				+		FAIBLE				MOYENNE	9
	COULEES	+			ROCHES GENERALEMENT IN- COMPETENTES, ALTEREES. PAQUETS COHERENTS RARES	FORT	QUELQUES dcm/AN Jusqu'à 1 m/sec.	Jusqu'à 50. 10 ⁶	2 à 8	SATURATION	10
			+		COHESION NULLE OU DEVENUE TRES FAIBLE	FORT				SATURATION	11
				+	SUBSTRATUM NE POUVANT DRAI- NER LA COULEE OU AU CONTRAIRE ALIMENTANT CELLE-CI	FORT				SATURATION	12
	REPTATION			+	DEFORMATIONS SUPERFICIELLES FAIBLES	FORT	TRES LENTES	(FAIBLE EPAISSEUR - GRANDE SURFACE)		VARIABLE	13
	SOLIFLUXION		+	+	GLISSEMENT EPIDERMIQUE	VARIABLE	TRES LENTES AVEC ACCELERATIONS LOCA- LES ET SAISONNIERES	(EPIDERME - EPAISSEUR < 2 m)		SATURATION	14
	LAVES	+	+	+	SOUVENT CONSECUTIVES A UN AU- TRE TYPE DE MOUVEMENT	TRES FORT	DE 1 à 10 m/sec.	PEUT ATTEINDRE EN UNE SEULE FOIS 10 ⁶	Jusqu'à 500	TRES IMPORTANTE - > VOLUME SOLIDE	15
Mouvements généralisés et/ou complexes	GLISSEMENTS DE VERSANT		+		GRANDES DIMENSIONS PRESENCE FREQUENTE DE PAQUETS RESTES COHERENTS	FAIBLE A FORT	VARIABLES 500. 10 ⁶	< 2 (?)	TRES VARIABLE	16 17 18	
		+									
		+									
MOUVEMENTS EVOLUES, DE TYPES DIVERS	+	+	+	VERSANTS ET VALLONS AFFECTES DE MOUVEMENTS DIVERS ET ANARCHIQUES OU LES TERMES ULTIMES SONT DES COULEES GE- NERALEMENT IMPORTANTES	FORT	VARIABLES ET TRES INEGALES	PEUT AFFECTER 10 ⁹		TRES VARIABLE	19 et 20	

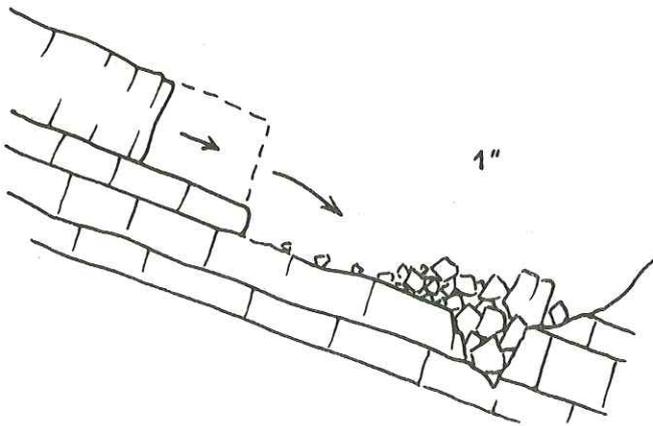
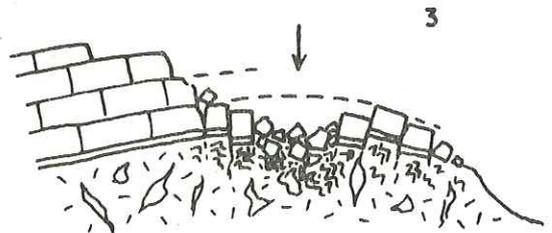
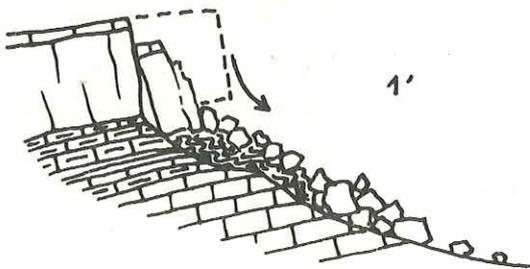
S C H E M A S D E S D I V E R S T Y P E S
D E
M O U V E M E N T S

Fig. 27a

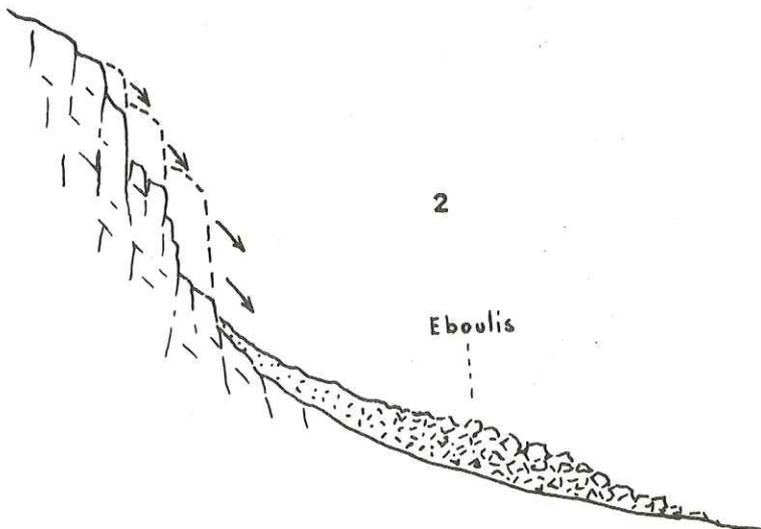
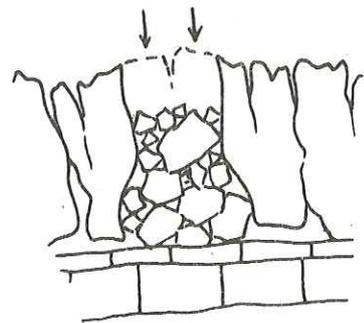
ECROULEMENTS



AFFAISSEMENTS



Effondrement 3'



Suffosion 4

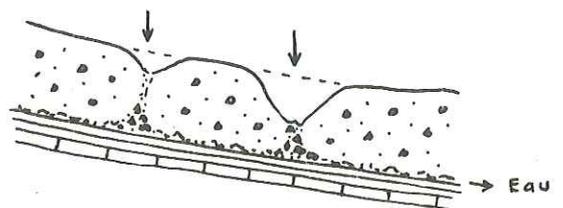
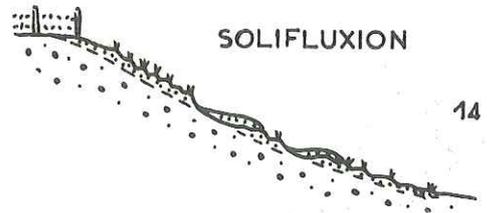
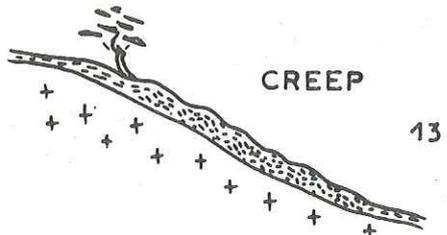
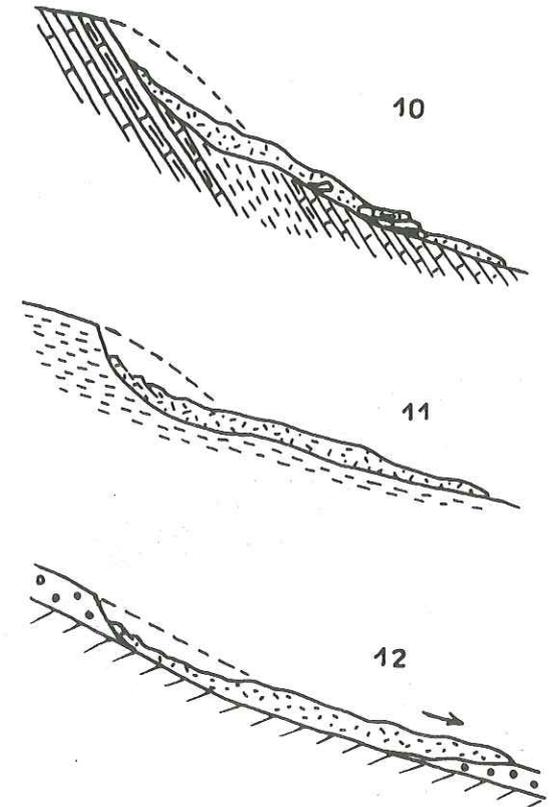
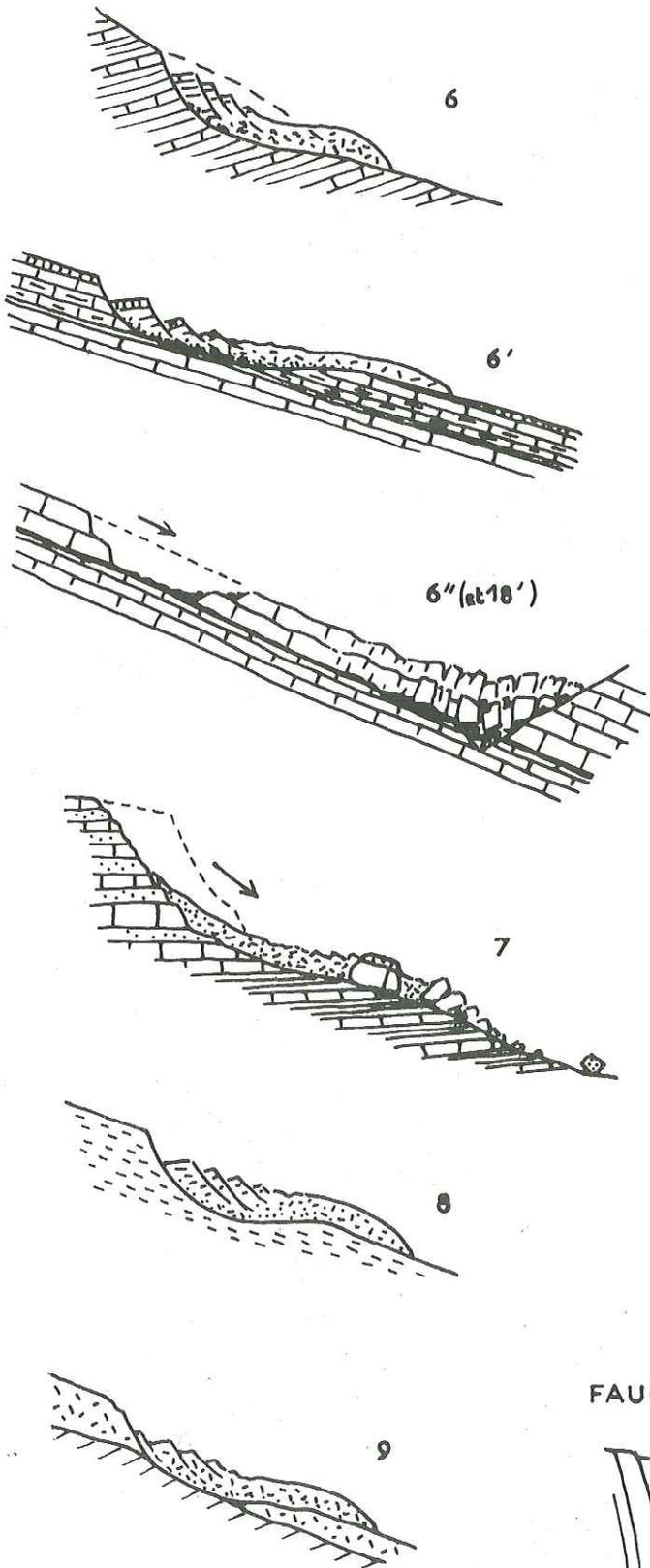


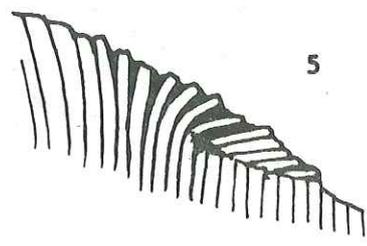
Fig. 27b

GLISSEMENTS

COULEES



FAUCHAGE



LAVE

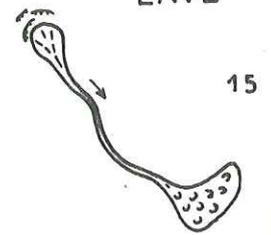
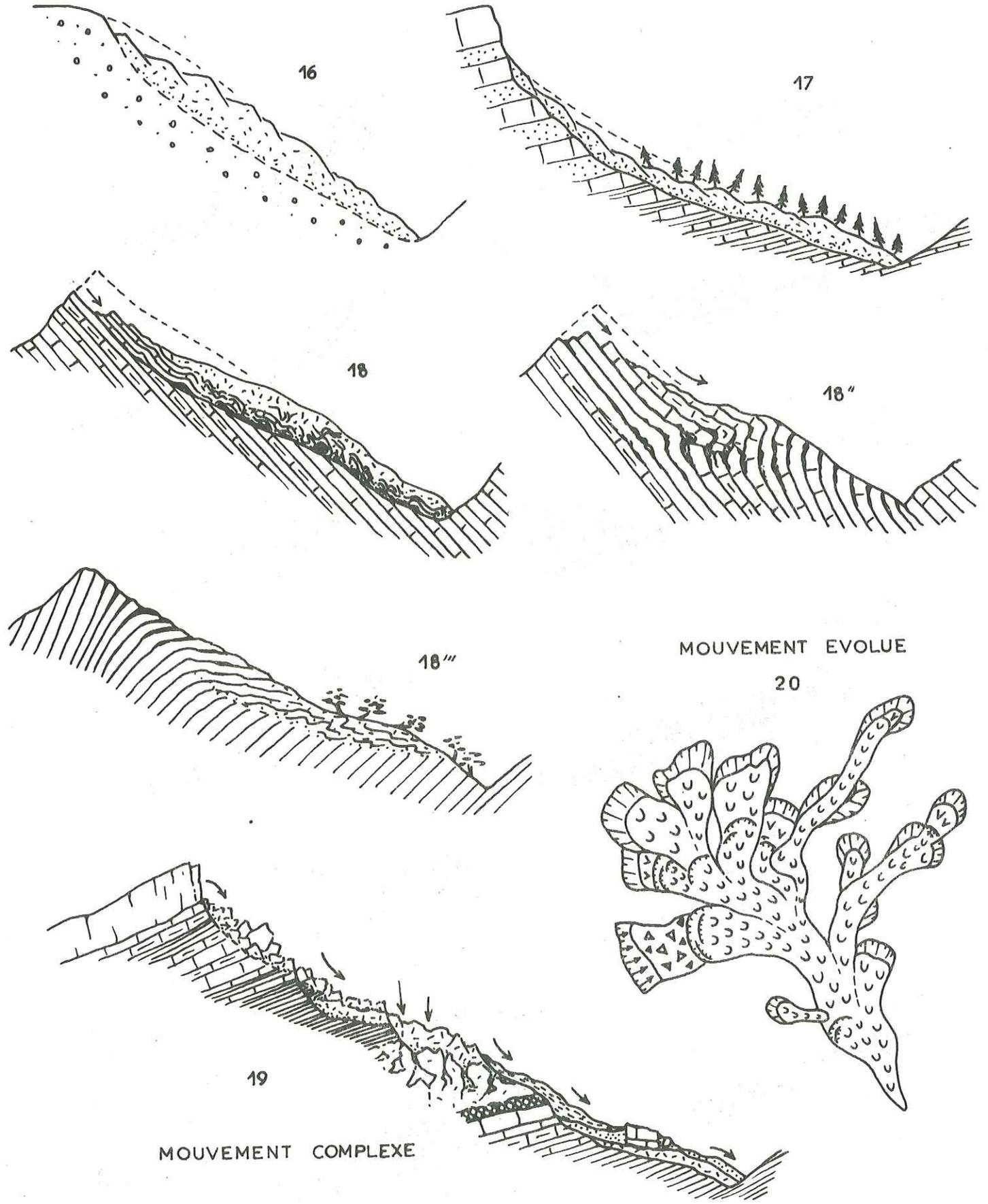


Fig. 27c

GLISSEMENTS DE VERSANT



MOUVEMENT COMPLEXE

- *roches consistantes*, litées et très fracturées (fig. 27 b, n° 7). Le remaniement interne est beaucoup plus fort. Le résultat est un épandage de blocs de toutes dimensions emballés dans une matrice argilo-sableuse (glissements de Montpascal et de la Grande Chible, par exemple).

. *Glissement dans les terrains de couverture (Quaternaire)*, (fig. 27b, n° 8)

Les glissements qui affectent ces formations, homogènes ou non et toujours imbibées d'eau, présentent une surface de rupture ayant, en coupe longitudinale, une forme circulaire ou elliptique. La couronne de la niche d'arrachement a toujours une forme d'arc de cercle. Ce type de mouvement est bien décrit dans le cas des talus artificiels, ce qui est une simplification commode mais peu réaliste, car elle suppose une surface de glissement cylindrique.

. *Glissement des formations de couverture sur le substratum* (fig. 27 b, n° 9)

La surface de rupture épouse la topographie du substratum, souvent imperméable, constituant alors le plancher d'une nappe souterraine. Mais elle peut recouper localement un terrain perméable siège de circulations souterraines, car assez fréquent.

On peut ranger dans ce type, les glissements affectant un substratum très altéré (cohésion faible), reposant sur un socle consistant et peu perméable. Leur limite forme alors la surface de rupture.

c) Les coulées

Ces mouvements affectent des terrains à cohésion faible, généralement argileux, caractérisés par un fort remaniement interne et un comportement de fluide visqueux.

Caractéristiques propres aux coulées :

- les matériaux sont toujours saturés ;
- l'extension du mouvement est importante par rapport aux dimensions de la zone de départ ;
- la distance parcourue et la vitesse de déplacement sont fonction de la teneur en eau, du volume des matériaux déplacés, et de la pente topographique ;
- la stabilisation est longue et rarement complète (sauf pour les coulées très anciennes).

Nous avons distingué 3 types de coulées (fig. 27 b), sur le même modèle que les glissements.

. *Coulée affectant le substratum* (n° 10)

Elle intéresse des formations altérées et à cohésion faible, comportant une bonne proportion de roches tendres : schistes argileux, marnes, argilites, gypses...

. *Coulée dans les formations de couverture* (n° 11)

Ces formations (roches meubles ou à cohésion très faible) sont souvent hétérogènes et mal drainées.

. Coulée des terrains de couverture sur le substratum (n° 12)

Le socle, dont la limite constitue une partie de la surface de rupture principale, est généralement imperméable mais peut comporter localement des niveaux poreux ou un réseau de fractures alimentant en eau la coulée.

Signalons au passage, dans ce dernier type, les coulées de blocs et les glaciers rocheux, mal représentés dans notre secteur.

f) La reptation

Appelée aussi "creep", "creeping" ou rampement, elle peut être considérée comme un "fluage" de matériaux à faible cohésion (sols, débris de roches...) sur une pente variable, se traduisant en surface par des déformations peu importantes et pas toujours décelables.

Caractéristiques propres à la reptation :

- elle affecte souvent les manteaux de débris recouvrant le socle sur une faible épaisseur et une surface assez importante (à l'échelle du versant) ;
- le déplacement est très lent et la déformation apparaît assez continue ;
- les vitesses de déplacement semblent décroître en profondeur ;
- il n'y a pas de surface de discontinuité cinématique toujours nette ;
- le terrain n'est généralement pas gorgé d'eau (?).
- les limites latérales sont floues.

g) La solifluxion

Par ce terme on définit le glissement lent de la tranche superficielle du terrain formée de roches meubles et de terre végétale argileuses et gorgées d'eau. Les mouvements ne sont pas continus et mal délimités. Ils se traduisent par des ondulations, bourrelets et terrassettes. Une teneur en eau trop élevée fait apparaître localement des déchirures, griffures et petits glissements en "coup de cuillère".

Ce phénomène est courant sous nos climats de montagne et affecte principalement les pentes couvertes par une végétation herbacée, l'activité la plus forte se situant au printemps avec la création d'un mollisol temporaire.

h) Les laves

Elles constituent un phénomène d'érosion et d'accumulation spectaculaire, à mi-chemin entre la coulée fluide et le torrent chargé de matériaux.

Elles prennent toujours naissance dans des terrains faiblement cohérents et gorgés d'eau. C'est le cas en particulier où le front d'un glissement ou d'une coulée comble un thalweg normalement occupé par un ruisseau. Celui-ci imbibe abondamment les matériaux qui l'empêchent de couler librement. Il se produit alors de façon irrégulière, un départ brutal de masses saturées d'eau qui, si elles sont assez importantes, peuvent parcourir plusieurs kilomètres (laves de Pontamafrey, par exemple).

2 - Les mouvements généralisés et/ou complexes

a) Les glissements de versant

Ils présentent souvent les caractéristiques d'un glissement important et lent. Le pied du versant est généralement affouillé (torrent, stade fini-glaciaire,...). Les déformations sont discontinues et les mécanismes de déplacement variés (fig. 27c).

Nous distinguerons trois types de glissement de versant, au même titre que pour les mouvements isolés.

. *Glissements affectant le substratum*

Le substratum est formé généralement de roches tendres, stratifiées ou schisteuses, peu compétentes et altérées. Il peut être recouvert par des terrains quaternaires, dont le rôle n'est pas toujours négligeable (charge, réservoir d'eau souterraine, etc.).

Nous différencierons deux cas, selon qu'une surface de rupture principale est ou non présente.

- *Surface de rupture continue*

C'est le cas de glissements affectant des structures conformes à la pente. Le sommet du versant présente des paquets restés cohérents, et le pied un bombement marqué par un resserrement de la vallée (n° 18).

- *Surface de rupture non définie*

Les déformations sont très lentes et caractérisées par un style souple. Le remaniement interne diminue avec la profondeur. Il s'agira : soit, d'un glissement couche sur couche dans la partie supérieure, entraînant une flexure "en genou" des structures situées plus bas et marquées par un vaste bombement (n° 18"), soit, lorsque les structures sont contraires à la pente du versant, d'un fauchage généralisé et profond ("balancement" des têtes de structures, fig. 18").

Dans ce dernier cas, il peut se produire en surface de véritables glissements qui masquent alors ce phénomène (Houiller briançonnais, où la profondeur affectée par des déformations peut dépasser 200 m).

Comme exemple de glissement de versant intéressant le substratum, nous citerons celui de St-Sorlin-d'Arves décrit au chapitre 7, qui est, semble-t-il, une combinaison des schémas n° 18 et 18".

. *Glissement dans les formations de couverture*

La surface de rupture ne semble pas toujours bien définie. Les matériaux, sont souvent gorgés d'eau, surtout dans la partie inférieure (sources) où des coulées isolées peuvent se produire. Ce type de mouvement se rencontre essentiellement dans des formations glaciaires (n° 16).

. *Glissement de la couverture quaternaire sur le substratum*

Les matériaux, d'origine diverse, reposent sur un socle généralement imperméable et constituant, d'autre part, la surface de rupture. Des déformations locales plus fortes, en relation avec des apports souterrains d'eau, se manifestent sous la forme de glissements et coulées plus ou moins bien circonscrits (n° 17).

b) Les mouvements évolués, de types divers

Nous avons rangé sous cette appellation des mouvements divers et anarchiques qui affectent un versant (fig. 27c, n° 19) ou un vallon et ses flancs (fig. 27c, n° 20) sur des surfaces considérables (quelques km² à plusieurs dizaines de km²). Ils résultent de l'extension dans une ou plusieurs directions de mouvements simples ou isolés.

Tous les types de terrains sont concernés. Les volumes déplacés sont importants et leur remaniement interne croît vers le bas (coulée). L'activité varie d'un point à un autre.

Les mouvements apparaissent toujours complexes car imbriqués et superposés ; d'autre part, les processus anciens sont souvent masqués ou effacés, ou ne se distinguent plus d'autres formations quaternaires restées en place. C'est le cas de la grande coulée (1) de la Rochette (fig. 28), intéressant des schistes recouverts par des formations glaciaires, et des mouvements affectant le versant de Jarrier sur 16 km² (fig. 75) et concernant essentiellement des schistes. Nous citerons aussi les coulées (1) du vallon du Merderel vers Albiez-le-Vieux (fig. 73) d'allure diverticulée, et des mouvements couvrant le versant ouest du Mont-Brequin et le vallon du St-Martin (fig. 77) sur une trentaine de km². On peut signaler enfin, le glissement (1) du versant est du massif de la Croix des Têtes, peu étendu, mais intéressant des terrains diversifiés (fig. 27c, n° 19).



Erosion et glissements dans les schistes du trias sup. dauph. ; versant NW de la pointe du Corbier.

(1) Par commodité de langage, les termes de coulée et glissement sont employés ici pour exprimer l'allure générale de l'ensemble. Ils ne caractérisent pas nécessairement le mode de déplacement.

C H A P I T R E 4

METHODE DE RECENSEMENT

ET

DOCUMENTS ETABLIS

- I. Orientation générale et stades successifs
- II. Collecte des données
- III. Transcription et présentation des données
- IV. Conclusions

I - ORIENTATION GENERALE ET STADES SUCCESSIFS

Nous avons vu quelle importance revêtent les mouvements de terrain et quelles sont leurs conséquences sur l'activité humaine. Il importe donc d'essayer de déceler et de prévoir le phénomène et, pour cela, de le comprendre. Ce dernier point surtout a été exploré par de nombreux auteurs, les recherches effectuées s'appuyant sur des cas isolés, nés spontanément ou, plus souvent encore à la suite de travaux. En revanche, la localisation et la prévention, moins approfondies, suscitent actuellement un certain intérêt, accru en particulier par le développement rapide des aménagements en montagne, qui se heurte sans cesse à la complexité du milieu naturel.

Ainsi que l'a exposé J.-P. MOUGIN (1973), il y a deux façons de concevoir l'étude méthodique des mouvements de terrain :

- "la *voie théorique* qui consiste à traiter la question comme un problème de mécanique pour en déduire des lois régissant la stabilité des pentes quitte à les confronter ensuite avec la réalité".
- "la *voie descriptive* qui conduit à un traitement statistique, de façon à mettre en évidence l'influence des divers paramètres sur la stabilité des pentes".

Cette voie descriptive, imposée par le but pratique de notre étude, essentiellement préventive sur le plan économique et humain, a été seule retenue ici. Il était alors nécessaire de s'astreindre à une transcription systématique de toutes les observations qu'il était possible de recueillir, à propos de chaque mouvement actuel ou ancien par le moyen d'une fiche documentaire et d'une figuration cartographique.

Nous insisterons ici sur la méthode d'investigation utilisée au stade de la collecte des diverses données et sur l'esprit dans lequel ont été établis les documents descriptifs, conçus pour être commodément consultés - voire complétés - et aussi confrontés en vue d'opérations de synthèse.

II - COLLECTE DES DONNEES

A - MOYENS OFFERTS

1 - Documents graphiques

- a) Cartes topographiques I.G.N.
 - . Région étudiée
 - St-Jean-de-Maurienne n° XXXIV-34, au 1/50 000.
 - Les 8 plans directeurs correspondants, au 1/20 000.
 - . Régions limitrophes
 - Modane n° 1 et 5, au 1/20 000.
 - La Grave n° 2 et 3, au 1/20 000.

b) Cartes géologiques

La feuille de St-Jean-de-Maurienne au 1/80 000, ancienne (1931), n'a pas été utilisée. Une édition de la carte au 1/50 000 est en cours de publication. Nous n'avons pas pu, malheureusement, la consulter. Elle reprend une partie des levés de R. BARBIER (1948), qui, dans la région est de la feuille, ont constitué un excellent support pour notre travail. La partie ouest, où la structure géologique est beaucoup moins complexe, a fait l'objet d'un levé personnel sommaire (1972) partant de données orales fournies par J.C. BARFETY, et complété par la consultation d'une publication sur les plis E-W du Mont Charvin (R. BARBIER, J.C. BARFETY - 1973).

Quelques levés localisés au 1/10 000 ou 1/5 000, effectués à titre privé, ont pu être consultés (le Bochet - Montricher, Pontamafrey).

c) Photographies aériennes

Nous disposons d'un jeu de 90 photos I.G.N. au 1/50 000 (environ), de la mission Bonneville-St-Jean-de-Maurienne effectuée en 1956.

2 - Bibliographie et archives

a) Bibliographie

Elle comprend deux parties :

. Etudes qui touchent de près ou de loin à la région - Le mémoire de R. BARBIER (1948) constitue un ouvrage de base sur la géologie locale. Entre autres études générales, on peut citer celle de J.P. VACHER (1967) sur l'hydrogéologie sommaire du bassin versant de l'Isère.

. Méthode d'étude des mouvements et essais de cartographie - Les communications présentées au Symposium de Cannes (oct. 1973) ont montré avec quelle diversité on pouvait concevoir l'étude préventive des mouvements de terrain et son expression cartographique (1). Elles ont montré par ailleurs que des essais de cartographie ont déjà été effectués dans de nombreuses régions et qu'ils ont été surtout le fait d'organismes publics (Universités et Services nationaux) tant en France qu'à l'Etranger (Italie, Canada, Tchécoslovaquie...). En France, on citera les résultats de la "Cartographie systématique des mouvements de terrain sur la feuille La Grave au 1/50 000" publiés par l'Institut Dolomieu en association avec le B.R.G.M. (même Symposium), et la carte des glissements de terrain du site de Val Thorens (M. HUMBERT et A. PACHOUD, 1970).

b) Etudes de caractère local

Bien que la pression des circonstances les rende nécessaires en de nombreux endroits, elles n'ont été réalisées en détail, à notre connaissance, que sur trois sites de la région : coulées de Pontamafrey, glissement du Bochet et stabilité des terrains portant la route et la station de ski de Montricher.

(1) Celles qui se rapportent à ces deux thèmes sont mentionnées à la fin de ce mémoire, dans la bibliographie.

c) Documents archivés

. Données climatologiques :

- précipitations
- températures
- vents
- enneigement.

Elles ont été communiquées en majorité par l'E.D.F. (R.E.H. de Grenoble, Lyon et Chambéry). Pour les vents, il n'existe en Savoie que la Station de Challes-les-Eaux.

. Données hydrologiques :

- inventaire des sources (B.R.G.M., 1971)
- débits de torrents (E.D.F. - R.E.H. Chambéry).

B - TRAVAUX PERSONNELS D'ANALYSE

1 - La photo-interprétation

La vision stéréoscopique permet de repérer les formes caractéristiques des mouvements de terrain, qui peuvent ainsi être délimités et décrits de façon sommaire et assez rapidement. Cette technique est largement utilisée actuellement (1).

L'observation des photos aériennes a été effectuée ici en plusieurs temps. Tout d'abord, elle a permis de se familiariser avec le terrain, d'y déceler les mouvements et d'en donner déjà une brève description (site, forme, ...). Ceci se révèle fort utile avant d'entreprendre la campagne de terrain. Durant celle-ci, il est nécessaire d'observer souvent ces photos, afin d'avoir une vision synthétique des phénomènes et de replacer avec précision ou de comprendre certains détails. Ceci est vrai en particulier pour la cartographie des mouvements généralisés et/ou complexes. Après la collecte de nombreuses observations sur le terrain, de tels mouvements peuvent faire l'objet d'une photo-interprétation globale afin de faciliter la représentation cartographique qui n'est pas toujours aisée sur place.

2 - L'observation sur le terrain

La principale difficulté consiste à effectuer un choix des détails significatifs. Ainsi une description lithologique devra-t-elle faire apparaître les points essentiels tels que l'alternance de bancs durs et tendres, ou la présence de niveaux altérés et argileux au sein d'une masse rocheuse compacte, plutôt que de s'attacher à une interprétation stratigraphique superflue.

Il est tout aussi nécessaire, pour recueillir des observations suffisamment denses et complètes, d'examiner le site sous des angles différents.

Les cas complexes peuvent d'autre part s'éclaircir s'ils sont vus à diverses saisons.

(1) On peut citer les travaux italiens de C. CONEDERA, A. ERCOLI (Géomap) et R. POZZI, G. SFONDRINI (Université de Milan).

L'analyse est plus ou moins approfondie suivant les conséquences ou l'intérêt que présente le phénomène. Un petit écroulement de haute montagne, éloigné de toute activité humaine sera l'objet d'une reconnaissance sommaire, alors qu'un glissement affectant une route ou présentant un mécanisme intéressant sera considéré en détail.

Le croquis et la cartographie peuvent s'effectuer sur le site même du mouvement, mais il est souvent préférable de rechercher une vue panoramique, la meilleure station étant généralement située sur le versant opposé.

3 - Les techniques annexes

a) Les enquêtes

Menées durant la campagne de terrain, elles consistent à rechercher, auprès de la population, des témoignages sur l'activité des mouvements de terrain. Les personnes travaillant souvent à l'extérieur sont les mieux informées : paysans, cantonniers, gardes forestiers, bergers, chasseurs...

Les faits intéressants recueillis ainsi sont de nature très diverse : une source disparue, une clôture refaite après destruction par un déplacement lent et continu du terrain, une borne déplacée, un petit ruisseau devenant occasionnellement un véritable torrent en quelques heures, l'apparition de fissures ou vides, etc..

On trouve également des renseignements auprès des administrations publiques (mairie, gendarmerie) et du clergé pour les catastrophes très anciennes.

b) Les analyses de laboratoire

Il est parfois très difficile de tracer une limite entre une formation quaternaire stable et une masse déplacée, ou de savoir si le terrain superficiel est en place ou non, en particulier lorsqu'on a affaire à des mouvements très anciens, stabilisés et envahis par une végétation dense. On peut alors avoir recours à certaines analyses d'échantillons (granulométrie, sédimentométrie, morphoscopie, pétrographie macroscopique, diffractométrie et limites d'Atterberg). Cette technique d'investigation ne donne pas, nous le verrons en annexe, des résultats suffisamment précis et constants pour que son emploi soit systématique. Nous ne ferons donc ici que la mentionner.

III - TRANSCRIPTION ET PRESENTATION DES DONNEES

Elles comportent, pour chaque mouvement, l'établissement d'une fiche analytique et une représentation cartographique. Ce travail étant destiné à être effectué puis consulté par différentes personnes, il est nécessaire de fixer nettement les conventions tant terminologiques que graphiques qui s'y rapportent. Nous allons d'abord les exposer en détail.

A - GLOSSAIRE ET FIGURES

1 - Le glossaire

La liste des termes usuels avec leur signification, proposée par J.P. MOUGIN (1973), a été reprise avec un certain nombre de modifications.

- Arrachement* : partie affleurante d'une surface de rupture secondaire, affectant une masse déplacée, mouvante ou instable.
- Arrachement principal* : partie visible de la surface de rupture majeure.
- Banquette* : partie de la topographie initiale déplacée et conservée entre deux arrachements.
- Banquette de régression* : banquette apparue plus tardivement à l'amont de l'arrachement principal.
- Bourrelet* : toute surélévation locale due à une compression.
- Bourrelet frontal* : bourrelet développé au front d'un glissement ou d'une coulée.
- Corps* : partie de la masse glissée peu remaniée et surtout non reprise en coulée.
- Couronne* : contour supérieur de la niche d'arrachement.
- Crevasse* : toute discontinuité béante prenant naissance par traction.
- Crevasse de régression* : crevasse s'ouvrant en arrière de la niche d'arrachement et résultant de la propagation du mouvement vers l'amont ou latéralement.
- Flancs* : limites latérales de la masse glissée.
- Front* : limite aval de la masse glissée.
- Gradins* : série de banquettes en escalier.
- Langue* : partie aval de la masse glissée, évoluée en coulée et donc très remaniée.
- Niche d'arrachement* : partie de la surface de rupture mise à nu par le départ des masses mouvantes.
- Pied* : extrémité inférieure du corps (correspondant au front s'il n'y a pas de remaniement).
- Surface de rupture* : surface de discontinuité cinématique séparant la masse déplacée du terrain resté en place.
- Surface de rupture secondaire* : surface de discontinuité cinématique importante dans la masse glissée.
- Tête* : partie amont de la masse glissée.
- Zone de départ* : zone de l'ancienne surface topographique circonscrite par les limites de la rupture.

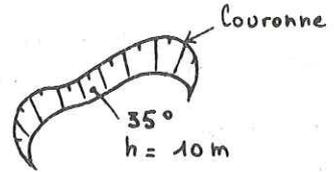
Fig. 28 a

FIGURES

GEMORPHOLOGIE

- Arrachements

Important : niche d'arrachement, surface de rupture majeure



Peu important ou secondaire avec cisaillement



Vieil arrachement ou rebord limitant à l'amont une surface d'érosion importante



Crevasse, fissures

extension simple



cisaillement



- Falaise



- Talus, ressaut



- Ravinement, têtes d'érosion



- Ligne de crête



- Terrains déplacés

Corps d'un glissement ou glissement quelconque



Langue d'un glissement ou coulée



Paquet de roches glissé ou resté cohérent



Matériaux écroulés



Gros bloc écroulé



Affaissement, effondrement



Entonnoir d'ablation



Glissement diffus, creeping



Solifluxion



Lave



Bourrelet, bombement



Fig. 28 b

HYDROLOGIE

- Sources
 - eau claire 
 - eau trouble 
 - captage 

- Cours d'eau
 - naturel 
 - canalisé 
 - temporaire (ravin) 

- Zone humide, marécageuse 

- Perte 

- Etang  temporaire 

CONSTRUCTIONS HUMAINES

- Maisons
 - intacte 
 - partiellement détériorée 
 - détruite 
 - ruine 

- Voie ferrée  dégradée 

- Route  dégradée  décrochement 

- Chemin carrossable  dégradé  emporté 

- Chemin non carrossable  dégradé 

- Mur
 - intact 
 - fissuré 
 - décroché 
 - emporté 
- sentier 

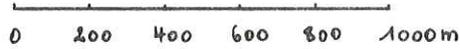
- Poteau électrique incliné 

- Carrières
 - à ciel ouvert 
 - souterraine 

Fig. 29

PHOTO-INTERPRETATION DE LA COULEE DE LA ROCHETTE

ECHELLE



2 - Les figurés

Ils accompagnent le glossaire et précisent d'autre part, de façon homogène, les croquis descriptifs (délimitation, géomorphologie, hydrologie, végétation, etc.).

Les figurés, représentés sur les pages précédentes (fig. 28), sont inspirés de ceux qu'utilise l'I.G.N. et de ceux qui ont été proposés en 1973. Sur les croquis, on ajoutera, en cas de besoin, des figurés explicités par une légende (végétation, lithologie, Quaternaire, points de mesure, etc.) et on reportera des repères permettant de les localiser (fig. 29 et 30).

D'une manière générale, tout ce qui est vu est noté en traits pleins et ce qui est supposé en pointillé.

B - LA FICHE D'ETUDE DE MOUVEMENT DE TERRAIN

1 - Présentation

Cette fiche rassemble toutes les questions que l'on doit se poser en examinant un mouvement de terrain, questions auxquelles on peut répondre sans mettre en oeuvre des moyens de prospection importants. Elle constitue d'une part un aide-mémoire des observations à effectuer, et d'autre part, le cadre où seront classées toutes les données collectées.

La fiche proposée en 1973 (Institut Dolomieu - B.R.G.M.) s'est révélée très complète en tant que guide méthodique, mais pas très commode pour consigner les faits observés. Ceci nécessite en effet l'emploi de feuilles annexes qui obligent par ailleurs à répondre aux questions dans un ordre précis. D'autre part, la consultation ultérieure n'est pas facilitée, car les réponses ne figurent pas en face des questions. Aussi avons-nous transformé sa présentation tout en conservant à peu près intégralement son contenu (fig. 31).

2 - Mode d'emploi

Ces fiches doivent rendre compte clairement des observations effectuées sur le terrain et des diverses données collectées (enquêtes, relevés climatologiques, hydrologie, bibliographie, etc.).

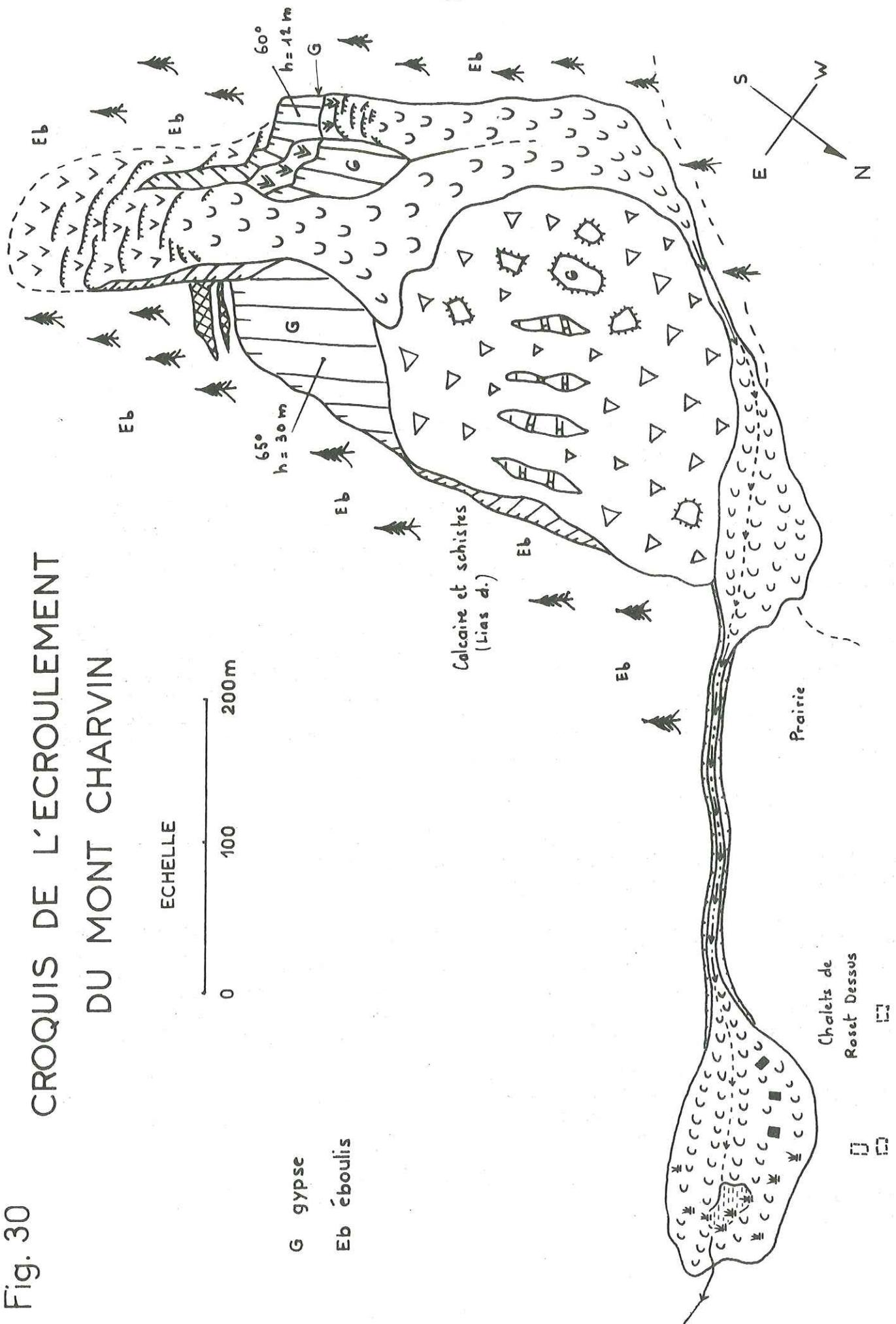
Tout en restant objective, la description peut être accompagnée d'une part d'interprétation, ce qui la rendra plus claire et l'allégera. Ceci est vrai en particulier lorsque le mécanisme du mouvement est relativement simple et évident : une abondance de détails risquerait de masquer l'essentiel. Dans ce cas, la fiche étant remplie et les notes prises sur le terrain, il est souvent avantageux de procéder ensuite, sur une fiche neuve, à une mise au net plus synthétique.

Afin de présenter le contenu de la fiche, nous décrivons celle qui concerne le glissement de Jarrier (fig. 31) : ce mouvement se situe à 2 km environ à l'Ouest de St-Jean-de-Maurienne, sur le versant sud-est du Grand Châtelard (St-Jean-de-Maurienne n° 3, au 1/20 000).

Le recto fait apparaître la localisation géographique précise et un croquis du site dont l'utilité est double : précision supérieure à la carte et image nette et synthétique pour le lecteur.

Fig. 30

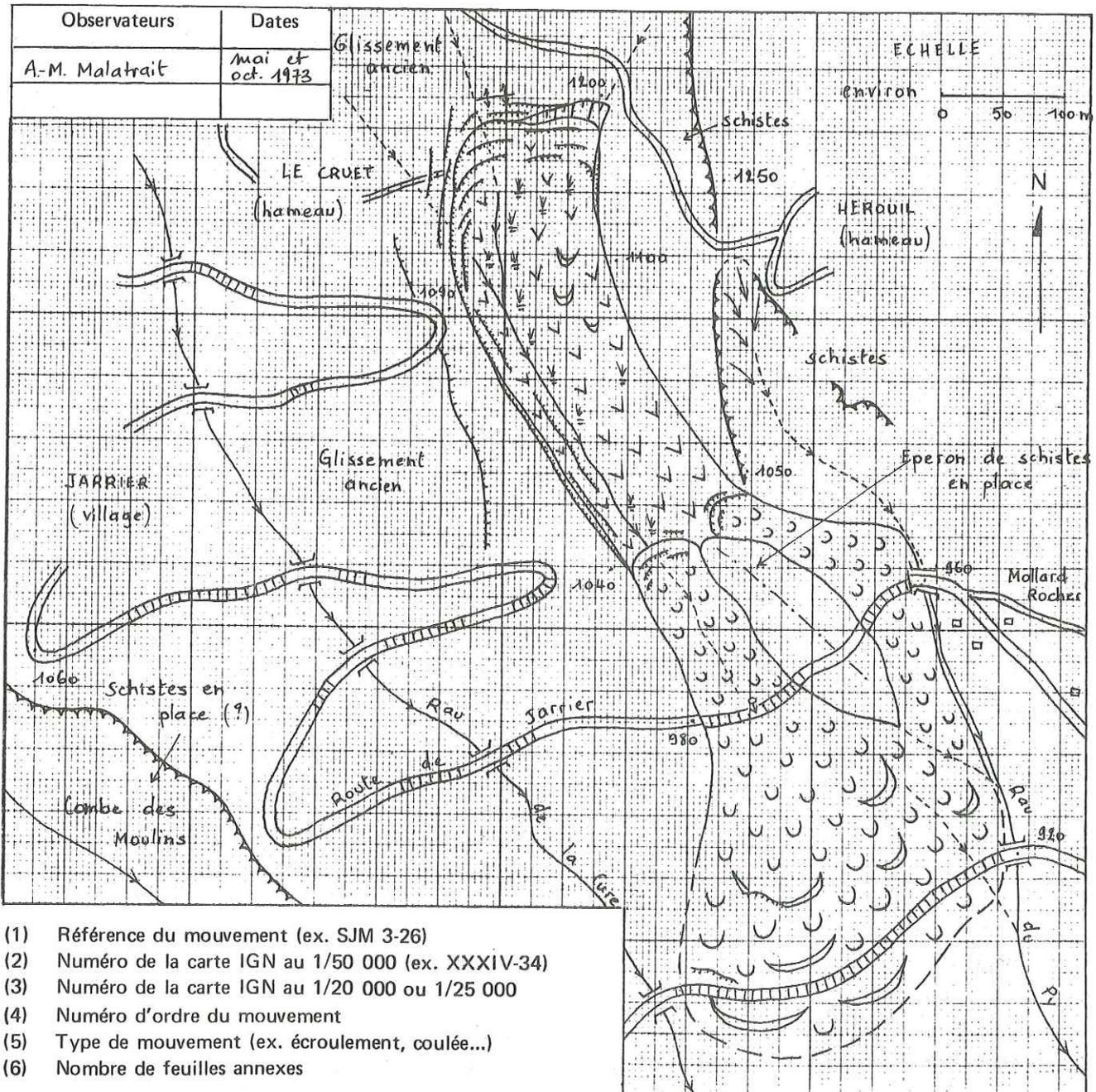
CROQUIS DE L'ECROULEMENT DU MONT CHARVIN



FICHE D'ÉTUDE DE MOUVEMENT DE TERRAIN

SJM 3-26

IDENTIFICATION	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Référence :	XXXIV-34	3	26	Glissement	1
Nom du mouvement :	DE JARRIER				
Département :	Savoie		Commune : Jarrier		
Coordonnées : Feuille (nom) :	ST-Jean-de-Maurienne			échelle : 1/20000	
sommet de la zone de départ :	X = 912,2	Y = 339,1	Z = 1200		
front du mouvement :	X = 912,8	Y = 338,5	Z = 890		
Photographies aériennes : Mission :	Bonneville - ST-Jean-de-Maurienne			année : 1956	
Numéros :	306-307-308		Photographies personnelles : 2 diapos 24x36		
Fiches annexes de détail (Références) :					



- (1) Référence du mouvement (ex. SJM 3-26)
- (2) Numéro de la carte IGN au 1/50 000 (ex. XXXIV-34)
- (3) Numéro de la carte IGN au 1/20 000 ou 1/25 000
- (4) Numéro d'ordre du mouvement
- (5) Type de mouvement (ex. écoulement, coulée...)
- (6) Nombre de feuilles annexes

Reproduire sur les annexes le numéro de la question et cocher la case correspondante (0)

I. LOCALISATION

- 0 1. Situation géographique (points repères...) A 2 km à l'Ouest de St-Jean-de-M. Le mouvement coupe la route environ 500 m avant le village de Jarrier.
2. Moyens d'accès (routes, chemins, sentiers, difficultés...) Petite route de St-Jean-de-M. à Jarrier. Chemin carrossable du hameau du Ouet au lieu-dit "Héronil".

II. CADRE GÉOGRAPHIQUE, GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DU MOUVEMENT

II.1. Topographie, morphologie et géographie du site :

- 0 3. Topographie générale (pente des versants, orientation...) Pente moyenne de 20° (environ 28° au niveau de la route). Orientation vers le Sud-Sud-Est.
- 0 4. Morphologie sommaire (forme et évolution des versants...) Morphologie assez molle (glissement ancien) avec bombements, creux, ravins généralement peu encaissés.
- 0 5. Végétation naturelle (forêts, broussailles, herbages...) Prairies, bosquets d'arbres et arbustes, broussailles et phanéropytes sur le mouvement.
- 0 6. Occupation humaine (habitat, équipement, cultures...) La route de St-Jean-de-M. à Jarrier recoupe les 2 coulés frontaux.
- 0 7. Climatologie particulière (précipitations exceptionnelles...) _____

II.2. Géologie des formations superficielles :

- 0 8. Nature et âge (dépôts morainiques, éboulis, colluvion de versant, altération...) Glissement ancien constitué de matériaux schisteux appartenant au substratum affleurant plus haut et mêlés à des formations glaciaires et des éboulis.
- 0 9. Extension et épaisseur Le glissement ancien fait partie de mouvements importants ayant affecté tout le versant.

II.3. Géologie du substratum :

- 0 10. Lithologie et stratigraphie Schistes généralement argileux, parfois calcaires ou silicifiés siliceux, sombres, avec des taches de rouille, de dureté moyenne à faible. Bancs minces, discontinus et ondulés. Ils appartiennent au Lias inférieure, schisteux, de la zone dauphinoise.
- 0 11. Stratification, pendage, structure Structure monoclinale : / $\begin{matrix} 20 \text{ à } 55 \\ 50 \text{ à } 80 \text{ SE} \end{matrix}$
- 0 12. Failles, schistosité, fracturation, foliation... Rares filons de quartz ou de calcite. Présence de zones très fracturées, disloquées, comportant localement des vides.
- 0 13. Altération générale Faite en surface
- 0 14. Remarques géologiques La matrice des matériaux en mouvement est formée essentiellement de plaquettes de schistes - Ip = 8 à 10 (analyses au laboratoire de l'Institut Dolomieu).

II.4. Hydrogéologie :

- 0 15. Eaux superficielles et nivation (ruisseaux permanents ou saisonniers, drainage, irrigation, nature des eaux...)

Ruisseaux saisonniers - voir croquis 1^{re} page.
- 0 16. Eaux souterraines (sources, pertes, réseaux karstiques, suintements, " mouilles ", nature des eaux...)

Petites sources et suintements à la tête du glissement et des 2 coulées frontales - Zones humides nombreuses - Le terrain est gorgé d'eau au printemps au niveau de la route.
- 0 17. Érosion liée à l'eau (ruissellement, ravinement, dissolution)

Ravinement dans la niche d'arrachement principale - Ruissellement faible sur les matériaux en mouvement.

III. ANALYSE DU MOUVEMENT DE TERRAIN

III.1. Description du mouvement :

- ✗ 18. Aspect général, état de fraîcheur, actif, stabilisé, etc...

Le mouvement se divise en 2 parties : un glissement donnant naissance à 2 coulées vers la cote 1050 - Le glissement a la forme d'une coulée (allure de langue glaciaire), mais les déformations ne sont pas très importantes puisqu'en particulier des arbres centenaires y subsistent, sauf à la tête et au front. Le déplacement est perceptible d'une année à l'autre (racines et fils de clôtures tendus, apparition de fissures, etc.). Ce glissement présente une pente faible (5 à 10°) entre les cotes 1100 et 1050) - Il vient buter sur un éperon de schistes en place donnant naissance ici à 2 coulées actives (ouest et est) sur une pente beaucoup plus forte (25 à 30°) - suite voir annexe 1.

A. La tête

- 0 19. Extension de l'arrachement principal : longueur (L), largeur (l), hauteur (h), pente (i), forme...

glissement : L ~ 150 m, l ~ 100 m, h maxi = 10 m - Forme de U.
coulée est : L ~ 40 m ; forme d'arc de cercle.
coulée ouest : L ~ 50 m ; " " " "
- 0 20. État des terrains glissés (gradins, banquettes, basculement, végétation, mares...)

Banquettes nombreuses à la tête du glissement - forte humidité herbages et broussailles.
- 0 21. Nature de la surface de rupture (visible ou invisible), avec sens du mouvement (stries, racines), venues d'eau, état de fraîcheur (végétation, érosion)

Surface de rupture principale visible en partie dans la niche d'arrachement - Suintements.
- 0 22. Éléments annexes : crevasses de régression, entonnoirs d'ablation

Petites crevasses et banquettes de régression à l'amont et sur la bordure ouest de la niche d'arrachement principale.

B. Le corps, le pied, le front

- 0 23. Extension (L, l, L/l), épaisseur (e), forme, arrachement latéral, déplacement moyen des matériaux, dénivellations...

Ensemble du mouvement : L ~ 900 m
Glissement : L ~ 500 m, l = 100 à 150 m.
- 0 24. État des matériaux glissés (remaniement, crevasses, bourrelets, végétation, érosion, ravinement...)

Corps du glissement peu remanié (en surface tout au moins). Remaniement fort pour les coulées - Beaucoup d'humidité, surtout au printemps.

III.2. Relations avec la géologie et l'hydrogéologie :

- 0 25. La surface de rupture est-elle 0, semble-t-elle (6)
 indépendante de la structure géologique des terrains
 au niveau d'une discontinuité (lithologique, mécanique...) Substratum schisteux imperméable
 dans une couche, en relation avec sa géométrie _____
- 0 26. Description détaillée des terrains concernés par la surface de rupture glissement ancien
voir Géologie (§ 8 à 14)
- 0 27. Relations avec l'hydrogéologie, l'érosion, le ravinement... Des circulations souterraines
sont présentes très probablement au niveau de la surface topogra-
phique du substratum - Il n'y a pas de grosses sources, mais
beaucoup d'humidité, avec des suintements nombreux, surtout au
printemps.

III.3. Historique du mouvement et évolution dans le temps :

- 0 28. Le glissement est d'âge géologique , historique , actuel (6) Éventuellement dates ?
- 0 29. Relation avec l'activité humaine : cultures, reboisement, déboisement, terrassements... La route
entaillant les coulées frontales contribue à les activer.
- 0 30. Renseignements divers, enquêtes auprès de la population Les habitants du pays
constatent un déplacement des terrains depuis fort longtemps.
- 0 31. Description de l'évolution du mouvement à la suite des observations de ce paragraphe le mouve-
ment ne semble pas évoluer vers une stabilisation.

III.4. Interprétation et pronostics

- 0 32. Estimations de la profondeur et de la forme de la surface de rupture et du volume en mouvement
voir la coupe interprétative (annexe 1)
- 0 33. Estimation des mouvements futurs probables Recul très lent de la niche
d'arrachement principale entraînant une activité permanente
des 2 coulées frontales.
- 0 34. Y a-t-il (oui 0, non 0, peut-être (6)) des menaces nouvelles et lesquelles pour l'activité humaine ?
la route de Jarrier, défoncée, risque d'être emportée en partie.
Des affaissements s'y produisent chaque année.
- 0 35. Études ou surveillance en cours (oui 0, non 0 (6)), par qui ? ?
- 0 36. Toutes autres remarques Il semble difficile de fixer les 2 coulées
frontales - Un traitement de l'ensemble paraît plus efficace.

Si vous trouvez ce document, veuillez avoir l'obligeance de le retourner à :

Monsieur
Institut Dolomieu
38031 - Grenoble

B.R.G.M.
B.P. 6009
45... Orléans 2

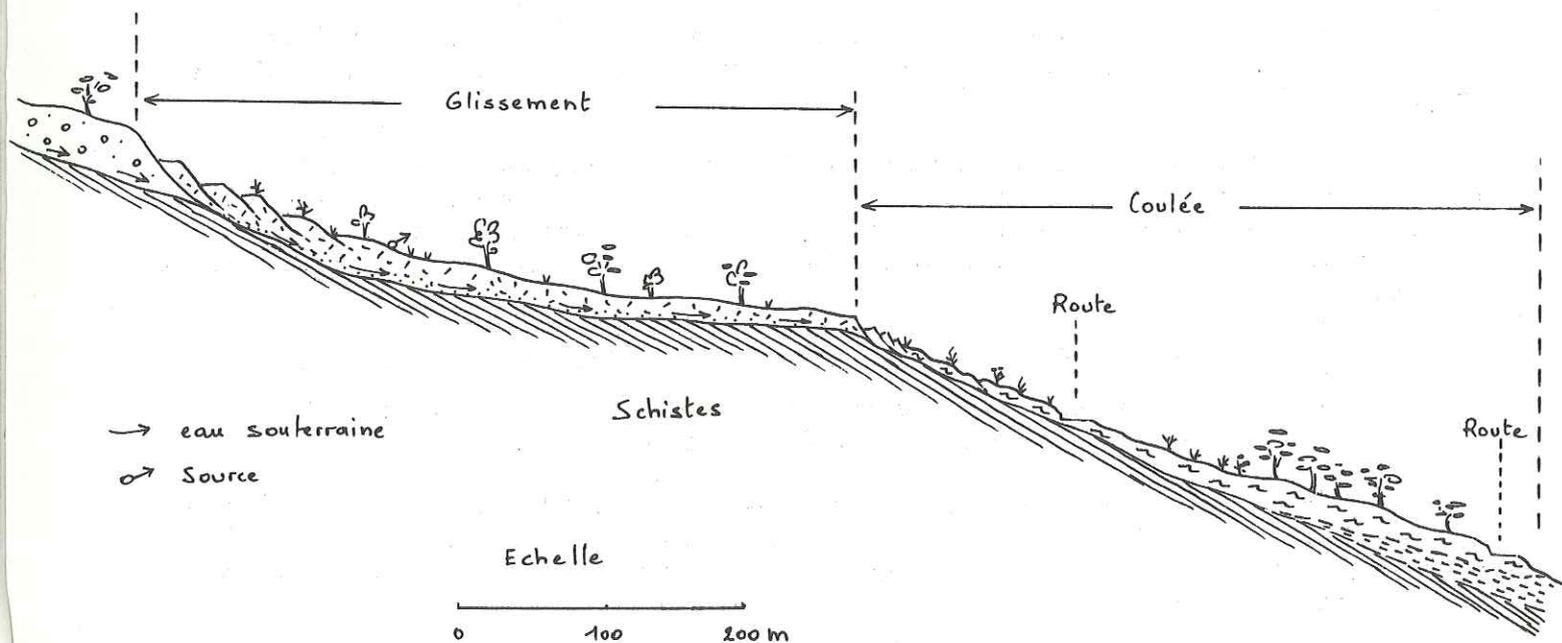
(6) mettre une croix dans la case correspondant à la solution choisie.

18. Elles dégradent la route régulièrement la route au printemps. La coulée est est peu importante. Elle semble avoir rejeté vers l'Est le petit ruisseau qui descend dans un ravin prenant naissance sous le lieu-dit "Hérouil".

La coulée ouest, apparemment plus active vient buter sous la route (cote 950 environ) contre les matériaux de glissements anciens en formant des bourrelets et bombements dégradant la route sur une longueur de plus de 300 m (cotes 900 - 920). La limite aval de ces déformations n'est pas très nette.

COUPE HYPOTHETIQUE

Fig. 31.



L'intérieur et le verso exposent une série de faits et d'observations qui, s'ils sont plus longuement développés, font l'objet de feuillets intercalaires cotés et rattachés aux alinéas correspondants,

Dans le cas de mouvements complexes, on s'efforcera toujours de rédiger une fiche globale, mais celle-ci prendra la forme d'un véritable dossier incluant des fiches annexes reproduisant ses parties constituantes.

Cette fiche analytique, certes encore perfectible, réunit les avantages suivants :

- elle est un guide très complet sur le terrain ;
- d'un emploi assez souple, elle s'adapte à toutes les catégories de mouvements ;
- elle reste facile à consulter, même par les non-spécialistes.

C - L'EXPRESSION CARTOGRAPHIQUE

1 - Présentation

La carte des mouvements de terrain constitue un document synthétique, d'une consultation aisée. Notre préoccupation sera avant tout de la rendre claire et précise.

Les levés ont été effectués sur les fonds topographiques de l'I.G.N. au 1/20 000 (1). Cette échelle est bien adaptée à ce genre de travail qui ne tient pas compte, rappelons-le, des mouvements peu étendus du genre de ceux qui affectent les talus et remblais routiers. Le document définitif est à cette même échelle et comprend :

- le dessin des divers mouvements avec les figurés conventionnels ;
- pour chacun, un numéro de référence, renvoyant à la fiche d'étude correspondante ou à une carte à plus grande échelle.

Un document beaucoup plus synthétique, au 1/50 000, obtenu par réduction des levés au 1/20 000, est très utile. On ne retient ici que les contours des mouvements, avec éventuellement la figuration de leur degré d'activité au moyen d'une teinte conventionnelle.

2 - Le dessin cartographique

A l'échelle du 1/20 000, les figurés employés sont en partie ceux qui ont été présentés dans le § A ci-dessus.

Il nous a paru utile, par ailleurs, d'utiliser différentes couleurs pour figurer le degré d'activité :

- rouge : activité forte
- jaune : activité faible ou stabilité douteuse
- vert : stabilisé.

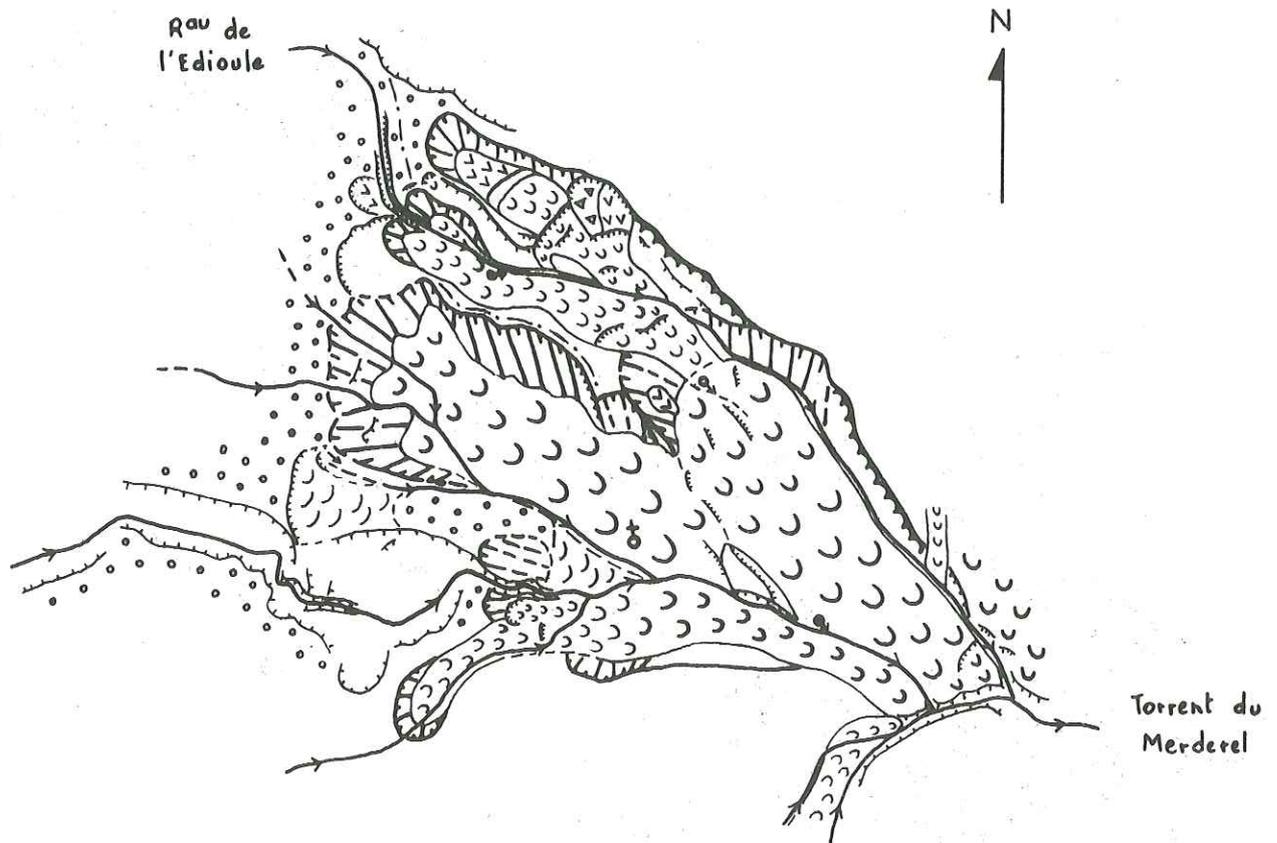
Deux exemples de représentation cartographique font l'objet, ci-après, des figures 32 et 33.

(1) Signalons que les anciens fonds sont beaucoup moins "fidèles" que ceux, actuels, au 1/25 000, obtenus par restitution.

Fig. 32

VILLAREMBERT

INTERPRETATION DES MOUVEMENTS



-  Falaise
-  Vieille niche d'arrachement
-  Formations glaciaires
-  Hameau de Villarembert

ECHELLE



IV - CONCLUSIONS

Cette méthode est le prolongement et l'illustration des propositions présentées au Symposium de Cannes (1973) par l'Institut Dolomieu et le B.R.G.M.. Elle a été conçue pour établir un document technique d'information sur les risques encourus par suite des mouvements de terrain, mais aussi pour faire progresser la connaissance de ce phénomène naturel.

A - BILAN PRATIQUE

Pour cette feuille St-Jean-de-Maurienne (560 km²), l'étude systématique des mouvements et la confection des documents correspondants ont nécessité environ 20 mois, dont 7 sur le terrain. 230 fiches d'étude environ ont été établies.

B - PASSAGE A LA CARTE DES RISQUES NATURELS

L'aboutissement de cette enquête détaillée est l'exécution d'une carte des risques naturels liés aux mouvements de terrain, rendue indispensable, pour des raisons de sécurité, par le développement accéléré de l'aménagement de la montagne. Il faut toutefois souligner que ce genre de carte ne fait que recenser les mouvements récents et anciens, mais ne révèle nullement le risque encouru par les terrains avoisinants ou présentant des caractéristiques comparables. Dans ce cas, il est nécessaire d'en venir au stade de la cartographie géotechnique.

On peut cependant approcher la connaissance de ce risque en établissant des cartes lithomorphologique, clinométrique et hydrologique, qui demandent par ailleurs peu de moyens. Il semble en effet très intéressant d'annexer de telles cartes à celles des mouvements de terrain car elles font rapidement apparaître les relations principales qui subordonnent l'instabilité à la lithologie, à la morphologie et à l'action des eaux tant superficielles que souterraines.

On parviendra probablement ainsi à délimiter, d'une part des zones où le risque est démontré par la présence effective de mouvements et d'autre part des zones qui, par analogie avec les précédentes, sont plus ou moins menacées d'instabilité.

C - ASPECT SCIENTIFIQUE

L'observation de plus de 200 cas divers permet de tirer certaines conclusions générales. On constate ainsi que les mécanismes sont rarement aussi simples dans la nature que lorsqu'on a affaire à un talus ou à un remblai artificiel, et que l'instabilité est souvent régie par un ensemble de facteurs dont on saisit difficilement la part de responsabilité.

Les enseignements de cette étude sont nombreux, c'est pourquoi nous leur consacrerons les chapitres suivants.

C H A P I T R E 5

REPARTITION ET FREQUENCE
DES DIVERS TYPES DE MOUVEMENTS
FACTEURS PRINCIPAUX DE LEUR APPARITION

- I. Introduction
- II. Essai de traitement sur ordinateur
- III. Analyse élémentaire
- IV. Facteurs principaux de l'apparition des mouvements.

I - INTRODUCTION

La multiplication des mouvements de terrain dans certains secteurs dépend de la concentration de facteurs défavorables. Ainsi vont se caractériser des zones, plus ou moins étendues et rapprochées, que nous pouvons qualifier de sensibles. Elles abondent dans notre région. Le cas du bassin versant de l'Arvan, un des plus touchés, est typique : 20 à 30 % de la superficie sont affectés par des désordres divers.

Disposant de plus de 200 cas, il semble *a priori* intéressant d'analyser les caractères principaux des contextes naturels défavorables et les divers types de mouvement qui leur sont liés par la méthode statistique. Mais nous verrons qu'une analyse multivariable se révèle pratiquement impossible et que l'analyse monovariable ou élémentaire est elle-même délicate. Aussi, l'interprétation des résultats par cette voie sera-t-elle peu développée. Elle permettra cependant d'exposer brièvement, dans le cadre régional, les caractéristiques générales des mouvements et de leurs sites.

Dans une deuxième partie, nous apporterons quelques éléments relatifs aux causes prépondérantes de tels mouvements, en analysant sommairement certains facteurs statiques et dynamiques importants et étroitement liés, tels que la lithologie, la structure, les circulations d'eau et la morphologie, en gardant toujours présent à l'esprit le fait que la pesanteur est leur moteur principal.

II - ESSAI DE TRAITEMENT SUR ORDINATEUR

Un traitement des données par analyse factorielle ou analyse des correspondances a été envisagé.

Un tableau à double entrée a été établi, comportant d'une part une quarantaine de paramètres et de l'autre, les 225 cas recensés. Mais des difficultés de divers ordres sont rapidement apparues.

- Le nombre des caractères retenus, supérieur à 40, alourdit considérablement l'analyse, masquant les principales relations qui devraient apparaître.
- Les données recueillies (environ 7 000) ne couvrent pas entièrement le tableau, faute de pouvoir répondre à certaines questions (exemple : épaisseur du corps d'un glissement).
- La moitié des caractères relevés sont descriptifs ou qualitatifs. Ils ne se prêtent donc pas à un codage homogène et cohérent.
- Il est très difficile d'apprécier la part prise par chacun de ces caractères dans l'évolution vers la rupture, et, pour quelques uns d'entre eux, la chronologie de leur intervention ou encore pour certains (climat, hydrologie) leur analogie avec les conditions actuelles.

Devant ces difficultés, nous avons momentanément abandonné le projet d'analyse statistique multivariable.

Nous envisagerons de le reprendre par la suite après avoir rendu homogène le tableau des données en y supprimant les caractères pour lesquels il n'est pas possible de fournir, dans chaque cas, une réponse.

III - ANALYSE ELEMENTAIRE

Les 7 000 données recueillies vont cependant nous permettre de formuler certaines tendances générales.

A - REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE SOMMAIRE DES DIVERS TYPES

Une vue d'ensemble de la région fait apparaître une irrégularité très marquée dans la répartition des mouvements.

Tableau 7

Répartition des mouvements recensés sur les 8 plans directeurs St-Jean-de-Maurienne au 1/20 000 (sauf fauchage, "creeping", solifluxion et laves)

	Types	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7	N°8	TOTAL
Mouvements circonscrits, simples ou isolés	Eroulements			6	10		3	5	3	27
	Affaissements			1	1				2	4
	Glissements et/ou coulées	1	10	20	23	4	51	33	14	156
Mouvements généralisés et/ou complexes	Glissements de versant	1	2	3	5	1	6	7	2	27
	Mouvements évolués		1		3		4	2	1	11
TOTAL		2	13	30	42	5	64	47	22	225
Superficie affectée sur chaque feuille	0 à 5 km ²	X				X				
	5 à 10 km ²		X	X	X					
	10 à 15 km ²							X	X	
	15 à 20 km ²						X			

Ce tableau montre une liaison nette entre la densité des mouvements et la géologie. Les feuilles situées à l'Ouest, qui couvrent les massifs cristallins, sont moins touchées que celles du centre et de l'Est intéressant des terrains sédimentaires.

Parmi les différents types de mouvements, les glissements et/ou coulées simples représentent 70 % des cas. Les mouvements généralisés et/ou complexes, bien que peu nombreux, couvrent la plus grande superficie (70 à 80 %).

B - REPARTITION DES VERSANTS AFFECTES PAR UN OU PLUSIEURS MOUVEMENTS, SUIVANT LEUR ORIENTATION

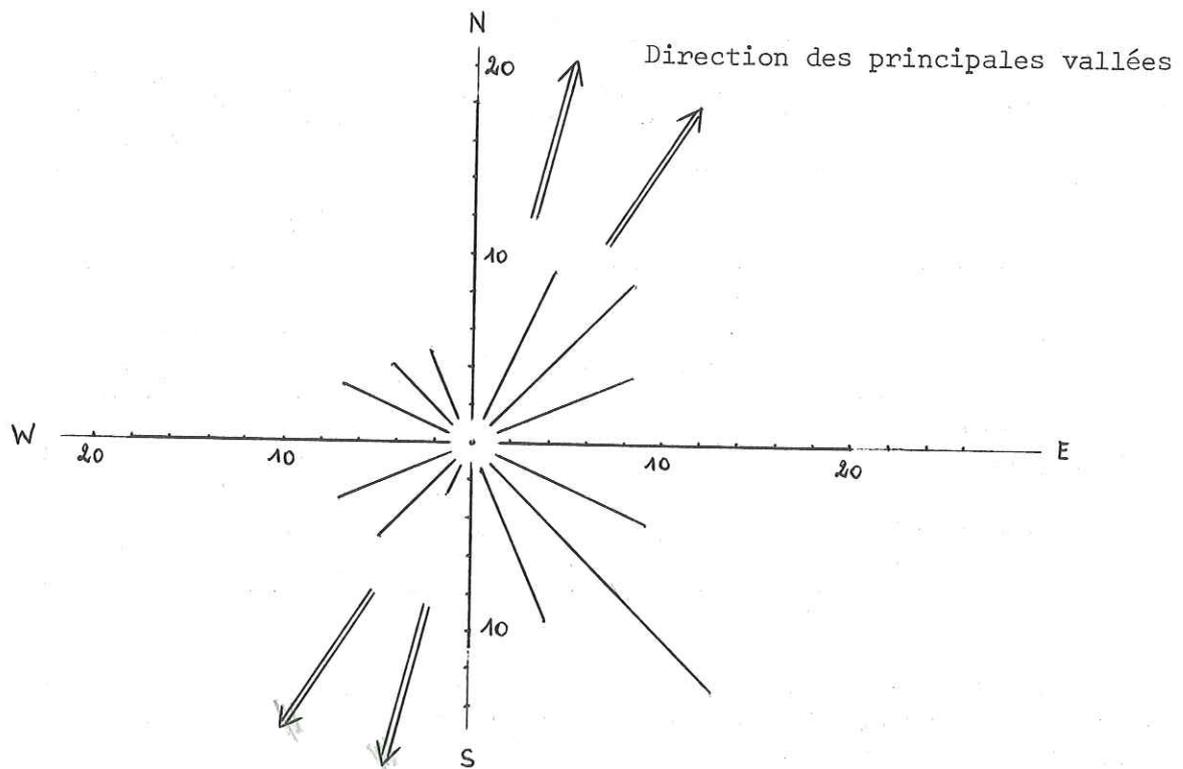
La rose de répartition (fig. 34) montre nettement quelques influences climatiques et géologiques que l'on peut résumer ainsi :

N : ensoleillement faible à nul ; humidité forte et constante.

NE : conjonction de deux structures défavorables formant un dièdre tourné vers la pente et constitué par la stratification (N-S à N 45°, 30 à 50°E) et un réseau important de fractures (N 100 - 110°, 70 à 80°N),

- E et SE : nombreuses vallées orientées NNE-SSW et N-S. Sur leur flanc exposé à l'E, stratification conforme à la pente et réseau de fractures orienté N 45, subvertical, favorables à la rupture couche sur couche. Sur leur flanc opposé, fracturation dense favorable à la rupture par traction.
- S : stratification et plusieurs réseaux de fractures (N 45, N 100-110 et N 135). Beaucoup d'eau libérée dans le terrain au printemps. Flancs de vallées orientées E-W étendus.

Fig. 34 - Répartition de 81 versants affectés par un ou plusieurs mouvements, suivant leur orientation



C - TOPOGRAPHIE GENERALE

L'influence des facteurs topographiques et morphologiques ne peut malheureusement pas être exprimée à sa juste valeur, car elle se trouve inextricablement mêlée à celle de causes indépendantes, climatiques, géologiques, etc.

D'autre part, avant d'analyser certains de ces facteurs (pente notamment), il est nécessaire de préciser la signification des notations utilisées.

Les perturbations constatées affectent des pentes d'inclinaisons diverses, d'où la définition possible d'une pente maximale et d'une pente minimale. Ces deux notions n'ont évidemment pas une valeur comparable.

Si, au-dessus d'une certaine pente, on ne constate pas de mouvements, cela signifie que les formations instables (terrains de couverture principalement) en sont absentes, et souvent parce qu'elles auront disparu lors de périodes antérieures.

La notion de pente minimale fournit au contraire une indication intéressante en ce qui concerne la sécurité.

Quant à la notion de pente moyenne, que nous avons introduite bien qu'elle soit influencée par les deux chiffres précédents, elle nous semble pourtant susceptible, d'un point de vue descriptif, de traduire l'allure générale des versants où les mouvements se produisent.

1 - Pente moyenne des versants affectés par un ou plusieurs mouvements

Tableau 8

Types de mouvements	Terrains concernés	Nombre de cas	Valeur moyenne	Valeur inférieure extrême
Glissements	divers	48	29,8°	23°
Coulées	couverture	54	21,9°	14°
	substratum	42	27,7°	17°
Glissements de versant	divers	24	23,7°	18°
Mouvements évolués et/ou complexes	divers	10	18,2°	14°

Il est entendu que ces valeurs expriment la pente moyenne du versant ; son profil réel présente des variations dont la signification est tout aussi importante que cette donnée brute.

On constate, en marge de ce tableau, que les mouvements très étendus affectent des versants et des vallons dont la pente moyenne ne dépasse guère 25° (Jarrier, versant ouest du Mt Brequin...), avec des pentes locales inférieures à 10°.

2 - Pente de la zone de départ

Bien qu'inséparable d'autres facteurs, elle donne une indication sur l'instabilité des versants.

196 cas ont été envisagés.

Tableau 9

Types de mouvements	Terrains	Valeur moyenne	Valeur inférieure extrême
Glissements	divers	34,3°	27°
Coulées	substratum	31,8°	20°
	couverture	25,2°	
Ecrolements	substratum	75° ~	60° ~
Glissements de versant	divers	30,7°	26°

3 - Situation de la zone de départ dans le versant (tabl. 10)

On remarque que la répartition des zones de départ n'est pas uniforme sur les versants, d'une part pour chaque type et d'autre part d'un type à l'autre. L'explication semble essentiellement cinématique : il est évident qu'une masse se déplaçant sur un versant a plus de chance d'être remaniée, du seul fait de la présence d'une longue pente, qu'une autre venant rapidement buter sur le fond d'une vallée.

Tableau 10

(nombre de cas rapporté en %)

Types de mouvements	Nombre de cas	Flanc	Sommet	Pied	Thalweg, vallon
Glissements	41	29	15	42*	14
Coulées	77	38,5*	16	17,5	28
Ecrolements	17	38	40*	22	-

* maximum

D - HYDROLOGIE

1 - Hydrologie superficielle

Sur 150 mouvements circonscrits, simples ou isolés, 18 % sont parcourus par un ou (rarement) plusieurs ruisseaux, tandis que 1/3 environ des glissements de versant en sont dépourvus.

2 - Hydrologie souterraine

Les sources figurées sur les cartes, les témoignages de la population, l'analyse du contexte (géologie, morphologie, végétation, etc.) ont permis de localiser un grand nombre de sources pérennes ayant un rapport plus ou moins étroit avec des mouvements.

Elles occupent de nombreuses positions (front, corps, langue, tête, ...) et se présentent sous différents aspects : exurgence ponctuelle, multiple ou diffuse. Diverses considérations interviennent alors : contexte géologique, type de mouvement, nature des matériaux, etc.. Il n'est guère possible ici de rapporter les interprétations de plus de 200 cas. Nous ne ferons donc que traduire une vision d'ensemble (tabl. 11).

Tableau 11

Répartition des sources pérennes entre 4 situations possibles, définissables pour tous les mouvements (nombre de cas rapporté en %)

Types	Nombre de cas	Situations				Absents
		Front	Pied	Corps langue	Tête	
Glissements	40	23*	15	11	12	39
Coulées	74	15	16	18*	14	37
Glissements de versant	18	32*	20	18	-	30
Ecroulements	16	12*	-	-	-	88

* maximum

Ce tableau montre que la majorité des sources pérennes se situe au front des mouvements, sauf dans le cas des coulées où elles semblent uniformément réparties.

Il n'est pas possible de classer de la même façon, les sources saisonnières ou temporaires et les suintements, fréquents sur tous les types de mouvements. Leur recensement aurait nécessité une étude particulière comportant des observations nombreuses et échelonnées dans le temps.

E - GEOLOGIE

On note que 34 % des mouvements intéressent uniquement des terrains de couverture, contre 66 % pour le substratum, recouvert ou non de Quaternaire. Si l'on considère non plus le nombre des cas mais les surfaces concernées, on obtient moins de 20 % pour les formations de couverture seules et environ 80 % pour le substratum. Ceci traduit l'ampleur de certains mouvements affectant le socle et la faible extension de ceux qui intéressent uniquement la couverture, sauf quelques cas de glissements de versant (la reptation et la solifluxion n'étant pas pris en considération).

1 - Terrains de couverture

Sur 54 mouvements, 63 % concernent des formations glaciaires (fluvio-glaciaire, moraines, glaciaire mêlé à des éboulis), 22 % des éboulis de toute sorte et 12 % des glissements anciens et complètement stabilisés (morts).

2 - Substratum

Avant d'établir une répartition des mouvements suivant la nature du substratum qu'ils affectent, il est nécessaire d'effectuer un recensement planimétrique des surfaces occupées par les diverses formations, ceci afin d'établir une relation entre la fréquence des mouvements et la géologie.

Nous ferons abstraction du fond de la vallée de l'Arc, où les alluvions couvrent 24 km². Les 536 km² restants, constitués d'un substratum couvert ou non de terrains récents, ont été répartis par faciès correspondant à des ensembles stratigraphiques ou structuraux.

La fréquence est exprimée par le nombre de cas en % du total et par le nombre de cas par km² (deux dernières colonnes du tableau 12), ce dernier chiffre ne fournissant qu'une indication sur le rapport des surfaces beaucoup plus significatif.

Si la zone de départ intéresse deux formations différentes, ce cas sera réparti entre elles en deux moitiés.

155 cas ont été considérés,

Tableau 12

Répartition des mouvements suivant la lithologie

Formations géologiques	Lithologie	Surface en km ²	Nombre de cas en %	Nombre de cas par km ²
Lias	Calcaires et schistes	185	63,8	0,53
Flysch des Aig. d'Arves	grès micacés et conglomérats	48	5,5	0,17
Nappe du Pas du Roc	calcaires, calcaires marneux et marnes	60	2,9	0,07
Houiller	schistes et grès micacés	27	10,8	0,60
Trias gypseux	gypses et cargneules	29	6,2	0,31
Cristallin	micaschistes et gneiss	146	1,4	0,01
Lias-Trias indifférencié ; Rhétien, Permien constituant le reste	roches diverses, sédimentaires	41	9,4	0,34

On constate que 64 % des cas affectent les formations du Lias.

Si l'on considère maintenant le rapport (exprimé en %) de la surface des mouvements à la surface d'une formation définie, on obtient les résultats suivants :

- Lias schisteux (d. et u.d.) : 20 à 30 %
- Houiller (Br.) : 40 à 50 %.

Ce dernier chiffre n'est valable que pour les 27 km² étudiés. Il serait très certainement moins élevé (30 à 40 %) si l'on étendait cette surface vers l'Est, bien que le Houiller soit très affecté aussi sur la feuille Modane au 1/50 000.

Pour les autres formations, les chiffres ne dépassent pas quelques %, sauf pour les gypses. Le Cristallin donne moins de 0,5 %.

Une répartition des mouvements suivant une lithologie détaillée serait encore plus intéressante, mais elle nécessite un lever géologique précis et un travail de planimétrie considérable. Nous indiquerons toutefois la répartition de 158 cas sur un plan tout à fait général.

- schistes (Lias sup.)	: 78
- schistes + calcaires	: 32
- schistes + gypses	: 10
- schistes + grès	: 6
- schistes + calcaires + gypses	: 6
- schistes + calcaires + grès + conglomérats	: 6
- argilites + cargneules + gypses + calcaire dolomit.	: 5
- calcaires + marnes	: 5
- roches cristallophylliennes	: 2
- roches très diverses	: 8

Il apparaît que les matériaux remaniés sont schisteux en partie ou en totalité dans 87 % des cas.

Nous préciserons, en annexe de ce mémoire, la composition minéralogique de ces schistes (Lias et Houiller) et quelques unes de leurs caractéristiques mécaniques.

F - CARACTERISTIQUES PROPRES AUX MOUVEMENTS

1 - Dimensions

a) Extension maximale

Elle correspond à la plus grande dimension L, de la couronne au front. Les valeurs qu'elle prend suivant le type de mouvement sont exprimées par des histogrammes (fig. 35). Les mouvements d'extension maximale inférieure à 200 m ne sont pas pris en considération car très nombreux. Ils n'ont même pas été recensés lorsqu'ils sont inférieurs à 100 m.

Par contre, les mouvements très étendus peuvent avoir les dimensions d'un bassin versant. Ils appartiennent en majorité au type généralisé et/ou complexe : c'est le cas du bassin versant du torrent de St-Martin, situé entre le massif de la Croix des Têtes et le Mont Brequin. La surface affectée est de 33 km² (une dizaine de km² concernent cette feuille). L'extension maximale L est de 7 500 m environ.

On peut citer d'autres exemples, encore importants, où divers types sont représentés (tabl. 13) afin de montrer le développement impressionnant de tels phénomènes.

Fig. 35 HISTOGRAMMES DE REPARTITION
DES EXTENSIONS MAXIMALES
POUR 3 TYPES DE MOUVEMENTS
(163 cas)

Nombre de cas en %

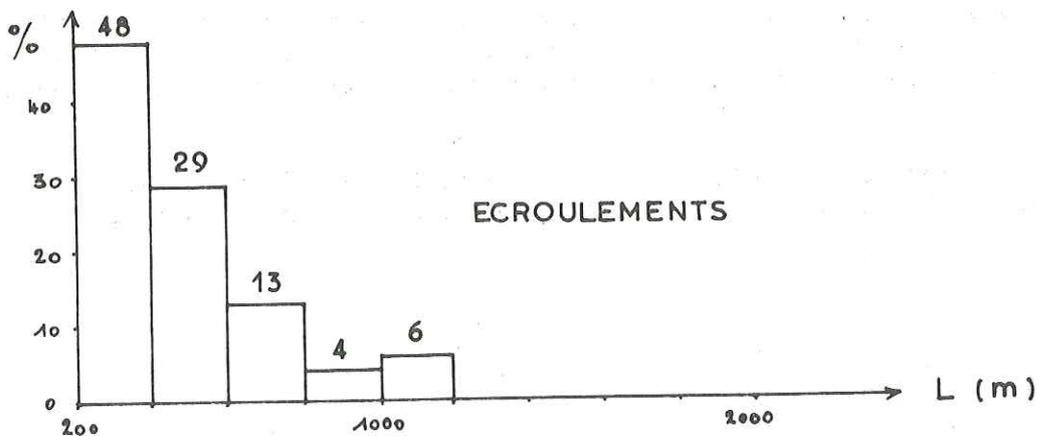
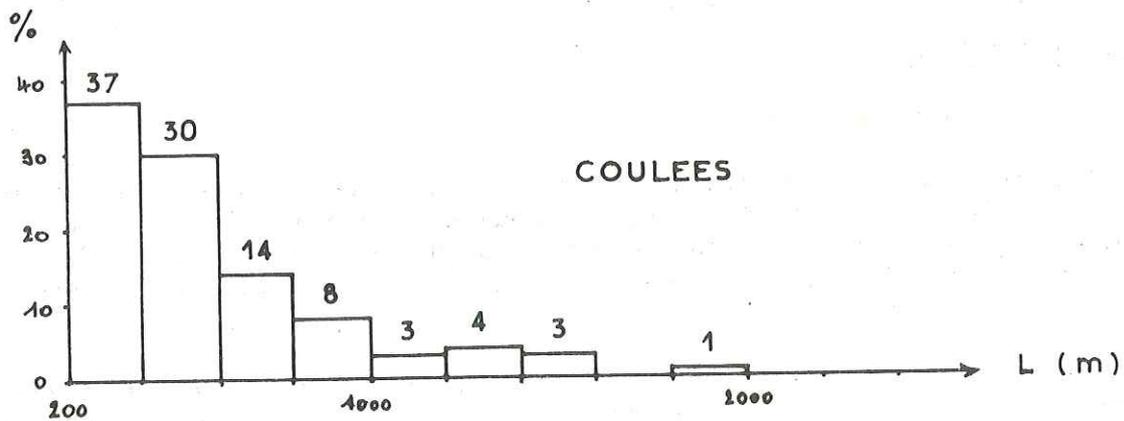
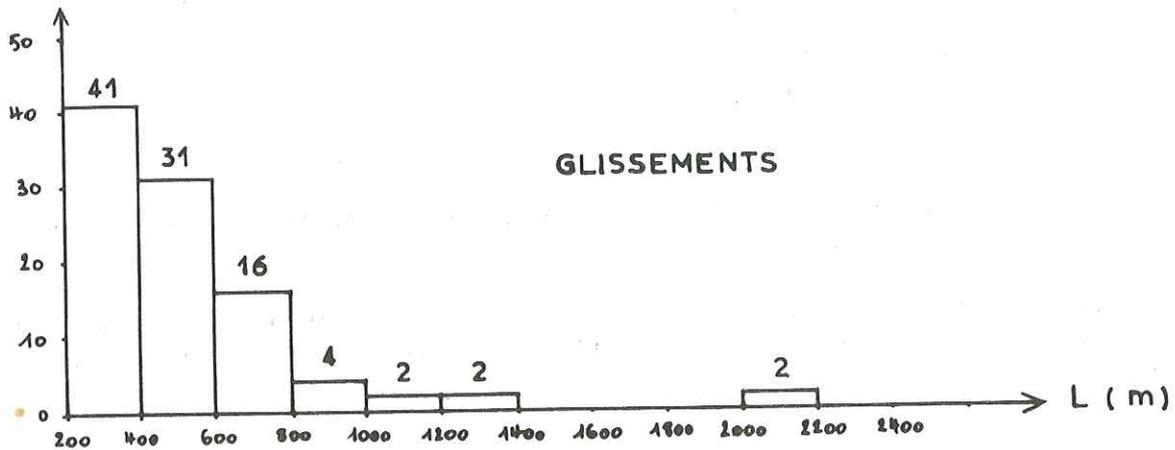


Tableau 13
Extension des plus grands mouvements

Nom du mouvement	Surface approximative (km ²)	Extension maximale L (m)	Type
Jarrier	16	6 200	mouvements de types divers et complexes
Albiez	3	4 800	
Le Corbier	3	3 600	
La Rochette	2,5	3 600	coulée
St-Sorlin-d'Arves	4	1 800	glissement de versant
La Grande Chible	2	2 100	glissement

b) Rapport d'extension L/l des matériaux déplacés

Leur répartition est figurée par des histogrammes représentant plusieurs types de mouvements (fig. 36).

Les valeurs sont assez bien groupées dans le cas de glissements, tandis qu'elles sont plus étalées pour les écroulements et surtout les coulées.

Les moyennes font très nettement apparaître un mode de déplacement différent des matériaux : écoulement dans un cas ($L/l = 4,1$) et translation "solide" dans l'autre ($L/l = 1,5$). Ceci constitue un assez bon critère de distinction entre les deux types coulée et glissement pris dans leur ensemble.

Ce critère n'est pas individuellement applicable car il existe une gamme de valeurs commune aux deux types.

2 - Age

Les mouvements ne sont pas apparus avec une fréquence constante au cours des temps, Comment analyser celle-ci ? Seuls des critères de fraîcheur des formes, très imprécis et subjectifs, peuvent être utilisés. Ainsi peut-on penser que des glaciers occupaient les vallées supérieures principales il y a encore 5 000 ans, mais nous ne disposons pas de preuves irréfutables du fait. Il apparaît donc difficile de quantifier l'ancienneté des mouvements.

D'un point de vue mécanique, on ne doute guère que la disparition de l'appui assuré par les glaciers est un facteur de déclenchement, donc que la multiplicité des mouvements a dû caractériser le début de la période post-glaciaire. Par ailleurs, on imagine assez facilement la naissance à cette époque des mouvements les plus complexes ou généralisés,

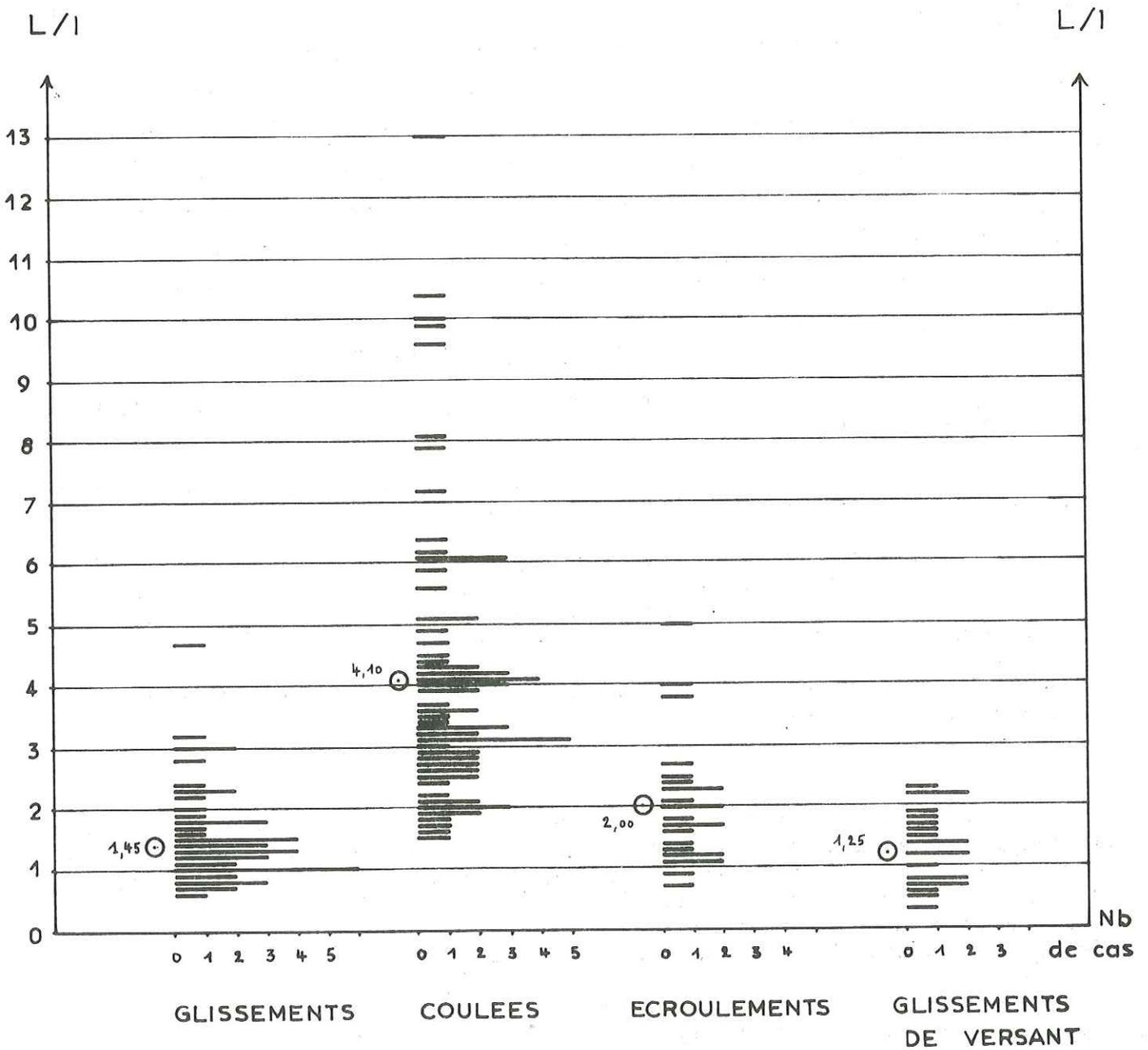
On notera que le déclenchement de seulement 1 % des cas est survenu durant la période historique.

Fig. 36

HISTOGRAMMES DE REPARTITION DES RAPPORTS D'EXTENSION L/I

PAR TYPE DE MOUVEMENT

(168 cas)



○ Moyenne

3 - Degré d'activité

Il est, par contre, plus facile de classer les mouvements selon leur degré d'activité, que l'on peut définir avec précision puisqu'ici les critères sont très nombreux : morphologie, hydrologie, végétation, témoignages...

Nous distinguerons 4 degrés ou états, définis très sommairement comme suit :

- *Etat stabilisé* - Les cours d'eau se sont enfoncés dans les masses déplacées qui apparaissent drainées et ne présentent aucun signe de déformation récente. Le terrain est généralement recouvert par un sol et une végétation abondante qui masquent les limites du mouvement.
- *Activité faible* - Les déformations actuelles sont minimales et difficiles à déceler. La végétation n'est pas perturbée. La fraîcheur des formes, un arrachement (talus) envahi par la végétation mais bien net, un marécage, un ruisseau qui divague sont autant d'indices qui permettent de douter de la stabilisation complète.
- *Activité moyenne* - Les déformations du terrain sont bien visibles : arrachements, crevasses, bombement, arbres penchés, forte humidité, etc.. La végétation subit les effets des mouvements mais n'est pas détruite. Les constructions sont endommagées (routes défoncées, maisons fissurées ...).
- *Activité forte* - Les déformations sont spectaculaires. Le terrain est accidenté, chaotique, avec de nombreux talus... et difficile à parcourir. La végétation est fortement endommagée, jusqu'à disparaître complètement. Les routes et constructions sont détruites. Les cas extrêmes sont figurés par les laves, les écroulements et les effondrements brutaux.

Ces définitions conduisent au tableau ci-dessous (tabl. 14), où le nombre de cas par degré et par type est rapporté en %.

Tableau 14

Types	Etat stabilisé	Activité faible	Activité moyenne	Activité forte	Nombre de cas
Coulées	13	17	34	36 *	70
Glissements	31	37 *	20	12	45
Écroulements	79 *	21	0	0	14
Glissements de versant	4	42 *	31	23	24
Glissements généralisés et complexes	12	38 *	25	25	8

* maximum

Nous pouvons rapprocher ces chiffres des faits suivants :

- un écoulement s'effectue toujours dans un intervalle de temps très court. Donc nous avons peu de chance de le voir en mouvement, d'où 79 % stabilisés. Les 21 % possédant une activité correspondent en fait à des reprises par des mouvements de translation (glissement des terrains sous-jacents notamment).
- 68 % des glissements simples sont stabilisés ou ont une activité faible. La durée de leur déplacement ne doit pas non plus être très grande, quoique bien supérieure à celles des écroulements.
- par contre, les coulées présentent une activité beaucoup plus ^{durable} longue puisqu'actuellement 70 % appartiennent aux catégories moyenne ou forte.
- quant aux mouvements étendus ou généralisés, la faible activité moyenne correspond au fait que les déplacements sont irréguliers et parcellaires. Quelques secteurs sont actifs et le reste paraît immobile.

G - RELATIONS AVEC L'ACTIVITE HUMAINE

1 - Les ouvrages

Sur 170 mouvements divers, 71 (soit 42 %) interfèrent avec des aménagements et constructions diverses, qui leur sont généralement postérieurs et se répartissent ainsi :

- voies de communication :
 - . routes goudronnées et chemins carrossables : 51 cas
 - . voie ferrée : 1 cas
- fermes ou chalets : 24 cas
- hameaux : 8 cas
- remontées mécaniques : 4 cas.

Les catastrophes anciennes ne sont pas prises en considération. Nous signalerons toutefois quelques unes d'entre elles qui ont marqué l'histoire de la contrée :

- De 1435 à 1439, des laves du St-Martin ont détruit complètement le hameau de "Plan-Buttin", dont l'emplacement est occupé aujourd'hui par le cours de l'Arc près de St-Martin-de-la-Porte.
- 1er février 1440 : destruction partielle de la ville de St-Jean-de-Maurienne par une lave du Bonrieu, affluent de l'Arvan.
- En 1649, le hameau des "Granges", près de St-Martin-de-la-Porte fut à son tour englouti par une énorme lave du St-Martin.
- Le 18 juillet 1824, une lave dévastatrice, dévalant les gorges du St-Julien, détruisit deux hameaux et une partie du bourg de St-Julien-Mont-Denis.

2 - Responsabilité des travaux dans l'instabilité des terrains

Sur 148 mouvements divers :

- 4 sont la conséquence d'une activité humaine (routes).
- 8 sont réactivés par abandon des ouvrages de drainage réalisés à des époques plus ou moins lointaines (la plupart au début du siècle).
- En contre-partie, 2 ont fait l'objet d'études approfondies qui ont permis de les maîtriser jusqu'à l'heure actuelle.

IV - FACTEURS PRINCIPAUX DE L'APPARITION DES MOUVEMENTS

A - LES DEFORMATIONS DES ROCHES

Nous ne parlerons guère ici de la nature lithologique des roches. Notre propos sera de retracer rapidement l'histoire tectonique de la région et d'analyser sommairement les divers types de déformations qu'elle a provoqués.

1 - Les déformations anciennes

Elles sont dues d'abord à l'orogénèse hercynienne (dont les effets ne sont visibles que dans les massifs cristallins externes) puis à l'orogénèse alpine, marquée par la mise en place des nappes de charriage et ensuite par la surrection des massifs cristallins externes (Belledonne, Grandes Rousses), sans doute le dernier grand phénomène qui ait affecté l'arc alpin. Cette dernière phase, dont le paroxysme date du mio-pliocène (5 à 7 M d'années) se poursuivrait encore de nos jours si l'on admet l'existence de failles post-würmiennes (1).

La structure actuelle des massifs cristallins et de leurs enveloppes résulte de l'action de trois contraintes différentes, réparties chronologiquement ainsi :

- contrainte transversale, avant la phase paroxysmale.
- poussée vers le haut entraînant la surrection.
- poussées tangentielles déversant les structures vers l'Ouest.

Leurs répercussions dans la couverture (dauphinoise et ultradauphinoise) retiendront un peu plus notre attention. Elles s'expriment essentiellement par des chevauchements et une structure générale pentée vers l'Est. Dans la masse des diverses formations apparaissent des plis, une fracturation dense (failles, diaclases, schistosité), ainsi que des décollements marqués par des niveaux disloqués ou fortement déformés (Lias en rive droite du Glandon par exemple). On notera que les contacts tectoniques sont toujours soulignés par des niveaux broyés, disloqués ou contournés, dont l'épaisseur varie d'un point à un autre.

2 - Les déformations récentes ou actuelles

Elles ont pour cause la tectonique seule, la pesanteur ou la décompression.

a) Origine tectonique

En dépit du calme séismique marquant le Post-Würm, il existe des déformations qui ne peuvent être rattachées à une autre cause que tectonique.

P. BORDET (1963) signale, dans les massifs cristallins, des polis glaciaires décrochés en marches d'escalier hautes de quelques centimètres ou décimètres (2).

-
- (1) En réalité, il n'existerait plus de contraintes orogéniques, le retour au calme se traduisant au contraire par des détentes (relâchement élastique).
 - (2) "Une étude attentive montre généralement que les stries glaciaires visibles sur la surface des marches se poursuivent en ligne droite d'une marche à l'autre. Le flanc de ces marches montre des stries de glissement ... ; leur âge est souvent inférieur à une dizaine de milliers d'années, et le mouvement continu très certainement encore... Sur un verrou perché, on peut les attribuer à la poussée au vide ; par contre, dans des fonds de vallées ou de gorges, leur origine tectonique ne peut guère être mise en doute."

On rencontre aussi, dans d'autres cas où la poussée au vide est exclue, de véritables failles marquées très souvent par un ressaut ou un sillon. Le même auteur cite, à ce sujet, la grande faille limitant par un énorme escarpement le versant nord du Taillefer (Dauphiné).

Nous retiendrons qu'il existe plusieurs exemples de déformations profondes, dont certaines sont peut-être encore vivantes. Elles créent des discontinuités qui, suivant leur situation (fond de vallée, flanc, sommet de versant...), peuvent contribuer à provoquer l'instabilité des terrains.

De leur côté, les séismes ont pour effet de désorganiser les massifs et de provoquer la séparation de masses de terrains instables ou d'accélérer le déplacement de masses mouvantes. La dégradation mécanique subie par un massif ou un versant lors d'un séisme est très mal évaluée, aussi utiliserons-nous avec prudence cette hypothèse pour expliquer le déclenchement de certains mouvements amples ou le cheminement de matériaux sur de longues distances.

b) Effets de la pesanteur et de la décompression

Ils sont post-würmiens, mais leurs premières manifestations remontent peut-être à des périodes plus anciennes (interglaciaires). D'une manière générale, à la suite du retrait des glaciers, alors que la morphologie évoluait vite et profondément, les roches se détendaient, de manière parfois brutale, ou se décomprimaient lentement. Ceci a entraîné une dilatation des massifs dont la conséquence fut l'ouverture de tous les joints présents, principalement près de la surface (1).

Il s'ensuivit, sous l'action de la pesanteur, dans les roches stratifiées ou schisteuses, des déformations lentes, en particulier celles de structures redressées ou de séries litées dont les bancs compétents alternaient avec des niveaux argileux imprégnés d'eau : ondulations, décollements, plis, fauchage, puis par endroits, dislocation, broyage... Dans la région, ces processus présentent une intensité maximale dans les schistes du Houiller briançonnais et du Lias supérieur dauphinois.

Nous retiendrons que, les discontinuités de la roche étant en profondeur fermées ou moins béantes sous l'effet de la charge, la résistance mécanique au déplacement augmente, tandis qu'en surface apparaissent des phénomènes de poussée au vide, fauchage et glissements.

B - L'EAU

La perméabilité naturelle des massifs dépend de deux facteurs : allure des discontinuités et nature lithologique.

On constate qu'elle s'accroît avec la décompression et l'appel au vide auxquels s'ajoute, dans les tranches superficielles, l'action du climat (gel, dégel, sécheresse...).

La dislocation superficielle de terrains imperméables (schistes argileux du Lias supérieur, par exemple) change leur comportement vis-à-vis de la pénétration de l'eau. Il s'ensuit, entre autres conséquences, une diminution de la résistance mécanique de certains niveaux mal drainés.

Dans un versant, l'apparition d'une discontinuité quelconque telle une fissure ouverte (éventuelle voie de circulation) ou un niveau de colmatage (écran)... a toujours des répercussions désastreuses sur les conditions hydrauliques d'équilibre.

(1) "L'ensemble du massif prend alors une disposition en éventail ouvert vers le haut et dont la partie resserrée se trouve au niveau des plus profondes entailles topographiques" (Cl. BORDET, 1959).

On rappellera que l'imprégnation des masses mouvantes facilite grandement leur déplacement. Outre l'effet de charge et de ramollissement, l'eau lubrifie les surfaces de glissement et peut d'autre part, exercer localement, dans les fissures, une pression interstitielle non négligeable.

C - LA MORPHOLOGIE

Les mouvements de grande ampleur sont dus au déséquilibre mécanique des versants, qui apparaît principalement dans deux circonstances :

- la hauteur du versant a augmenté progressivement par approfondissement de la vallée (érosion torrentielle rapide).
- les glaciers ayant creusé des vallées à flancs souvent raides lors de leur retrait, les versants ne se trouvant plus épaulés commencent à se tasser sur eux-mêmes.

D - LE CLIMAT

Nous ne reviendrons pas sur l'action des divers agents climatiques, exposée dans le chapitre 2.

Nous remarquerons que certains mouvements ont dû se produire alors qu'il existait encore des glaciers dans le haut des versants. Les massifs rocheux, libérés par ceux-ci, se relâchaient tout en subissant l'action violente des agents climatiques. Ils se gorgeaient d'eau et devenaient instables. On peut imaginer alors que la rupture d'un tel massif, portant le front d'un glacier, a pu donner un mouvement dont l'amplitude fut grandement augmentée par les masses de glace et de neige qu'il a emportées avec lui. Ce phénomène expliquerait en partie le cheminement sur de longues distances, à la faveur d'une fusion lente (plusieurs mois à plusieurs années ?) des parties englacées dans la masse en mouvement.

IV - CONCLUSION

Les données qui viennent d'être exposées sont trop sommaires pour permettre d'avancer des interprétations, géomécaniques notamment (relations de l'instabilité avec certaines variables, telles la pente, la structure, etc.). Cependant, elles fournissent des indications qui situent sur un plan plus général les mouvements de terrain propres à cette région. Nous en retiendrons les indications suivantes :

- Le type de mouvement le plus fréquent est la coulée. Ceci est dû à l'existence de formations de couverture ou d'un substratum tendre et remanié (schistes, marnes, argiles, gypses...) présents sur des grandes étendues, et à l'influence prolongée d'un climat de type périglaciaire humide, qui persiste même encore dans les parties élevées du territoire étudié.
- Les formations schisteuses (Houiller et Lias) sont de loin les plus touchées (forte sensibilité).

- L'apparition des mouvements a probablement connu sa fréquence maximale lors du recul des glaciers würmiens, quand régnait un climat froid et humide.
- Les mouvements généralisés et/ou complexes interviennent environ pour les 3/4 dans la superficie totale des zones instables. Ils sont anciens et témoignent d'une longue évolution ayant commencé à la faveur de conditions morphologiques, hydrologiques et climatiques particulières, liées à la déglaciation.

C H A P I T R E 6

ANALYSE DE DIVERS TYPES DE MOUVEMENTS
CIRCONSCRITS, SIMPLES OU ISOLES

- I. Introduction
- II. Les mouvements affectant les
terrains de couverture
- III. Les mouvements affectant
le substratum

I - INTRODUCTION

Nous allons examiner un certain nombre d'exemples, choisis pour leurs caractères particuliers, ou représentatifs d'un ensemble de mouvements de même type. Il n'est pas question de passer en revue tous les détails de chaque mouvement, mais de le situer rapidement dans son contexte et de mettre en relief le ou les points intéressants, à l'aide de schémas et coupes interprétatives. Rappelons qu'étant donné la surface à couvrir et le nombre de mouvements à recenser, il n'était pas possible d'analyser minutieusement chaque cas. La part d'interprétation, bien que toujours appuyée sur des faits observés, est donc assez grande.

Nous n'insisterons pas sur les circonstances générales (remaniement, circulations souterraines, etc.) qui interviennent dans la naissance d'un mouvement. Elles constituent un domaine largement étudié. Mais nous ne perdrons pas de vue que c'est souvent un détail local (source, ressaut, niveau altéré, faille, etc.) qui détermine la situation précise du mouvement.

Une distinction sera faite entre les terrains de couverture et le substratum, bien des mécanismes en cause n'étant guère comparables, sauf dans le cas d'un socle très altéré et/ou disloqué, et possédant de ce fait un comportement analogue à celui d'un sol.

II - LES MOUVEMENTS AFFECTANT LES TERRAINS DE COUVERTURE

A - CARACTERISTIQUES SOMMAIRES

Les terrains de couverture sont très variés, inégalement répartis et constituent les formations les moins connues.

Ils sont abondants sur les séries schisteuses où l'érosion a dessiné des dépressions et des replats. Essentiellement d'origine glaciaire, ils apparaissent dans le paysage avec une topographie molle ou sous forme de plateaux découpés par les entailles de l'érosion torrentielle, tels ceux de La Toussuire et d'Albiez-le-Vieux. Ces formations glaciaires, constituées d'éléments hétérogènes, reposent sur un substratum irrégulier (sillons, bosses...) entraînant des variations importantes de leur épaisseur (voir fig. 22 et 23). Des circulations souterraines y sont présentes un peu partout, mais surtout au contact du substratum imperméable. Elles se manifestent par des sources importantes situées au niveau des thalwegs torrentiels qui constituent des drains naturels plus ou moins profonds (jusqu'à 150 m).

Ailleurs on rencontre essentiellement des éboulis de toute sorte souvent mêlés à des matériaux glaciaires au pied des versants. Ils sont rares, peu importants et argileux sur les formations schisteuses (Lias, Houiller) où ils ont été déblayés par le ruissellement ou emportés par des mouvements lents (reptation) à mesure de leur formation.

B - LA SOLIFLUXION

Nous ne ferons que la signaler en tant que phénomène perturbant la tranche superficielle du terrain sur des versants dépourvus de végétation arborescente et dont la pente peut varier de 10 à 35°. Les matériaux comportent toujours une matrice argileuse et se situent très souvent sur des formations très délitables (gélives) telles les marnes, schistes, calcschistes, etc. / La solifluxion affecte des surfaces étendues au niveau des alpages. L'exposition, influant sur la fréquence des cycles gel-dégel et l'humidité, joue un rôle important dans sa genèse. Son activité maximale se manifeste essentiellement pendant la période de fonte des neiges (mollisol temporaire).

C - LES AFFAISSEMENTS

A part quelques phénomènes peu nets de suffosion, l'apparition de dépressions, petites ou grandes, est due essentiellement à des efforts de traction (glissements actifs).

Nous mentionnerons ici le cas singulier des rigoles sèches témoignant de la présence d'un ancien écoulement, qui s'est progressivement enterré (fig. 37). Diffus ou canalisé, il reste épidermique et réapparaît par endroits sous forme de sources ou suintements pour se réinfiltrer dans des trous ou au niveau de zones marécageuses. On peut observer actuellement ce phénomène d'enfouissement sur quelques mouvements étendus (La Rochette, Jarrier, Les Encombres) et sur le plateau de La Toussuire où les terrains sont très remaniés et argileux ou tourbeux.

Son mécanisme peut être schématisé ainsi :

- 1) Rigole canalisant un ruisseau superficiel permanent ;
- 2) Enfouissement donnant des berges verticales dans le sol végétal, les racines jouant un rôle de soutien ;
- 3) Elargissement au niveau du terrain dépourvu de racines ;
- 4) Accentuation entraînant un profil en forme d'ampoule ou goutte d'eau ;
- 5) Rapprochement des berges en surface par fluage ;
- 6) L'écoulement est devenu totalement souterrain, bien canalisé, laissant en surface une rigole sèche. L'obstruction du drain naturel (fines) peut entraîner une résurgence (zone marécageuse).

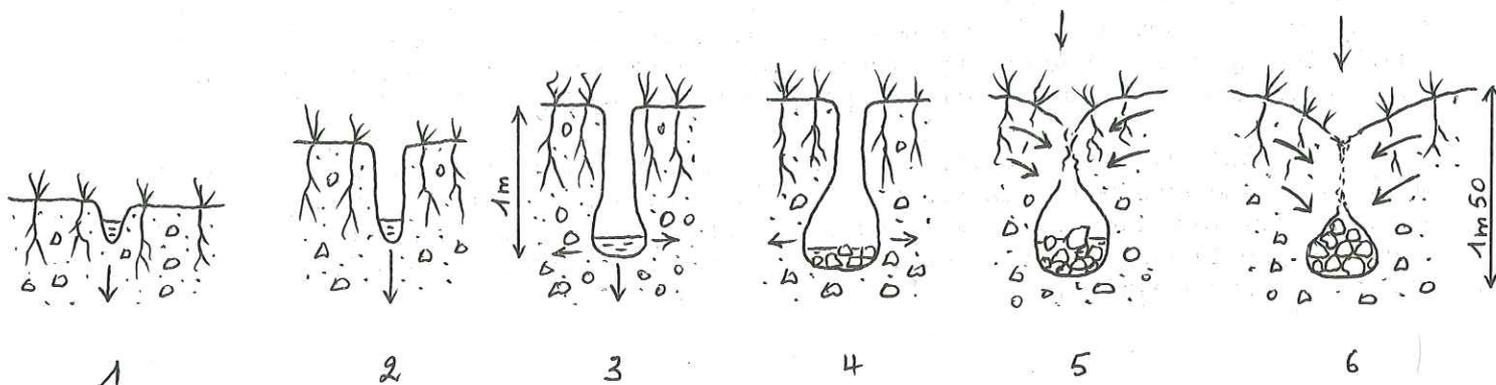


Fig. 37 - Mécanisme de formation d'un canal souterrain à partir d'un ruisseau de surface.

D - LES GLISSEMENTS ET COULEES

Les exemples seront répartis en trois groupes suivant la formation qu'ils intéressent :

- éboulis divers ;
- éboulis mêlés à des matériaux glaciaires ;
- glaciaire.

La fiche-questionnaire nous servira de guide pour les situations et descriptions.

1 - Eboulis

a) Glissement de l'Indrion (St-Jean n° 3, 2 130 m - 1 870 m, fig. 38)

- Situation : bassin versant supérieur du torrent de la Ravoire. Commune de Montpascal.
 - Orientation : SSW.
 - Pente au niveau de la zone de départ : 36°.
 - Géologie du substratum : Flysch des Aiguilles d'Arves reposant en discordance sur les schistes permien (zone ultradauphinoise). Structure monoclinale : N 20, 25°E.
 - Terrains de couverture : éboulis et matériaux d'écroulement du Flysch (blocs dépassant 1 m³). Matrice sableuse et peu importante.
 - Hydrogéologie : le Flysch, très fracturé, est perméable. Présence d'une nappe de fissures révélée par une ligne de petites sources temporaires et suintements au contact des schistes permien imperméables.
- . Analyse du mouvement

Ce mouvement assez récent (avril 1963) de matériaux peu épais (1 à 3 m) s'est effectué à la faveur d'une pente très forte et d'un colmatage au niveau des petites résurgences situées au contact du Flysch et du Permien.

On peut schématiser ce dernier processus ainsi (fig. 38b) :

- 1) Circulations libres. Les matériaux sont bien drainés et adhèrent sur le substratum.
- 2) Colmatage progressif par accumulation de fines au niveau du substratum, provoquant à la faveur de circulations souterraines même faibles, une perte d'adhérence de l'ensemble sur la pente.
- 3) Les blocs, fortement appelés vers le bas, se mobilisent lentement, portés par ce coussin de matériaux fins gorgé d'eau au printemps. A ce stade l'instabilité est très forte et il suffit de peu de chose pour provoquer une accélération conduisant à la rupture.

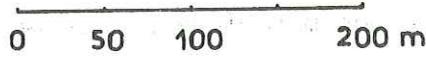
Il semble ici que la cause principale du déclenchement soit la fonte des neiges qui, sur ce versant bien exposé, est assez brutale.

Le glissement proprement dit s'est effectué assez rapidement, remaniant fortement les matériaux qui sont venus s'accumuler sur un promontoire dominant le torrent de la Ravoire.

Fig. 38

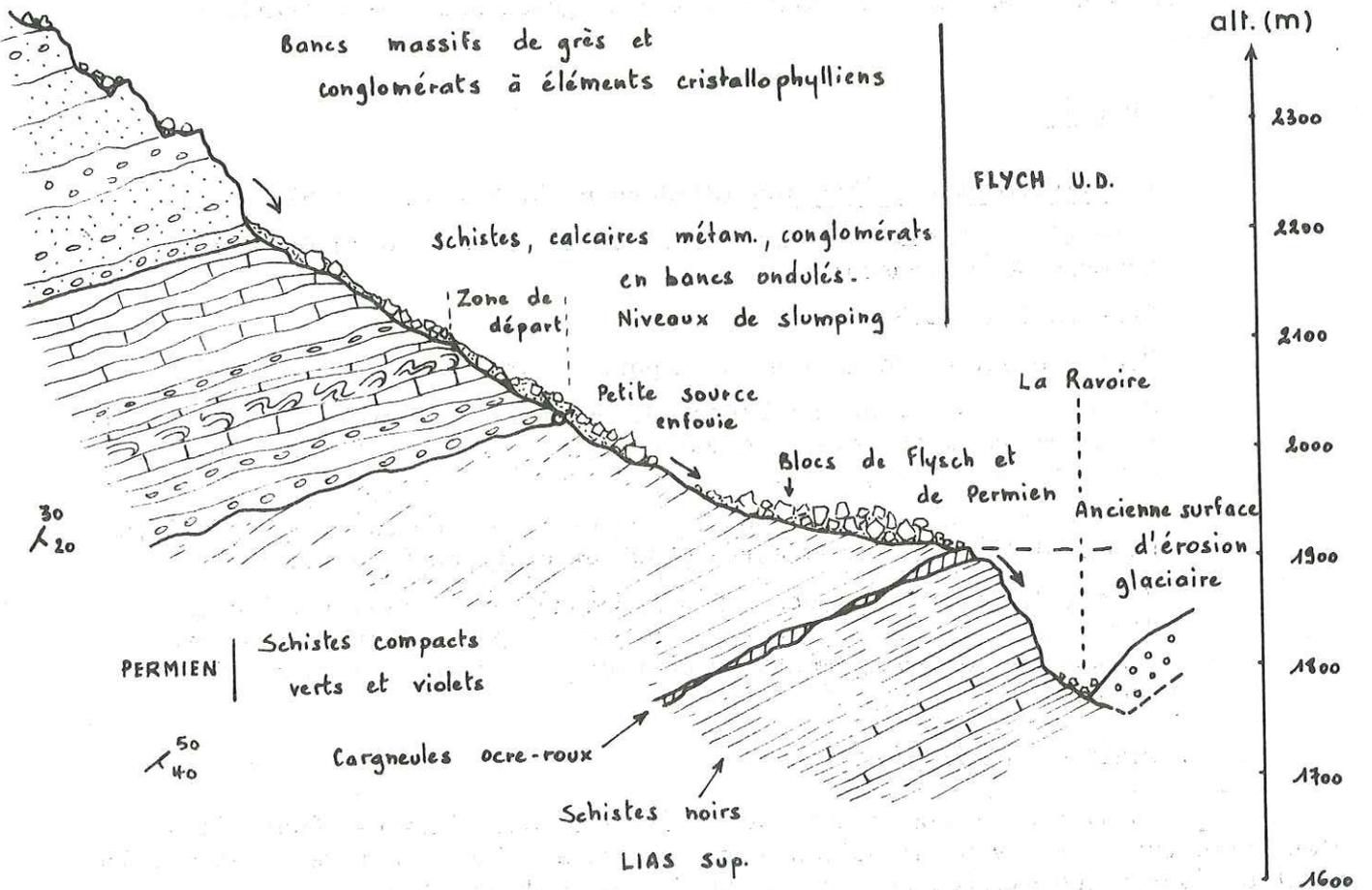
a. GLISSEMENT DE L'INDRION

ECHELLE



NNE

SSW



b. DETAIL AU NIVEAU DE LA ZONE DE DEPART

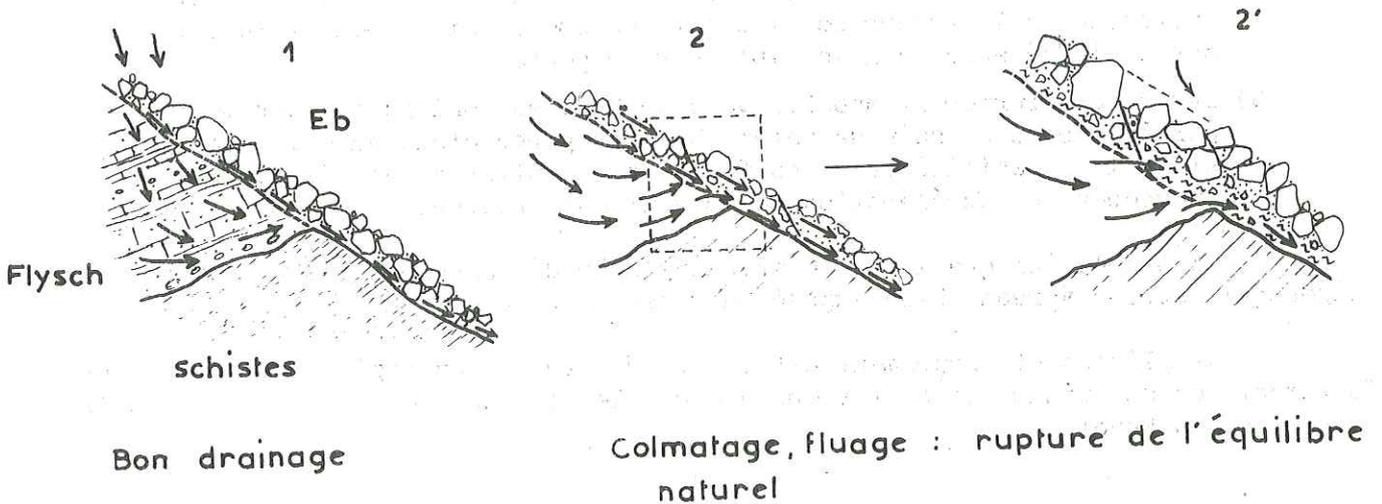


Fig. 39 GLISSEMENT DU GRAND COULOIR

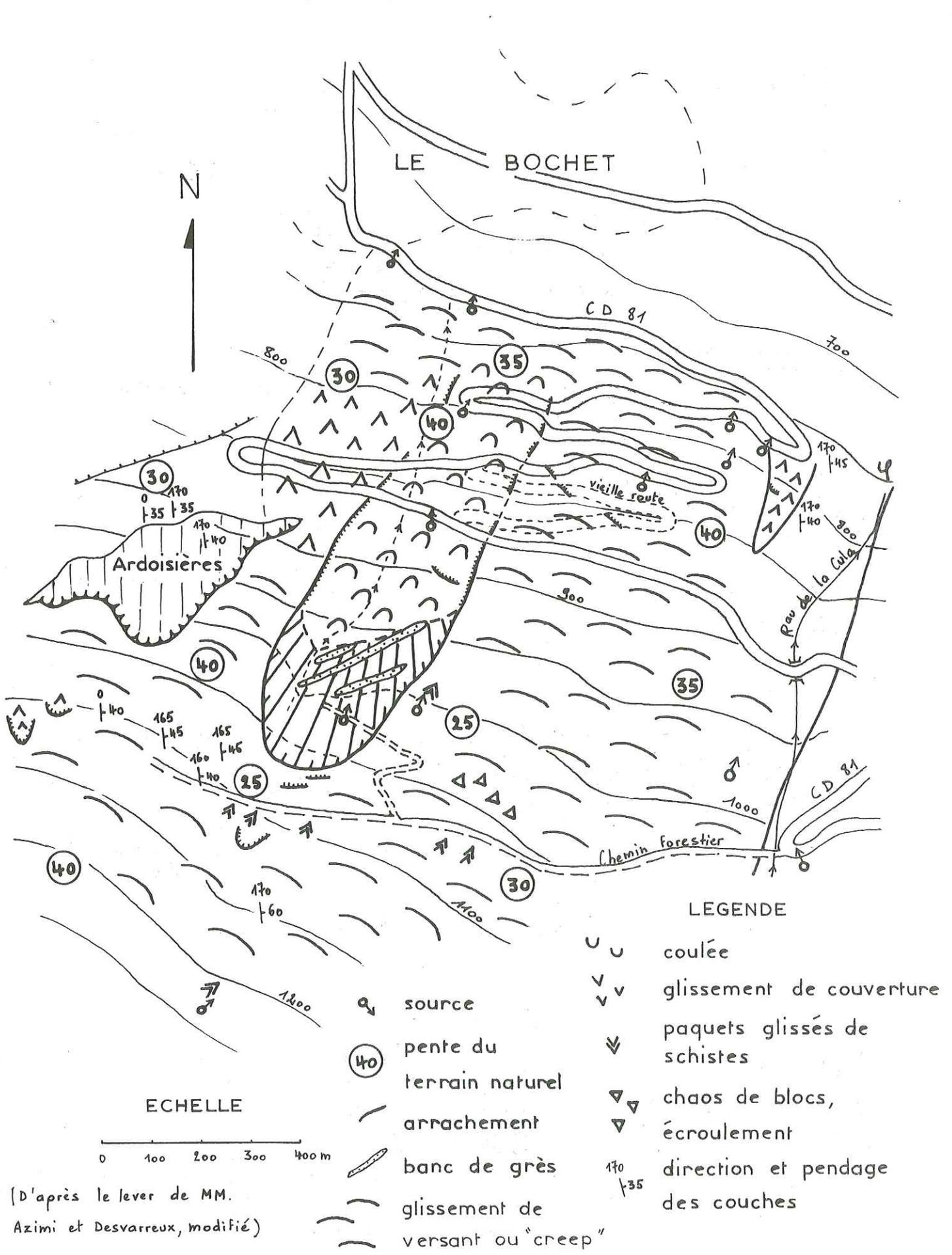
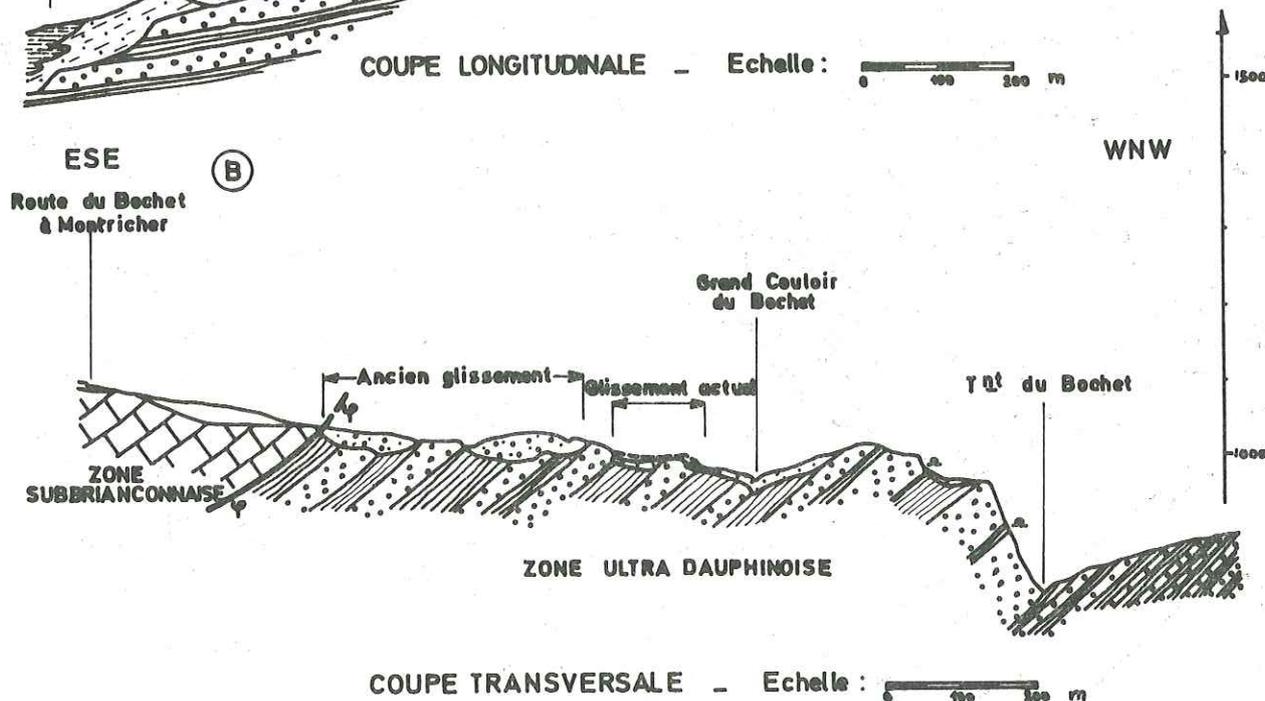
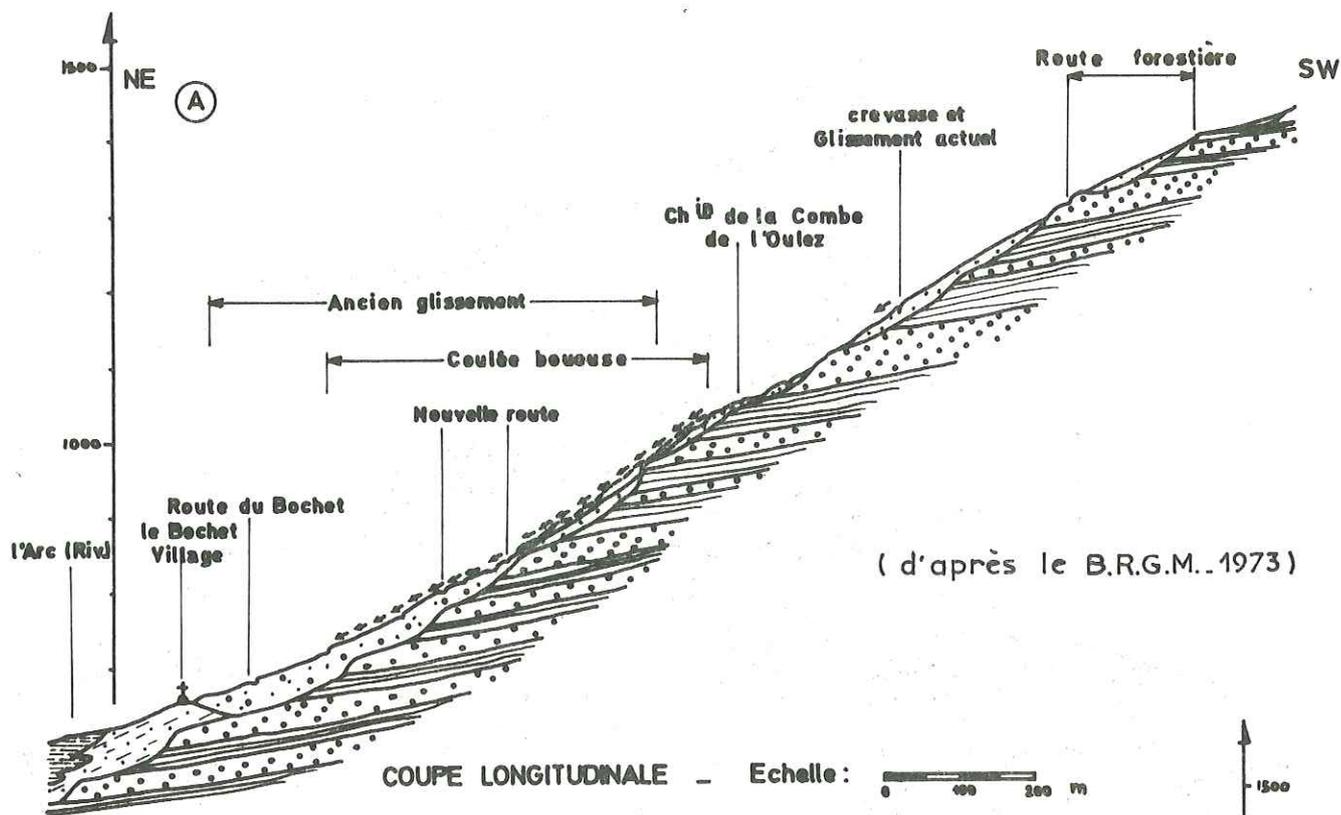


Fig.40 COUPES GEOLOGIQUES DE LA REGION DE MONTRICHER-LE BOCHET



LEGENDE

- | | | | |
|--|------------------------------|--|--|
| | Alluvions | | Calcaires et schistes (flysch subbriançonnais) |
| | Cône de déjection | | Alternance gros bancs de grès et de schistes |
| | Eboulis anciens à gros blocs | | Alternance grès et schistes |
| | Eboulis | | Ancien profil topographique |
| | Glaciaire | | Sens des déplacements actuels (coulée boueuse) |
| | | | Chevauchement |

2 - Eboulis mêlés à des matériaux glaciaires

a) Glissement du Grand Couloir (St-Jean n° 8, 1 070 - 750 m, fig. 39 et 40)

- Date : avril 1970.
 - situation : rive gauche de l'Arc ; au-dessus du village du Bochet.
 - Orientation : N.
 - Pente du versant variant de 30 à 40°.
 - Géologie du substratum : Flysch des Aiguilles d'Arves formé, au niveau du "Grand Couloir", par des schistes ardoisiers alternant avec des grès fins, micacés, plus ou moins bien lités ; proportion importante de grès à la partie supérieure. Dans les schistes, présence de minces lits argileux. L'ensemble est très fracturé et altéré en surface. Présence de fissures ouvertes dans les grès.
 - Structure monoclinale : N160 à N10, 20 à 35°E.
 - Terrains de couverture : éboulis mêlés à des matériaux glaciaires, dont l'épaisseur varie de 5 à 25 m suivant les différentes études effectuées sur ce versant.
 - Hydrogéologie : circulations souterraines peu importantes au niveau du substratum et dans les terrains de couverture (source captée à la cote 1000 et nombreux suintements, fig. 40).
- . Analyse du mouvement

Selon R. AZIMI et P. DESVARREUX (1970), les sources correspondent à un axe de circulation souterraine. La partie inférieure, plus argileuse (particules fines entraînées vers le bas), présente une humidité plus élevée que la partie supérieure.

Ces mêmes auteurs expliquent le glissement par la présence de conditions hydrologiques défavorables qui se traduisent par une remontée anormale du niveau hydrostatique dans le terrain. Elles se manifestent principalement en période de forte pluviométrie ou de fonte des neiges : l'eau s'infiltré dans la partie supérieure du versant (1 000 m alt.) et comme la base est mal drainée, la pression interstitielle augmente, d'où une instabilité plus grande.

Il semble que tout le versant soit instable. Ceci est dû en grande partie à la présence d'anciens glissements des terrains de couverture et du substratum très fracturé et altéré, comme en témoigne la présence de nombreux chaos de blocs de grès, de paquets de schistes disloqués, de creux humides, etc.. Le profil général de ce versant montre d'ailleurs une vaste concavité (qui correspondrait à une niche d'arrachement) entre 1 000 et 1 200 m suivie vers l'aval par un bombement dont le pied est souligné par une série de sources et suintements (fig. 39).

Les autres causes d'instabilité sont la pente très forte, l'orientation (N : forte humidité), la structure en partie conforme à la pente (responsable de couloirs très raides) et peut-être récemment, le déboisement.

Fig. 41

GLISSEMENT DE MONT-DENIS

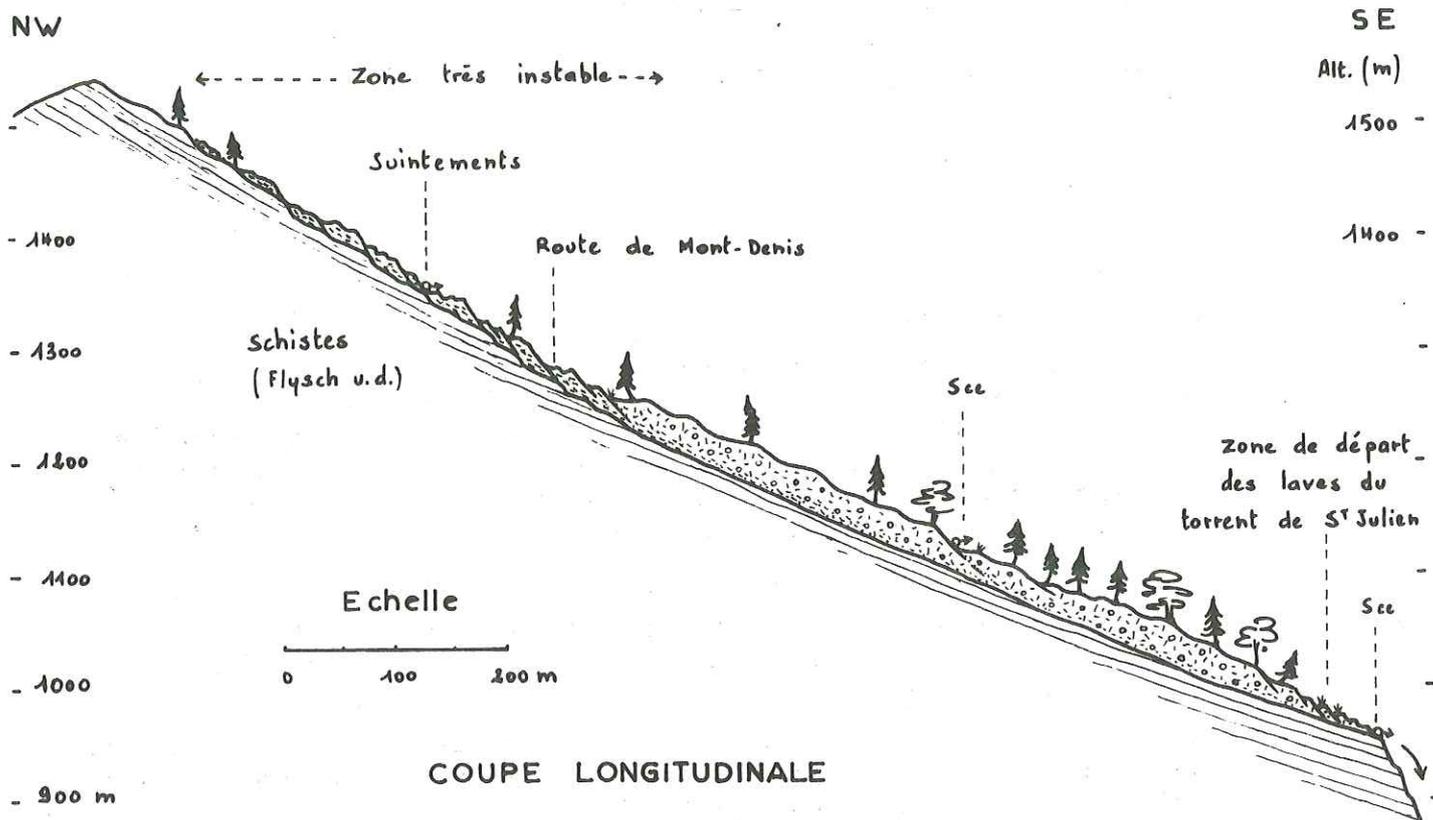
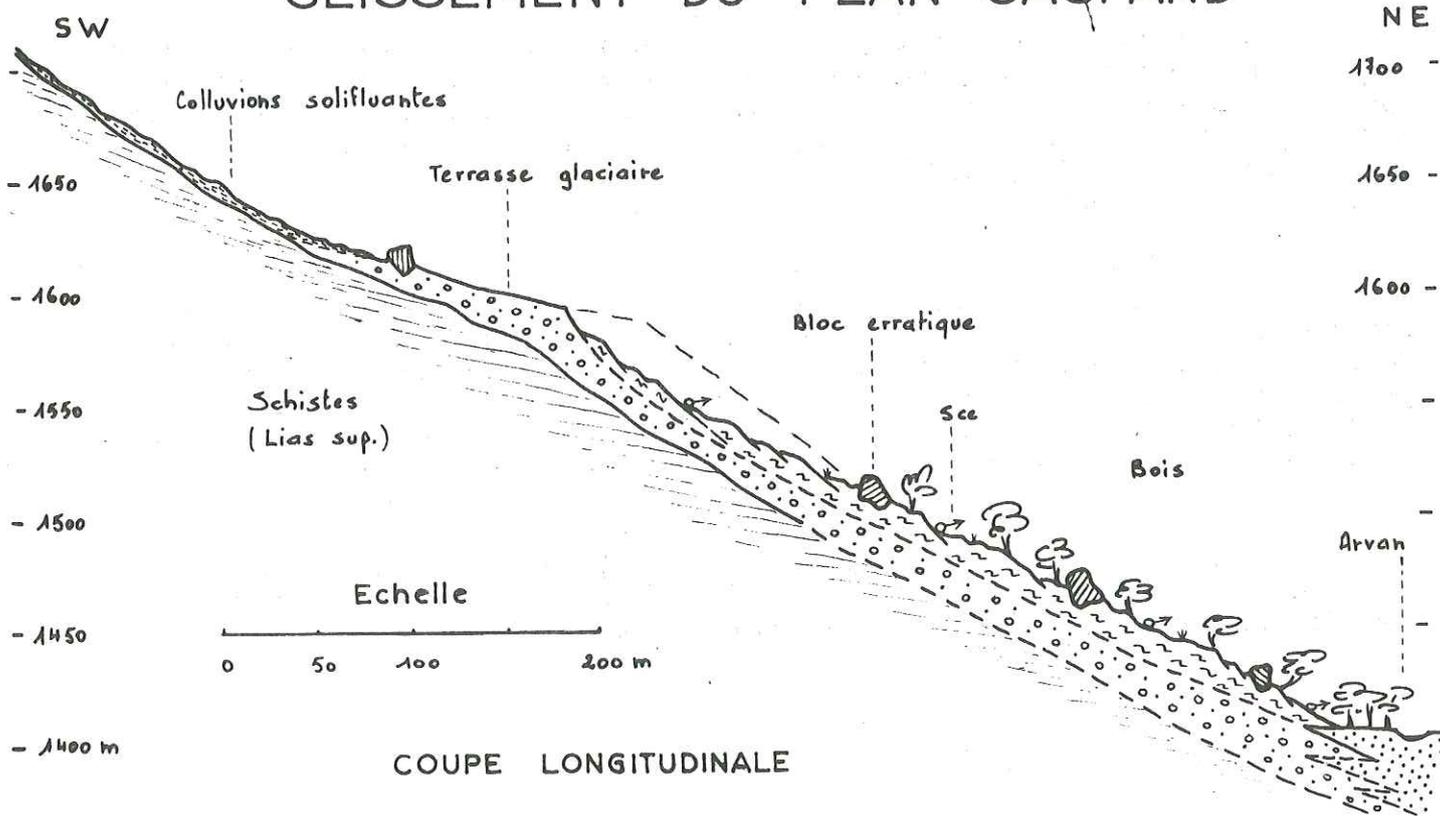


Fig. 42

GLISSEMENT DU PLAN GASPARD



b) Glissement de Mont-Denis (St-Jean n° 4, 1 600 - 1 050 m, fig. 41)

- Situation : rive droite du torrent de St-Julien.
- Orientation : SE.
- Pente moyenne du versant : 27°.
- Géologie du substratum : Flysch des Aiguilles d'Arves constitué de calcschistes et schistes très fracturés, se débitant en dalles anguleuses et sonores et feuillets de toute dimension.
Structure conforme à la pente : N35, 35°E.
- Terrains de couverture : éboulis grossiers dans la partie supérieure, argileux et mêlés à des matériaux glaciaires dans la partie inférieure.
- Hydrogéologie : circulations diffuses sur les dalles de schistes du substratum.

. Analyse du mouvement

La cause principale de l'instabilité du versant est structurale. On note que des paquets de roches de plus de 10 m³ sont déchaussés du substratum. L'eau agit en facilitant ou accélérant le glissement des feuillets les uns sur les autres. Les fines particules sont en très faible proportion dans le haut.

Le déplacement apparaît lent avec quelques accélérations locales marquées par des arrachements frais, des chaos et une forte humidité.

D'après des témoignages écrits (1), des laves auraient pris naissance au front de ce mouvement et détruit deux hameaux et une partie du bourg de St-Julien.

3 - Glaciaire

a) Glissement du Plan Gapard (St-Jean n° 6, 1 600 - 1 400 m, fig. 42)

- Situation : rive droite du torrent de l'Arvan, à proximité du hameau du Chambon.
- Orientation : NE.
- Pente moyenne : 27°.
- Géologie du substratum : schistes du Lias supérieur (zone d.).
Structure monoclinale pentée vers le SE.
- Terrains de couverture : fluvio-glaciaire comportant quelques blocs erratiques de Cristallin en provenance des Grandes Rousses.
- Hydrogéologie : circulations souterraines diffuses signalées par des suintements et des petites sources dans les matériaux en mouvement.

. Analyse du mouvement

Glissement affectant, semble-t-il, une tranche superficielle de matériel glaciaire imbibé d'eau et plus ou moins colmatée au pied du versant (argile). La surface de rupture ne paraît pas coïncider avec la limite du substratum. Ce mouvement est lent (sauf accélérations localisées) et tend à diminuer la pente générale de cette partie du versant en provoquant le recul du bord de la terrasse vers l'amont.

(1) Bulletin de la Société de Géographie de Genève (1933).

GLISSEMENT DU PLAN DU MELEZE

Fig. 43 Schéma de situation

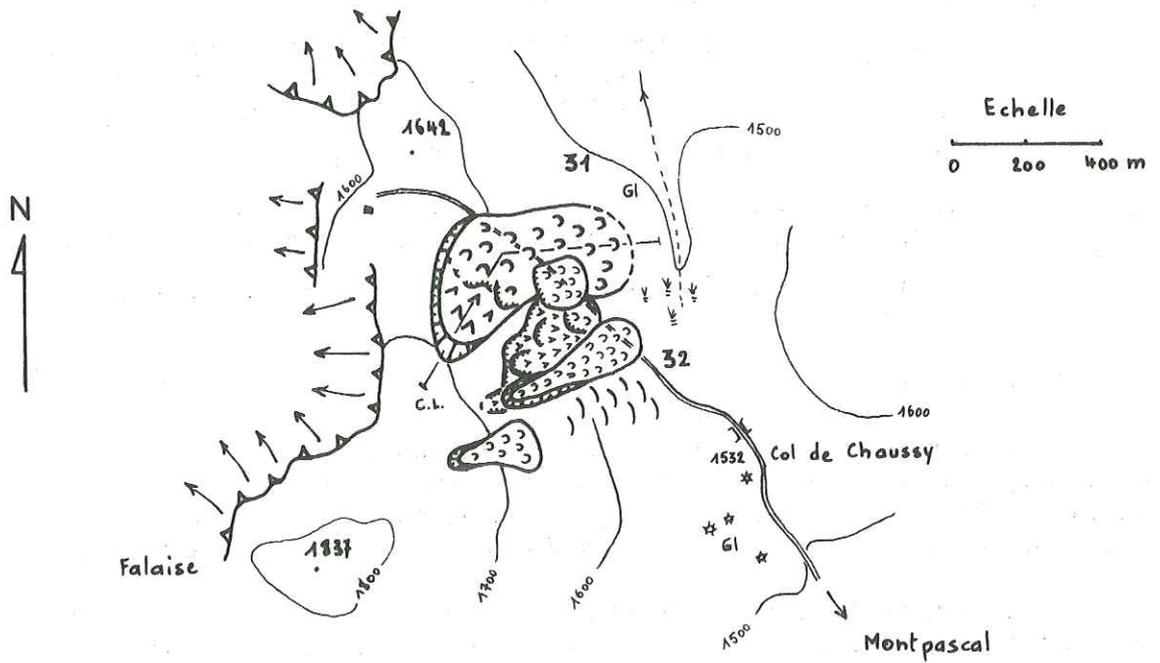
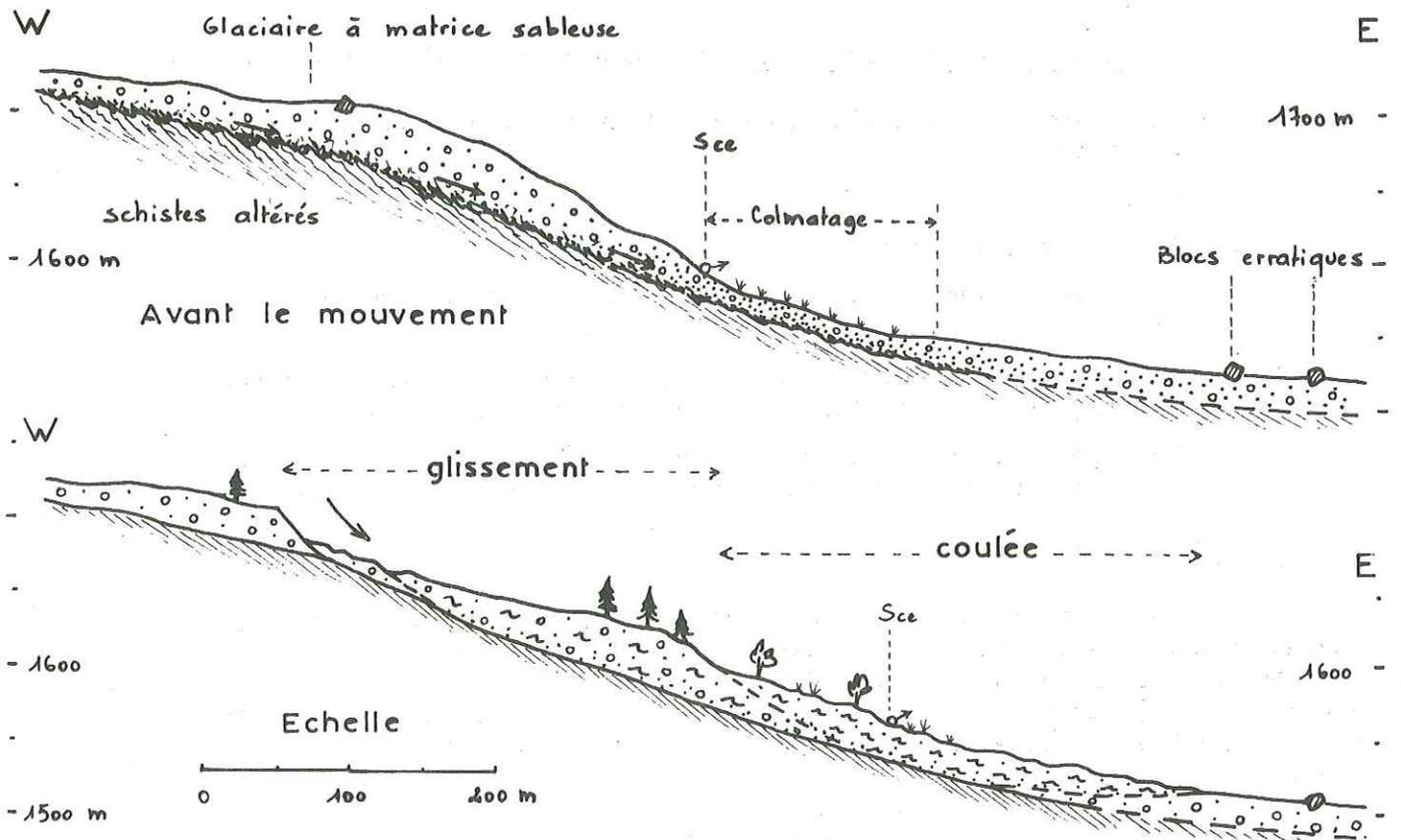


Fig. 44 Coupes longitudinales (31)



Ce type de mouvement se rencontre dans le même contexte en maints endroits en rive droite de l'Arvan, tel le glissement de la Vilette où les matériaux sont gorgés d'eau.

b) Glissement du Plan de Mëlèze (St-Jean n° 3, 1 700 - 1 525 m, fig. 43-44)

- Situation : au Nord de la Croix de la Challe (1 837 m), à 1,3 km au NW du village de Montpascal.
 - Orientation : NE.
 - Pente moyenne du versant : 19°.
 - Géologie du substratum : Nummulitique de la zone dauphinoise (calcschistes et schistes).
- Structure monoclinale conforme à la pente : fort pendage vers le NE.
- Terrains de couverture : moraines comportant des blocs de nature diverse (Cristallin, Flysch, calcschistes, etc.) enrobés dans une matrice à fins débris de marnes et de schistes.
 - Hydrogéologie : les moraines renferment une nappe, le substratum constituant le mur imperméable.

. Analyse du mouvement

Glissement des moraines sur le substratum, ayant évolué en coulée. Ce mouvement semble dû à une accumulation trop importante de matériaux glaciaires dans la partie supérieure du versant (fig. 44) qui, à la faveur d'une remontée piézométrique exceptionnelle (fonte des neiges rapide par exemple), se sont mis en route soudainement.

c) Coulée de Bonvillard (St-Jean n° 7, 1 515 - 1 220 m, fig. 45 et 46)

- Situation : rive ^{droite} ~~gauche~~ du ruisseau du Merderel, à 1,5 km au Sud d'Albiez-le-Jeune.
- Orientation : W.
- Pente moyenne, de la couronne au front : 17°.
- Géologie du substratum : Lias schisteux (zone u.d.).
- Terrains de couverture : moraines et fluvioglaciale montrant un litage grossier matérialisé en particulier par des niveaux sableux perméables et gorgés d'eau et des niveaux limoneux humides. La base de ces formations paraît être constituée par une épaisse couche d'argile noirâtre (produits d'altération des schistes ou dépôts lacustres...?) reposant sur le substratum (fig. 46a et c).
- Hydrogéologie : les circulations souterraines semblent importantes. Elles se concentrent au-dessus des niveaux limoneux ou argileux, comme le montrent les entailles de la route en construction d'Albiez-le-Jeune à Albiez-le-Vieux (fig. 46c).

. Analyse du mouvement

Le facteur prépondérant est hydrogéologique. L'argile noire que l'on trouve au niveau du Merderel, paraît avoir joué un rôle essentiel dans l'évolution vers la rupture des terrains qu'elle porte. Elle forme un niveau totalement imperméable au pied du versant et la cohésion de sa tranche supérieure gorgée d'eau est certainement très faible. En période pluvieuse ou de fonte des neiges le niveau hydrostatique monte et provoque une mise en charge des terrains au pied du versant.

Fig. 45

COULEE DE BONVILLARD

Schéma

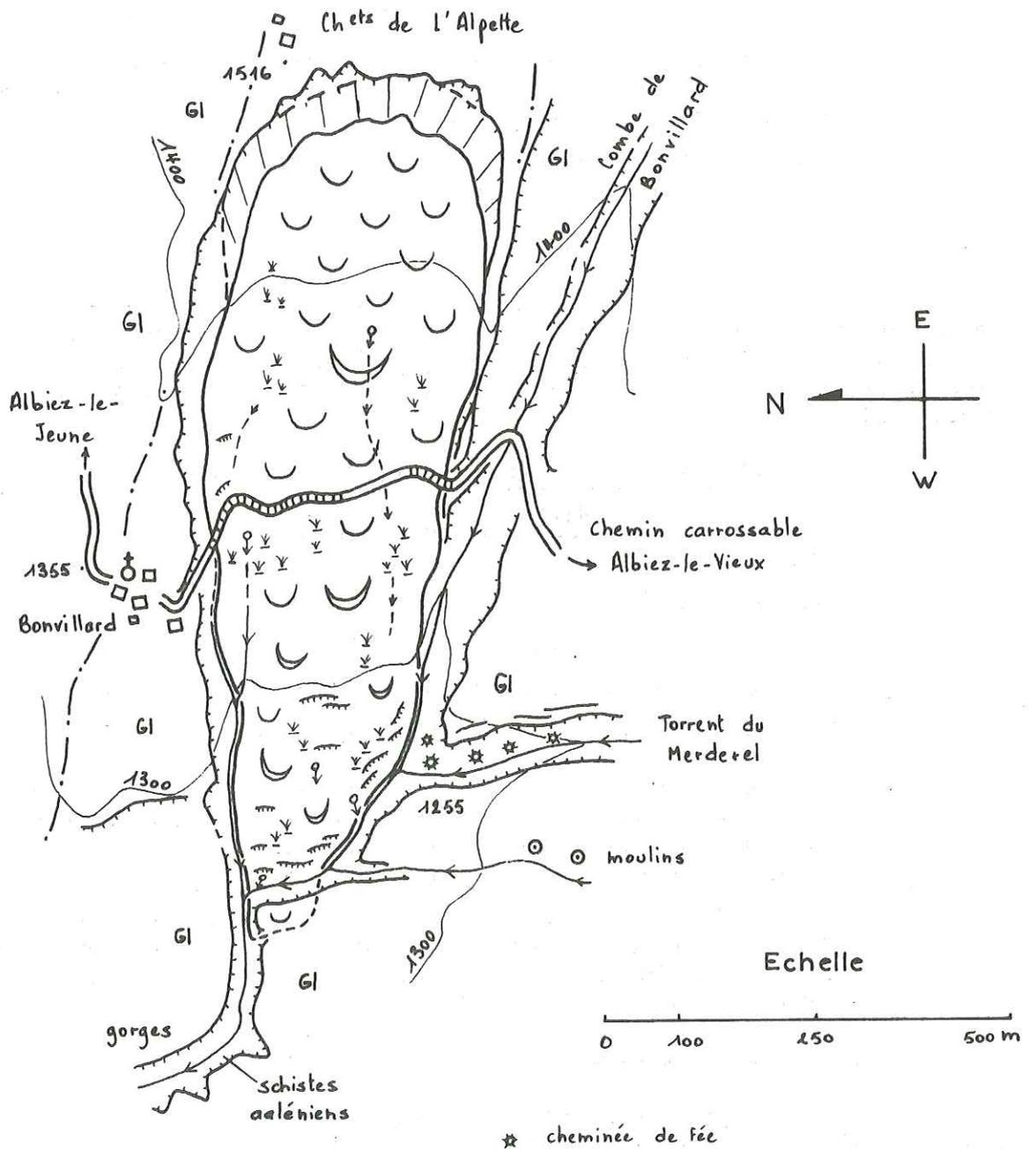
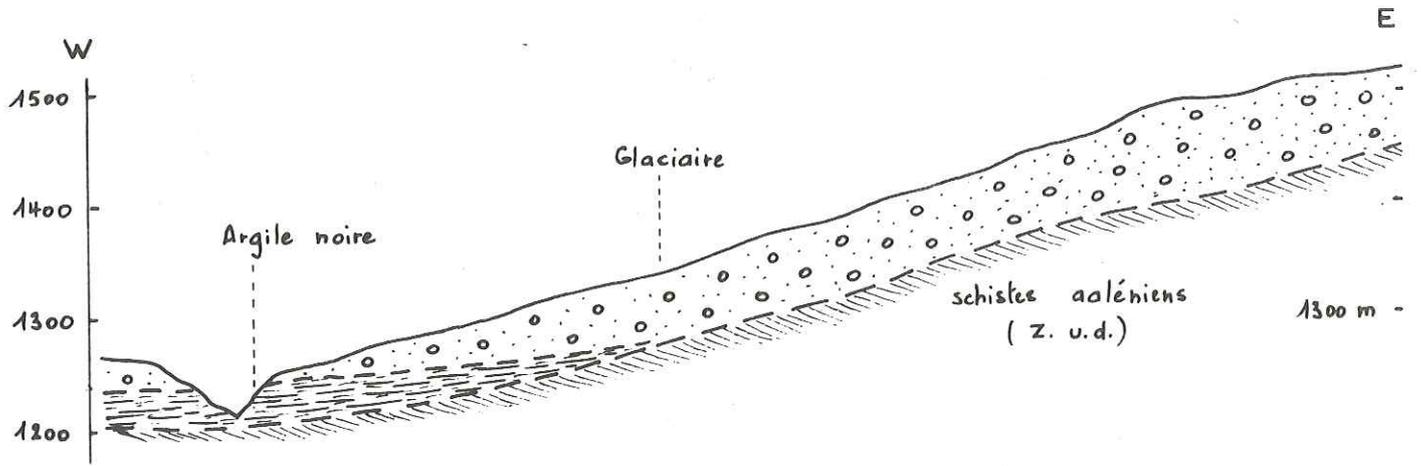


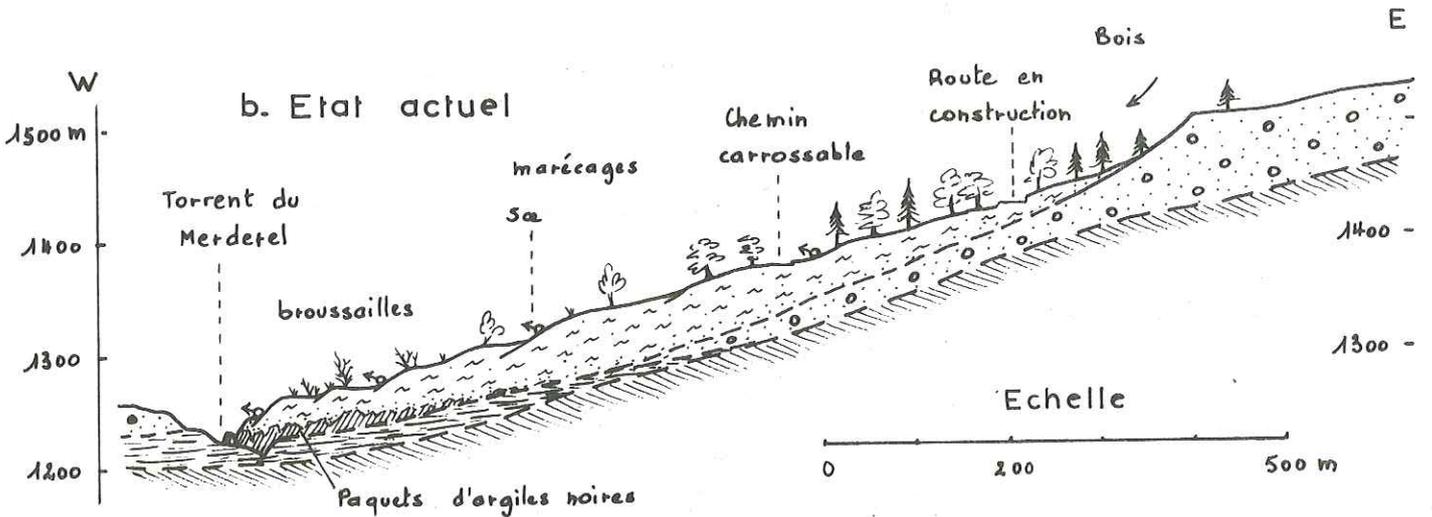
Fig. 46

COULEE DE BONVILLARD

a. Coupe hypothétique du versant avant le mouvement



b. Etat actuel



c. Coupe des terrains de couverture (route: cote 1350)

(perpendiculaire à la ligne de pente)

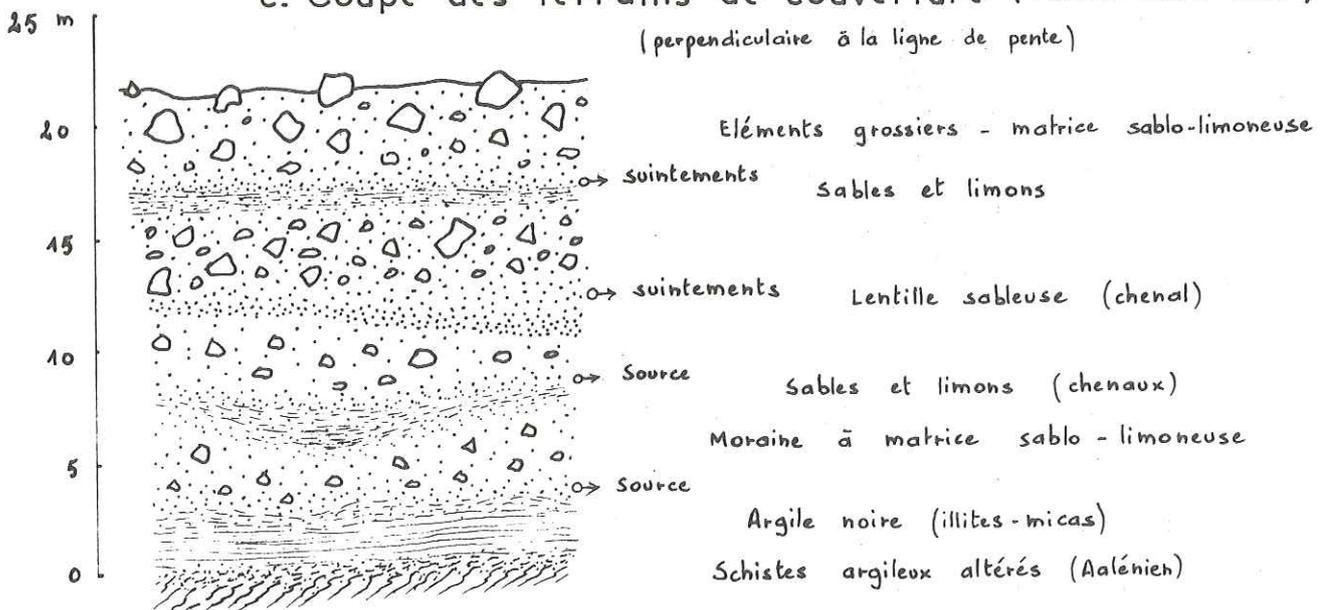
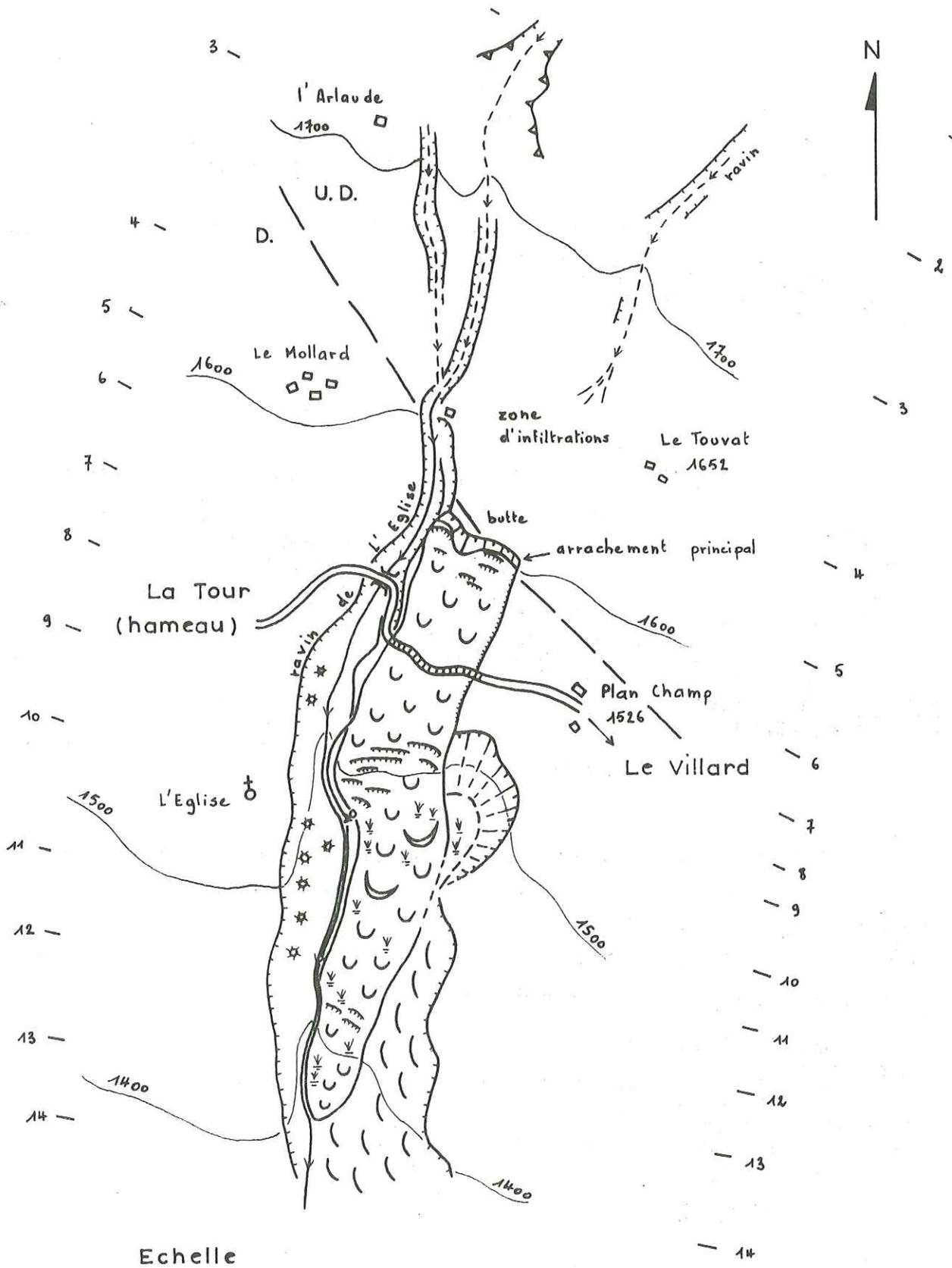


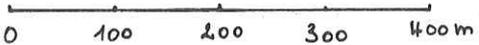
Fig. 47

GLISSEMENT DE L'EGLISE

SCHEMA



Echelle



Coupes transversales (Fig. 50)

* Cheminée de Fée

Celui-ci, raidi par l'entaille torrentielle, se déplace et se rompt. L'écoulement souterrain, responsable de cette phase d'évolution vers la rupture, favorise ensuite le remaniement interne des matériaux, qui évoluent vers le bas en une coulée active (fig. 46b).

d) Glissement de l'Eglise (St-Jean n° 6, 1 600 - 1 320 m, fig. 47, 48 et 49)

- Situation : rive gauche du torrent de l'Arvan, commune de St-Jean-d'Arves.
- Orientation : S.
- Pente moyenne, de la couronne au front : 21°.
- Géologie du substratum : Lias schisteux (zone d.) chevauché par le Trias et le Lias calcaire (zone u.d.). Structure monoclinale pentée de 40° vers l'E.
- Terrains de couverture : moraines et terrasses fluvio-glaciaires constituées d'éléments hétérogènes enrobés dans une matrice à débris de schistes.
- Hydrogéologie : le petit ruisseau de l'Eglise a fortement entaillé les formations glaciaires, très épaisses au pied du versant, dans lesquelles les circulations souterraines semblent assez diffuses. Le niveau de base imperméable est constitué par le substratum schisteux (fig. 48).

La présence d'un thalweg fossile est suggérée par l'existence, en amont, d'un ravin qui s'interrompt vers 1 650 m au niveau d'un replat en retrait de la niche d'arrachement (fig. 47).

Dans le substratum, le plan de chevauchement joue très probablement un rôle d'écran pour les circulations qui parcourent le Trias gypseux, très disloqué (fig. 48).

. Analyse du mouvement

Le thalweg fossile parcourant le substratum à cet endroit paraît être responsable des désordres du terrain qui l'a comblé. Les circulations souterraines, concentrées dans ce thalweg, et la suppression d'une butée à l'aval par encaissement du ruisseau de l'Eglise (dessinant un coude) ont entraîné la rupture.

Le détail des facteurs ayant joué un rôle sera exposé sur une série de coupes transversales (fig. 49).

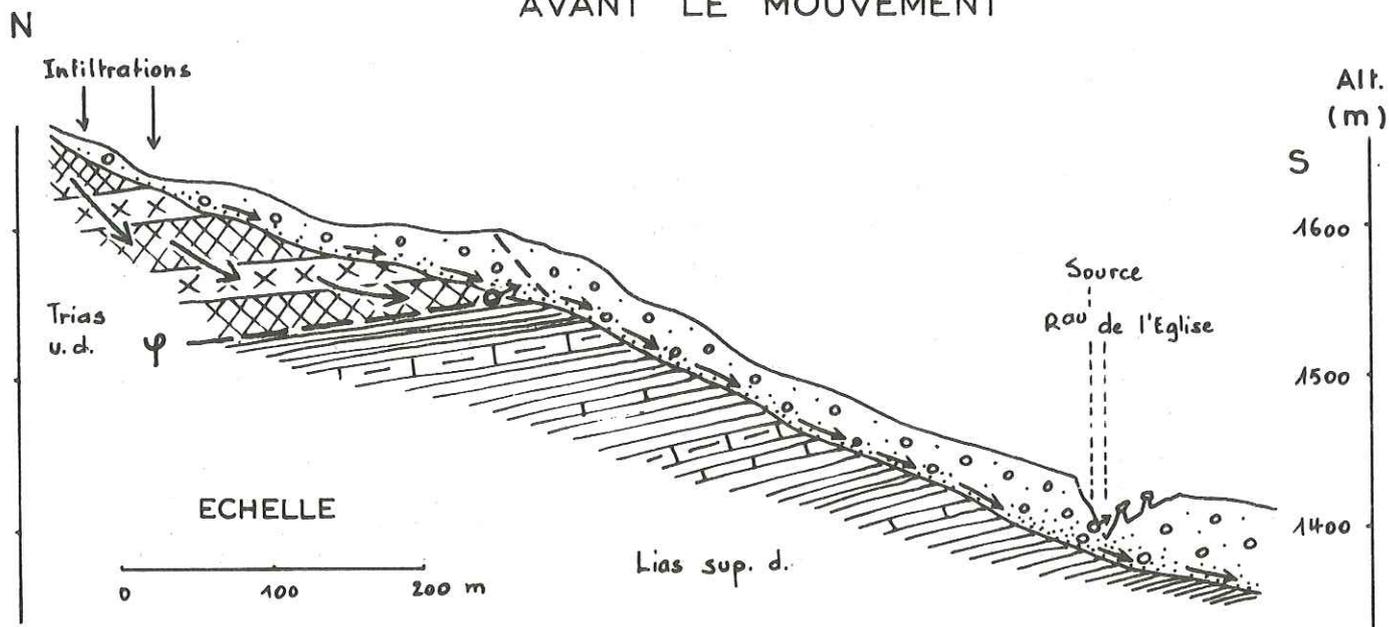
e) Glissements du Chalmieu (St-Jean n° 7, 1 820 - 1 310 m, fig. 50 à 54)

- Situation : rive droite du ruisseau de Pradin ; commune de Montrond.
- Orientation : W.
- Pentes moyennes : 20 à 28°.
- Géologie du substratum : Lias schisteux, ultradauphinois.
- Terrains de couverture : vastes épandages de matériaux glaciaires recouverts par des blocs de Flysch provenant d'un écroulement du massif des Aiguilles d'Arves situé au Sud.
- Hydrogéologie : le torrent de Pradin a entaillé les terrains de couverture sur plus de 100 m sans atteindre le substratum. Les sources sont nombreuses. Certaines ont un fort débit : source captée par le hameau de Chalmieu, par exemple.

Fig. 48

GLISSEMENT DE L'EGLISE

a. COUPE LONGITUDINALE DE LA PARTIE SUPERIEURE AVANT LE MOUVEMENT



b. COUPE LONGITUDINALE DU MOUVEMENT

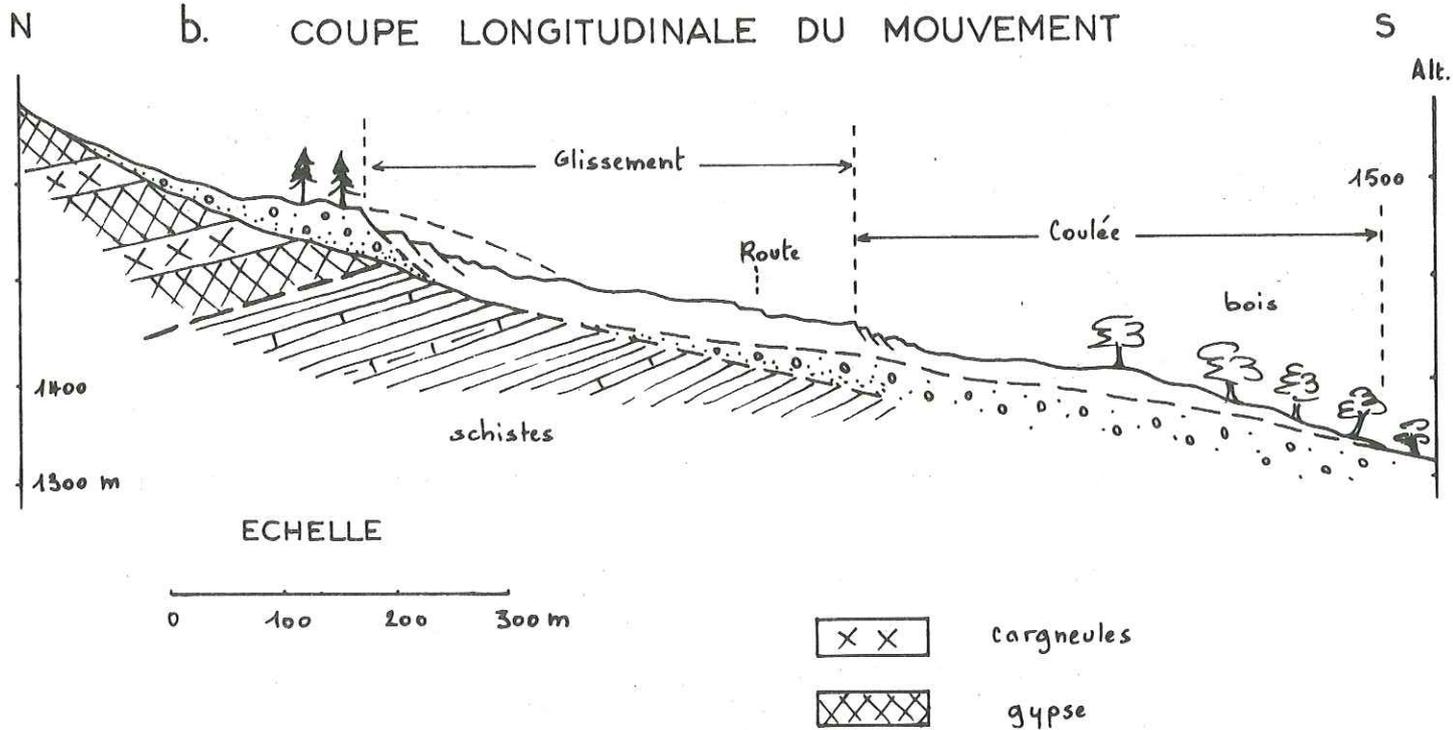
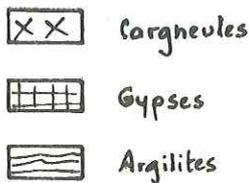
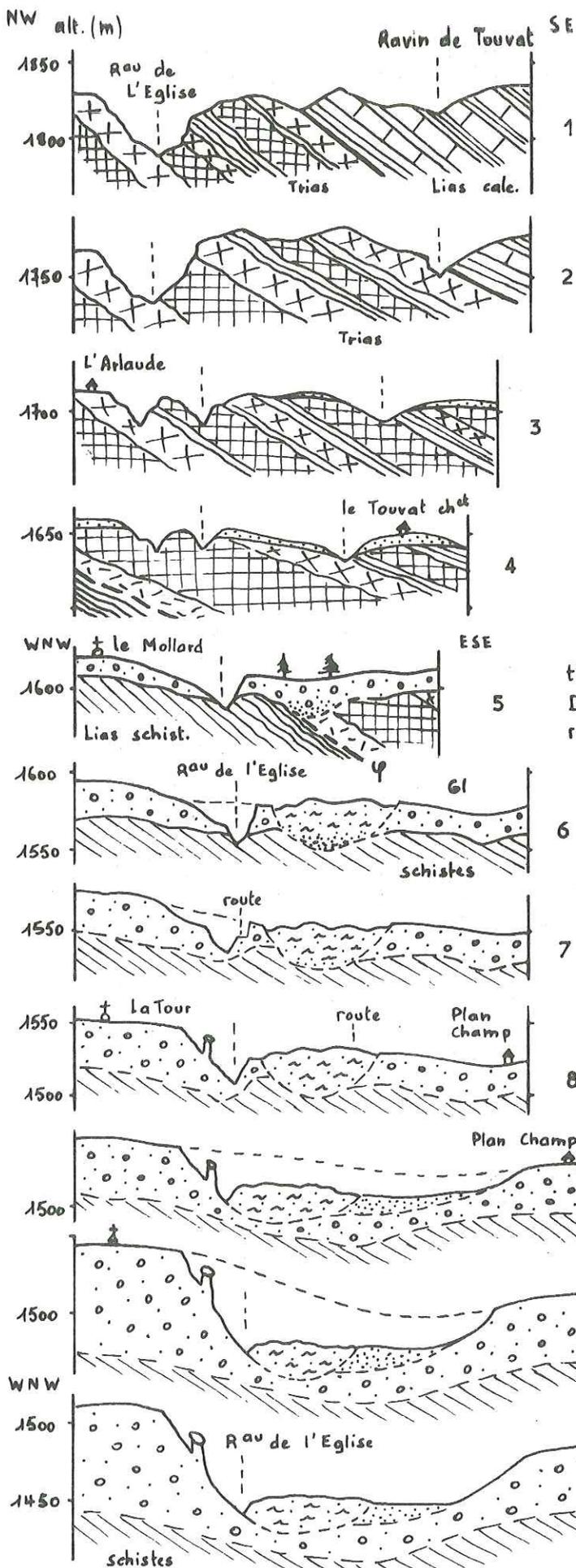


Fig. 49 GLISSEMENT DE L'EGLISE. COUPES TRANSVERSALES



TRIAS



Lias inf. calcaire et Trias u.d. ravines

Sources et suintements dans le Trias et au contact (zone disloquée) avec le Lias schisteux de la Zone d.

Le ravin de Touvat disparaît au niveau des formations glaciaires formant un replat et une butte. Devenu fossile, il est le siège de circulations souterraines (infiltrations au niveau du chalet).

Le glissement paraît guidé par ce Thalweg parallèle au ruisseau de l'Eglise.

Niveau de confluence des ravins de Touvat (fossile) et de l'Eglise, avant le mouvement, marqué par une source et un remaniement des matériaux (coulée terminale repoussant le ruisseau de l'Eglise vers l'W.

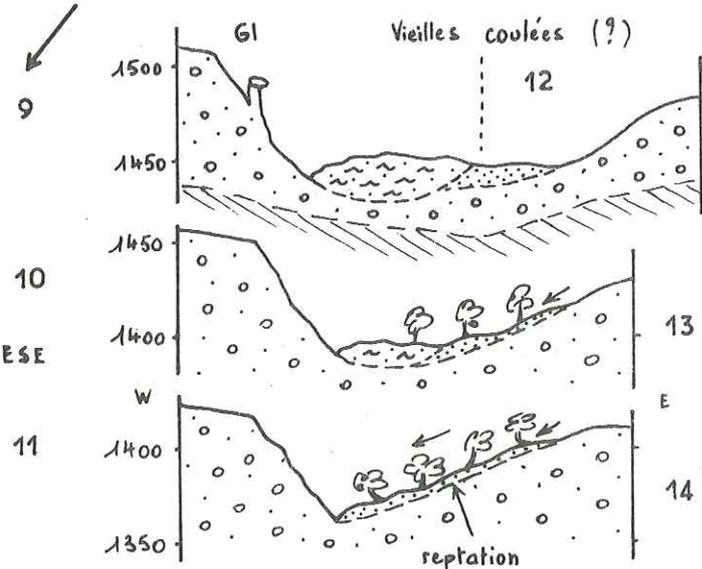
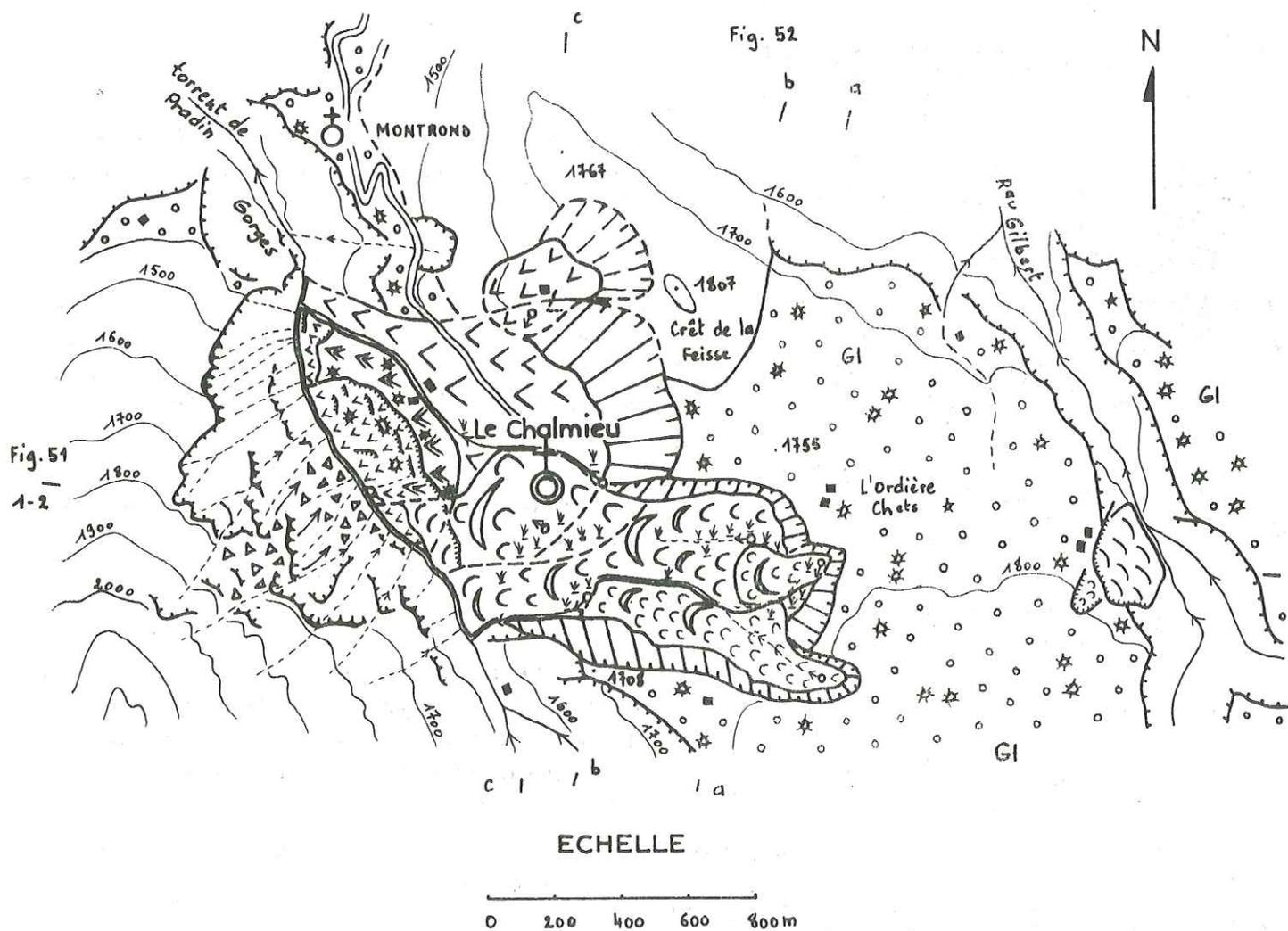


Fig. 50

GLISSEMENTS DU CHALMIEU

schéma



- * Bloc de Flysch
- ◄ ◄ Ecoulements
- ┌┐ Falaise
- ⤿ Bombement, bosse
- yz Marécage

GLISSEMENTS DU CHALMIEU

Fig. 51 coupes longitudinales

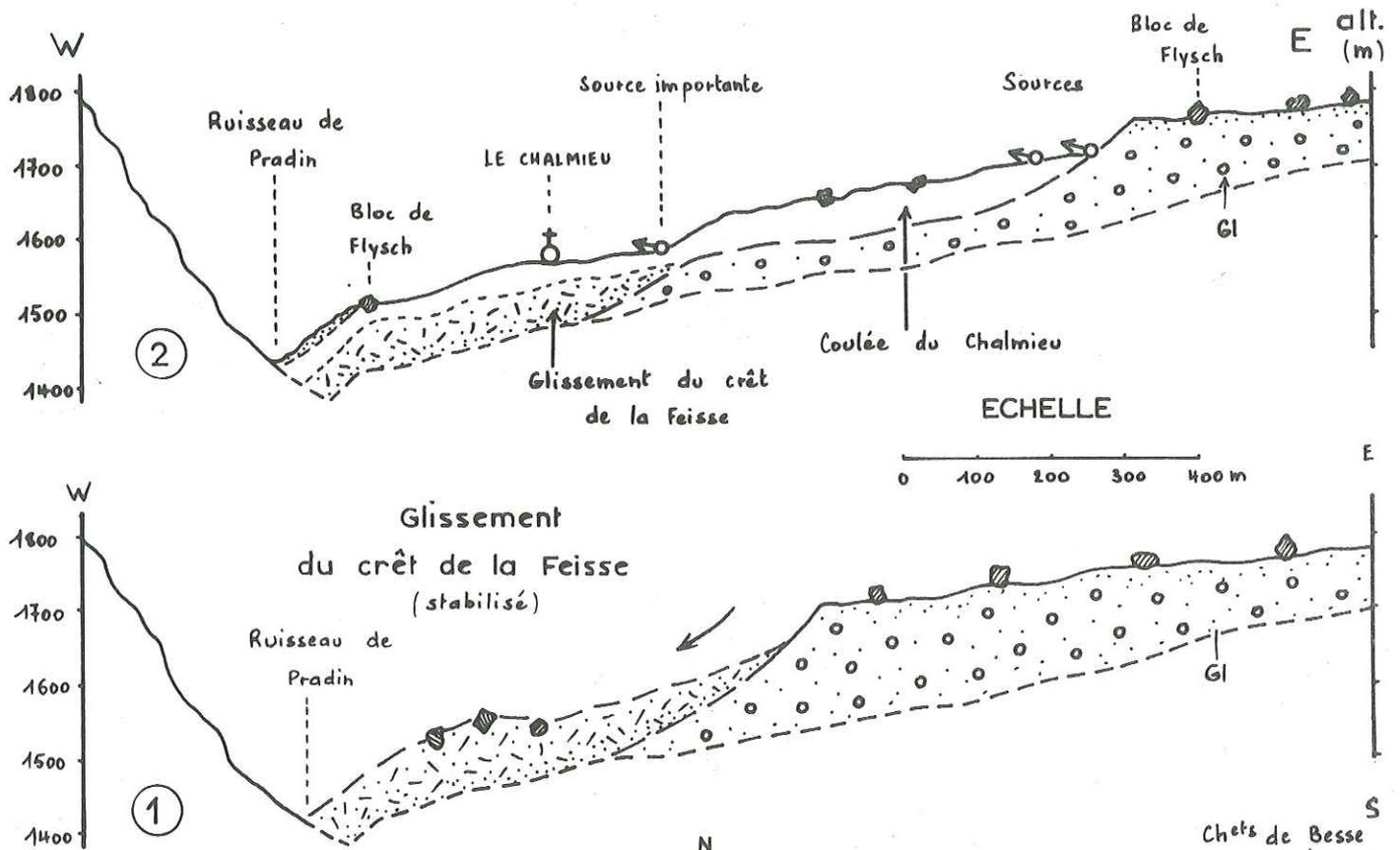


Fig. 52 coupes transversales

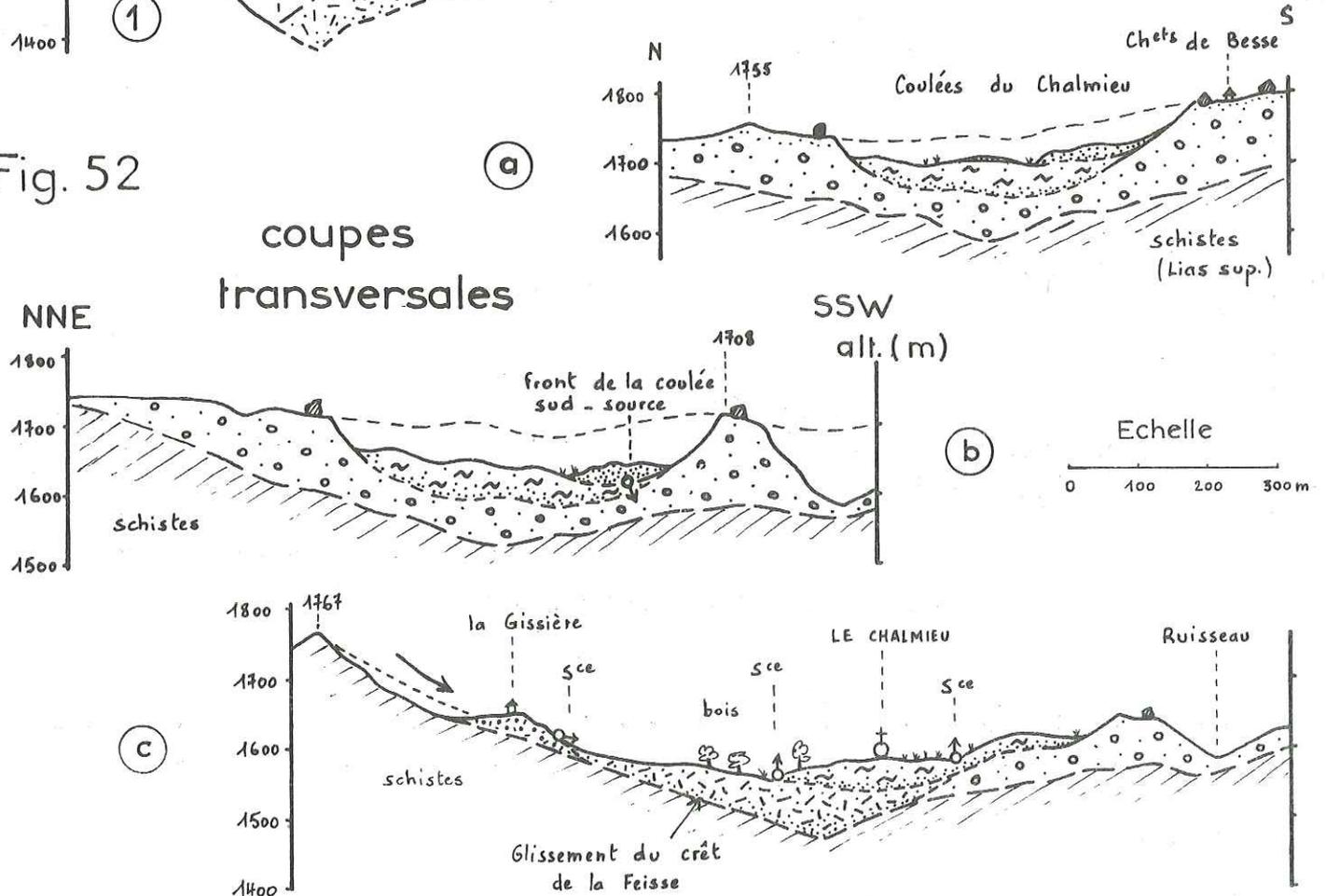
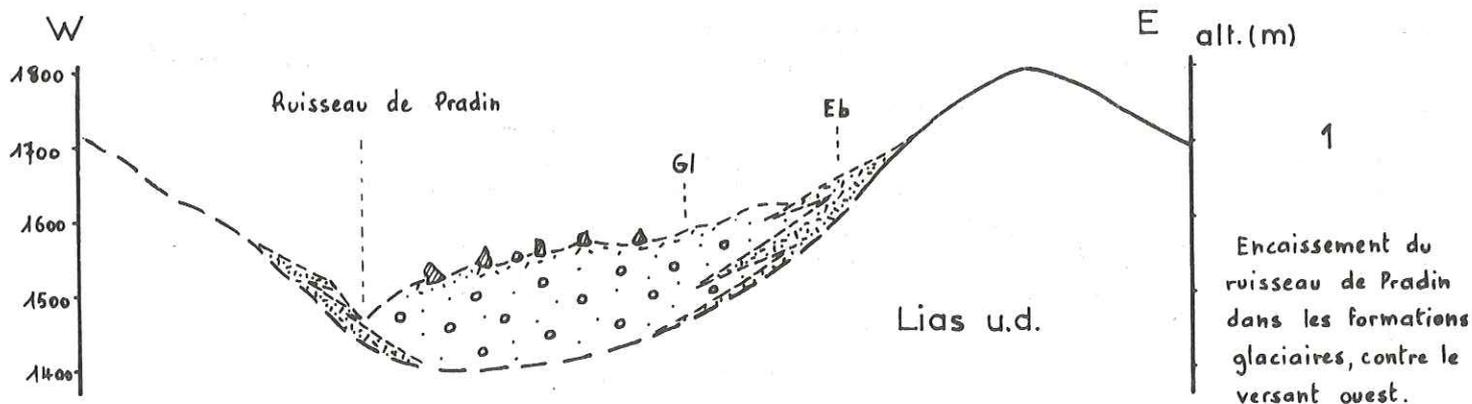
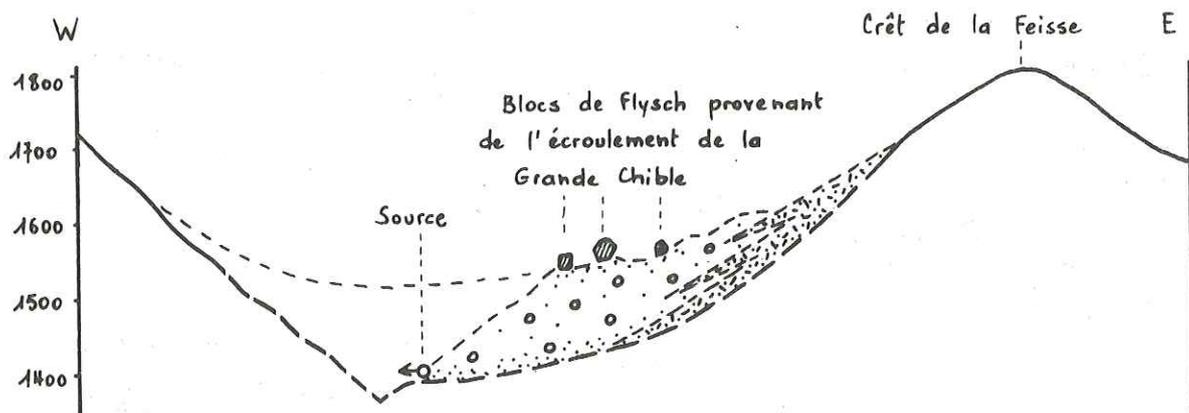


Fig. 53

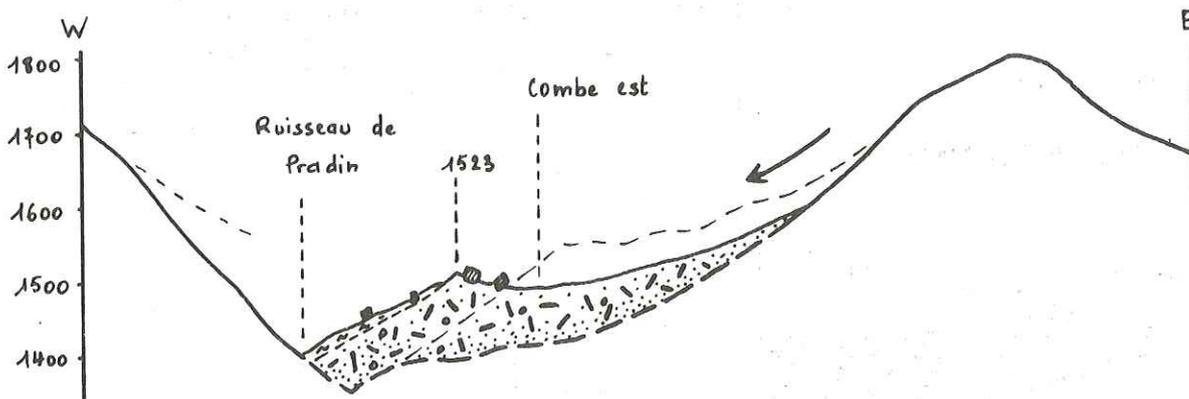
GLISSEMENT DU CRET DE LA FEISSE 1^{re} hypothèse



1
Encaissement du ruisseau de Pradin dans les formations glaciaires, contre le versant ouest.



2
Disposition avant le mouvement



3
Disposition actuelle après le déplacement de l'ensemble des terrains de couverture sur le substratum.

COUPES LONGITUDINALES

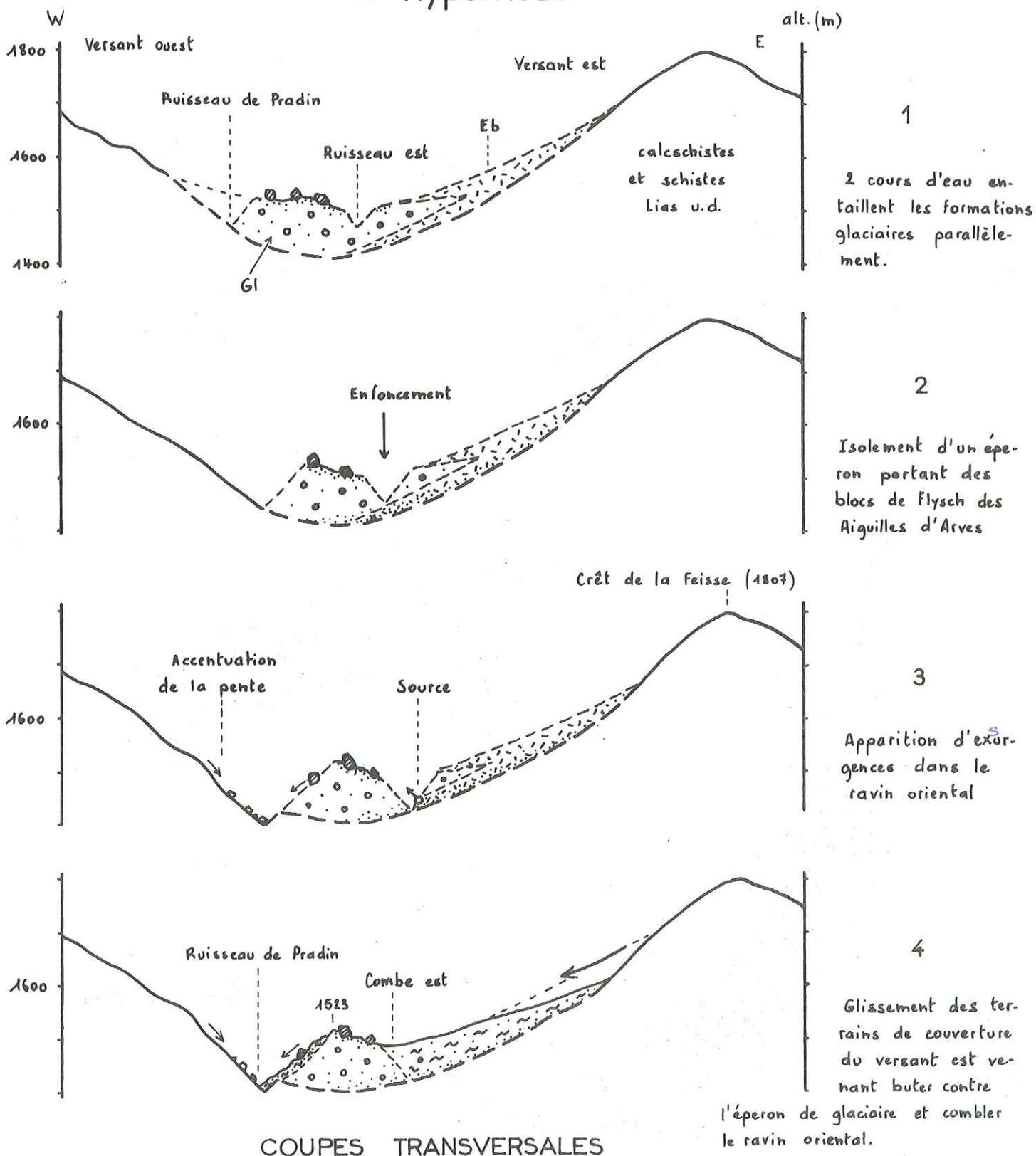
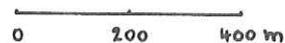
Remarque : cette hypothèse peut expliquer le coude effectué par le ruisseau de Pradin vers l'Ouest, mais ne paraît pas très satisfaisante pour démontrer la présence de la combe est.

Echelle 0 200 400 m

Fig. 54

GLISSEMENT DU CRET DE LA FEISSE 2^e hypothèse

ECHELLE

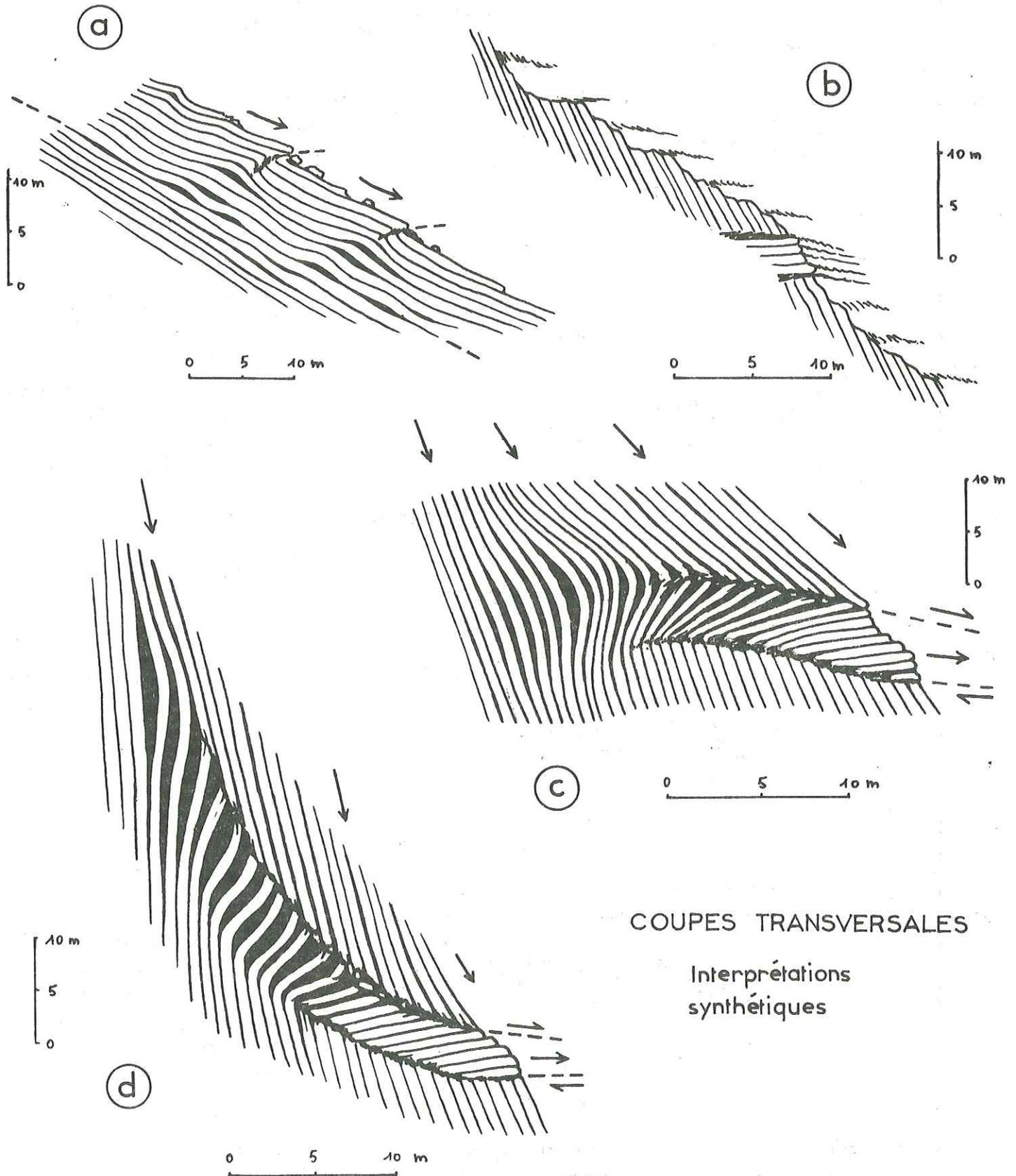


COUPES TRANSVERSALES

Remarque : cette interprétation peut expliquer la présence de la combe est, empruntée actuellement par un ruisseau permanent prenant sa source au hameau du Chalmieu.

Fig. 55

DEFORMATIONS DANS LES SCHISTES DU LIAS SUPERIEUR



COUPES TRANSVERSALES

Interprétations
synthétiques

. Analyse des mouvements

Il s'est produit une série de glissements régressifs, qui entaillent les puissantes formations glaciaires. Un schéma et plusieurs séries de coupes tenteront d'expliquer simplement le mécanisme de cet ensemble.

III - LES MOUVEMENTS AFFECTANT LE SUBSTRATUM

Nous ne reviendrons pas sur la géologie du substratum, présentée au chapitre 1.

A - LE FAUCHAGE

Ce phénomène est bien connu, notamment dans le Houiller, mais pas toujours facile à déceler en surface. Propre aux formations stratifiées ou feuilletées, il les affecte à des échelles fort diverses : du massif entier à la tranche superficielle du versant.

Nous ne ferons ici que rapporter quelques figures de déformations observées dans les schistes du Lias dauphinois (région du Corbier et niches d'arrachement principales des glissements de Jarrier).

En dehors du fauchage classique de structures contraires à la pente (balancement des têtes de bancs, fig. 56a), on observe fréquemment dans les structures conformes des ondulations, flexures et cassures localisées (fig. 55a). C'est dans de telles structures que l'on peut relever par endroits des niveaux subhorizontaux les recoupant à l'emporte-pièce et apparaissant dans la pente sous la forme de "mille-feuilles" disloqués (fig. 55b). Des ravins montrent en coupe une ondulation des strates passant progressivement à une double flexure puis à un cisaillement (fig. 55c et d). Cette déformation, affectant des schistes argileux incompétents, est provoquée par le poids des strates sus-jacentes qui, en perdant toute adhérence (altération et décollement dus aux agents climatiques et hydrologiques), glissent aisément les unes sur les autres. Les discontinuités mécaniques qui se sont créées sont particulièrement néfastes pour la stabilité du massif.

La déformation peut dessiner une discontinuité en forme de berceau (fig. 55d). Une telle disposition montre un bel exemple de surface de rupture potentielle.

Les formations plus compétentes, telles le Flysch des Aiguilles d'Arves, ont un style de déformation moins souple (fig. 56),

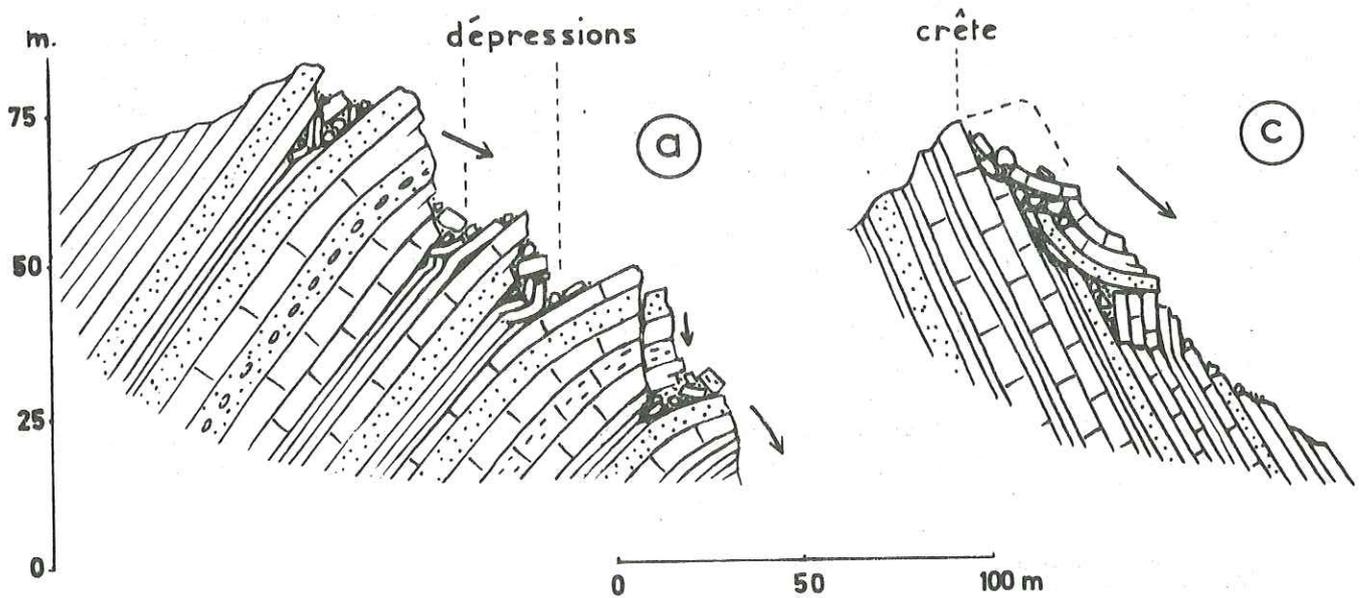
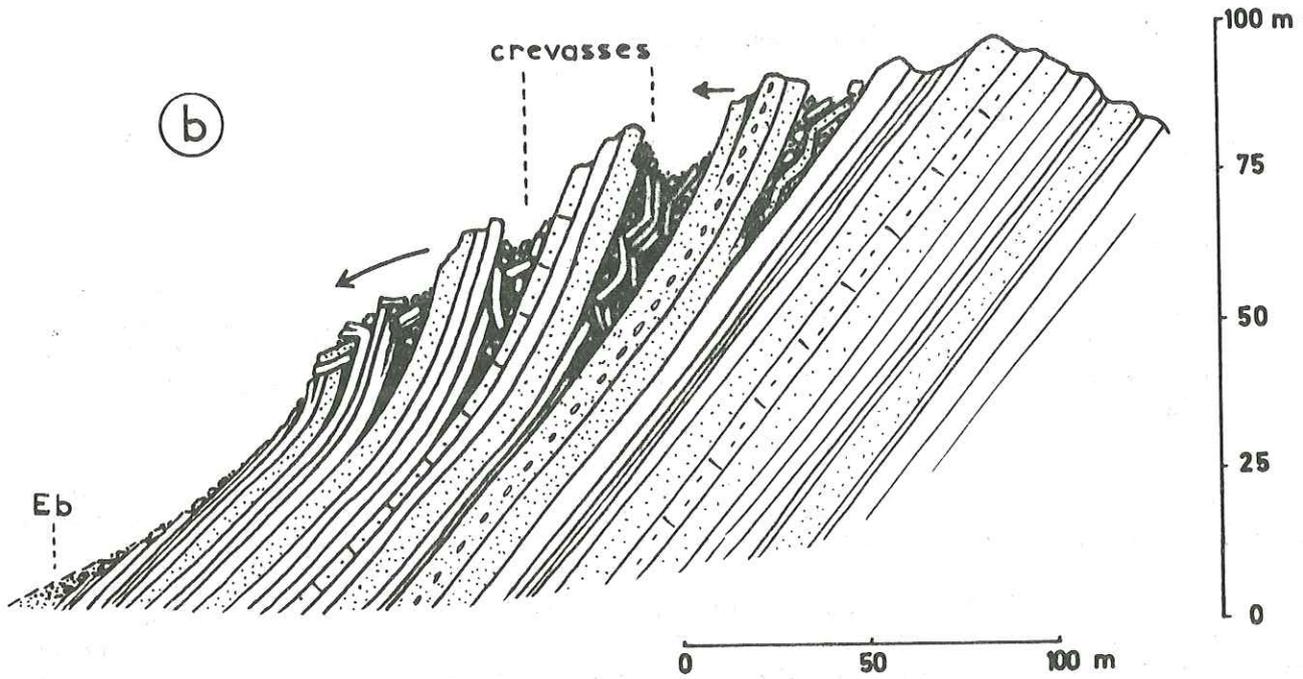
Ces quelques observations nous conduisent à penser que de tels mécanismes font partie des causes les plus fréquentes de rupture des pentes à structure conforme.

B - LES ECROULEMENTS

Ils affectent essentiellement les roches massives et compétentes des falaises limitant les cuestas et des massifs cristallins. On les rencontre aussi dans les structures plissées ou tectonisées de la nappe du Pas du Roc (digitation du Perron des Encombres notamment), où diverses roches sédimentaires sont représentées.

Ce type de mouvement est facile à déceler et à analyser, mais ses causes peuvent être par contre diverses et mal déterminables.

Fig. 56 BASCULEMENTS ET FAUCHAGE DANS LE FLYSCH
DES AIGUILLES D'ARVES



COUPES TRANSVERSALES



schistes



grès



conglomérats



calcaires

Nous n'examinerons qu'un seul cas, intéressant des gypses tectonisés et écroulés assez récemment (une dizaine d'années),

Écroulement du Mont Charvin (St-Jean n° 6, 1 800 - 1 320 m, fig. 57) *et fig. 30, p. 80*

- Situation : versant NW du Mont Charvin.
- Orientation : NNW.
- Pente moyenne : 37°.
- Géologie du substratum : gypses du Trias ultradauphinois chevauchant le Lias schisteux dauphinois.
- Terrains de couverture : éboulis de calcaires, calcschistes et gypse, importants au pied du versant. Placage de 1 à 3 m d'épaisseur sur la pente.
- Hydrogéologie : les gypses disloqués sont le siège de circulations souterraines. Il ne semble pas que l'alimentation se fasse par le toit, le Rhétien paraissant assez imperméable, mais par la tranche exposée à l'air libre (crevasses principalement). Il n'y a pas de source importante au contact du toit des schistes et calcschistes dauphinois à cet endroit.

Le ruissellement est intense sur ce versant très incliné.

. Analyse du mouvement

L'observation des photos aériennes montre qu'il existait avant l'écroulement un ressaut constitué par des gypses très disloqués. Il semble que ce soit surtout leur tectonisation (brèches, cavités remplies de cargneules, argilites et produits ferrugineux, surfaces listriques nombreuses...) qui ait facilité leur dislocation plutôt que l'altération (l'eau ayant joué un rôle dans les deux cas). On constate que de nombreux blocs écroulés contiennent de l'anhydrite, ce qui signifie que la transformation en gypse, ou bien n'est pas uniforme, ou bien reste peu profonde.

Cet écroulement a entraîné avec lui des placages d'éboulis sablo-argileux, qui lors des pluies orageuses donnent des laves.

C - LES GLISSEMENTS

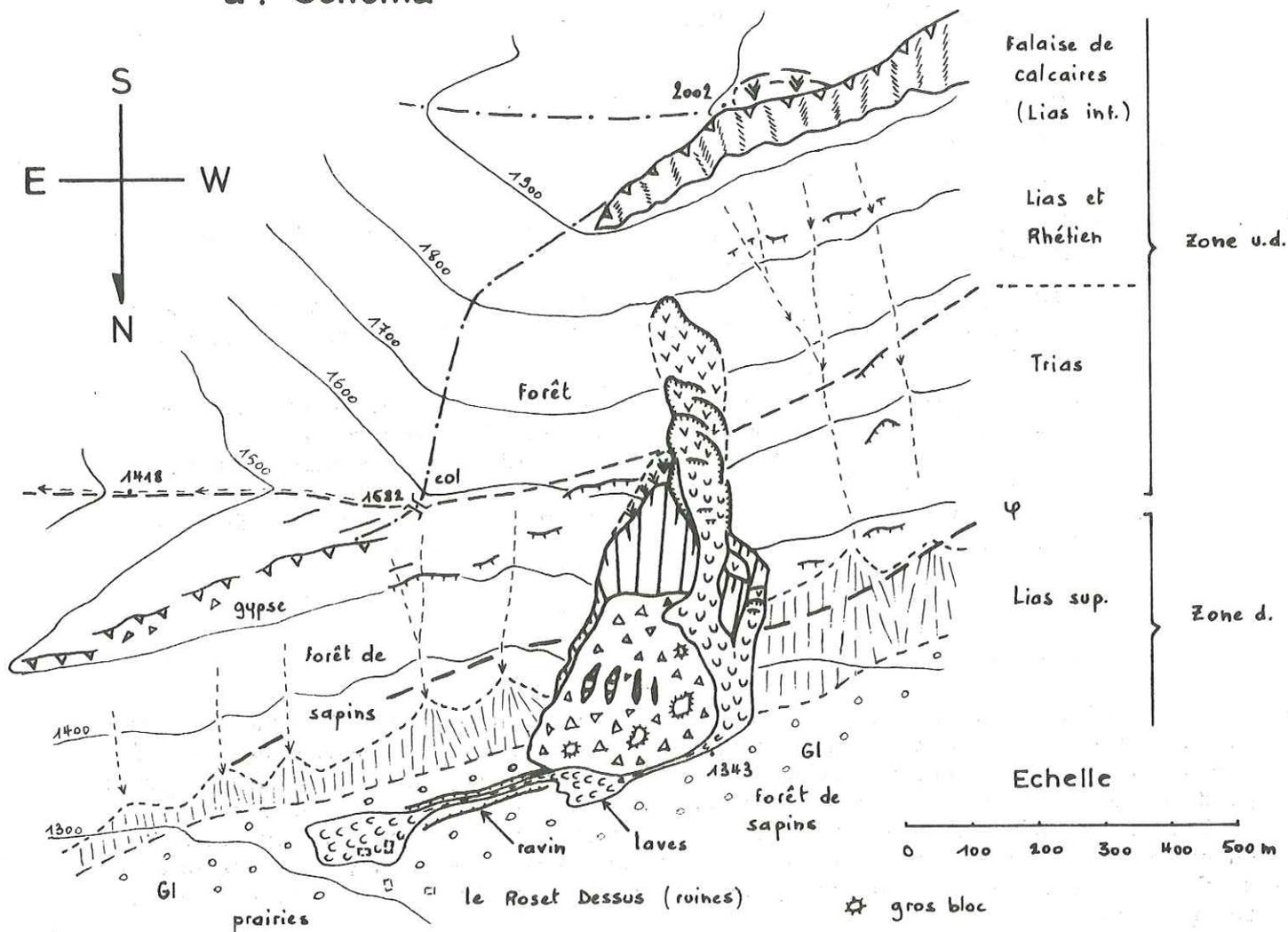
1 - Glissement du Crêt d'Ornon (St-Jean n° 6, 2 030 - 1 750 m, fig. 58)

- Situation : rive droite de l'Arvan, au Sud de St-Sorlin-d'Arves.
- Orientation : Nord.
- Pente moyenne du versant : 34°.
- Géologie du substratum : alternance de calcschistes et schistes appartenant au Lias supérieur dauphinois. Structure monoclinale : N40, 45°SE. Réseaux de fractures (schistosité et diaclases) dont un important orienté N90 à N110 pendant de 60 à 85° vers le Nord.
- Morphologie : des crêtes arrondies dominent des versants abrupts (30 à 35°) façonnés par les glaciers. Le versant nord du Crêt d'Ornon présente des ravins profonds remontant presque jusqu'au sommet.
- Hydrogéologie : des circulations lentes au niveau des fissures sont très possibles. Petite source au sommet du ravin (cote 1 800 environ).

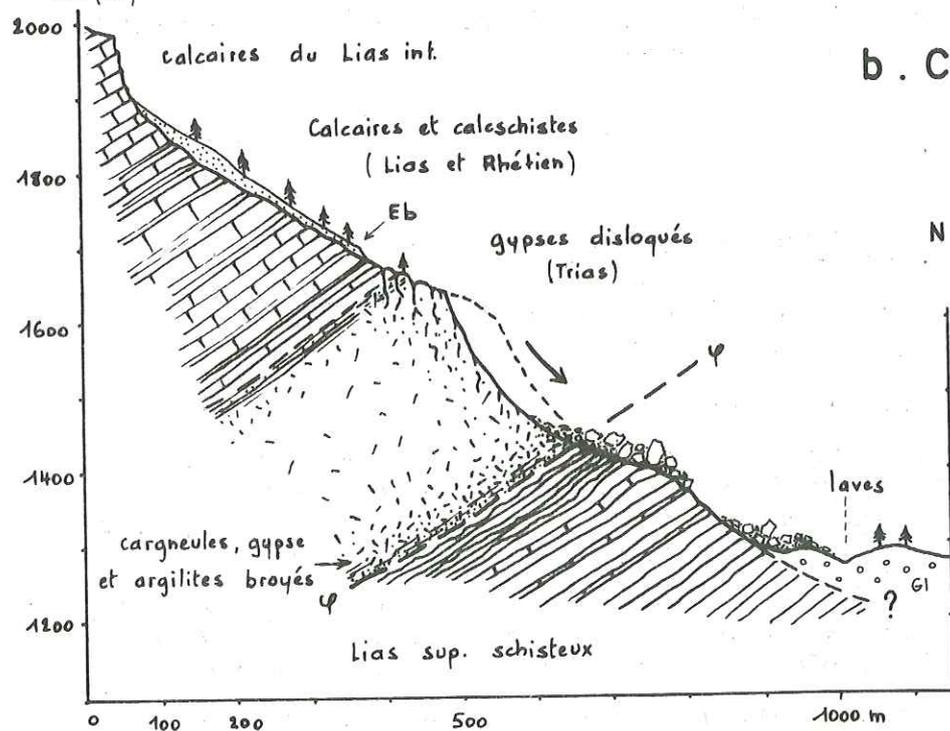
Fig. 57

ECROULEMENT DU MONT CHARVIN

a. Schéma



S alt. (m)



b. Coupe longitudinale



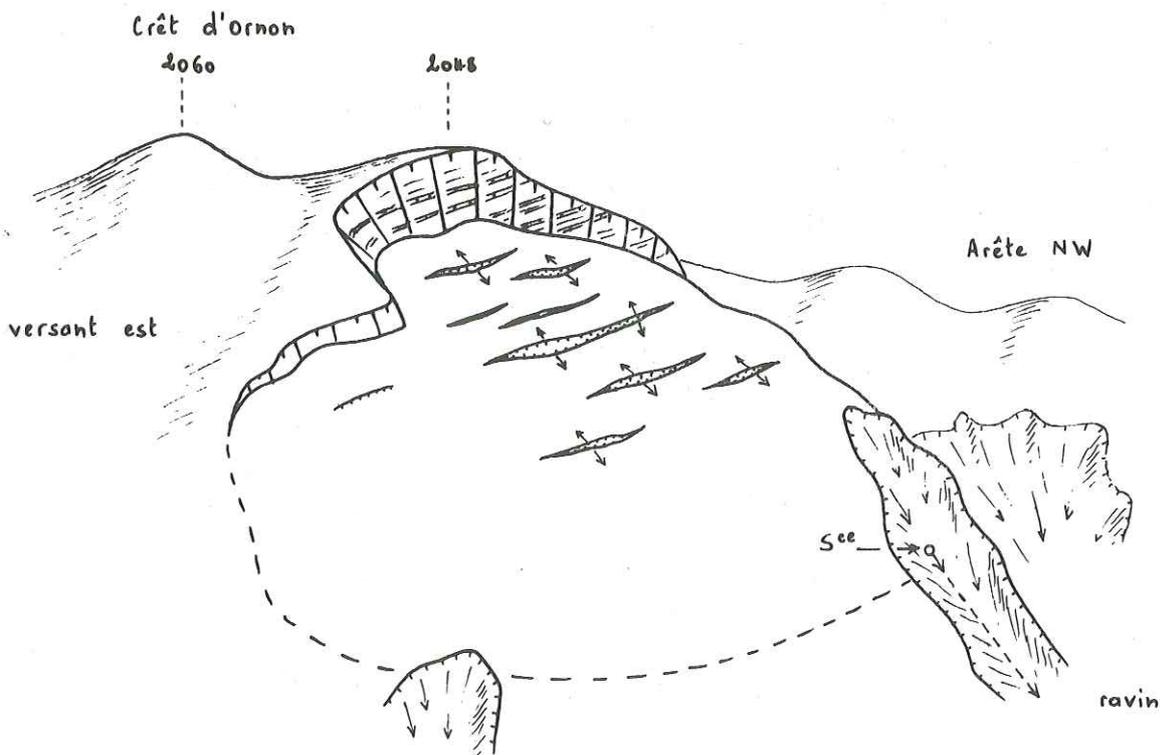
1

Écroulement du Mt Charvin
(gypres triasiques de la zone v.d.)

Fig. 58

GLISSEMENT DU CRET D'ORNON

a. Vue du Sud-Est



b. Coupe longitudinale

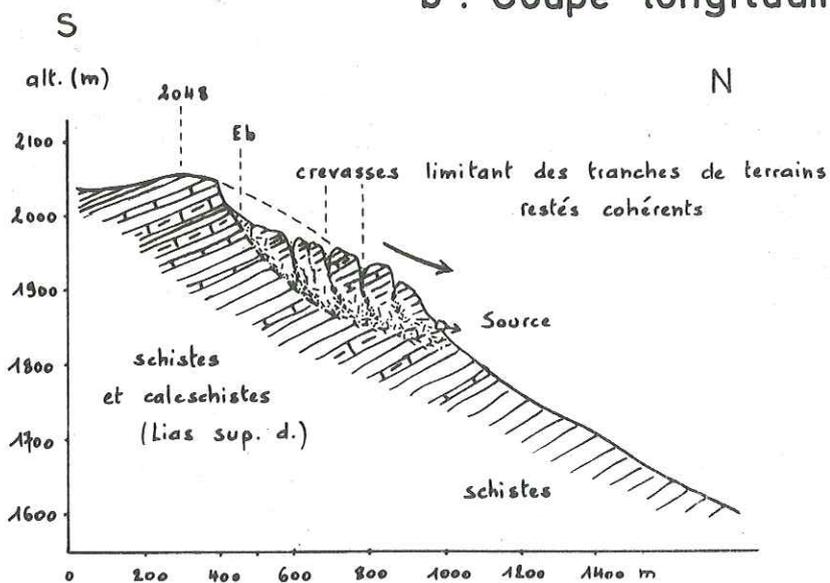


Fig. 59

GLISSEMENT DU GRAND TRU

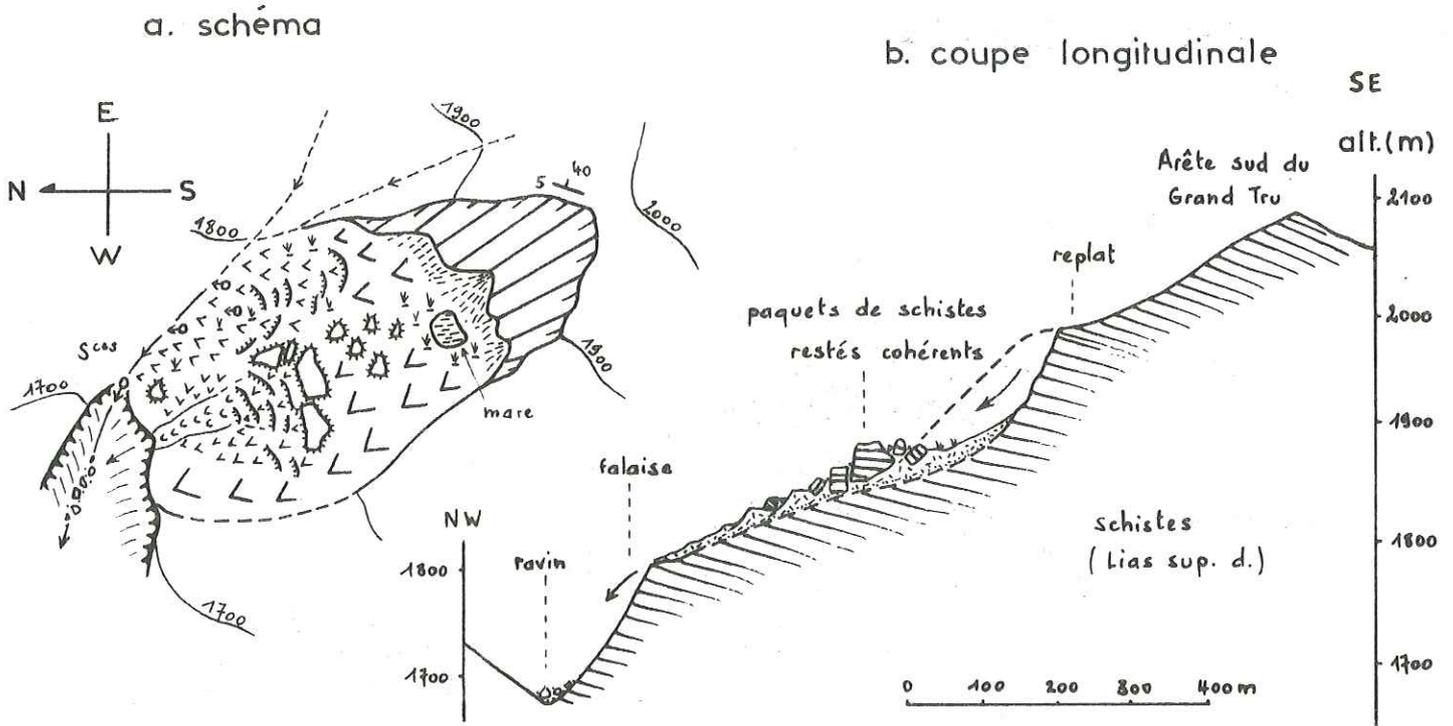
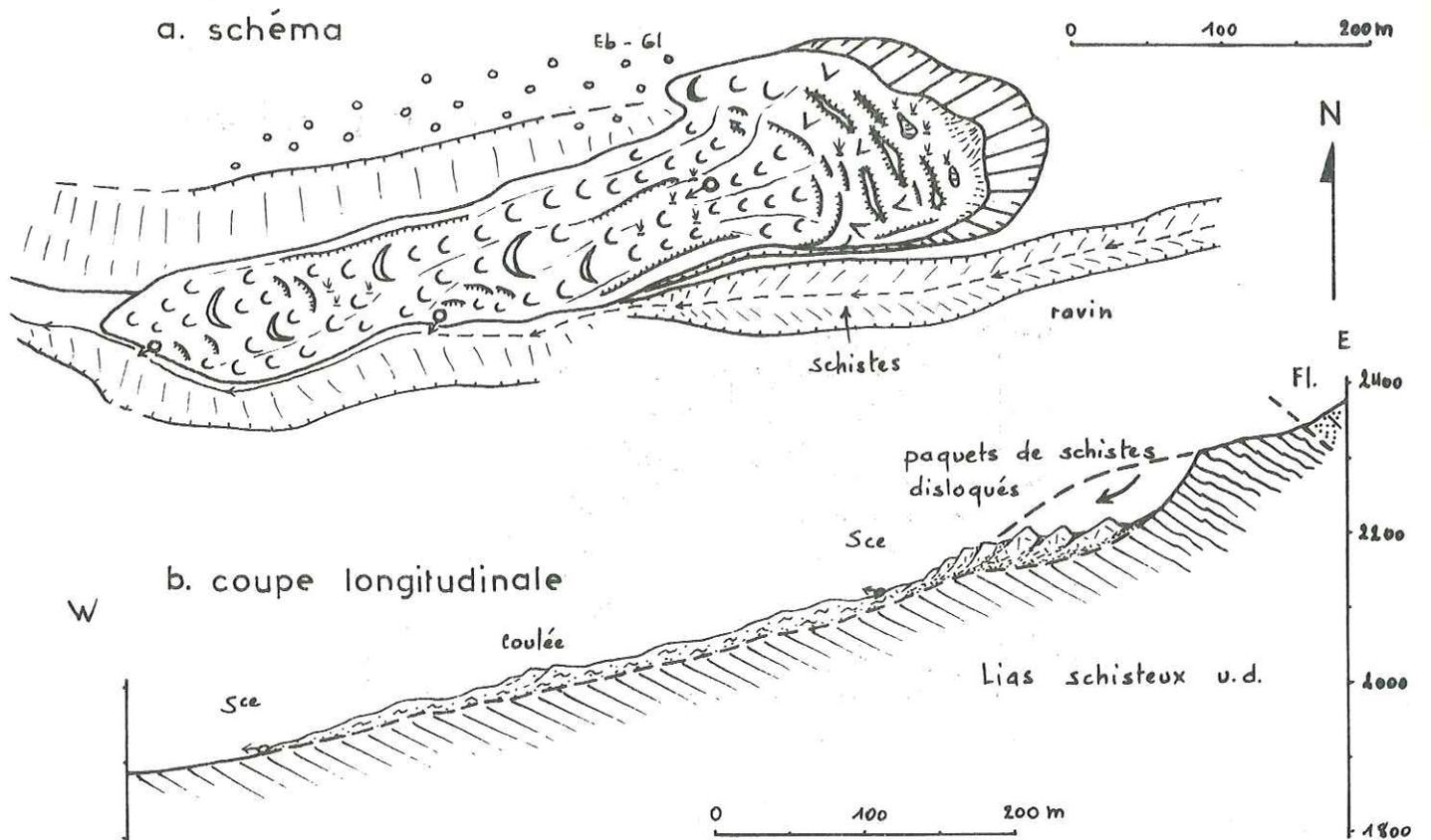


Fig. 62

COULEE DE SAUTE JARNAN





Instabilité dans les formations
schisteuses du Lias dauphinois
vers le col de Belland (rive
droite du Olandou).

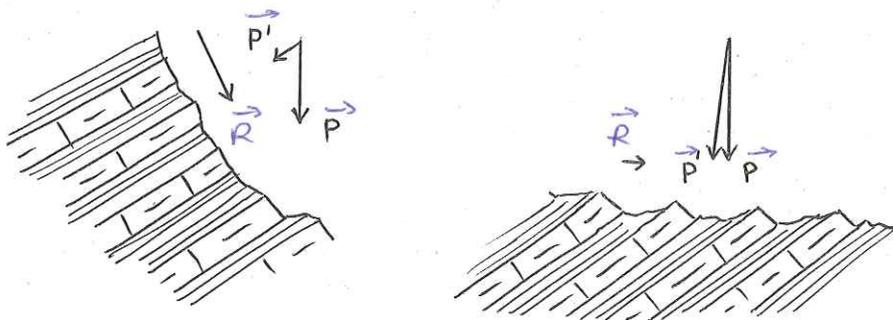
Grand Tru : in disposition, in matériaux, 4 km SE.

. Analyse du mouvement

Il semble que l'alternance crue - décrue des glaciers ait provoqué une stabilité précaire du sommet nord du Crêt d'Ornon (2 048 m) qui, lors du retrait définitif de ceux-ci, dominait de 600 m environ le cours de l'Arvan avec une pente très forte.

C'est à la faveur d'un climat sans doute humide et moins rigoureux que de petits déplacements se sont alors produits (voir l'action profonde du gel au chapitre 2 et le glissement d'En Brunet, fig. 25).

L'aspect actuel du glissement montre en coupe une surface de rupture potentielle, la partie inférieure n'ayant subi que de faibles déplacements subhorizontaux traduits par un bombement. La structure apparaîtrait à cet endroit comme un facteur de résistance au cisaillement, du fait de l'existence d'une multitude de petites surfaces à contre-pente et de saillies (figures ci-dessous).



Tête : cisaillement facile
(résistance faible)

Pied : cisaillement difficile
(résistance forte)

\vec{P} = pesanteur

\vec{R} = résultante

\vec{P}' = composante perpendiculaire à la direction du déplacement

2 - Glissement du Grand Tru (St-Jean n° 2, 1 990 - 1 720 m, fig. 59)

- Situation : rive droite du torrent du Glandon ; versant ouest du Grand Tru (2 209 m).
- Orientation : NW.
- Pente moyenne du versant : 33°.
- Géologie du substratum : schistes du Lias supérieur dauphinois ; niveaux altérés, argileux nombreux. Structure générale monoclinale N5, 40°E. Fracturation dense.
- Morphologie : éperon dominant un ravin profond.
- Hydrogéologie : ruissellement intense sur ce versant très raide et recouvert seulement par des colluvions minces. Les ravins sont très humides. La masse de terrain déplacée présente à son pied un groupe de petites sources diffuses. Une petite mare occupe une dépression marécageuse au pied de la niche d'arrachement.

. Analyse du mouvement

La rupture s'est effectuée suivant une discontinuité formée d'une multitude de plans de fractures (schistosité et diaclases). On notera ici la forte altération des schistes et l'exposition du versant vers le NW (froid et humidité).

3 - Glissement de la Grande Chible (St-Jean n° 7, 2 810 - 1 750 m, fig. 60 et 61)

- Situation : versant W de la Grande Chible.
- Orientation : W.
- Pente moyenne de l'ancienne surface topographique (zone de départ) : environ 38°.
- Géologie du substratum : Flysch des Aiguilles d'Arves formant une cuesta élevée dont la structure générale est monoclinale (fort pendage vers l'E). Ce flysch est formé de grès et conglomérats en gros bancs et de calcschistes et grès micacés en petits bancs, se débitant en plaques et feuillets parfois sonores. Il est très fracturé et présente dans le détail des ondulations, des plissements et des niveaux de "slumps". Il repose en discordance sur le Lias schisteux ultradauphinois qui comporte vers son sommet des bancs calcaires disloqués ou contournés (Dogger possible ?).
- Hydrogéologie : le Flysch est le siège de circulations souterraines (nappe de fissures) se signalant par des sources au niveau du toit du Lias imperméable. Source pérenne au pied de la niche d'arrachement (cote 2 480) correspondant à la base des bancs massifs de grès et conglomérats.

. Analyse du mouvement

Une partie de la cuesta de Flysch a glissé suivant une surface constituée, comme dans le mouvement précédent, d'une multitude de plans de fractures. Un paquet de grès et de conglomérats calcaires, complètement disloqué, forme un ressaut dominant un épandage de matériaux du Flysch enrobés dans une matrice sablo-limoneuse. De gros blocs épars donnent un aspect par endroits chaotique. Un éboulis important couvre le pied de la niche d'arrachement balayée par des avalanches de neige et de pierres.

On peut penser que la résistance mécanique très variable du Flysch et la pente élevée sont à l'origine de ce mouvement. Il s'y ajoute localement une structure très redressée, vouée au fauchage par la raideur du versant.

L'altitude et l'exposition W aggravent l'influence des agents atmosphériques.

D - LES GLISSEMENTS ET COULEES

1 - Coulée de Saute Jarnan (St-Jean n° 7, 2 250 - 1 870 m, fig. 62, p. 140)

- Situation : versant ouest de la Grande Chible.
- Orientation : Ouest.
- Pente moyenne : 27°.

Fig. 60

GLISSEMENT DE LA GRANDE CHIBLE

Schéma

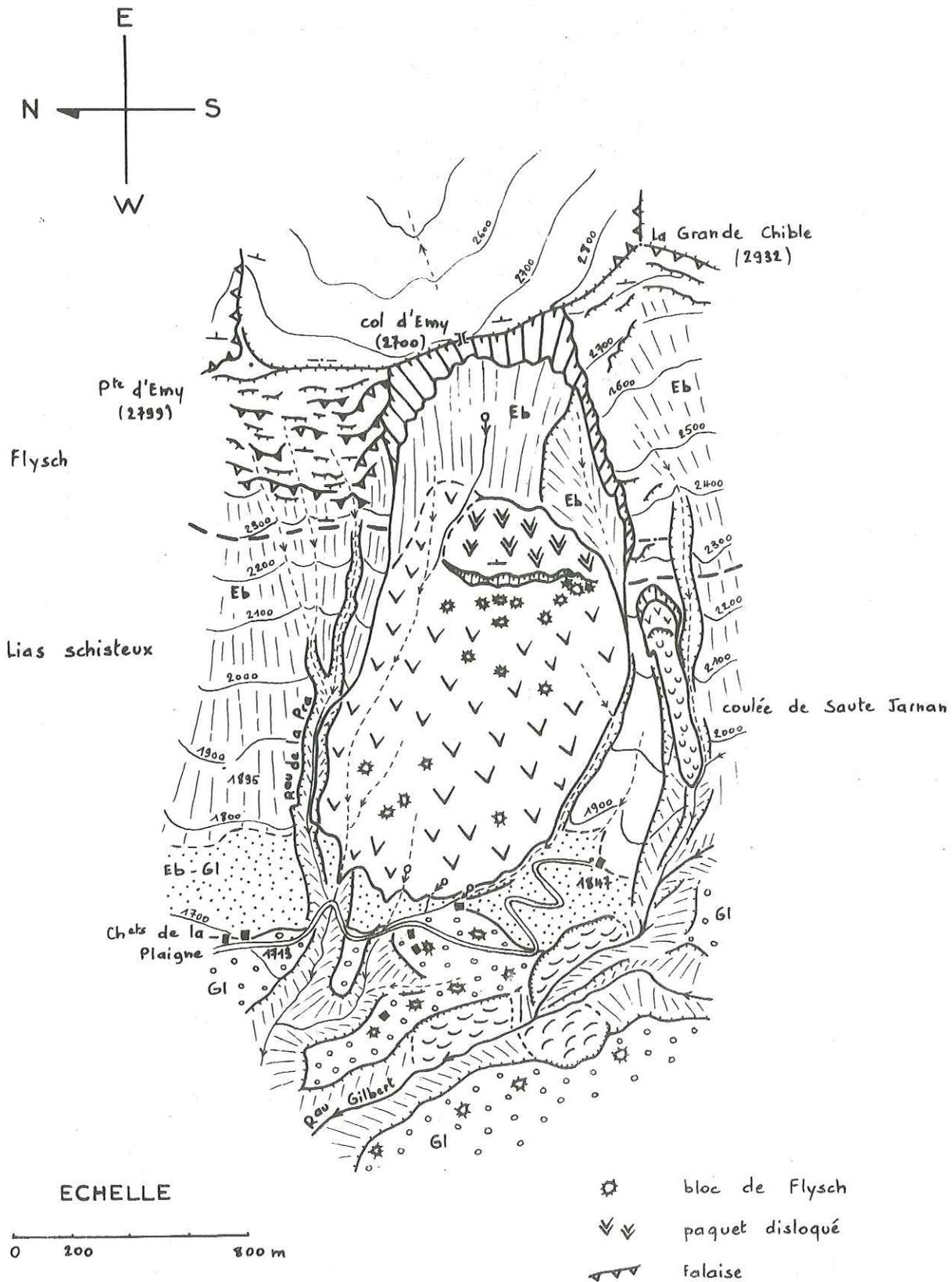
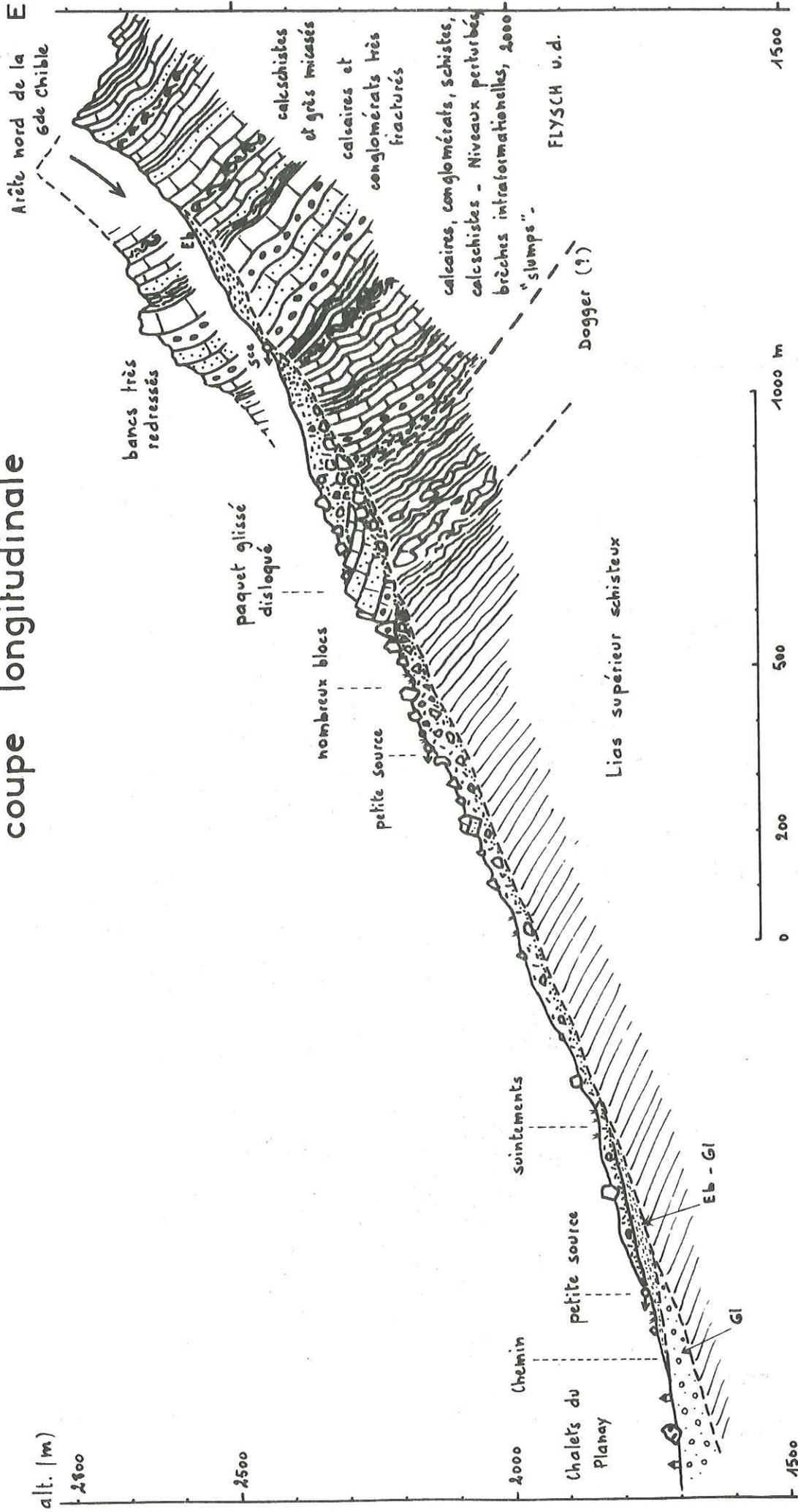


Fig. 61

GLISSEMENT DE LA GRANDE CHIBLE

coupe longitudinale



- Géologie du substratum : schistes gris foncé, plus ou moins argileux, altérés en surface, appartenant au Lias supérieur ultradauphinois. Le Flysch des Aiguilles d'Arves, transgressif, apparaît une centaine de mètres en amont de la niche d'arrachement. Structure monoclinale pentée fortement vers l'Est. Dans le détail on relève des ondulations et des plissements et par endroits des zones broyées.
- Hydrogéologie : la tranche disloquée des schistes est probablement le siège de circulations souterraines alimentées par le Flysch sus-jacent. Suintements nombreux et quelques petites sources sur la masse déplacée.
- . Analyse du mouvement

Cette coulée semble avoir pris naissance à la tête d'un ravin occupé par une source. Le glissement survenu dans les schistes a évolué rapidement en une coulée remaniant la faible épaisseur d'éboulis et de colluvions et venant obstruer un ravin qui la borde au Sud.

2 - Glissement de la Pointe de l'Ouillon (St-Jean n° 6, 2 325 - 1 830 m, fig. 63 et 64)

- Situation : versant SE de la Pointe de l'Ouillon.
- Orientation : S.
- Pente moyenne : 25°.
- Géologie du substratum : formations schisteuses du Lias supérieur dauphinois, apparaissant dans la niche d'arrachement sous des faciès variés (fig. 64a) :
 - 1) schistes argileux gris foncé, ondulés, se débitant en feuillets minces et luisants.
 - 2) schistes argileux, très altérés et désagrégés, de couleur gris bleuté, se débitant en plaquettes minces et tendres.
 - 3) schistes et calcschistes noirs et roux comportant des niveaux de calcaire détritique silicifié sombre. Cet ensemble, quoique très fracturé, apparaît en saillie.
 - 4) schistes marno-argileux gris clair, mal lités, avec quelques niveaux de calcschistes gris foncé et bleuté.
 - 5) schistes, calcschistes et calcaire silicifié en petits bancs formant le ressaut sous l'arête Est (cote 2 260).
- La structure générale est monoclinale avec une orientation N20 et un pendage de 50° vers l'Est.
- Hydrogéologie : versant entaillé par le ruissellement : ravins encaissés séparés par des interfluves amples et arrondis. Les niveaux 3 et 5 sont humides (faibles circulations souterraines). Les niveaux 2 et 4 sont imperméables et arrêtent ces circulations probablement peu profondes (petites sources aux contacts n.3/n.2 et n.5/n.4).
- . Analyse du mouvement

La rupture s'est produite dans le niveau 2, là où la résistance mécanique était la plus faible. Avec le niveau 3 et une toute petite partie du niveau 1 ils forment l'essentiel des terrains déplacés. Le niveau 1 apparaît en structure conforme à la pente à l'Ouest, tandis que les autres niveaux ont été cisailés et

Fig. 63

GLISSEMENT DE LA POINTE DE L'OUILLON

Schéma

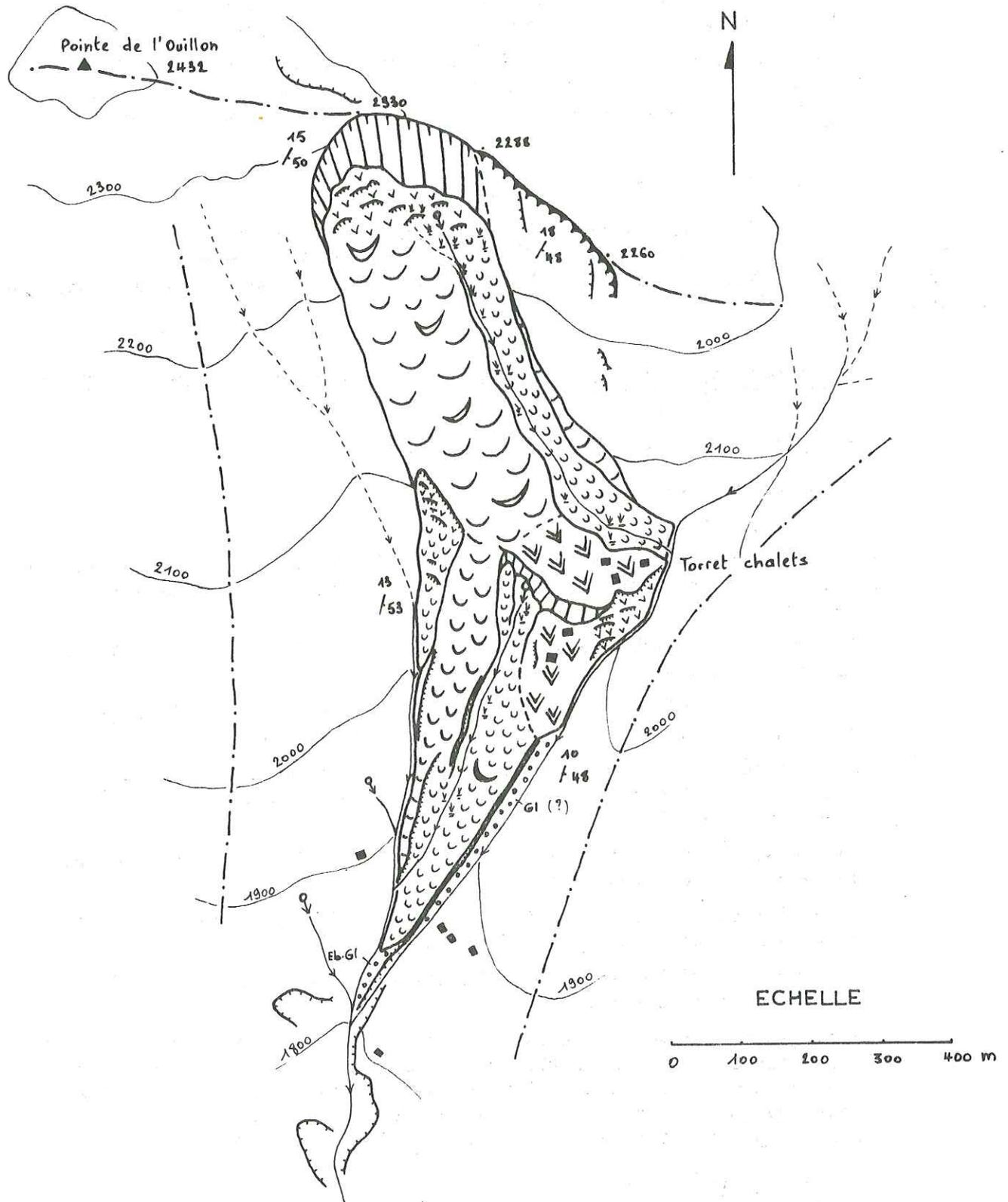
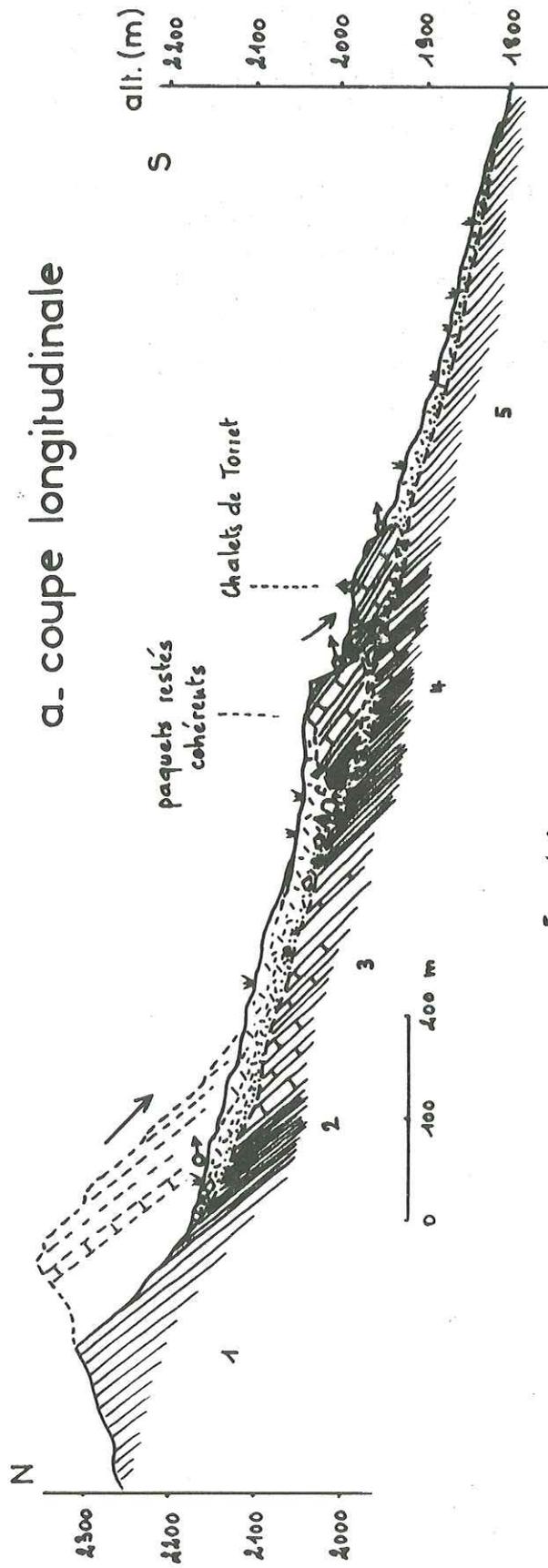
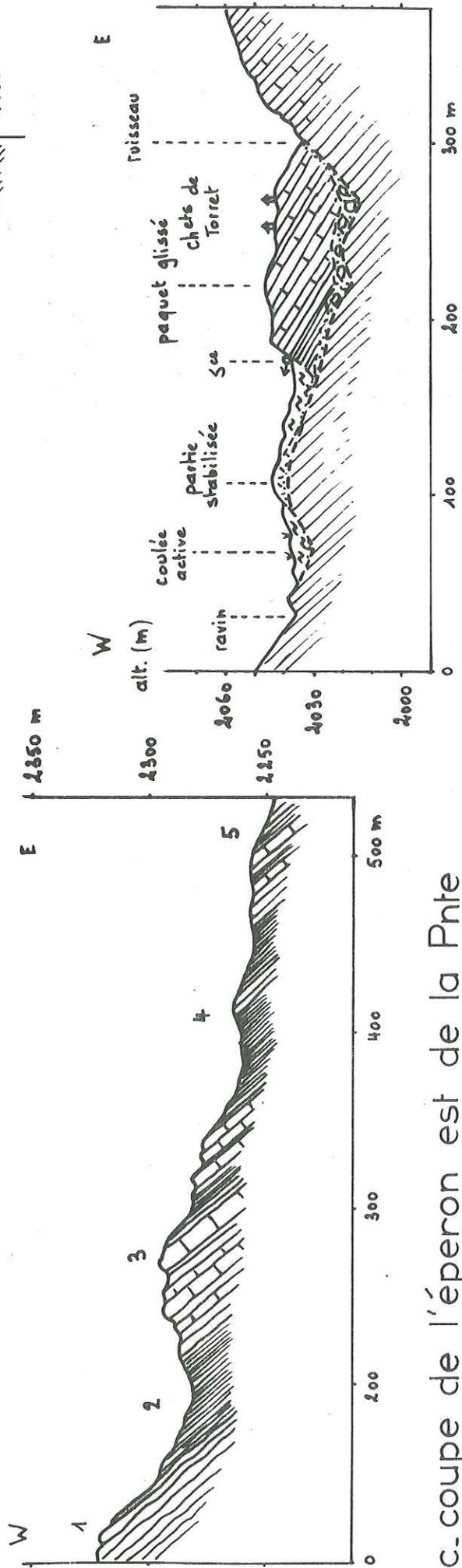


Fig. 64

GLISSEMENT DE LA Pnte DE L'OUILLON



a. coupe longitudinale



c. coupe de l'éperon est de la Pnte

de l'Ouillon (au niveau de la niche d'arrachement)

b. coupe transversale

(au niveau des chalets de Torret)

apparaissent par leur tranche obliquement, à l'Est. La surface de rupture est donc déterminée par une discontinuité lithologique, entraînant un glissement couche sur couche (partie ouest), et par une discontinuité mécanique (schistosité et diaclases) ouverte par traction (partie est). Ce type de surface de rupture est assez courant dans de telles formations, généralement très fracturées et altérées.

Le mouvement proprement dit a entraîné un important paquet, constitué par les niveaux 2 et 3, qui est venu s'immobiliser contre un éperon orienté presque perpendiculairement à sa trajectoire. Il s'est partagé en deux îlots (celui aval est très disloqué) qui portent les châlets de Torret (replats stables et bien exposés). Le reste des matériaux prend l'allure d'une coulée qui, malgré son ancienneté est encore active. Ceci est dû à la présence des petites sources pérennes du substratum et à la faculté de rétention de ces formations schisteuses remaniées (mauvais drainage naturel).

CHAPITRE 7

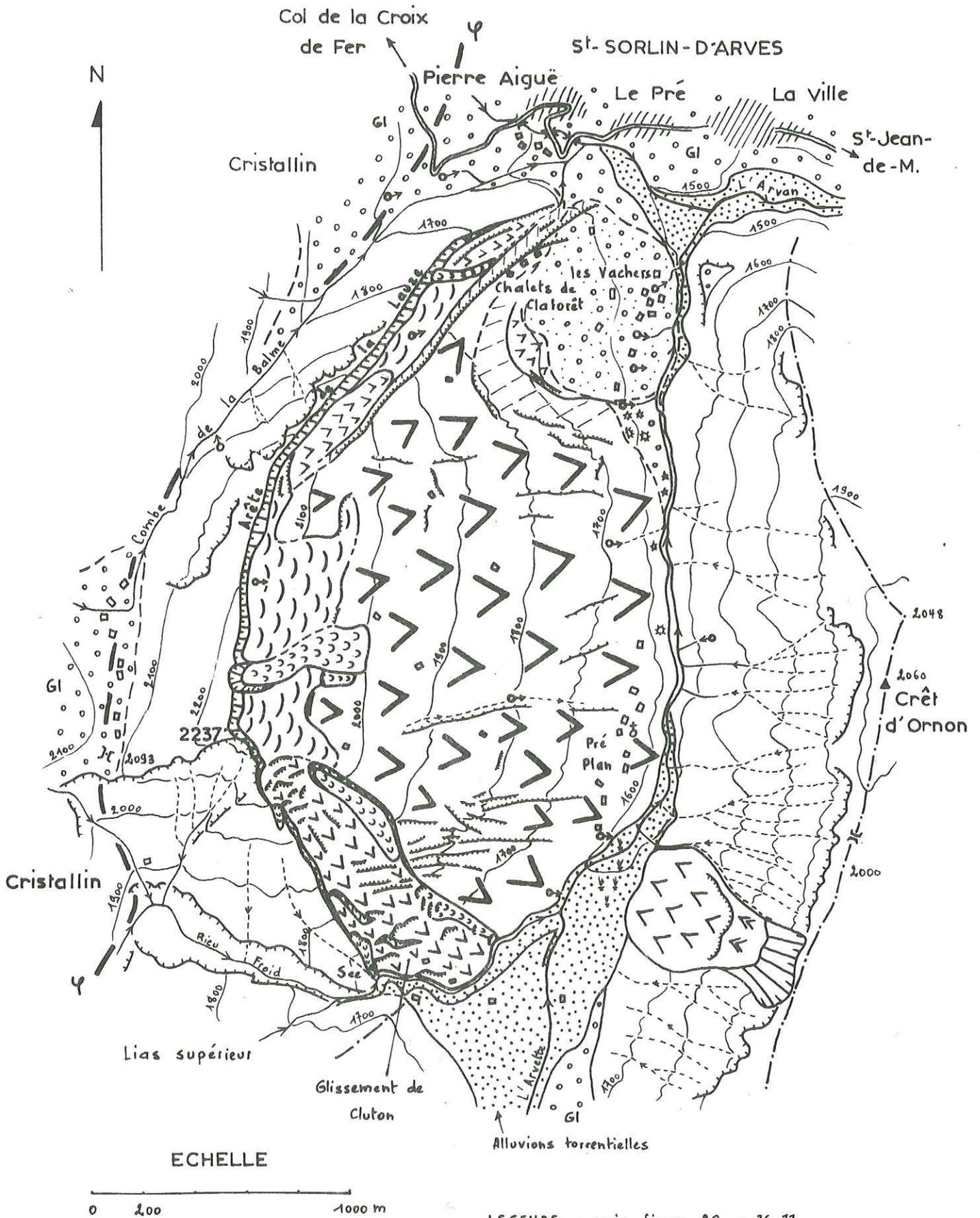
ANALYSE DE MOUVEMENTS
GENERALISES ET/OU COMPLEXES

- I. Introduction
- II. Les glissements de versants
- III. Les mouvements évolués, de types divers

Fig. 65

GLISSEMENT DE ST-SORLIN-D'ARVES

schéma



LEGENDE : voir figure 28, p. 76-77

I - INTRODUCTION

La prise de conscience qu'il existe des mouvements actuels très étendus, affectant les versants jusqu'à une profondeur relativement considérable, est assez récente. A côté des caractères morphologiques, qui se sont imposés comme un moyen de détection de ces phénomènes, leur réalité n'a été démontrée qu'à l'occasion de mesures, souvent liées à des dérangements de route, et d'observations de certains aménagements souterrains (hydro-électriques notamment).

C1. BORDET (1959) signale le cas des "schistes satinés" du rameau externe de Belledonne et du Houiller briançonnais où "des glissements peuvent atteindre des dimensions considérables : plus de 1 000 m de haut, 3 ou 4 km de large et 500 m d'épaisseur".

De tels mouvements diffèrent de ceux circonscrits, dont on connaît beaucoup mieux la théorie. Se manifestant depuis longtemps, ils sont souvent complexes et leur aspect actuel ne reflète parfois que les dernières phases de leur activité (1).

Leur présence a souvent posé des problèmes au cartographe interprétant certaines structures (cf. C. KERCKHOVE : glissement de Jausiers, Ubaye). Leur étendue et leur aspect ^{ont} déjà attiré l'attention de nombreux géologues (P. ANTOINE et alii., 1971 ; C. KERCKHOVE, 1969 ; R. POZZI et G. SPONDRINI, 1972 ; PAŠEK, NEMČOK, RYBAŘ, ... entre autres).

II - LES GLISSEMENTS DE VERSANTS

Ils apparaissent souvent avec des limites peu nettes et présentent rarement une surface de rupture unique et bien définie. Si ce type de mouvement peut être décelé en surface par une analyse morphologique et structurale, par contre, il apparaît souvent impossible d'estimer la profondeur des discontinuités qui séparent les terrains en mouvement ou déformés de ceux qui sont restés en place, non plus ^{que} l'allure des déformations.

Dans notre région, les formations géologiques affectées sont les terrains de couverture d'une part, et de l'autre, les schistes et grès du Houiller briançonnais et les schistes du Lias supérieur. L'analyse qui suit concerne ces derniers.

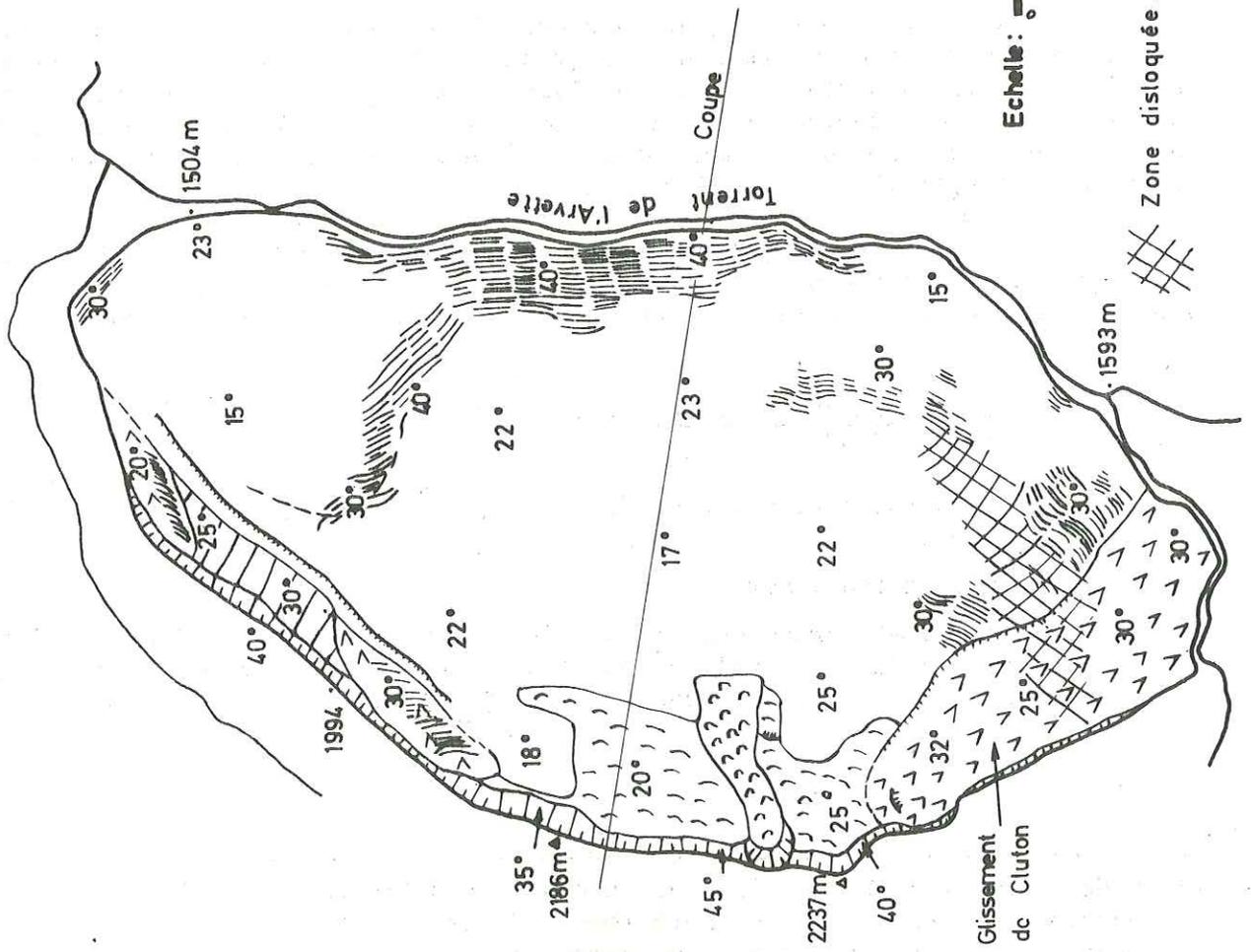
. Le glissement de St-Sorlin-d'Arves (St-Jean n° 6, 2 237 - 1 500 m, fig. 65 à 69)

- Situation : rive gauche du torrent de l'Arvette ; au Sud de St-Sorlin-d'Arves.
- Orientation : Est.
- Pentes et morphologie : voir les figures. L'Arvette décrit une légère courbe dans une vallée encaissée et à flancs dissymétriques. Le profil du versant affecté dessine une dépression en tête et un bombement au pied.

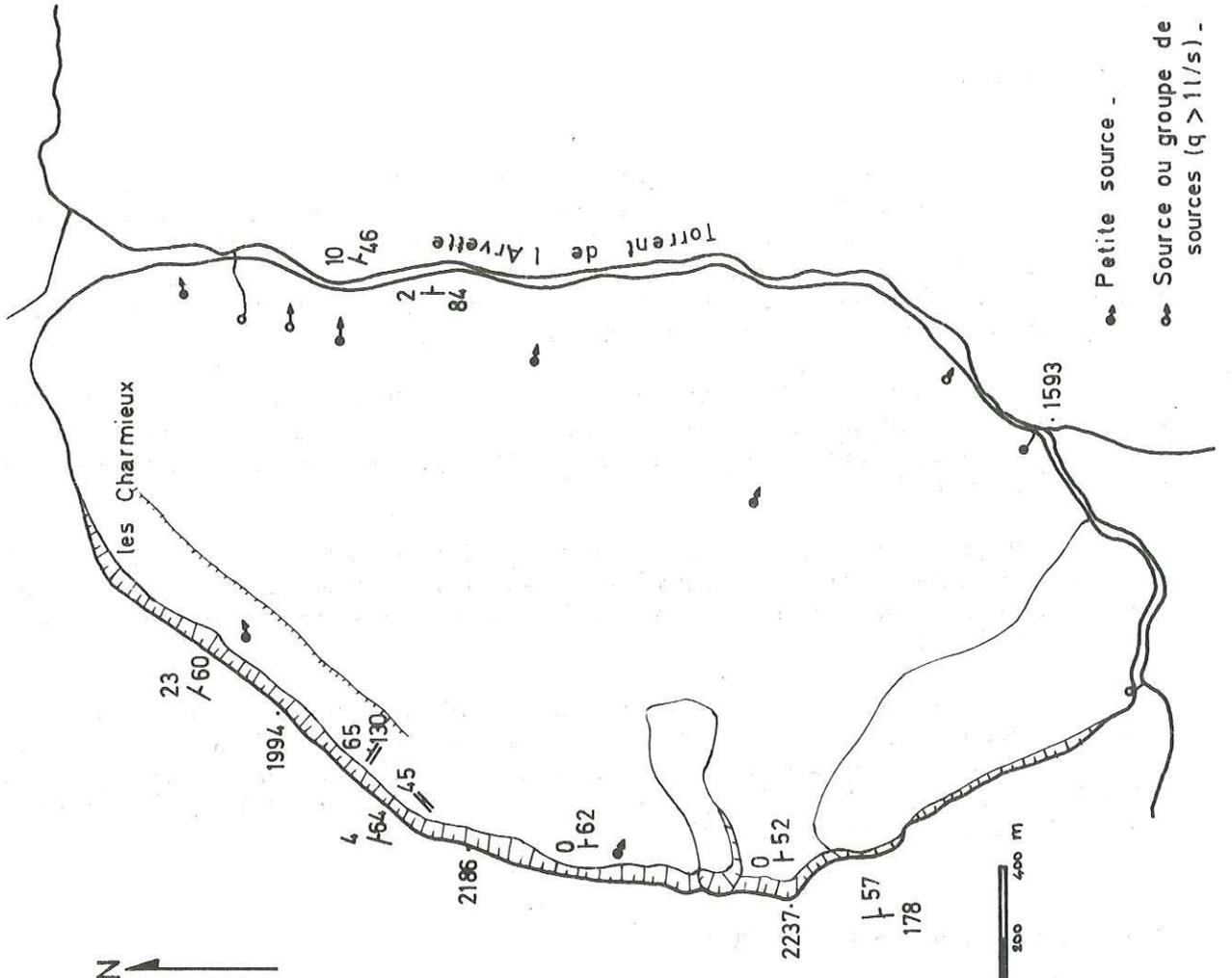
(1) L'écroulement du Dérochoir dans la chaîne des Fiz (août 1751), a masqué en partie tous les phénomènes antérieurs (début de notre ère et Moyen-Age) pourtant tout aussi importants, voire plus.

GLISSEMENT DE S^T-SORLIN - D'ARVES - HYDROLOGIE ET PENTES

a. Pentes



b. Stratification et fracturation



Glissement
de Cluton

Echelle: 0 200 400 m

Zone disloquée

Petite source

Source ou groupe de sources (q > 1 l/s)



*Glissement de St-Jouin-d'Aros
vu du N*

- Terrains de couverture : sur le versant glissé, placages glaciaires importants, constitués d'éléments cristallins provenant du proche massif des Grandes Rousses. Des blocs de plusieurs mètres cubes apparaissent près du torrent au Nord. La moraine portant le lieu-dit "Les Vachers" semble avoir glissée sur la pente accentuée par le mouvement à ce niveau.
Le confluent du Rieu Froid et de l'Arvette s'effectue dans une dépression alluvionnaire étendue et humide.
- Substratum : schistes du Lias inférieur dauphinois, tendres, de couleur beige à ardoise, couverts par endroits de taches de rouille et souvent argileux. Parcourus par des filonnets de quartz, ils sont très fracturés, localement disloqués et même broyés (vers le sommet : cote 2 237). Débit en feuillets donnant des éboulis très instables au pied de la niche d'arrachement. Altération forte en surface (schistes désagrégés, tendres). Nombreux niveaux argileux. Ces schistes peuvent cependant apparaître avec un fort relief et former des pentes abruptes (versant NW, sous l'arête de la Lauze et versant S sous le sommet). La structure générale est monoclinale, orientée vers le Nord et très redressée (fig. 67b).
- Hydrogéologie : pas de ruisseau permanent sur tout le versant. Ruisellement pratiquement nul. Plusieurs sources pérennes au pied dont les plus importantes sont situées au Nord (fig. 67b). Le groupe de sources situé juste au-dessus du Rieu Froid (front du glissement de Cluton) donne des dépôts de tufs calcaires.
Le débit de l'Arvette dépasse 1 m³/s à l'étiage.
Des névés subsistent tardivement au pied de la niche d'arrachement.

. Analyse du mouvement

Ce versant est bien délimité. Il s'étend sur 3,2 km, du ruisseau du Rieu Froid au Sud aux confins du village de St-Sorlin-d'Arves au Nord, et sur 1,7 km du sommet (2 237 m) au torrent de l'Arvette (1 560 m) (projection horizontale). La couronne de la niche d'arrachement dessine une arête en arc de cercle de plus de 3 km de longueur. Des dalles structurales apparaissent sur 10 à 50 m de hauteur dans la niche d'arrachement (pendage de 35 à 50°). Au Nord, celle-ci constitue le flanc W (arête de la Lauze) d'une petite combe, dont le flanc E dessine une cuesta qui n'est autre que l'ancienne crête déplacée vers l'E (fig. 65, 66 et 67). On peut estimer ici (au niveau des chalets de Claforêt) le déplacement horizontal à 250 -300 m et vertical à environ 120 m.

Peu d'affleurements de schistes dans les masses déplacées. Près de l'Arvette, ils apparaissent très redressés et disloqués et au Sud sous forme de paquets importants repris par le glissement actif de Cluton.

L'interprétation, très simplifiée, du mécanisme de ce mouvement est exposée sur une série de coupes (fig. 68 et 69). Elle fait abstraction en particulier des nombreuses cassures et replis de détail qui ont complètement disloqué l'ensemble. L'épaisseur attribuée à la tranche déformée est hypothétique. Son estimation ne repose que sur des analyses morphologiques et structurales de surface. On peut toutefois supposer que le versant est affecté sur plus de 200 m de profondeur.

On remarquera que ce mouvement a repoussé l'Arvette vers l'E, provoquant une érosion intense du versant opposé et un resserrement de la vallée.

Fig. 67

GLISSEMENT DE S^T - SORLIN - D'ARVES

COUPE TRANSVERSALE

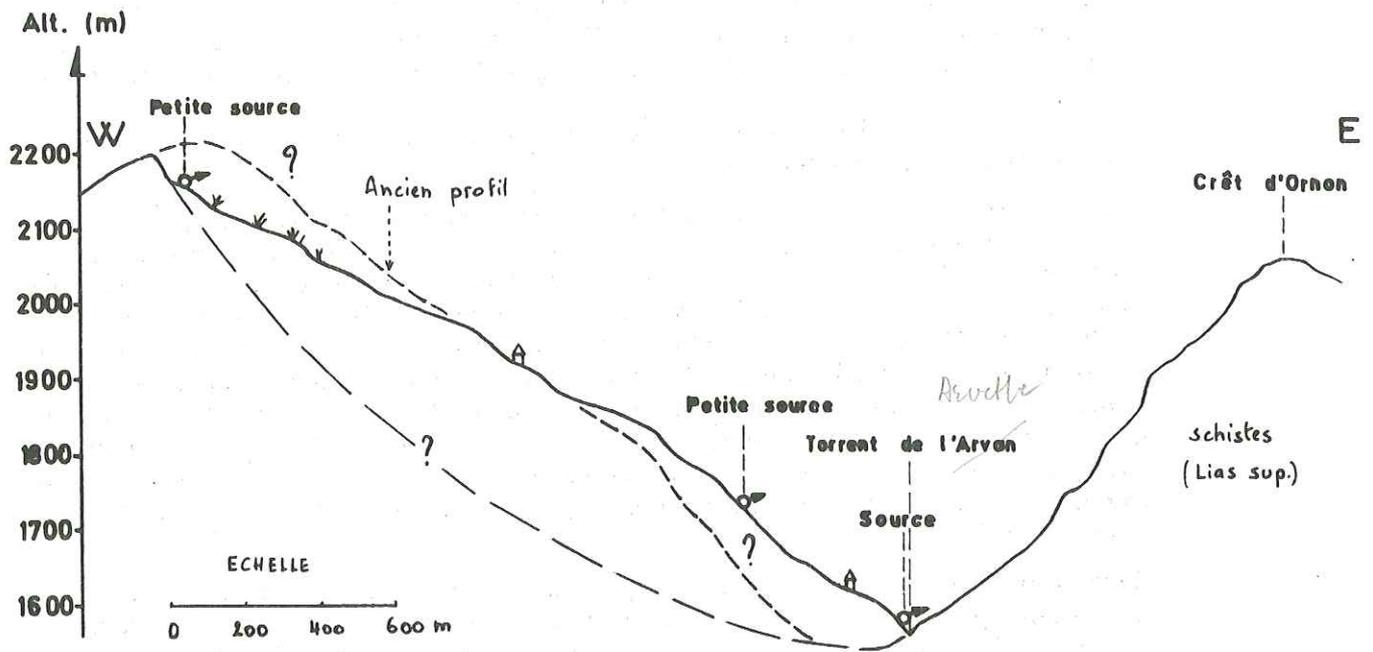


Fig. 68

EVOLUTION HYPOTHETIQUE DE LA VALLEE DE L'ARVAN ET DES MASSIFS QUI CONSTITUENT SES FLANCS

entre S^t-Sorlin-d'Arves et le confluent du Rieu Froid (C.T.)

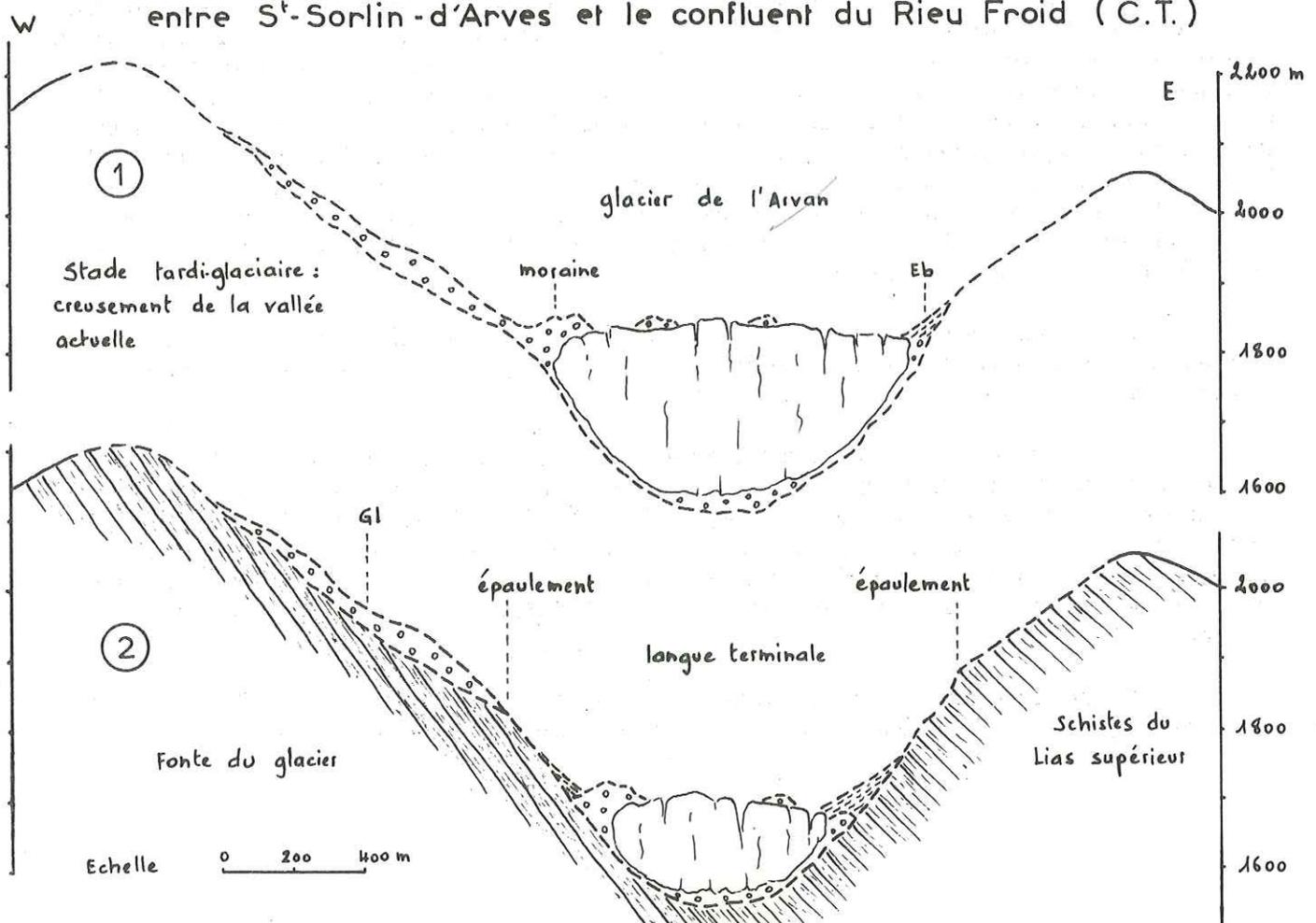


Fig. 69

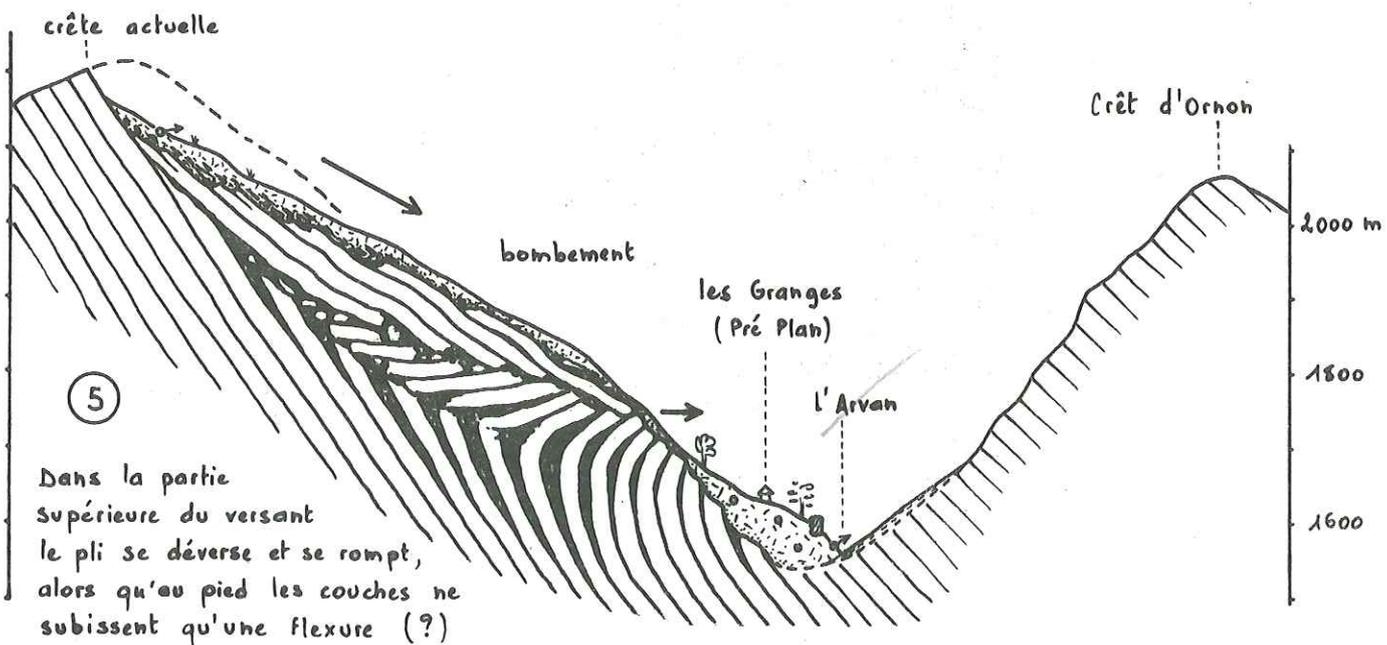
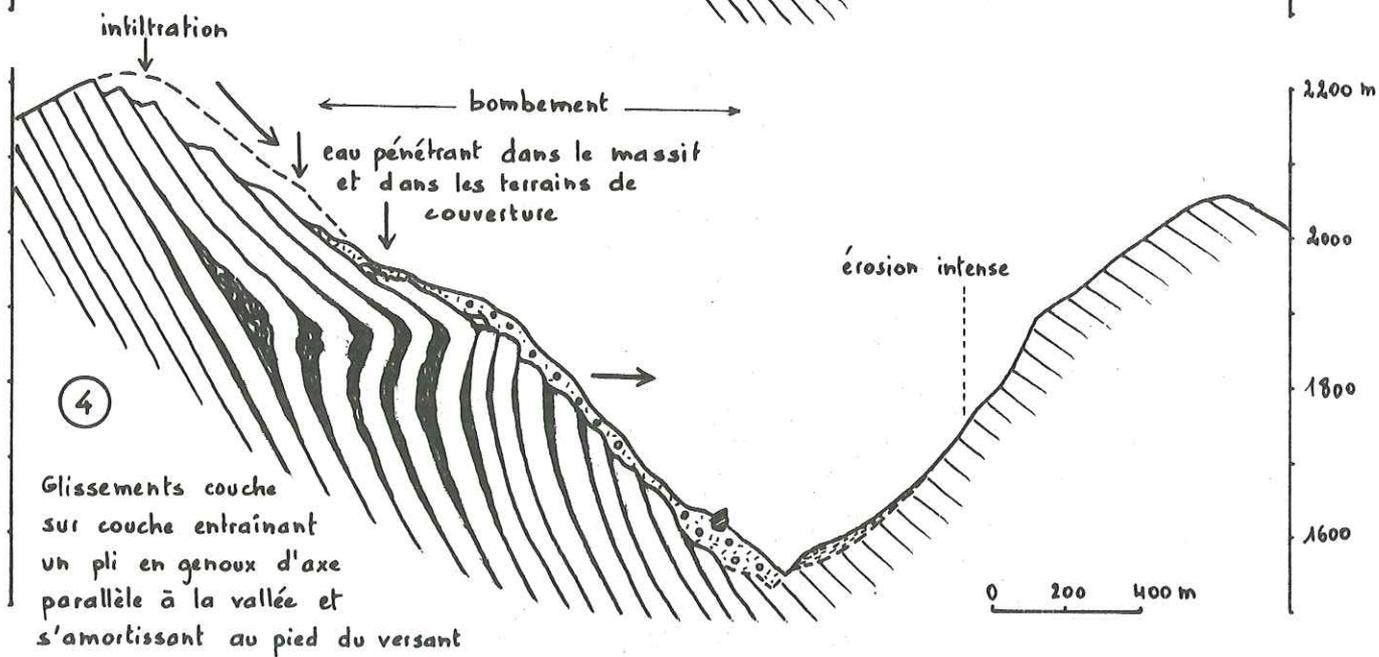
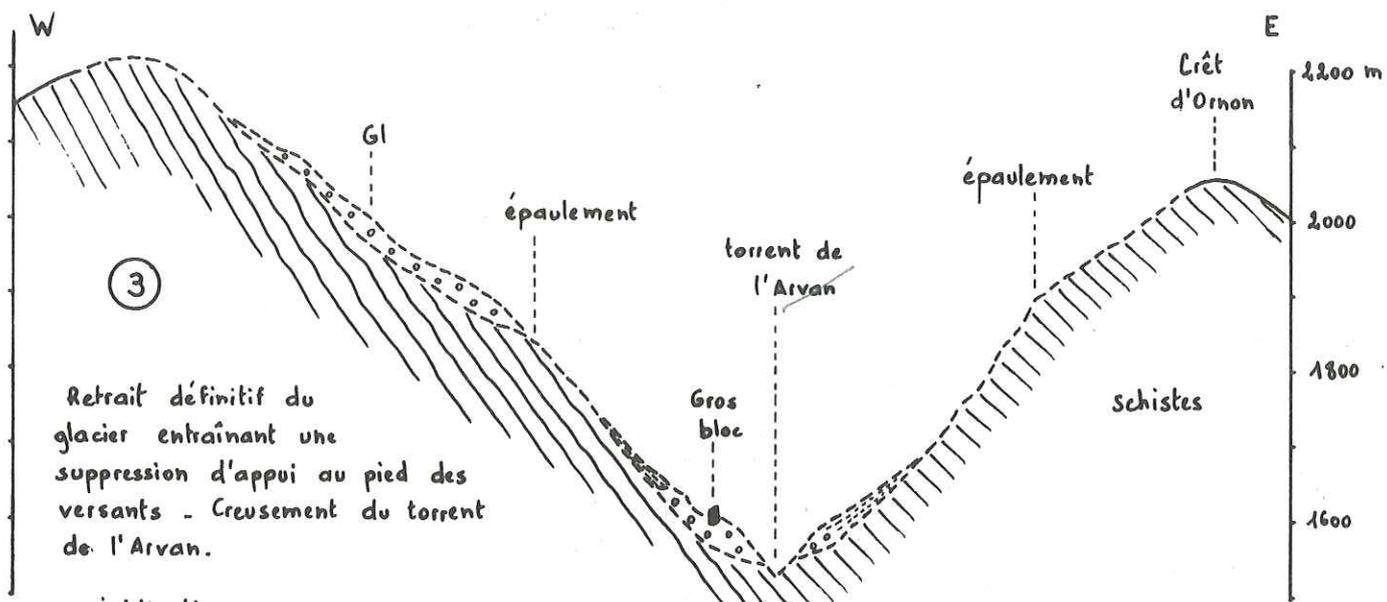
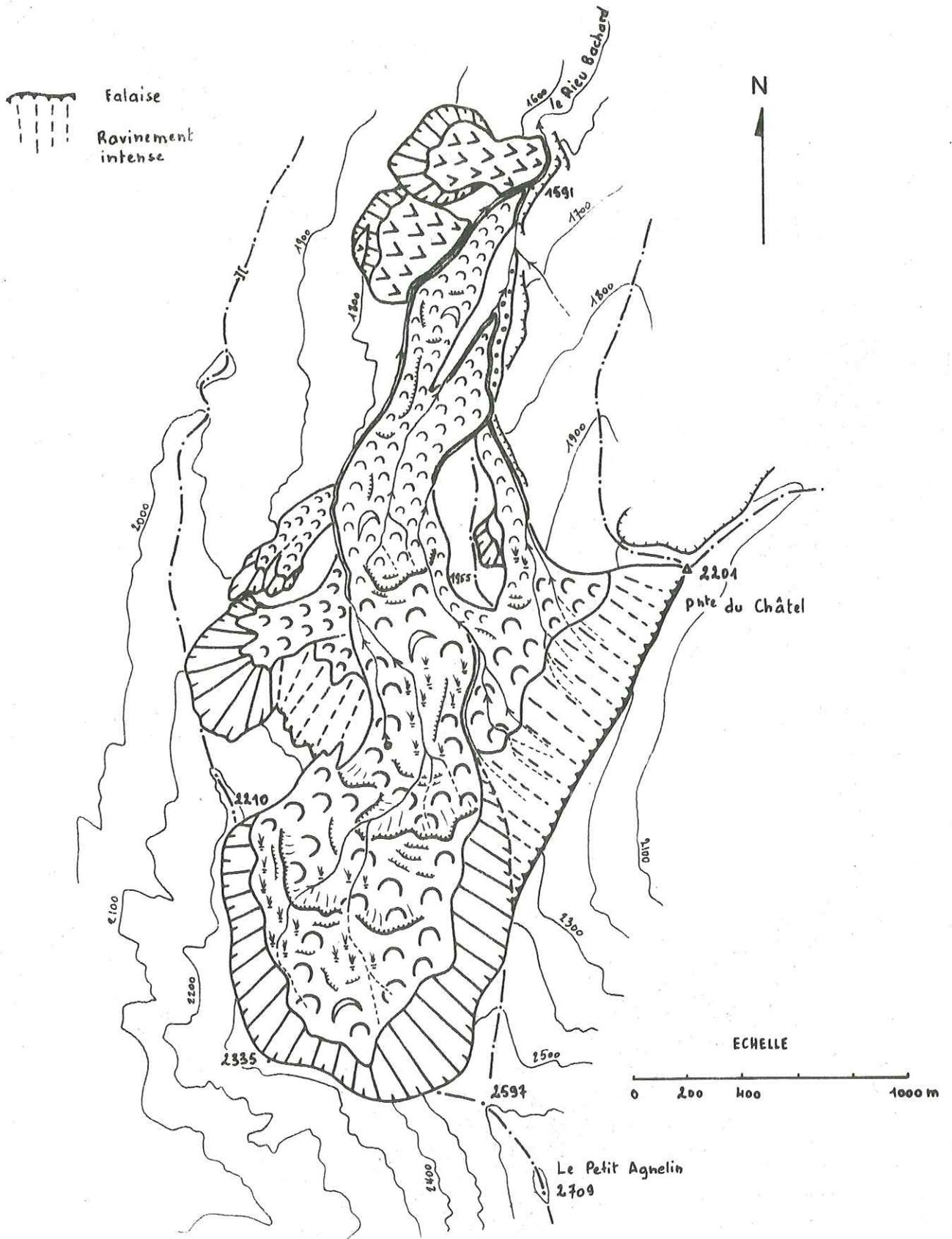


Fig. 70

COULEES DU RIEU BACHARD



III - LES MOUVEMENTS EVOLUES, DE TYPES DIVERS

A - COULEE DU RIEU BACHARD (2 540 - 1 590 m, fig. 70)

- Situation : bassin versant du ruisseau de Rieu Bachard, au SW de St-Jean-d'Arves (feuilles St-Jean n° 6 et La Grave n° 2).
- Orientation : N.
- Pentes et morphologie : pente moyenne de 13°, de la cote 2 335 (couronne) à la cote 1 591 (front).

La partie supérieures du bassin versant du Rieu Bachard est formée par un cirque de crêtes, dominé à l'Est par une falaise ravinée de 150 à 250 m de hauteur. Le pied du mouvement comble la vallée encaissée.

- Terrains de couverture : quelques moraines, bordant le mouvement, la plupart d'entre elles ayant été remaniées par la coulée.
- Substratum : Lias schisteux dauphinois occupant tout le bassin versant sauf la partie sommitale de la falaise E formée de Lias calcaire.
- Hydrogéologie : nombreuses ramifications du Rieu Bachard qui prennent leur source sur les masses mouvantes, Les zones marécageuses sont étendues, traduisant une forte imbibition des matériaux. Le ruissellement est abondant sur les flancs de la vallée et à la tête du mouvement, Les névés fondent tardivement au pied de la niche d'arrachement, balayée d'autre part par les avalanches.

, Analyse du mouvement

Nous ne détaillerons pas ce mouvement, dont nous soulignerons plutôt l'allure caractéristique. A partir de nombreux mouvements régressifs en tête et de l'alimentation en produits de désagrégation des formations schisteuses, il s'est formé une langue s'étirant dans la vallée comme un glacier, sur plus de 3 km (voir la figure ci-contre).

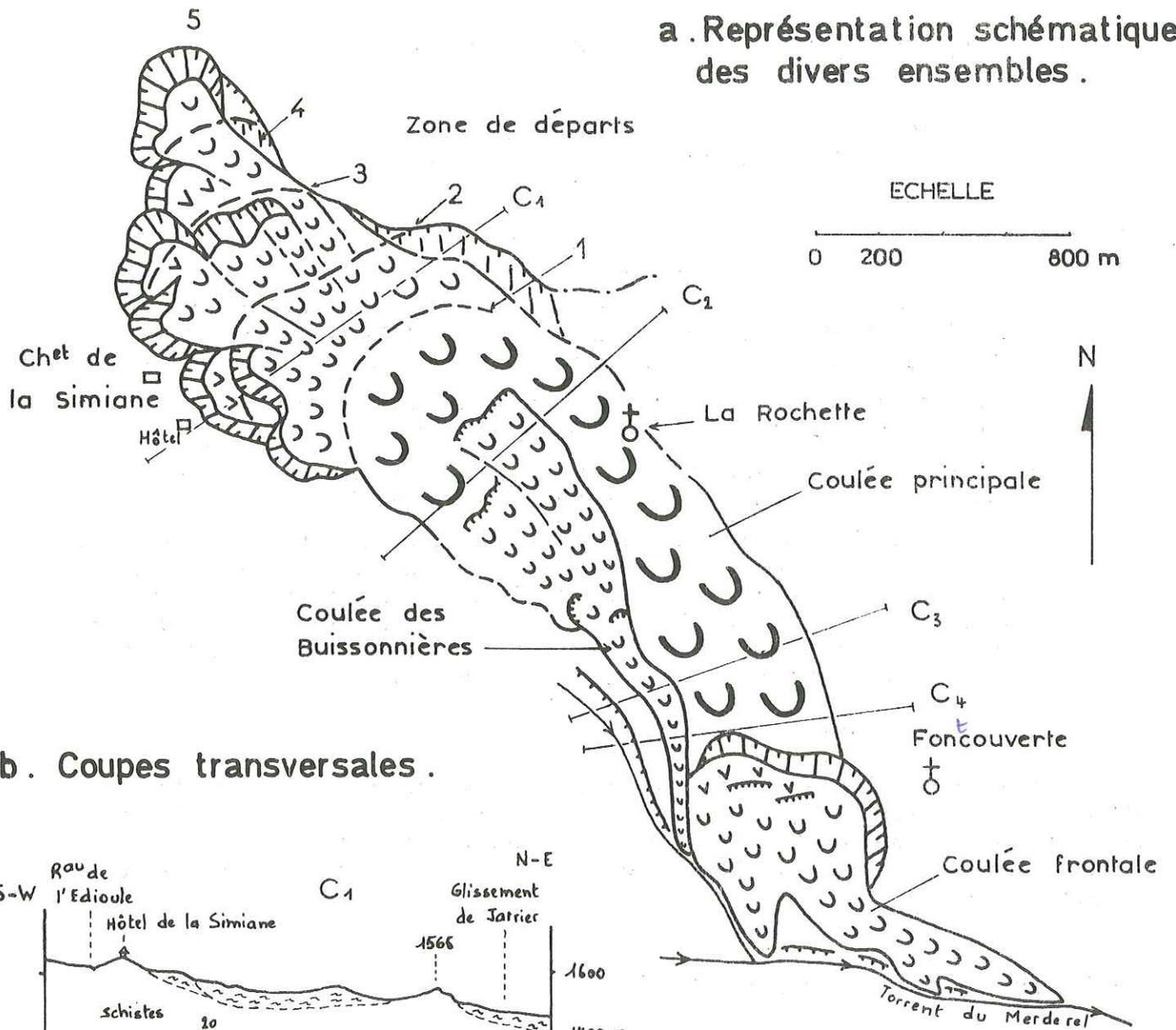
B - COULEE DE LA ROCHETTE (St-Jean n° 6, 1 870 - 820 m, fig. 28⁹, 71 et 72)

- Situation : rive gauche de l'Arvan, au Nord-Ouest de Fontcouverte.
- Orientation : SE.
- Pentes et morphologie : pente moyenne de 20° des châlets "sur la Lauze" (1 870 m) au torrent du Merderel (cote 980). Versant marqué par une morphologie glaciaire (plateaux, moraines, relief émoussé).
- Terrains de couverture : formations glaciaires diverses, abondantes sur le plateau de la Toussuire et vers Fontcouverte (moraine), que la coulée frontale a remaniées en partie. Les matériaux sont constitués essentiellement d'éléments de Cristallin et de Flysch.
- Substratum : Lias schisteux d. chavauché par le Trias u.d. disloqué (gypses, cargneules, argilites). Structure monoclinale pentée vers l'Est (40 à 45°), Altération superficielle importante.

Fig.71

COULEE DE LA ROCLETTE

a. Représentation schématique des divers ensembles.



b. Coupes transversales.

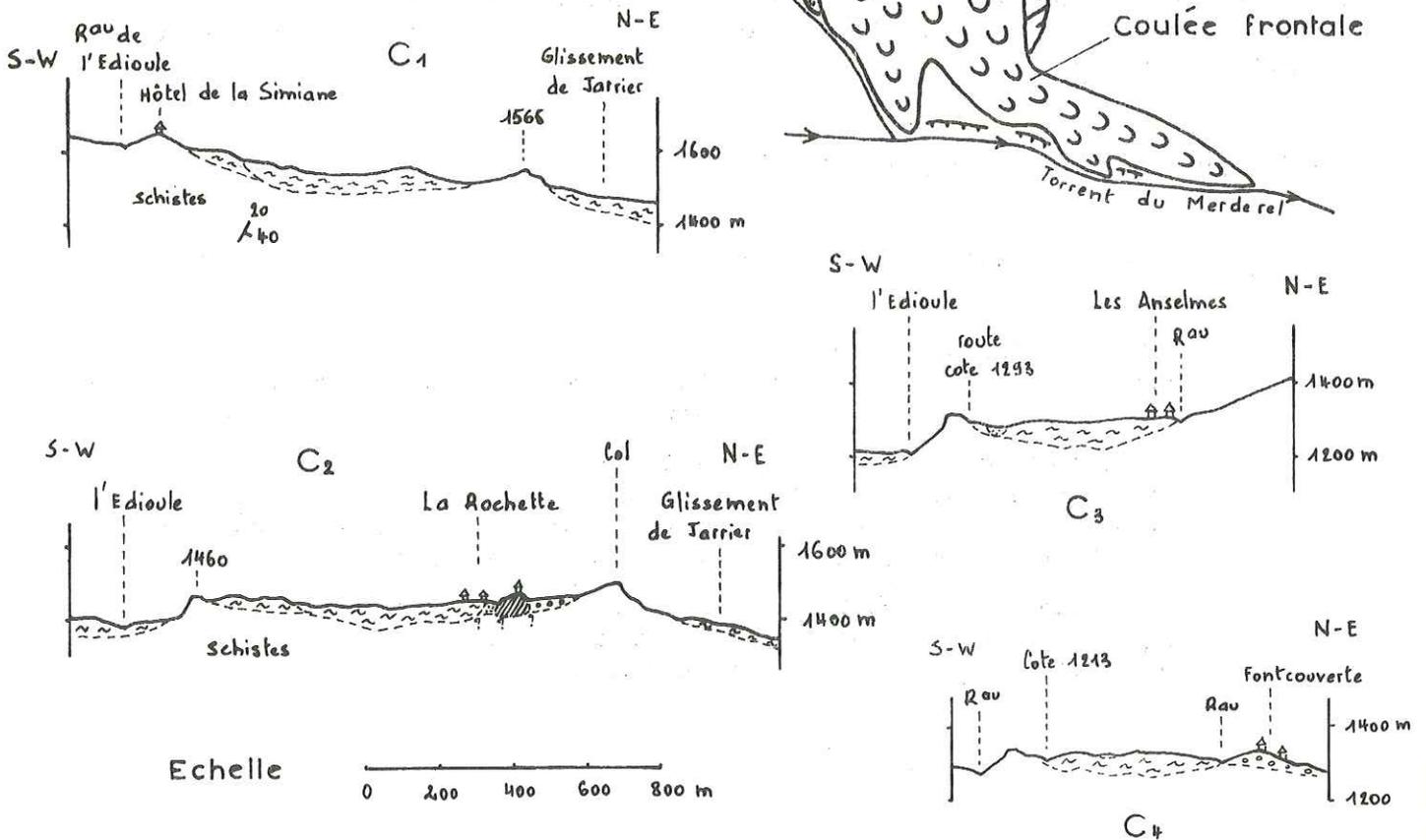
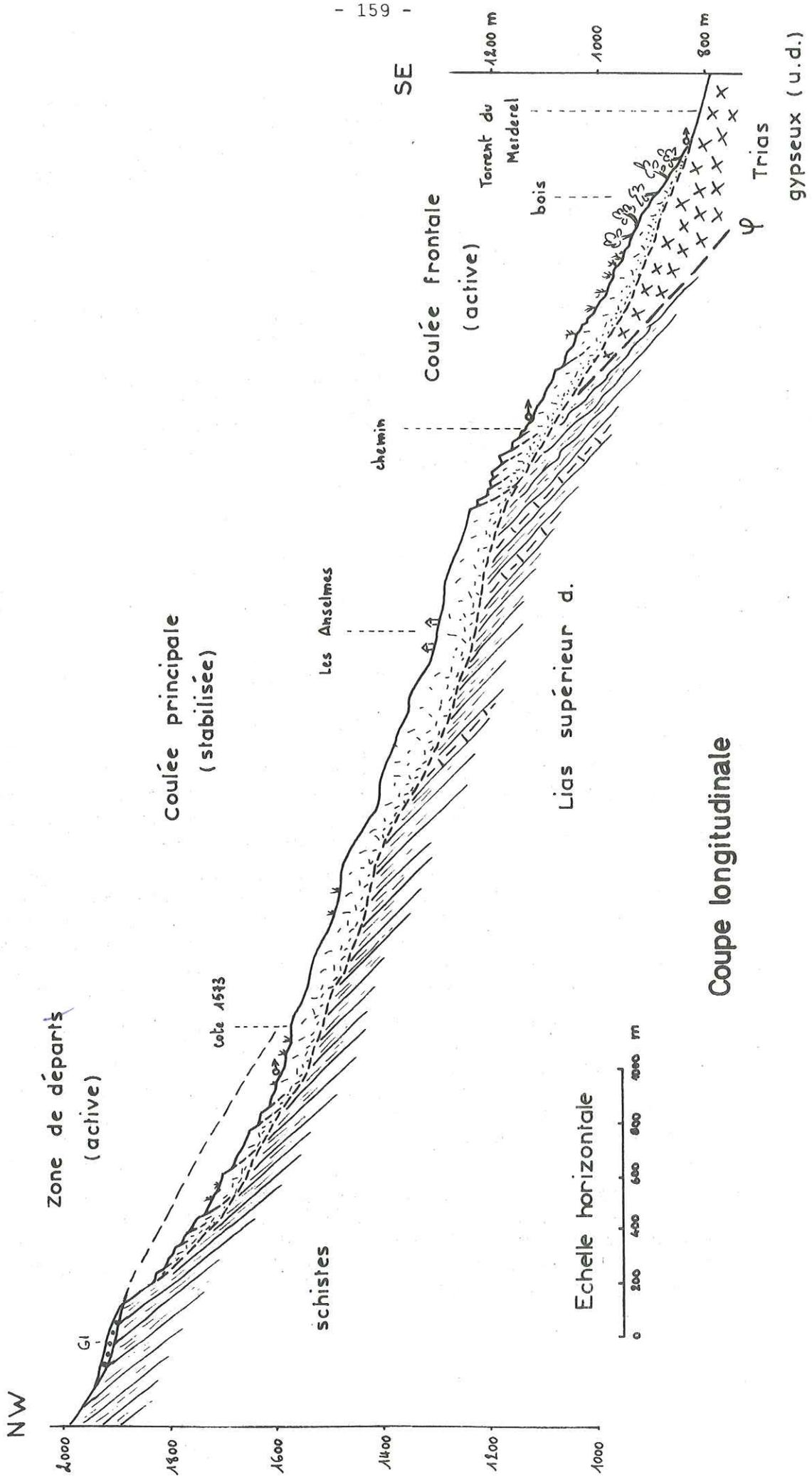


Fig. 72

COULEE DE LA ROCHETTE



- Hydrogéologie : infiltrations au niveau de la zone de départ où les matériaux sont imbibés et instables. Nombreuses petites sources à la tête de la coulée principale. Celle-ci apparaît assez bien drainée entre la Rochette et les Anselms tandis qu'à l'Est, elle est très humide et instable (coulée des Buissonnières). La coulée frontale est imbibée d'eau aux abords du Merderel.

. Analyse du mouvement

Cette coulée de matériaux schisteux et glaciaires n'apparaît pas nettement sur le terrain, car la masse principale, stabilisée, se distingue mal des formations qui la bordent. D'autre part, sa cinématique reste tout à fait hypothétique. Les premiers mouvements seraient apparus vers la Rochette (niche d'arrachement n° 1, fig. 71) et auraient regressé assez rapidement dans le versant (n° 2, 3, 4) pour donner une masse importante venant buter contre la moraine de Fontcouverte. A ce niveau, une coulée frontale a repris celle-ci, sans doute tardivement étant donné son état de fraîcheur.

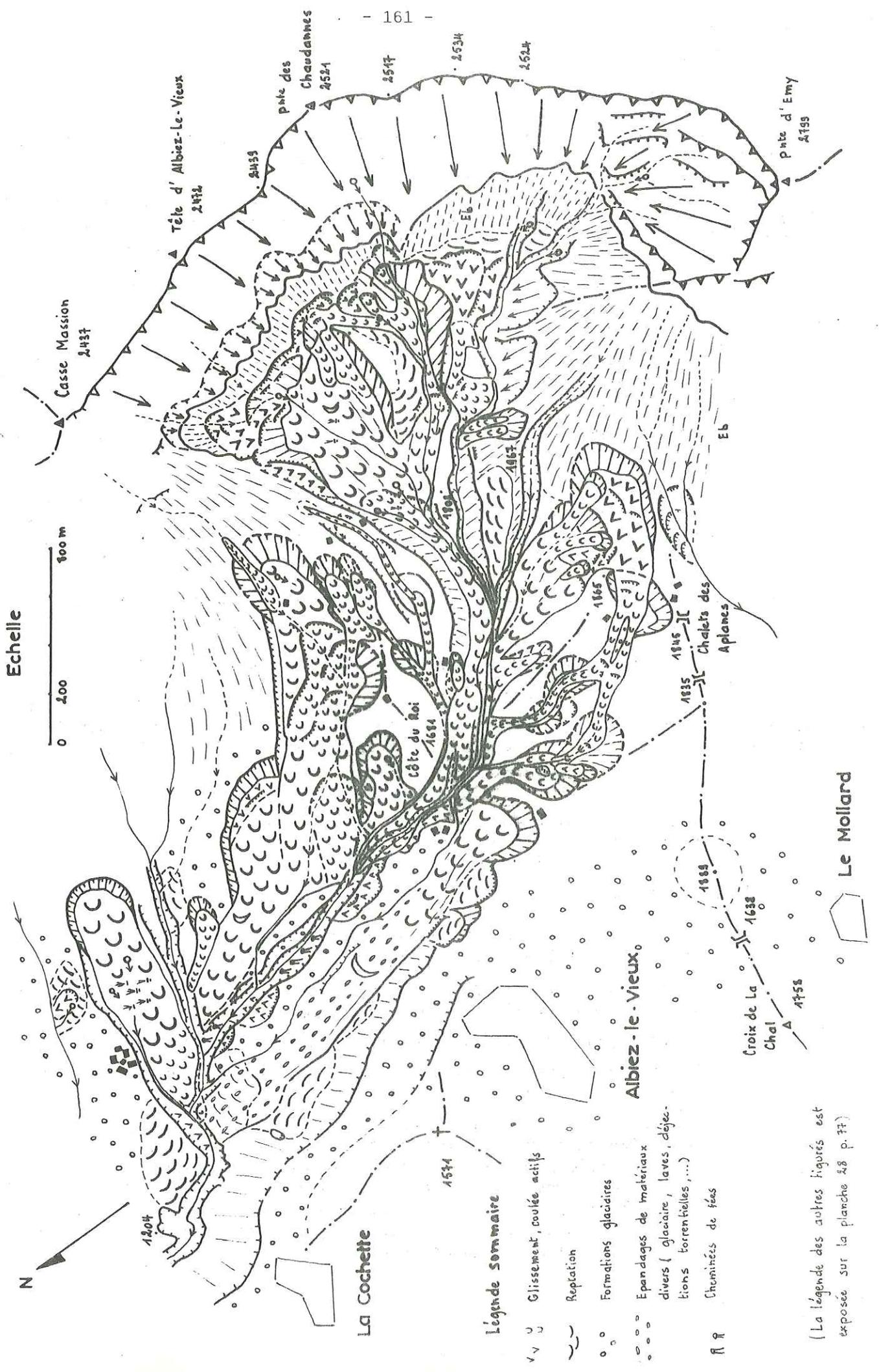
L'ensemble s'étire sur 3 km de longueur. Le volume déplacé peut être estimé entre 40 et 50 Mm³.

C - COULEES D'ALBIEZ-LE-VIEUX (St-Jean n° 7, 2 100 - 1 230 m, fig. 73 et 74)

- Situation : bassin versant supérieur du ruisseau du Merderel, à l'E d'Albiez-le-Vieux.
- Orientation : NW.
- Pentés et morphologie : pente moyenne du ruisseau de 13,5°, de la cote 2 100 à la cote 1 400. Ces coulées prennent naissance dans un cirque glaciaire dominé par des falaises de 300 à 500 m de hauteur et convergent dans un vallon à fond large et peu encaissé.
- Terrains de couverture : éboulis importants au pied des falaises surtout au Sud. Formations glaciaires épaisses et étendues portant le plateau d'Albiez-le-Vieux et sur le versant ouest de Casse Massion (2 437 m) où elles sont mêlées à des éboulis. Le vallon du Merderel est comblé par des matériaux glaciaires (remaniés ?) plus récents et entaillés profondément par le ruisseau (cheminées de fées en bordure).
- Substratum : Lias schisteux sombre, argileux et altéré, apparaissant dans les diverses niches d'arrachement, chevauché par le Flysch de base des Aiguilles d'Arves (grès, calcaire et conglomérat). Le contact passe au niveau des éboulis au pied des falaises. Structure générale monoclinale pentée vers l'Est et présentant, aux abords du contact, des replis, contournements et dislocations. Le Flysch et le Lias sont très fracturés.
- Hydrogéologie : ruissellement abondant. Sources au contact des éboulis et du substratum schisteux (nappe de fissures du Flysch) et sur les terrains en mouvement. Par ailleurs, l'humidité très forte est entretenue par les névés tardifs et l'exposition. Erosion intense sur les pentes abruptes du Flysch.

GLISSEMENTS ET COULEES D'ALBIEZ-LE-VIEUX

Fig. 73



(La légende des autres figurés est exposée sur la planche 28 p. 77)

. Analyse du mouvement

Cet ensemble n'intéresse pas des volumes importants de matériaux mais se caractérise par sa complexité et son allure ramifiée.

Afin de le décrire, il est nécessaire d'en tracer un schéma simplifié faisant ressortir des éléments qui sont analysés séparément (fig. 74a). Le courant principal (n° 730) retiendra notre attention.

Il se subdivise ainsi :

- a - Zone d'alimentation des éboulis (Flysch).
- Eb - Eboulis composés d'éléments de Flysch et reposant sur le Lias schisteux imperméable.
- A - Glissement des éboulis sur le substratum (2 parties : A.n au Nord et A.s au Sud).
- b - Arrachement principal dans les éboulis et le substratum schisteux (coupe : fig. 74b). Les deux parties (b.n au Nord et b.s au Sud) sont séparées par un éperon de schistes disloqués et instables, vestige d'une vieille surface d'érosion.
- C - Coulée comportant à son origine deux affluents à la tête : C.n au Nord (la plus volumineuse) et C.s au Sud.
- d - Petite coulée indépendante, issue du glissement A.s.

Aucune des coulées n'est stabilisée. La niche d'arrachement principale présente des banquettes de régression dans les éboulis. La coulée terminale C prend un aspect de lave visqueuse s'étirant sur près de 2 km, sa largeur variant de 40 à 100 m.

D - GLISSEMENTS ET COULEES DE JARRIER (2 175 - 585 m, fig. 75 et 76)

Cet ensemble diffère des précédents par son ampleur et son aspect.

- Situation : en rive gauche du torrent de l'Arvan peu avant son confluent avec l'Arc, à l'W de St-Jean-de-Maurienne.
- Orientation générale vers l'E, sauf pour les mouvements situés sur le versant S du massif du Grand Châtelard.
- Pente moyenne de 16 à 18° depuis les crêtes jusqu'au front.
- Morphologie : versant irrégulier mais comportant peu de ressauts importants. Crêtes aiguës et peu découpées.
- Terrains de couverture : formations glaciaires en bordure des mouvements (Hérouil au N et la Rochette au S). Leur présence sur le site est démontrée par quelques rares blocs de Cristallin ou de Flysch et une butte de moraines (blocs de Cristallin de plus de 10 m³) entaillée par le torrent de Bonrieu et entourée par les coulées frontales qui la dominent. Les produits de la désagrégation des schistes, transportés par le ruissellement, sont abondants.

- Substratum : trois ensembles se distinguent : Cristallin au Nord, Trias u.d. au SE et Lias schisteux d, prédominant largement sur tout le versant. Les schistes, souvent argileux et profondément altérés, de teinte gris métalliques à noirâtre, apparaissent fréquemment en dalles structurales pentées de 40 à 50° vers l'E. Fracturation très développée. Trois réseaux principaux : N100, 80°S ; N160-170, 80°E ; N45-60, 80°SE.
- Hydrologie : nombreux ruisseaux permanents et petits ravins humides sièges d'écoulements temporaires surtout dans la partie supérieure. Sources pérennes, souvent diffuses ou à plusieurs griffons, localisés dans le haut du versant. Celui-ci, bien exposé au soleil, est le siège de fonte rapide des neiges au printemps. La partie S est très humide.

. Analyse du mouvement

- Dimensions :

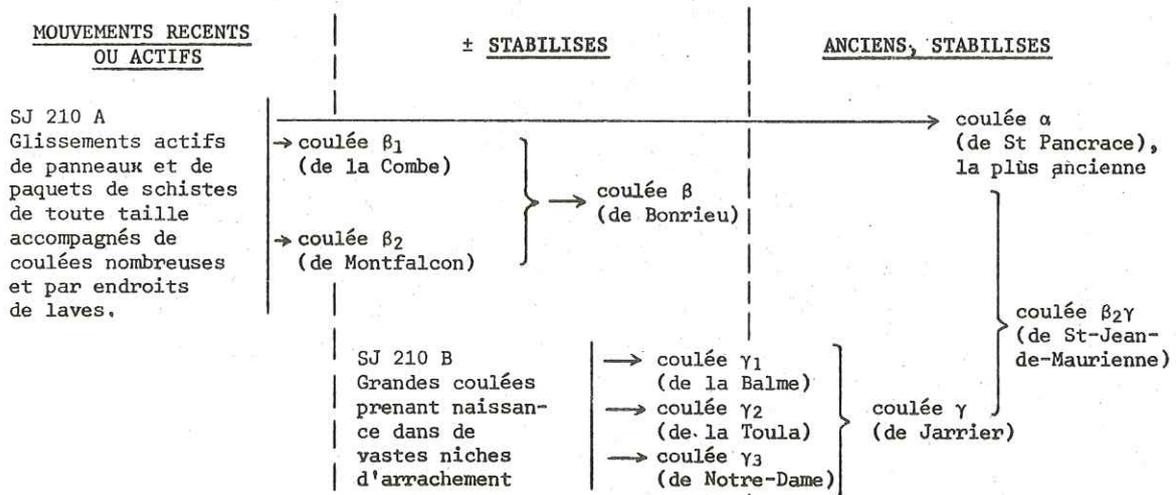
longueur : 6 km,

largeur maximale : 4 km,

superficie : 15,5 km²,

volume approximatif des terrains remaniés : 650 millions de m³ (calculé à partir d'une épaisseur moyenne de 50 m),

- L'interprétation de l'ensemble, présentée sur la figure 75, peut être résumée ainsi :



Nous ne rapporterons pas les nombreux détails exposés sur la fiche correspondante et que l'on pourra consulter au B.R.G.M.. Nous imaginons que ce mouvement démesuré est, à l'origine, en relation avec l'histoire du retrait des glaciers, dont l'effet principal sur la stabilité du versant pourrait résider dans la succession d'une contrainte verticale (crue glaciaire), et d'une détente (décru) accompagnée par un apport massif d'eau. Les fluctuations climatiques tardi-glaciaires ont même pu répéter ce processus un certain nombre de fois.

Le mouvement a franchi la crête entre le massif du Grand Châtelard et l'éperon de Roche Noire, l'abaissant de plus de 100 m par endroits,

Fig. 75

GLISSEMENTS DE JARRIER. Schéma synthétique

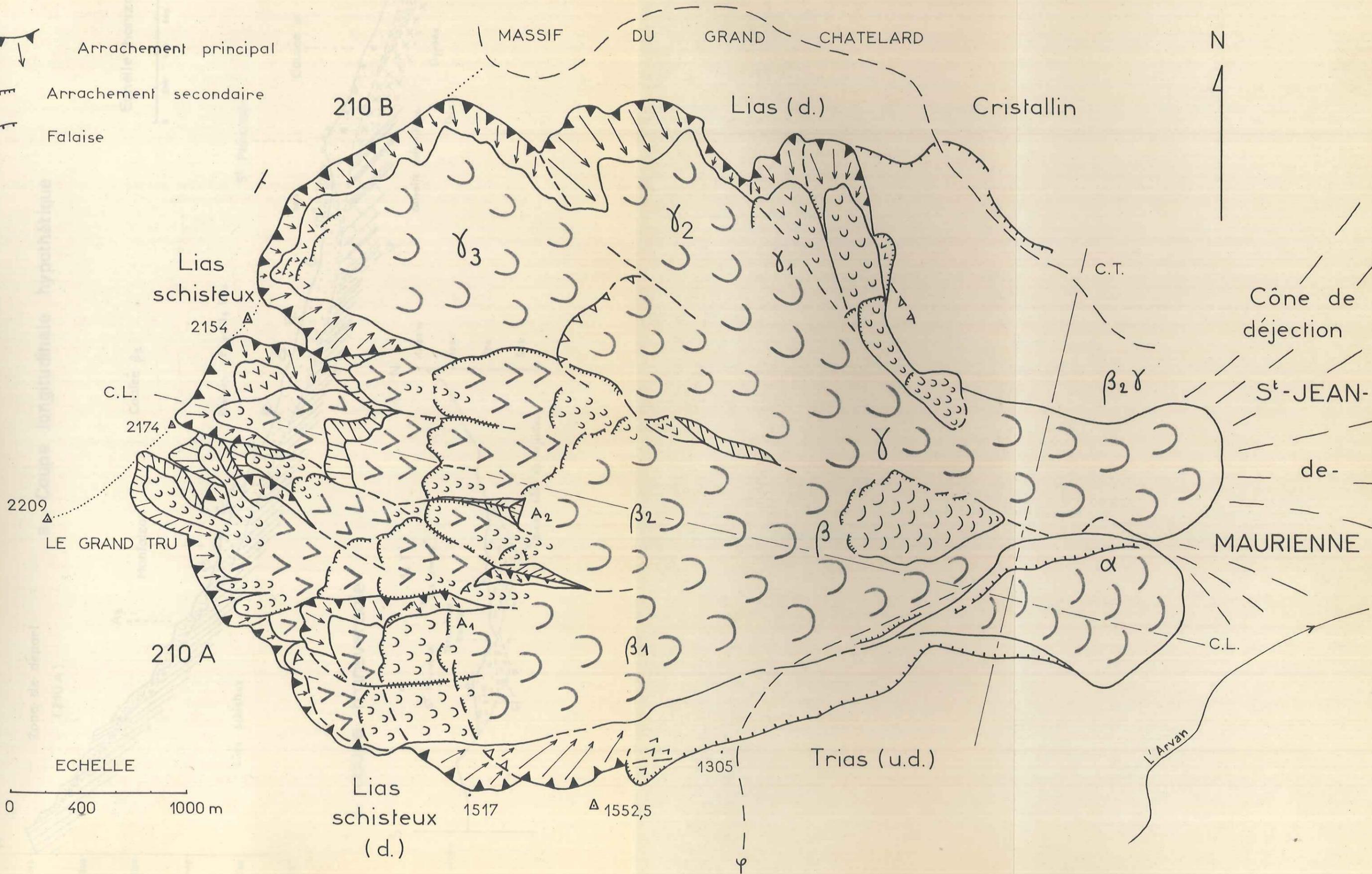
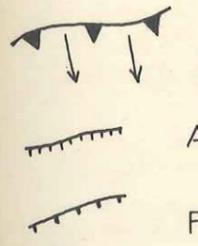
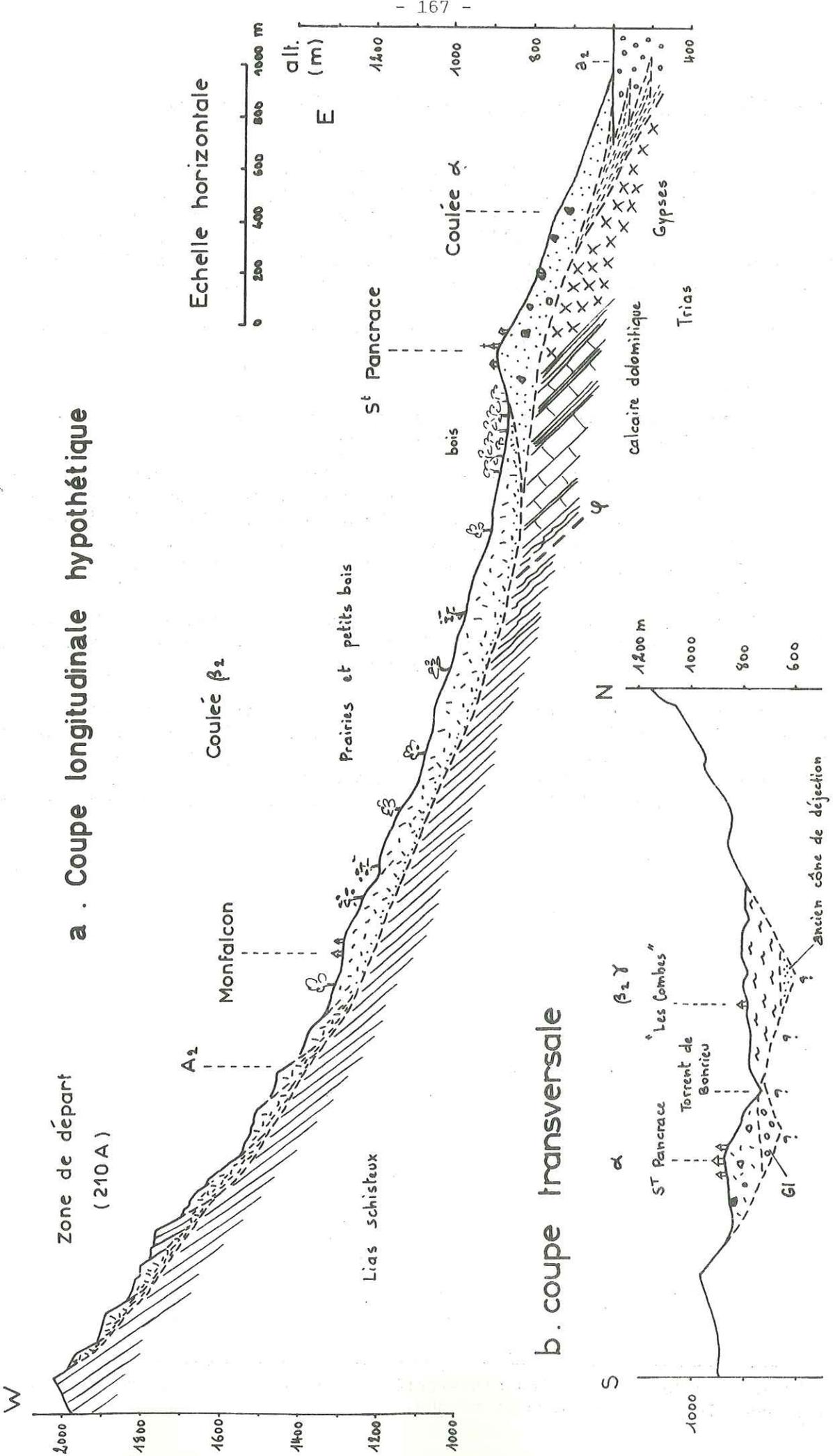


Fig. 76

GLISSEMENTS ET COULEES DE JARRIER



E - COULEES TERMINALES DES ENCOMBRES (2 000 - 700 m, fig. 77)

Les mouvements affectant les bassins versants du torrent de St-Martin et du ruisseau de la Grolla sont les plus étendus de la région (33 km² environ ; coulées de 7 km de longueur). L'analyse d'un phénomène d'une telle ampleur et d'une telle complexité est particulièrement délicate. Nous ne ferons ici que présenter une interprétation photo-géomorphologique de la partie inférieure (feuille I.G.N. n° 8), où l'occupation humaine est la plus dense (1).

- Situation : rive gauche de l'Arc, au-dessus de St-Michel-de-Maurienne et de St-Martin-de-la-Porte.
- Orientation vers le Sud.
- Terrains de couvertures : puissante moraine bordée par le ruisseau de la Grolla et dominant le verrou du Pas du Roc.
- Substratum : zone des Gypses orientée N-S, située au niveau du torrent de St-Martin, des hameaux de la Villette et de la Porte et du flanc est du verrou du Pas du Roc. A l'Ouest se trouve la digitation du Perron des Encombres (nappe du Pas du Roc), calcaire, et à l'Est les schistes et grès du Houiller briançonnais. Structure générale pentée fortement vers l'Est.
- Hydrologie : nombreux ruisseaux permanents et temporaires dessinant des alignements parallèles à la direction du mouvement. L'érosion est intense au front sans cesse remanié.

Toutes les coulées sont actives, Les déplacements s'effectuent à des vitesses variables entraînant des saillies, bourrelets, bombements, arrachements en gradin et de nombreux bourrelets et banquettes allongés parallèlement à la direction du déplacement. Il s'est formé des compartiments avançant à des vitesses différentes, toujours très lentes, et portant une végétation arborescente peu perturbée.

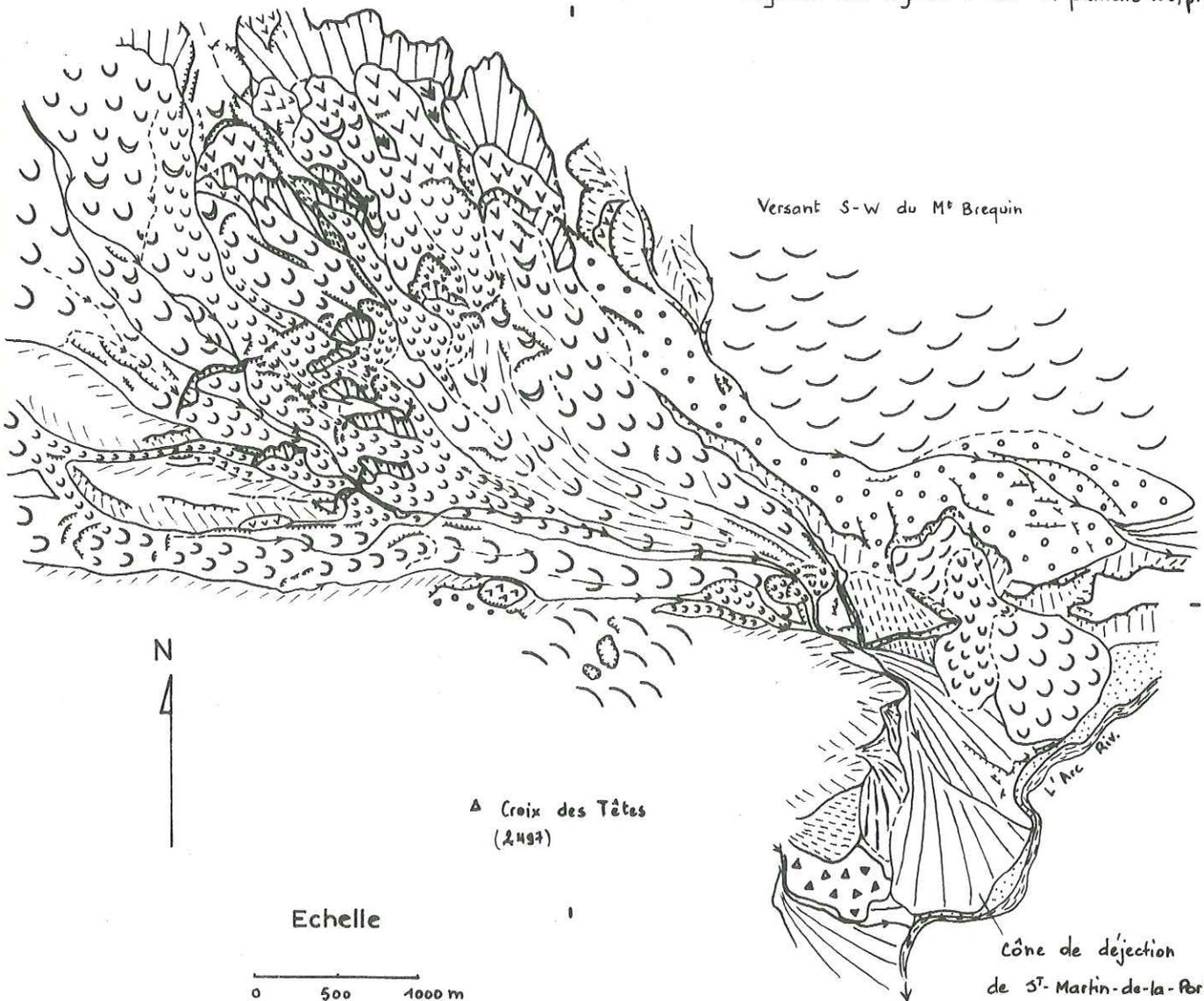
(1) Références de la photo aérienne interprétée : mission Bonneville - St-Jean-de-Maurienne, 1956 ; ligne 3430-34, n° 384.

GLISSEMENTS ET COULEES DES ENCOMBRES

Photo-interprétation de la partie inférieure

Légende des figurés : voir la planche 28, p. 77

Versant S-W du M^e Brequin



△ Croix des Têtes
(2497)

Echelle

0 500 1000 m

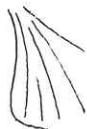
Cône de déjection
de St-Martin-de-la-Porte



Eboulis



Alluvions de l'Arc



Cône de déjections
torrentielles



Formations glaciaires



Lignes de ravinements
anciens, talus, alignements
d'arbres, ...

CONCLUSIONS GENERALES

CONCLUSIONS

De nombreux auteurs ont étudié l'instabilité naturelle des versants montagneux, notamment ses manifestations variées et spectaculaires constituées par les mouvements de terrain historiques, souvent dévastateurs ou perturbant fortement l'activité humaine. Aussi, les travaux abondants sur leur aspect, leur mécanisme, leur classification, etc., permettent-ils de bien connaître le phénomène dans son ensemble.

Toutefois, le développement accéléré des aménagements en montagne, se heurtant sans cesse à des difficultés inopinées, révéla ce type de risque naturel comme un danger certain qu'il était nécessaire, dès lors, de déceler. C'est sous forme d'un recensement territorial qu'une prévision systématique fut élaborée.

Cette vision nouvelle des mouvements gravitaires montre qu'il en existe une multitude, divers et mal connus, dont on ne parle guère, soit parce qu'ils affectent des régions encore sauvages, soit qu'ils sont difficiles à déceler.

Ainsi, la présente étude apparaît-elle avec un double but :

- élaborer une méthode rapide et efficace de détection des mouvements de terrain ;
- analyser, dans une région donnée, les facteurs de l'instabilité naturelle des versants, à partir d'un inventaire de tous les mouvements qui les affectent, afin de dégager les éléments d'une prévision.

Pour y parvenir, un certain nombre de données ont été rassemblées, de documents élaborés et d'interprétations avancées. Tout d'abord, sur le plan pratique, une methodologie a été mise au point afin de faciliter la transcription systématique de toutes les observations qu'il était possible de recueillir à propos de chaque mouvement actuel ou ancien. Une fiche analytique, reprenant sous une nouvelle forme la fiche-questionnaire proposée en 1973, et une représentation cartographique en constituent les supports principaux, conçus pour être commodément consultés, voire complétés.

La collecte des données (observations et enquêtes sur le terrain, bibliographie et photo-interprétation) a nécessité environ deux ans, pendant lesquels :

- 230 fiches ont été établies,
- 8 coupures au 1/20 000 cartographiées.

Cette étude purement descriptive conduit à rechercher une classification utilisable au stade du lever de terrain. Ainsi, à partir d'une série de critères aisément définis, 10 types de mouvements, répartis en deux classes, ont été proposés :

- les mouvements circonscrits, simples ou isolés ;
- les mouvements généralisés et/ou complexes dont, très souvent, les dimensions dépassent largement celles des précédents.

L'aboutissement de ce travail sera l'exécution d'une carte du risque naturel constitué par les mouvements de terrain.

Dans un deuxième stade, la confrontation de plus de 200 analyses détaillées, relatives à des types de mécanismes semblables ou distincts, a permis de mettre en évidence l'intervention et l'importance d'une série de facteurs : morphologie, géologie, hydrologie, etc. Il en ressort de nombreuses indications qu'il est possible, dans une certaine mesure, de quantifier :

- permanence de certains caractères (abondance des coulées, observations diverses sur les dimensions individuelles et comparées, fréquence de répartition suivant le type de terrain,...) ;
- prépondérance de certains facteurs (fréquence des mouvements lors du retrait des glaciers, influence de la pente, de l'exposition,...).

Mais les informations recueillies sont souvent insuffisamment détaillées ou incomplètes pour que l'on puisse en tirer des lois. D'autre part, on remarque que c'est très fréquemment un détail local (source, ressaut, niveaux altérés, faille, etc.), superposé à d'autres facteurs défavorables, qui détermine la situation précise d'un mouvement sur une pente.

Cependant, ces informations permettent de mieux comprendre à la fois l'aspect actuel et les tendances des transformations futures des versants d'où alors, une possibilité de déceler un risque potentiel.

On parviendra probablement ainsi à délimiter, d'une part des zones où le risque est démontré par la présence de mouvements (risque naturel) et d'autre part des zones qui, par analogie avec les précédentes, sont plus ou moins menacées d'instabilité (risque potentiel).

Ce dernier sujet présente encore bien des incertitudes et des questions sans réponses :

- lieu et date d'apparition ;
- importance relative de chacun des facteurs élémentaires lors de l'évolution d'un terrain vers la rupture ;
- risques d'extension ou d'apparition d'un mouvement sur tel ou tel versant ;
- peut-on, comme on le fait en mécanique des sols pour les projets de talus, délimiter un volume potentiellement instable et lui affecter un coefficient de sécurité ?
- quelles sont les caractéristiques géotechniques des mouvements anciens et stabilisés ? Est-il possible d'y effectuer des travaux, et de quels types ?...

On peut cependant approcher la connaissance de nombreuses lacunes en :

- multipliant des études de ce genre dans d'autres régions, afin d'élargir le champ des comparaisons,...
- concentrant des moyens sur des secteurs "expérimentaux" ;
- développant les cartes de facteurs (pente, lithomorphologie, hydrologie,...) qui sont le support d'une carte géotechnique de synthèse ;
- et envisageant à long terme, un traitement synthétique des données recueillies lors de toutes ces études.

A N N E X E

ANALYSE D'ECHANTILLONS AU LABORATOIRE

- I. Introduction
- II. Localisation géographique
et géologique
- III. Caractéristiques géotechniques
- IV. Caractéristiques minéralogiques
par diffractométrie des R.X
- V. Comparaison des divers résultats
et conclusions

I - INTRODUCTION

Afin de caractériser un peu plus en détail les matériaux glissés et les formations "sensibles", nous avons effectué une soixantaine de prélèvements. Ceux-ci ont été soumis à diverses analyses (granulométrie, sédimentométrie, limites d'Atterberg, etc.), dont le choix s'est révélé délicat et qui n'ont pas toujours mené à des conclusions évidentes. La teneur en eau, la cohésion, l'angle de frottement, ... ne sont pas identiques suivant que l'échantillon a été prélevé en surface, en profondeur, en tête d'un mouvement, au pied, etc.. Par contre, la composition minéralogique et la granulométrie ne semblent pas, *a priori*, devoir varier considérablement, à condition que le remaniement soit suffisant et que les formations affectées soient assez homogènes (schistes du Lias supérieur par exemple).

Les terrains remaniés se présentent couramment avec de nombreux éléments grossiers (feuilletés de schistes, cailloux, blocs plus ou moins anguleux...) emballés dans une matrice constituée de débris fins sableux et schisteux, l'ensemble possédant souvent une cohésion faible.

Le remaniement trop accentué des matériaux nous a conduit à ne pas tenter d'essais purement mécaniques (oedomètre, triaxial et cisaillement). On ne conservera donc que des analyses minéralogiques et granulométriques que l'on essaiera de comparer avec quelques essais géotechniques : limites d'Atterberg et teneur en eau.

II - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Par commodité, pour la présentation des résultats, les échantillons ont été répartis en 4 groupes fondés sur des critères géologiques. Les trois premiers groupes intéressent le substratum affecté par des glissements et des coulées et le quatrième des formations quaternaires (essentiellement glaciaires) en place ou remaniées.

- Groupe 1 (LS) : Lias supérieur, schisteux (zones d. et u.d.).
- Groupe 2 (HB) : Houiller briançonnais.
- Groupe 3 (F) : Flysch des Aiguilles d'Arves.
- Groupe 4 (Q) : Formations quaternaires.

L'identification des échantillons et la description sommaire du contexte géologique de leur prélèvement sont rassemblées dans le tableau 15, en fin d'annexe.

III - CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES

A - LIMITES D'ATTERBERG ET TENEUR EN EAU

Les échantillons ont été prélevés en surface ou très près de celle-ci, ce qui correspond, dans la plupart des cas, à une zone non saturée d'eau.

La teneur en eau n'a guère de répercussion sur les mouvements étudiés ici, sauf le cas particulier de la solifluxion, des laves et de certaines coulées fluides.

1 - Essais et résultats

En faisant varier la teneur en eau d'un échantillon de sol, on peut l'amener à trois états différents : liquide, plastique, solide. Les limites entre ces différents états, ou limites d'Atterberg, caractérisent la plasticité d'un sol, celle-ci étant définie comme "une aptitude à changer considérablement de forme sous une charge constante, sans changer de volume" (VERDEYEN, 1968). La différence entre la limite de liquidité (WL) et la limite de plasticité (Wp), est l'indice de plasticité (Ip), qui mesure l'étendue de la zone pour laquelle le matériau est plastique, donc susceptible de grandes déformations. La composition chimique ou minéralogique, les dimensions et la forme des particules du sol influent sur l'adhérence et l'épaisseur de la pellicule d'eau adsorbée. Celle-ci commandant à son tour les propriétés mécaniques, la détermination des limites d'Atterberg constitue un moyen efficace d'identification des matériaux.

Ces essais ont été effectués sur une quarantaine d'échantillons tamisés (< 400 μ). Les limites ont été déterminées au moyen de l'appareil normalisé de Casagrande et selon la méthode utilisée par les Laboratoires des Ponts et Chaussées.

Les résultats sont rassemblés dans le tableau 16.

2 - Interprétations

La teneur naturelle en eau d'un échantillon est une indication purement locale. Par contre, la détermination des limites d'Atterberg permet d'obtenir des données générales, à l'échelle d'une formation homogène.

Chaque groupe peut être caractérisé par une fourchette de valeurs.

Tableau 17

Groupe	Wl%	Wp%	Ip%	Groupe	Wl%	Wp%	Ip%
LS	27-58	19-39	07-19	F	Analyses insuffisantes		
HB	27-36	17-27	06-10	Q	21-38	14-25	04-13

La position des échantillons, en fonction de WL et de Ip, peut être représentée commodément sur le diagramme de plasticité (fig. 78), issu de la classification de Casagrande.

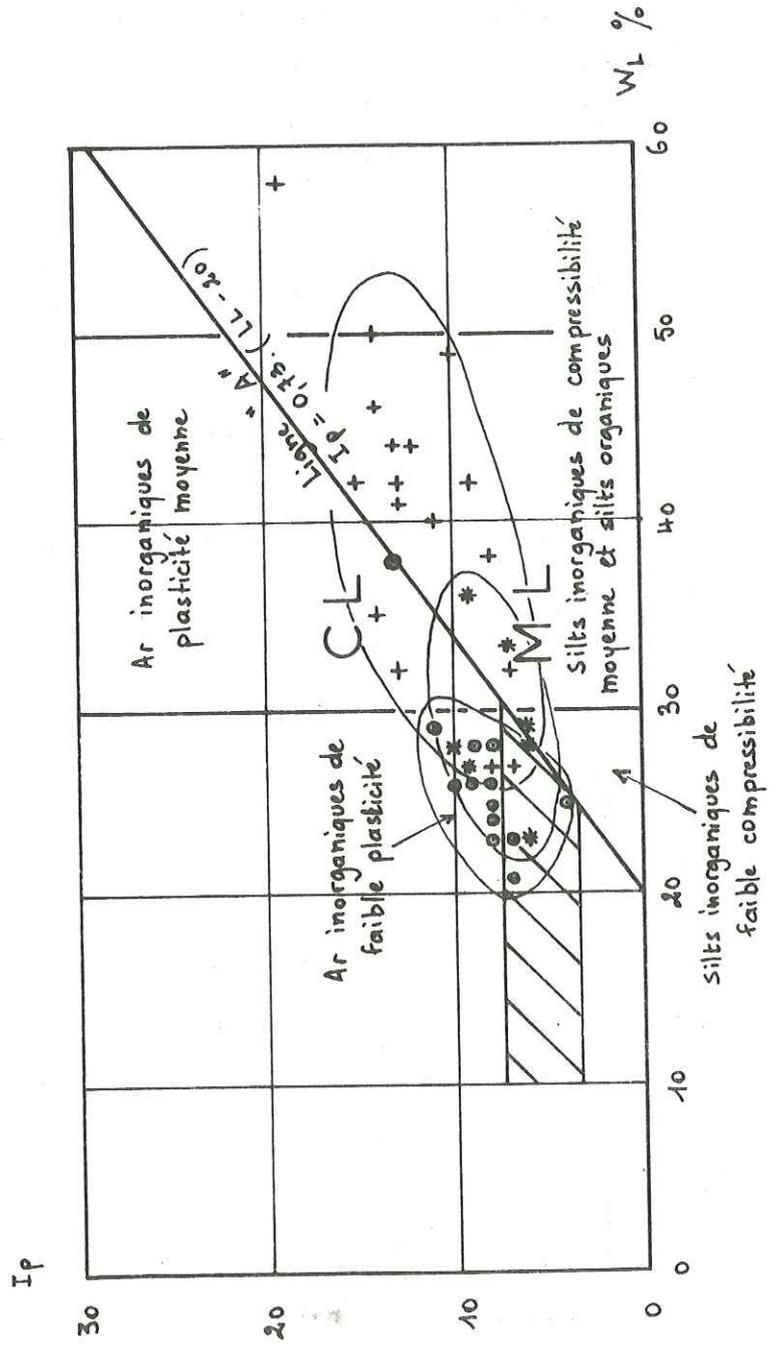
- Les formations du groupe LS se révèlent essentiellement argileuses avec une plasticité moyenne à faible (7 à 15).
- Les formations du groupe Q sont bien groupées dans une zone d'argiles sableuses à plasticité faible (7 à 11).
- Le groupe HB chevauche les deux précédents avec une plasticité faible (6 à 10).

TABLEAU 16
LIMITES D'ATTERBERG

N° échant.	W _L	W _p	I _p	N° échant.	W _L	W _p	I _p
31	38	30	08	813	36	27	09
32	27	19	08				
62	32	19	13	33	impossible : prise		
63	27	20	07	35	29	24	05 ?
65	35	21	14	42	23	21	02 ?
66	50	36	14	88	29	23	06
67	40	29	11				
69	42	27	15	61	impossible : trop sableux		
610	44	31	13	64	21	14	07
611	49	39	10	68	38	25	13
612	32	25	07	613	28	19	09
615	44	31	13	614	26	18	08
616	42	29	13	617	25	17	08
618	58	39	19	620	impossible : prise		
619	42	33	09	71	impossible : prise		
621	46	32	14	72	23	16	07
622	41	28	13	73	24	16	08
				74	27	18	09
41	27	18	09	75	26	16	10
43	28	18	10	76	29	18	11
82	33	26	07	77	25	21	04
83	29	23	06	78	27	09	08
84	28	22	06	710	impossible : trop sableux		
86	23	17	06	81	23	16	07

Fig. 78

REPARTITION DES ECHANTILLONS SUR LE
DIAGRAMME DE PLASTICITE



B - MORPHOSCOPIE DES GRAINS

Les grains ou débris de roches ont des formes très variées. Les caractéristiques mécaniques de résistance aux contraintes tangentielles sont fort différentes selon qu'il s'agit de grains arrondis ou de grains anguleux. Pour leur part, les grains de forme aplatie ou très allongée ont un frottement grain sur grain relativement faible.

Il est donc intéressant de connaître leur forme afin de voir s'il existe une relation avec certaines propriétés géotechniques (limites d'Atterberg en particulier). Cet examen, outre les indications pétrographiques et minéralogiques qu'il apporte, renseigne aussi sur le comportement mécanique de la formation.

Nous avons utilisé la fraction comprise entre 74 μ et 4,76 mm dans laquelle nous avons distingué trois types (grains ronds, esquilles et plaquettes) subdivisés eux-mêmes d'après leur forme et leur degré d'usure (fig. 79).

L'analyse d'une vingtaine d'échantillons divers ne donne malheureusement pas de résultats très satisfaisants, aucune relation apparaissant clairement entre la forme des éléments d'un sol et WL, Ip de ce dernier. Sachant que tous les échantillons du groupe LS sont constitués essentiellement de plaquettes, le reste étant des esquilles (rares grains ronds), et possédant un WL et un Ip plus élevés, il semblerait que les valeurs de ces deux indices augmentent en même temps que la proportion de plaquettes.

C - GRANULOMETRIE

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

L'analyse n'a été effectuée que sur des échantillons de glaciaire, les schistes ne donnant pas de résultats satisfaisants.

1 - Méthode

L'analyse granulométrique s'effectue sur un échantillon de 1 kg, aussi ne tient-elle pas compte des gros cailloux et des blocs. Par contre elle donne des renseignements précis sur la matrice.

Rappelons la classification d'Atterberg :

- Blocs : 2 000 à 200 mm
- Cailloux : 200 à 20 mm
- Gravier : 20 à 2 mm
- Sable grossier : 2 à 0,2 mm
- Sable fin : 200 à 20 μ
- Limon : 20 à 2 μ
- Argile : en dessous de 2 μ

L'analyse se déroule en deux temps :

- granulométrie - Tamisage à sec pour les grains dont la dimension est supérieure à 74 μ (tamis ASTM).
- sédimentométrie - Pour les particules inférieures à 74 μ , calcul basé sur la vitesse de leur chute dans un liquide (en général : eau + défloculant). On utilise pour cela la loi de Stokes.

2 - Résultats des essais

Les courbes granulométriques sont tracées sur un papier semi-logarithmique.

Dans le tableau 18 figurent divers paramètres caractérisant la distribution des dimensions (de 0,5 μ environ à quelques cm) et d'autre part la perméabilité et les propriétés mécaniques de l'échantillon.

Ar : fraction argileuse en %.

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

Cc:

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

d_{10} , d_{30} , ... dimensions des grains déterminées sur la courbe granulométrique par les valeurs des fréquences cumulées 10 %, 30 %, ...

$K = 50 \cdot d_{10}^2$: ordre de grandeur de la perméabilité calculé au moyen de la relation de Hazen.

3 - Représentation synthétique des résultats

a) Diagramme de Doeglass (E.-U.)

Utilisé en sédimentologie, il permet de représenter l'allure et les caractéristiques de toutes les courbes granulométriques avec trois valeurs des fréquences cumulées : $Q_1 = 25$ %, $Q_2 = 50$ % (diagonale) et $Q_3 = 75$ % (fig. 80).

La pente des courbes granulométriques étant toujours plus redressée au-dessus de la médiane, l'indice d'asymétrie

$$\frac{Q_1 + Q_3 - 2 \cdot Q_2}{2}$$

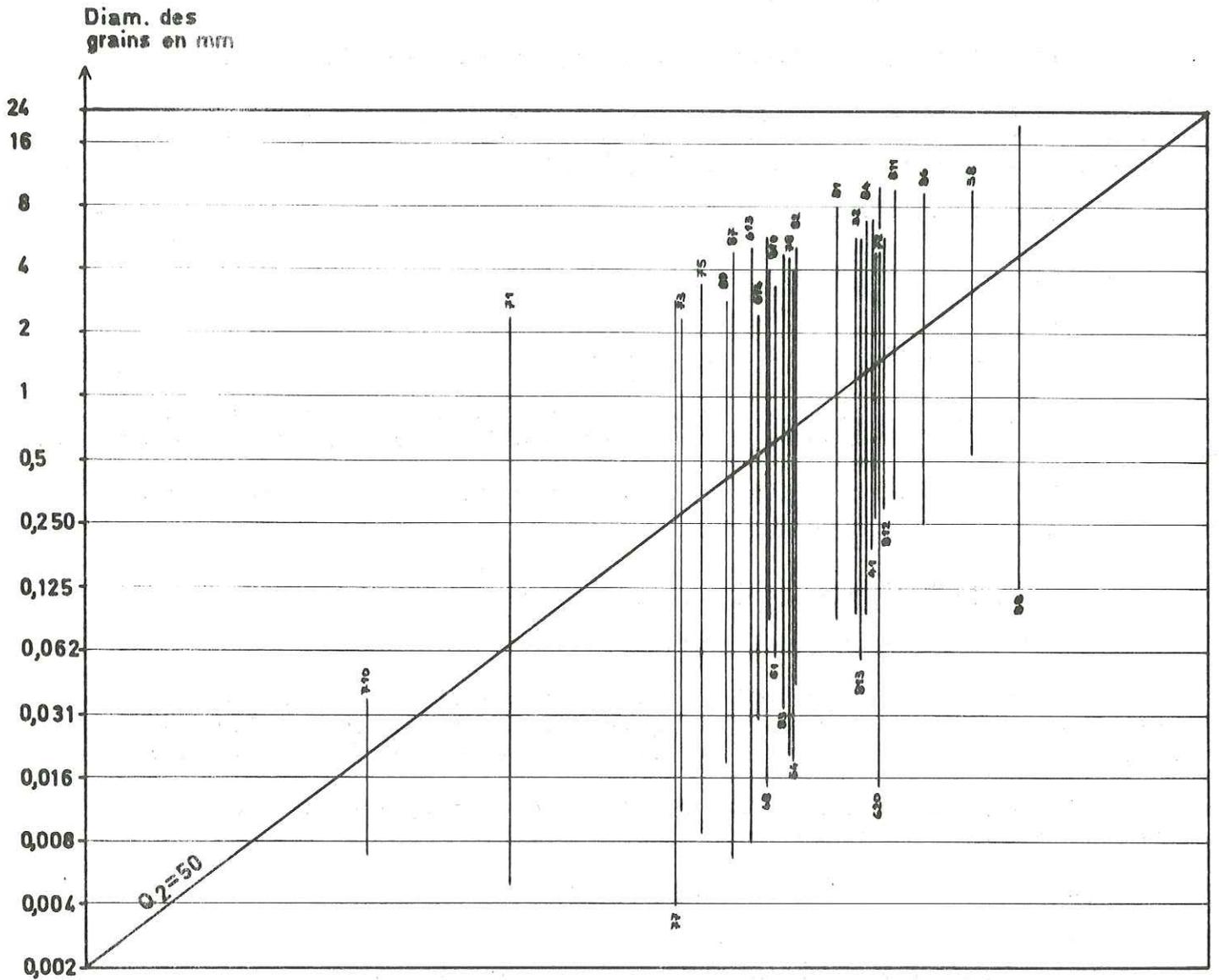
est toujours négatif. Les éléments fins, inférieurs à 20 μ , ne sont pas négligeables.

b) Triangle de répartition

Cette représentation nous permettra d'analyser plus en détail la fraction inférieure à 400 μ (utilisées pour les limites d'Atterberg), dans laquelle les sables les plus grossiers ne sont pas considérés.

Les résultats obtenus sur 23 échantillons sont peu dispersés (fig. 81). Leur centre de gravité correspond à :

Fig. 80 CARACTERISTIQUES DES COURBES GRANULOMETRIQUES
DIAGRAMME DE DOEGLASS



$Q_1 = 25\%$

$Q_2 = 50\%$

$Q_3 = 75\%$

TABLEAU 18

DISTRIBUTION DES DIMENSIONS
SUIVANT DIVERS PARAMETRES GRANULOMETRIQUES

N° éch.	Ar (%)	d ₁₀ (μ)	d ₃₀ (μ)	d ₅₀ (μ)	d ₆₀ (μ)	C _u (μ)	C _c	K (cm/s)	W _L	I _p
61	5	4,7	100	650	1300	275	1,68	1.10 ⁻⁵	-	-
64	10,5	1,8	58	750	1600	890	1,17	2.10 ⁻⁶	21	07
68	8	2,2	27	610	1750	795	0,19	3.10 ⁻⁶	38	13
43	6	2,4	26	450	1250	540	0,23	3.10 ⁻⁶	28	10
613	15	1	17,5	500	1400	1400	0,22	5.10 ⁻⁷	28	09
614	12,5	1,3	100	540	1100	845	6,3	8.10 ⁻⁷	26	08
620	8	2,6	22	1550	4000	1540	0,05	4.10 ⁻⁶	-	-
71	14	0,7	8	67	300	430	0,32	3.10 ⁻⁷	-	-
72	3	9	420	1450	2550	285	0,78	4.10 ⁻⁵	23	07
75	6	2,8	22	350	950	340	0,18	4.10 ⁻⁶	26	10
77	10	2	7,5	270	780	390	0,04	2.10 ⁻⁶	25	04
78	7,5	2,2	37	750	1700	770	0,37	2.10 ⁻⁶	27	08
81	6	2,7	160	1100	2700	1000	0,35	4.10 ⁻⁶	23	07
41	4	3,1	300	1300	2650	860	10,7	5.10 ⁻⁶	27	09
82	6	2,8	110	790	1750	640	2,5	4.10 ⁻⁶	33	07
83	6	2,5	120	720	1500	600	3,8	3.10 ⁻⁶	29	06
84	4,5	3,3	200	1350	2850	865	4,2	5.10 ⁻⁶	28	06
86	2,5	6,1	435	2100	4000	655	7,8	2.10 ⁻⁵	23	06
813	9	2,2	170	1300	2600	1180	5,05	3.10 ⁻⁶	36	09
35	8,5	2,5	95	1750	4200	1680	0,86	3.10 ⁻⁶	29	05
42	4	8,2	480	1600	2700	330	10,4	4.10 ⁻⁵	23	02
88	8	3	400	5000	9000	3000	5,9	5.10 ⁻⁶	29	06

- 47 % de sables
- 35 % de limons
- 18 % d'argiles.

Il n'apparaît pas de relations nettes entre la répartition des différentes fractions (sables, limons, argiles) de l'échantillon et ses Ip et WL correspondants (tabl. 19).

IV - CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES PAR DIFFRACTOMETRIE DES R.X

Sachant que les caractéristiques mécaniques des sols dépendent fortement de la composition minéralogique de leurs constituants, nous nous proposons d'étudier plus en détail la fraction fine des échantillons, déjà utilisée pour le calcul des limites d'Atterberg ($< 400 \mu$). L'analyse par diffractométrie des R.X permet d'obtenir assez rapidement la composition minéralogique de l'ensemble et de caractériser la fraction argileuse.

Nous ne rappellerons pas la structure et la classification des minéraux argileux (1).

A - ANALYSE QUALITATIVE

1 - Roche totale : méthode de Debye et Scherrer

Le tableau 20 rassemble les résultats des analyses de 36 échantillons.

Les formations schisteuses (Lias, Houiller et Permien) contiennent beaucoup de phylliteux et un peu de quartz. Dans le Glaciaire ou le Flysch, le quartz et la calcite prédominent. Dans tous les cas les feldspaths sont toujours présents, mais en quantité très faible.

Tableau 20

Répartition générale des minéraux dans les roches totales

Groupe	Minéraux abondants	Minéraux en quantité très variable	Minéraux en faible quantité	Traces Pas toujours présents
LS	Quartz, Micas-Illites, Chlorites ferrifères	Calcite	Feldspaths : Albite BT FK (microline)	Dolomite Pyrophyllite Paragonite
HB	Quartz, Micas-Illites, Chlorites ferrifères	Calcite, Feldspaths : Albite BT FK (microline)		Dolomite
F	Quartz, calcite. schistes : Micas-Illites, Chlorites	Micas-Illites, Chlorites ferrifères, Feldspaths (Albite, FK)		Dolomite
Q	Quartz, calcite	Micas-Illites, Chlorites	Feldspaths (Albite, FK)	Dolomite Paragonite

(1) On pourra consulter l'ouvrage de MILLOT (1962) : La géologie des argiles.

TABLEAU 19

REPARTITION DES SABLES FINS, LIMONS ET ARGILES

ET DES I_p ET W_L CORRESPONDANTS

N° éch.	I_p	W_L	Sables	Limons	Argiles	N° éch.	I_p	W_L	Sables	Limons	Argiles
						82	07	33	51	35	14
68	13	38	41	42	17	81	07	23	54	31	15
76	11	29	62	28	10	72	07	23	60	31	9
?	10	28	44	37	19	84	06	28	53	36	11
75	10	26	41	48	11	83	06	29	48	37	15
87	10	28	41	45	14	86	06	23	43	35	22
813	09	36	46	28	26	88	06	29	42	32	26
613	09	28	38	34	28	811	05	29	59	32	9
85	09	27	55	33	12	77	04	25	37	44	19
614	08	26	51	23	26	710	-	-	51	30	19
C	08	27	47	35	18	61	-	-	42	46	12
64	07	21	43	33	24	71	-	-	37	40	23
						620	-	-	33	48	19

2 - Fraction argileuse : méthode des agrégats orientés

Le tableau 21 résume les diverses observations effectuées sur 23 échantillons répartis en trois groupes.

Ces argiles sont constituées essentiellement de phyllosilicates ayant une cristallinité assez élevée (faible altération chimique).

Les échanges de base entre les feuillets et les ions divers se trouvant dans la phase liquide sont peu importants. Les interstratifiés sont à l'état de traces.

3 - Conclusion

Nous retiendrons de cette analyse qualitative les faits suivants :

- Trilogie minéralogique : quartz, micas, chlorites.
- Degré d'altération chimique faible pour les minéraux argileux.
- Dans les formations glaciaires du bassin de l'Arvan, peu de phylliteux et nombreux minéraux issus du Cristallin et du Flysch.

B - ANALYSE QUANTITATIVE

1 - Roches totales

Les résultats sont présentés dans le tableau 22. On peut en déduire les principaux faits suivants :

- Lias schisteux dauphinois : les schistes paraissent assez homogènes, minéralogiquement parlant. En place, ils contiennent plus de quartz qu'une fois altérés et remaniés.
- Houiller briançonnais : matériel moins homogène ^{milieu} revêtant des débris de grès micacés, schistes argileux et silicifiés et surtout de calcaires. Une contamination par des formations glaciaires est certaine, mais celles-ci sont locales, là où les échantillons ont été prélevés.
- Flysch des Aiguilles d'Arves : formations calcaires et micacés comportant une teneur en quartz élevée. Le nombre insuffisant d'échantillons ne permet guère d'interpréter plus en détail ces résultats.
- Formations glaciaires : matériel très hétérogène contenant souvent de la calcite et moins de phylliteux que les ensembles précédents.

Ces quelques remarques sont présentées un peu plus en détail dans le tableau 23.

Il n'est guère possible d'aller plus loin dans l'interprétation de ces résultats, les erreurs diverses de dosage étant difficiles à estimer avec précision.

Tableau 21

Répartition et caractéristiques des minéraux argileux dans trois groupes d'échantillons

Groupe	Illite	Chlorite ferrifère	Paragonite	Pyro- phyllite	Interstratifiés	Remarques
LS	En général faiblement ouverte, quelquefois bien cristallisée	En général bien cristallisée	Toujours présente en faible quantité	traces	En général très faible quantité d'irréguliers à feuillets de Chlorite, Illite, Montmorillonite et Vermiculite	Présence d'oxydes de fer hydratés ?
HB	Bien cristallisée	Bien cristallisée. Moins résistante au chauffage que ci-dessus.	Quantité égale à la Chlorite	-	?	-
G1 (Q)	Bien cristallisée	Bien cristallisée, Résistante au chauffage	Toujours présente en faible quantité	-	Dans quelques échantillons, feuillets gonflants : Illite, Chlorite, Montmorillonite ± réguliers	Cristallinité élevée

TABLEAU 22

REPARTITION QUANTITATIVE DES PRINCIPAUX CONSTITUANTS MINÉROLOGIQUES DANS 4 GROUPES D'ÉCHANTILLONS

GRUPE	N° Echant.	Erreur relat. s/total %	Q %	Calc. %	F %	Dol. %	Phylliteux %	Micas- Illites	Chlorites	Remarques
LS	62	4	26	16	7	3	48	+	++	
	63	5	28	2	4	6	60	+	+++	
	66	5	26	3	6	0	65	+	++	
	67	5	27	4	6	0	63	++	++	
	69	5	32	2	4	0	62	++	+	
	610	5	27	4	4	0	65	++	+	
	611	4	21	5	4	0	70	++	+	
	612	5	36	4	6	tr.	54	+	++	
	615	4	28	1	6	0	65	+++	+	
	616	4	32	1	8	0	59	+	++	Alb. > Microcl.
	618		34	1	6	tr.	58	+	++	Microcl. > Alb.
	619		31	2	7	0	60	++	+	
	31	4	23	18	3	0	56	++	+	
	32	5	25	8	4	4	59	++	+	Microcl.
60	4	38	5	7	6	44	+	+++		
HB	41	5	41	0	6	0	53	++	++	Alb. 7%, Paragon.
	82	5	23	0	10	0	67	++	+	" 7%, "
	83	5	40	1	11	0	48	+++	+	" 8%, "
	84	5	24	2	11	tr.	63	++	+	" 12%, "
	86	5	43	0	16	0	41	++	+	
	811	5	17	26	3	tr.	53	+++	+	
	813	6	27	2	8	3	60	++	+	
	814	5	27	14	7	tr.	51	++	+	
F	33	4	30	44	3	0	23	+	+++	
	88	5	25	12	9	3	51	+++	+	Alb.
	812	6	27	21	22	tr.	28	+	+++	Alb. 17%
GL (Q)	61	5	44	14	7	0	35	++	++	Alb. > Microcl.
	64	5	33	34	tr.	0	32	+++	+	
	65	4	28	19	6	tr.	47	+	++	
	68	5	38	7	6	tr.	48	++	+	
	613	4	33	21	5	0	41	++	+	
	614	4	56	16	4	0	24	++	+	Chlor. > 8%
	617	4	19	34	4	5	38	+	+++	
	620	4	21	32	8	5	34	+	++	Alb.
	71	5	12	18	6	14	50	++	+	Oxydes, talc ?
	76	5	36	20	6	tr.	37	+	+++	
87	6	50	0	7	tr.	42	++	+		

+ Proportion des Micas-Illites et Chlorites dans la fraction de Phylliteux

Tableau 23

Répartition quantitative dans trois groupes

Groupe	Q %	Calc. %	F %	Dolom.	Total % phylliteux	Chlorite	IK-Illite
Lias d.	25-35	1-5	~ 5	tr.	55-65	+++	+++
Houiller br.	25-40	tr.-25	5-10	tr.	50-65	++	++++
Gl.	20-50	15-35	5	tr.	30-45	+++	+++

tr. = trace

+++ = 50 % du total des phylliteux.

2 - Fractions argileuses

D'après l'analyse granulométrique, la fraction moyenne inférieure à 2 μ n'est pas négligeable (5 à 10 % en poids de la roche totale). Elle peut constituer dans certains échantillons plus de 15 % du volume. Il paraît donc intéressant de préciser la nature et la répartition des minéraux argileux sur les trois diagrammes d'agrégats orientés. Les résultats sont exposés dans le tableau 24.

Les illites-micas prédominent largement dans tous les cas. La paragonite est présente sur le Houiller briançonnais en proportion comparable à celle des chlorites, mais les formations calcaires de la nappe du Pas du Roc et de la zone des Gypses ont pu contaminer ces matériaux remaniés. La pyrophyllite n'apparaît que dans le Lias dauphinois.

V - COMPARAISON DES DIVERS RESULTATS ET CONCLUSIONS

Nous avons rassemblé dans le tableau 25 les résultats fournis par les échantillons ayant subi des analyses géotechniques et minéralogiques complètes.

Il n'apparaît pas de relations nettes entre les diverses données. Tout au plus, une forte teneur en phylliteux se traduit-elle par un WL un peu plus fort.

La fragmentation des roches étant ici d'origine mécanique et nullement chimique, on ne peut discerner de variation minéralogique entre les matériaux concernés lorsqu'on passe d'un mouvement de terrain à un autre ou même d'un glissement à une coulée. Il n'apparaît pas non plus de relation évidente entre la minéralogie des sols et leurs propriétés géotechniques de telle sorte que si l'on tient compte en plus des erreurs difficiles à estimer dues à la méthode suivie, nous ne pouvons pas conclure quant à l'instabilité comparée des diverses formations décrites.

Toutefois, les résultats des analyses réalisées dans le cadre de notre étude apportent un certain nombre de précisions qui devraient utilement compléter la description des divers faciès lithologiques.

TABLEAU 24

 REPARTITION QUANTITATIVE
 DES PRINCIPALES ESPECES ARGILEUSES

Groupe	N° éch.	% < 2 μ	Chlorites (%)	Illites-Micas. (%)	Paragonite (%)	Pyrophyllite (%)	Inter-stratifiés	Remarques
LS	62		20	60	10	-	tr	Alumines ?
	63		30	50	10	-	-	
	66		30	55	tr	tr	++	
	67		35	45	5	tr	++	
	69		25	60	tr	5	+++	
	610		25	60	tr	5	+++	
	611		30	60	tr	5	+++	
	612		30	60	tr	tr	tr	
	615		30	60	tr	tr	++	
	616		30	60	tr	tr	tr	
	618		15	65	10	tr	++	
619		25	55	5	tr	+++		
moyenne			30	60	5	tr	++	
HB	82	6	20	55	20	-	-	Alumines ?
	83	6	20	55	20	-	-	
	86	2,5	25	50	15	-	tr	
	811	8,5	20	50	20	-	-	
moyenne			20	50	20	-	-	Analyses insuffisantes
	61	5	20	65	tr	-	tr	traces gypse
	64	10,5	20	75	tr	-	?	
	65		25	60	5	-	tr	
	68	8	25	55	tr	-	++	
	613	15	20	60	5	tr	++	
	614	12,5	15	75	tr	-	++	
	617		30	65	tr	-	tr	
	620	8	25	70	-	-	++	
76		20	65	5	-	+++		
moyenne			20	65	tr	-	+	

RESULTATS COMPARÉS POUR LES ECHANTILLONS AYANT SUBI DIVERSES ANALYSES

N° Ech.	ROCHE TOTALE				Fraction argileuse		LIMITES		GRANULOMETRIE					Paramètres calculés			CARACTERE DE LA FORMATION	
	Q %	Calc. %	F %	Phyll. %	Micas %	Illites Chlor. Parag. %	W/L	WP	Ar	d ₁₀	d ₃₀	d ₅₀	d ₆₀	Cc	Ac	k. cm/s		
62	24	16	7	50	60	40	10	32	15								solifluxion	
31	20	21	3	56				38	08								glissem. actif	
63	24	25	6	60	50	30	10	27	07								glissem. stab.	
67	24	35	6	66	45	35	5	40	11								glissem. actif	
32	23	8	3	62				27	08								"	
69	30	25	6	61	60	45	tr.	42	15								"	
610	27	4	4	65	60	25	tr.	44	13								"	
611	21	5	3	71	60	30	tr.	49	10								glissem. stab.	
615	26	1	7	66	60	30	tr.	44	13								solifluxion	
616	31	1	8	60	60	30	tr.	42	15								glissem. actif	
66	26	25	8	63	55	30	tr.	50	14								substatum	
612	36	55	6	52	60	30	tr.	34	07								"	
60	38	5	8	43													solifluxion	
618	32	1	8	55	65	15	-	53	19								glissem. actif	
619	40	1	7	52	55	25	-	42	09								glissem. ancien	
86	38	1	18	43				23	06	4,5	6,1	2,100	4,000	7,8	2,4	2. 10-5	glissem. ancien	
813	25	2	8	62				36	09	9	2,2	1,300	2,600	5,05	1,0	3. 10-6	coulée ancienne	
82	23	0	5	72	55	20	20	53	07	6	2,8	1,100	2,900	2,5	1,2	4. 10-6	glissem. ancien	
83	35	1	6	58	55	20	20	28	06	6	2,5	1,200	2,500	2,8	1,0	3. 10-6	glissem. actif	
84	24	15	10	64				28	06	4,5	3,3	2,000	4,350	4,2	1,3	5. 10-6	coulée ancienne	
35	16	27	4	60	65	20	5	28	05	8,5	2,5	95	1,150	4,200	0,6	0,6	3. 10-6	glissem. actif
41	42	0	6	52				27	08	4	3,1	300	1,300	2,650	10,7	2,2	5. 10-6	"
812	24	21	22	53				23	02?		8,2	430	1,600	2,700	10,4		"	"
88	22	11,5	9	54				29	06	8	3,0	400	5000	5,3	0,7	5. 10-6	"	
33	22	44	3	31				-	-								substatum	
61	44	15	7	34	65	20	tr.	-	-	5	4,7	100	650	1,300	1,68	-	1. 10-5	stable
613	33	21	5	41	60	20	5	29	09	1,5	1,0	1,7	500	1,400	0,22	0,5	5. 10-7	"
71	12	19,5	5	50				-	-	1,4	0,7	8	63	300	0,22	-	3. 10-7	glissem. actif
76	34	20	6	40	65			28	11								coulée active	
43	48	0	7	41	55	20	15	28	10	6	2,4	26	450	1,250	0,23	1,7	3. 10-6	stable
64	32	34	3	34	75	20	tr.	24	07	10,5	1,8	58	750	1,600	1,17	0,7	4. 10-6	"
614	56	16	7	21	45	15	tr.	26	08	12,5	1,3	100	510	1,100	6,3	0,6	3. 10-7	"
617	20	34	5	36	65	30	tr.	25	08								"	"
620	21	32	7	35	70	25	0	-	-	8	2,6	22	1550	4000	0,05	-	4. 10-6	"

Tableau 15

Localisation et identification des échantillons

Ech. N°	Date de prélèvement	Groupe et lieu de prélèvement	Coordonnées Lambert			Aspect général à l'affleurement	Type de mouvement	Formations d'origine
			x	y	z			
31	17.05.73	LS - 300 m à l'Est de Jarrier	912,54	338,64	980	Schistes gris foncé, très altérés ; calcichistes gris verdâtres. Matrice gris verdâtre argileuse. Quelques éléments de Q et calc.	coulée active	Glaciaire local et substratum schisteux et calcaire (Lias)
32	18.05.73	LS - 700 m au Sud de Jarrier	911,82	337,93	1045	Schistes gris foncé altérés ; un peu de Q et de calcite. Matrice schisteuse et argileuse gris brunâtre.	vieille coulée stabilisée	Glaciaire local et substratum schisteux (Lias)
62	1.06.73	LS - 200 m au NE du Corbier	908,90	334,23	1480	Schistes gris foncé à noirâtres (éclat métallique). Un peu de Q et calcite. Matrice argileuse grise.	solifluxion	Colluvions de versant
63	3.06.73	LS - 400 m au SW de Fontcouverte	910,80	334,76	1160	Schistes noirâtres. Un peu de Q. Matrice argileuse noirâtre.	glissement actif	Glaciaire local (Lias schisteux)
65	7.06.73	LS - 300 m au Sud des Anselmes	910,27	335,21	1290	Schistes altérés grisâtres à gris foncé. Quelques éléments de r. métam., Un peu de Q et de calcite, Matrice argileuse gris brunâtre.	vieux glissement stabilisé	Glaciaire local et allochtone et substratum schisteux (Lias)
66	7.06.73	LS - 400 m au SW des Anselmes	910,28	335,13	1270	Schistes gris-brun très altérés. Matrice argileuse brunâtre; un peu de Q.	coulée active	Glaciaire local (Lias schisteux)
67	7.06.73	LS - 500 m au NE de Villarembert	909,80	335,17	1290	Schistes gris à gris foncé, altérés ; matrice argileuse grisâtre.	coulée active	Glaciaire local et substratum schisteux (Lias)

69	7.06.73	LS - 400 m au SE du Corbier	909,35	333,70	1420	Schistes gris à noirâtres, très altérés, Matrice argileuse et sch. gris brunâtre importante ; un peu de Q.	glissement actif	Glaciaire local et substratum schisteux (Lias)
610	7.06.73	LS - 400 m au SE	909,34	333,60	1410	"	"	"
611	7.06.73	LS - 300 m au SE du Corbier	909,27	333,62	1460	Schistes noirâtres (éclat métallique). Matrice formée de fines plaquettes de schistes.	glissement actif	Substratum schisteux du Lias
612	8.06.73	LS - 600 m au SW du Corbier	980,40	333,48	1740	Schistes gris foncé et brunâtres altérés ; un peu de Q. Matrice argileuse gris brunâtre.	glissement ancien stabilisé	"
615	8.06.73	LS - 200 m au NE des Chalets de la Simiane (Toussuire)	909,00	336,10	1620	Schistes gris brunâtres très altérés. Matrice argileuses grise à brunâtre ; un peu de Q.	glissement ancien, stabilisé	Glaciaire local et substratum schisteux (Lias)
616	8.06.73	LS - près des Chalets de Comborrières (Toussuire)	907,20	335,00	1820	Schistes grisâtres très altérés. Matrice argileuse gris brunâtre.	solifluxion	Colluvions de versant
618	10.06.73	LS - 700 m à l'Est de la Tête du Bélard (2 234 m)	906,32	335,76	1970	Schistes gris foncé, tachés de rouille (éclat métallique). Matrice argileuse gris foncé ; un peu de Q.	solifluxion sur une coulée active	Substratum schisteux du Lias
619	10.06.73	LS - 600 m au SW de la Toussuire (piste de ski)	906,84	335,38	1940	Schistes gris clair ou gris foncé et tachés de rouille se débitant en feuillets très minces ; un peu de Q. Matrice formée de fines plaquettes de schistes.	glissement actif	Eboulis et substratum schisteux du Lias
623	12.06.73	LS - 600 m au NE de Villarembert	909,88	335,23	1290	Schistes et calcschistes gris à noirâtres non altérés en bancs discontinus exploités comme ardoises.		Schistes ardoisiers (Lias) prélevés en place (galerie)
622	4.07.73	LS - 1,3 km au N de St-Sorlin-d'Arves	905,38	333,20	2040	Schistes gris clairse débitant en feuillets et plaquettes très tendres ; ensemble assez pulvérulent. Matrice formée de plaquettes très fines de schistes.	paquet glissé de schistes ayant accompagné une coulée ancienne	Niveau de schistes pulvérulents entre des schistes ardoisiers compacts (Lias)
621	4.07.73	LS - 600 m à l'E de la Pte de l'Ouilleon (2 432 m)	905,10	333,68	2240	Schistes gris beige clair pulvérulents. Matrice formée de fine plaquettes de schistes argileux.	glissement superficiel	Eboulis et substratum formé de sch. pulvérulents (Lias)

41	9.10.73	HB - 200 m à l'E du Rocher du Peronnet (2 409 m)	923,73	340,45	2180	Schistes altérés gris clair et gris métallique, micaschistes ; un peu de Q. Matrice schisteuse gris clair.	glissement actif	Eboulis et substratum formé de schistes permien et houillers
43	9.10.73	HB - Rive droite du Torrent de St Martin	923,38	338,20	1640	Schistes gris foncés, micaschistes ; un peu de quartzite. Matrice argilo-sabieuse.		Glaciaire (cheminées de fée) formé de permien et houiller.
82	4.10.73	HB - 100 m à l'Est des Chalets de Charbutin	923,93	337,35	1490	Schistes tendres, gris clair à gris foncé, micaschistes. Matrice argileuse gris-beige.	glissement actif	Glaciaire et substratum permien et houiller
83	4.10.73	HB - 100 m au SE des Chalets de Challengette	923,86	337,34	1460	Schistes gris métallique à gris foncé, micaschistes ; un peu de quartz. Matrice argileuse gris-beige foncé.	glissement actif	Glaciaire et substratum formés de Permien et surtout Houiller
84	4.10.73	HB - 250 m au SE de St-Martin-de-la-Porte (Eglise)	922,88	334,54	815	Schistes altérés et micaschistes gris brunâtre ; un peu de Q et calcite. Matrice argileuse brunâtre.	coulée très ancienne	Glaciaire formé de Houiller et d'un peu de Permien
86	9.10.73	HB - Rive gauche du Torrent de St Martin	923,46	338,00	1550	Schistes gris et gris clair, micaschistes. Matrice argileuse et schisteuse gris clair.	coulée ancienne stabilisée	Glaciaire formé de Permien et Houiller
813	21.10.73	HB - 30 m à l'E de la vieille Tour (St-Martin-de-la-Porte)	922,82	334,38	805	Paquets, feuillets et plaquettes de schistes très altérés, gris à gris brunâtre ; éléments de schistes, micaschistes et calc. arrondis. Matrice argileuse brunâtre.	coulée très ancienne	Glaciaire divers
33	30.06.73	F - 300 m au Nord du Coin du Château (2 370 m)	917,65	345,30	2310	Bancs de calcaires gréseux, calcschistes micaschistes et schistes argileux se débitant en plaques et feuillets ; filons de calcite et de quartz.	affaissement ± actif	Base du Flysch calcaire
35	13.10.73	F - 800 m au NW de Villarclément	917,50	338,12	930	Micaschistes et grès durs gris-beiges, schistes gris clair à gris foncé. Matrice argileuse gris-beige clair.	glissement récent ± stabilisé	Eboulis au pied d'une falaise de Flysch
42	19.10.73	F - 1 km au SW de Montdenis	918,25	338,50	1370	Calcschistes et micaschistes gris à gris foncé (cassure) se débitant en dalles et feuillets parallélépipédiques. Matrice schisteuse gris-beige.	glissement de versant actif	Eboulis et substratum formés de Flysch
88	12.10.73	F - 300 m au Sud du Bochet, Route de Montricher	919,24	334,84	850	Schistes gris clair à gris foncé ; grès fins, calcaires détritiques gris-beige. Matrice argileuse gris-beige foncé.	glissement récent ± actif	Glaciaire, éboulis formé de Flysch schisto-gréseux

61	31.05.73	Q - 300 m au SE des Chalets de la Simiane	908, 98	335, 72	1630	Grès gris à gris-beige clair, schistes gris foncé, brèches ocre, quartz, calcite. Matrice grise, sableuse.	Glaciaire
64	2.06.73	Q - 150 m au SW de Fontcouverte	910, 97	334, 78	1160	Calcaires et calcschistes ; quartz et calcite. Matrice argilo-sableuse.	Glaciaire ; niche d'arrachement
68	7.06.73	Q - 300 m au SW de Villarembert	909, 37	334, 46	1310	Schistes gris foncé, grès grisâtres ; quelques éléments de roches métamorphiques ± arrondis, calcaire, quartz. Matrice argilo-sableuse brunâtre.	Glaciaire
613	8.06.73	Q - 100 m au N de La Rochette (Eglise)	910, 24	336, 08	1435	Calcaire gréseux gris clair à gris-beige foncé, brèches brun jaunâtre, schistes et un peu de quartz et calcite. Matrice argileuse brunâtre.	Glaciaire
614	8.06.73	Q - 400 m au NW de La Rochette	909, 92	336, 38	1517	Calcaires et grès gris à gris clair ; un peu de schistes, brèches brun-roux ; gros blocs de grès et conglomérats tectonisés et disloqués. Matrice jaunâtre ± sablo-argileuse.	Glaciaire
617	8.06.73	Q - Route du Corbier à la Toussuire, vers la cote 1622.	908, 35	334, 96	1600	Schistes gris à gris foncé, gros blocs de roches métamorphiques arrondis. Matrice argileuse grise à jaunâtre ± gorgée d'eau.	Glaciaire
620	6.07.73	Q - 1 km au SW de Fontcouverte	910, 46	334, 25	1070	Calcaires et calcschistes gris foncé ; un peu de grès gris et de dolomie blanche altérée, quelques éléments de quartz et calcite. Matrice argileuse gris foncé.	Glaciaire
71	7.06.73	Q - 500 m au SE de St Pancrace	913, 36	337, 25	720	Calcaires gris, gris-beige et gris foncé ; dolomie très altérée, blanche un peu de quartz et de calcite. Matrice argileuse gris-beige à jaunâtre.	Glaciaire, Eb et substratum formé de Lias calcaire et Trias
72	7.06.73	Q - 400 m au SE de Fontcouverte (Eglise)	911, 64	334, 68	1035	Schistes et calcschistes gris foncé à gris jaunâtre ; quelques éléments de grès gris et de roches métamorphiques arrondis. Matrice sableuse beige jaunâtre ± gorgée d'eau.	Glaciaire
73	7.06.73	Q - 700 m au N de Fontcouverte (Eglise)	911, 55	335, 61	1120	Calcaires et calcaires marneux, grès, micaschistes ± arrondis ; plaquettes de schistes et quelques éléments de gypse. Matrice gris-beige argilo-sableuse,	Glaciaire

74	9.06.73	Q - 900 m au N d'Albiez-le-Vieux (Eglise)	914,46	333,04	1330	Éléments arrondis de grès, calcaires et roches métamorphiques. Matrice grise à brunâtre, argilo-sableuse.	peut glissement très récent	Glaciaire
75	9.06.73	Q - 800 m au NE d'Albiez-le-Vieux	915,14	332,38	1410	Blocs anguleux de schistes gris foncé et de calcaires gris-beige. Matrice argilo-sableuse gris foncé.	glissement superficiel	Glaciaire
76	9.06.73	Q - 300 m au SW de Bonvillard	914,90	333,18	1250	Argile compacte, noirâtre mouillée, gris métallique sèche ; forme des paquets au niveau du torrent sous des épandages fluvioglaciaires.	coulée ancienne ± stabilisée	Argile glaciaire
77	9.06.73	Q - 800 m au NE d'Albiez-le-Vieux	915,18	332,53	1370	Schistes noirâtres, calcaires détritiques gris foncé et gris beige. Matrice argilo-sableuse grise.		Glaciaire ; cheminée de fée
78	9.06.73	Q - 800 m à l'E d'Albiez-le-Vieux	915,26	332,17	1500	Schistes gris foncé, calcaires détritiques gris à gris jaunâtre. Matrice argilo-sableuse grise foncée.	vieille coulée stabilisée	Glaciaire local
710	9.06.73	Q - 400 m au Sud d'Albiez-le-Jeune	915,13	334,38	1380	Éléments arrondis de roches métamorphiques et grès ; quelques éléments de calcaires et calcschistes. Matrice argilo-sableuse gris jaunâtre ; lits sableux et argileux.	solifluxion sur un talus frais	Glaciaire ; lit sableux
81	23.09.73	Q - 200 m au Sud du Ritaret	925,00	328,47	1530	Éléments arrondis de roches métamorphiques, grès et calcaires ; plaquettes de schistes gris. Matrice argilo-sableuse gris clair à gris jaunâtre.	solifluxion	Glaciaire
624	16.04.74	LS - 400 m au SW des Anselmes	910,27	335,14	1280	Schistes noirâtres très altérés. Matrice schisteuse très humide.	coulée active	Glaciaire local et substratum formé de schistes (Lias)
625	16.04.74	LS - 500 m au NE de Villarembert	909,80	335,17	1290	Schistes gris foncé à brunâtres, très altérés. Matrice schisteuse et argileuse très humide.	coulée active	"
626	17.04.74	LS - 300 m au SE du Corbier (station)	909,30	333,60	1410	Schistes gris foncé, noirâtres, très altérés. Matrice schisteuse noirâtre très humide.	glissement actif	Eboulis de schistes altérés
627	17.04.74	LS - 250 m au NE des Chalets de la Simiane	909,04	336,08	1610	Schistes brunâtres, très altérés. Matrice schisto-argileuse brunâtre.	glissement ancien	Glaciaire local altéré

36	17.04.74	F - Torrent de la Ravoire				1580	Eléments de flysch gréseux, conglomératique et calcaire essentiellement ; un peu de calc. et calcschistes du Lias et du permien. Matrice argilo-sableuse, gris foncé humide, gris clair sèche.	lave d'un an, totalement indurée	Glissement de Montpascal (Eb. Gl. et flysch).
38	17.04.74	F - "				1630	" Ensemble gorgé d'eau.	lave d'1 semaine	"
37	17.04.74	F - Torrent de la Ravoire				1600	Calcaires et calcschistes noirâtres. Matrice peu importante.	front du glissement de Montpascal	Eboullis, Glaciaire et substratum formé de flysch et de Lias essentiellement.
34	17.04.74	LS - 300 m à l'E de JARRIER	912,54	338,64		980	Schistes gris foncé, éclat métallique, calcaires verdâtres. Matrice gris verdâtre très altérée.	coulée active	Glaciaire local et substratum formés de schistes et calcaires du Lias
39	17.04.74	LS - Glissement de JARRIER				1140	Schistes gris clair à gris foncé très altérés.	glissement actif	Glaciaire local et substratum formés de schistes et calcaires du Lias

B I B L I O G R A P H I E

- A.I.G.I. : Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur.
- B.L.L.P.C.: Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées.
- B.R.G.M. : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- C.N.R.S. : Centre National de la Recherche Scientifique.
- C.R.A.S. : Comptes-rendus de l'Académie des Sciences.
- L.C.P.C. : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- S.S.S.C. : Symposium National, 1973 (Cannes) : Sol et Sous-sol et Sécurité des Constructions.
- T.L.G.G. : Travaux du Laboratoire de Géologie de Grenoble.

ANCHIERRI L. (1966) - Les crues du torrent de Pontamafrey en 1965. Rev. Géol. alp., Fr., 54, n° 1, p. 15-42.

ANTOINE P., BIAREZ J., DESVARREUX P., MOUGIN J.-P. (1971) - Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Géol. alp., Fr., t. 47, p. 5-24.

ANTOINE P., BARBIER R., BARFETY J.-C., GOGUEL J., HUMBERT M., MONITION L., MOUGIN J.-P., PACHOUD A. (1973) - Cartographie systématique des mouvements de terrain sur la feuille La Grave (Hautes-Alpes). Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 11-26.

ANTOINE P., LETOURNEUR J., (1973) - Aperçu et réflexions sur les cartes géotechniques. Leur utilité pour l'aménagement de la montagne, Rev. Géol. alp., Grenoble, t. 61, fasc. 1, p. 231-245.

ARCHIMBAUD C., TOURENQ C. (1971) - La gélivité des granulats routiers. B.L.L.P.C., 51, p. 51-60.

ATLAS RHÔNE-ALPES (1973) - Institut des Etudes Rhodaniennes, Lyon, t.1.

AZIMI Ch., DESVARREUX P., 1970

AZIMI Ch., DESVARREUX P., MALATRAIT A.-M. (1972) - Etude des risques de coulées boueuses dans le torrent de la Ravoire, affluent rive droite de l'Arc (Savoie). Rapport inédit.

BARBIER R. (1948) - Les zones ultradauphinoise et subbriançonnaise entre l'Arc et l'Isère. Mém. Serv. Carte géol. France, 258 p., 62 fig. 7 pl.

- BARBIER R. (1953) - Une curieuse forme d'érosion : les entonnoirs d'ablation. T.L.G.G., t. 33, p. 183-188, 1 fig., 1 pl.
- BARBIER R. BARFETY J.-C. (1972) - Les structures Est-Ouest de la zone ultra-dauphinoise du pays des Arves (Savoie) et leur signification. T.L.G.G., t. 48.
- BARFETY J.-C., PACHOUD A. (1973) - Cartographie du glissement de Montricher-Le Bochet (Savoie), (Serv. géol. rég. Jura-Alpes). Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 187-193.
- BAULIG H. (1940) - Profil d'équilibre des versants. Ann. Géogr., p. 81-97.
- BERTHIER J. (1967) - Quatre années de recherches sur le gel : bilan-perspectives. Bull. liais. Lab. Routiers, 28, p. 1-12.
- BIAREZ J., AZIMI Ch., DESVARREUX P. (1973) - Etude des risques de formation de coulées boueuses. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 37-46.
- BLONDEAU F., PERROT A., PILOT G. (1973) - Analyse de l'expression cartographique des risques de glissement dans les argiles du Toarcien en Lorraine. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 47-59.
- BOGOMOLOV G. (1962) - Hydrogéologie et notions de géologie de l'ingénieur. Moscou, éd. de la Paix, 278 p., 134 fig..
- BOMBARD J.-P. (1968) - Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Essai méthodologique. Thèse 3e cycle, Grenoble, 264 p.
- BONTE A. (1956) - Le rôle de la géologie dans les travaux de génie civil. Ann. Ponts et Chaussées, p. 77-103.
- BORDET C. (1959) - Les modes de circulation de l'eau dans les terrains cristallins (d'après des observations en galerie), Congr. et Coll. Université de Liège, t. 14, p. 61-81.
- BORDET P. (1963) - Déformations anciennes, récentes et actuelles dans les massifs cristallins externes des Alpes françaises. T.L.G.G., 39, p. 173-198.
- BOTTERO A., GIROUD J.-P. (1972) - Influence des propriétés physico-chimiques des argiles monominérales sur leur comportement mécanique. B.L.L.P.C., 62, p. 105-117.
- B.R.G.M. (1973) - Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions, Cannes, t. 1, 387 p., t. 2, 194 p.
- CAILLEUX A., TRICART J. (1950) - Un type de solifluxion : les coulées boueuses. Rev. de Géomorph. dynam. n° 1.
- CARON B. (1973) - Présentation d'une méthode cartographique de prévision des désordres dus aux versants et aux cavités souterraines fossiles dans la région parisienne. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 78-92.
- CHAZAN W. (1974) - Le plan ZERMOS : prévision des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol et prévention de leurs effets. Ann. Mines, mars 1974, p. 37-46.

- CHAMPETIER DE RIBES G., HUMBERT M. (1974) - Travaux préliminaires à la mise en place en France d'un plan d'étude et de cartographie des risques liés aux mouvements de terrain. C.R. 2e congrès internat. de l'A.I.G.I., São-Paulo.
- CHOQUET C. (1972) - Etude géotechnique et hydrogéologique d'aménagements du canal de Provence au Nord de Toulon (Var). Thèse 3e cycle, Grenoble,
- CONEDERA C., ERCOLI A. (1973) - Méthodologies photo-interprétatives pour l'analyse de la stabilité des versants (Apennin toscan). Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 100-108.
- COTECCHIA V., MELIDORO G. (1974) - Some principal geological aspects of the landslides of southern Italy. Bull. A.I.G.I., n° 9, p. 23-32.
- LOUTARD J.-P., LAUTRIDOU J.-P. (1971) - Expériences de cryoclastie effectuées sur des roches du Briovérien (St-Lois, Coutançais). Bull. Centre de Géomorph., C.N.R.S. Caen, 10, p. 13-27.
- COUTARD J.-P., BENOIST J.-P. (1971) - Propagation du froid dans un grand échantillon de granite de Vire. Bull. Centre de Géomorph., C.N.R.S. Caen, 10, p. 31-42.
- DEMATHIEU P. (1973) - Cartographie des risques et télédétection (I.G.N.). Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 119-123.
- DERRUAU M. (1956) - Précis de géomorphologie. Masson, Paris,
- DESIO A. (1968) - Per una classificazione geologica delle frane. Liste des public. de 1907 à 1967. Rome, Accad. Nazion. dei Lincei, n° 112, p. 175-263.
- DESVARREUX P. (1971) - Recherche d'une méthode d'étude des mouvements de terrains et applications pratiques. Thèse Doct.-Ing., Grenoble, 162 p.
- DOEGLAS D.J. (1968) - Grain-size indices, classification environment. Sedimentology, 10, p. 83-100.
- DONDEY D. (1960) - Contribution à l'étude de la série cristallophyllienne et de la couverture sédimentaire de la chaîne de Belledonne méridionale (Alpes françaises). T.L.G.G., 36.
- FLOTTE J.-P., GOUNON A., GUIRAUD R., HUMBERT M., JULIAN M. (1973) - La carte géotechnique de la région Vence-Cagnes (Alpes Maritimes) et l'analyse des risques liés à des sites à forts contrastes. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 124-133.
- FOLLACCI J.-P., MENEROUD J.-P. (1973) - Les éboulements et la sécurité des routes en pays montagneux (L.C.P.C.). Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 134-139.
- FOURNEAUX J.-C., GILLET P. (1970) - La coulée des Vallois et le glissement de Roche Colombe (route du Lautaret). Rapport inédit,
- GIGNOUX M., BARBIER R. (1955) - Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques. Masson, Paris,

- GOGUEL J. (1937) - Les glissements de terrain du Sud-Est de la France. Ann. Ponts et Chaussées, Paris, p. 47-60.
- GOGUEL J. (1943) - Sur une influence possible du reboisement sur les glissements de terrain. C.R.A.S., n° 216, p. 124-125.
- GOGUEL J. (1967) - Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur. Paris, Masson, 374 p.
- GOGUEL J. (1968) - Les enseignements du glissement de Pontamafrey, Bull. B.R.G.M., (2), II, 3, p. 55-62.
- GOGUEL J., HUMBERT M. (1972) - Carte des risques géologiques pour la commune de Peisey-Nancroix (Savoie). Essai méthodologique. Ed. B.R.G.M., Orléans, 6 p., 1 carte au 1/20 000.
- GOGUEL J., PACHOUD A. (1972) - Géologie et dynamique de l'écroulement du Mont Granier, dans le massif de la Chartreuse, en novembre 1248. Bull. B.R.G.M., (2), III, 1, p. 29-38.
- GOLDSTEIN M., TER-STEPANIAN G. (1957) - Solidité durable des argiles et fluage profond des pentes. 4e Conf. Int. Méc. des sols et Trav. Fondat., p. 43-51.
- GOUNON A., MENEROUD J.-P., REY J.-C. (1973) - Stabilité des versants dans l'arrière pays niçois. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 148-160.
- GRATIER J.-P., LEJEUNE B., VERGNE J.-L. (1973) - Etude des déformations de la couverture et des bordures sédimentaires des massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux. Thèse de 3e cycle, Grenoble, 2 vol., 360 p.
- HEIM A. (1932) - Bergstürz und Menschenleben. 218 p.
- 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 au 1/20 000.
- HUMBERT M. (1972) - Les mouvements de terrains : principe de réalisation d'une carte prévisionnelle dans les Alpes. Bull. B.R.G.M., (2), III, 1, p. 13-28.
- KERCKHOVE C. (1969) - La zone du Flysch dans les nappes de l'Embrunais-Ubaye (Alpes occidentales). Géol. alp., 45, p. 5-204.
- KRYNINE D.P., JUDD W.R. (1957) - Principles of engineering geology and geotechnics, New-York, Mac Graw Hil Book Company, 730 p.
- LANDRY P. (1973) - Mesures fines des mouvements du sol par micropolygonation (C.G.G.). Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 169-174.
- LAUTRIDOU J.-P. (1971) - Le comportement au gel des schistes, grès et roches métamorphiques de l'Avranchin : le Head de St-Jean-le-Thomas. Bull. Centre de Géomorph., C.N.R.S. Caen, 10, p. 43-61.
- LAUTRIDOU J.-P. (1971) - Conclusions générales des expériences de gélifraction expérimentale. Bull. Centre de Géomorph., C.N.R.S. Caen, 10, p. 63-84.
- LETOURNEUR J. (1966) - Les mouvements du sol. Examen des facteurs géologiques de l'instabilité superficielle. Trav. lab. géol. école Mines St-Etienne, 1, 70 p.

- LETOURNEUR J., MICHEL R. (1971) - Géologie du génie civil. Paris, A. Colin, 728 p., 8 pl. coul.
- MALATRAIT A.-M. (1973) - Etude géotechnique et délimitation des zones de risques sur la commune de Seyssins (Isère). Rapport inédit.
- MAMULEA M.A. (1974) - La suffusion et l'emboisement, processus physiques qui contribuent au déclenchement des déplacements des terrains. Bull. A.I.G.I., n° 9, p. 63-68.
- MANGIN J.-P. (1973) - Localisation des glissements de versants sur les vallons fossiles. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. II, p. 183-186.
- MESSINES J. (1948) - Les éboulements dans les gypses. Inefficacité des travaux de reboisement. C.R.A.S., 226, p. 1295-1296.
- MICHEL R. (1961) - Le glissement de terrain de La Motte-Chalancon (Drôme). T.L.G.G., 37, p. 121-127.
- MILLIES-LACROIX A. (1968) - Les glissements de terrain. Présentation d'une carte prévisionnelle des mouvements de masse dans le Rif (Maroc septentrional). Maroc, Min. et Géol., 27, p. 45-54.
- MILLOT G. (1962) - Géologie des argiles. Paris, Masson.
- MONTANDON F. (1933) - Chronologie des grands éboulements alpins, du début de l'ère chrétienne à nos jours. Rev. matériaux pour l'étude des calamités, Soc. de Géogr. de Genève, n° 32, IV, p. 271-340.
- MORET L. (1943) - Les conditions géologiques des glissements de terrain de Bellevaux (Haute Savoie). Rev. Géogr. alp., XXXI, p. 423-428.
- MORET L. (1945) - Les éboulements de terrains en montagnes. Ed. de la Revue des Alpes, Grenoble, 54 p., 9 fig., 9 pl.
- MOUGIN J.-P. (1973) - Les mouvements de terrain. Recherches sur les apports mutuels des études géologique et mécanique à l'estimation de la stabilité des pentes. Thèse Doct.-Ing., Grenoble, 251 p.
- MOUGIN P. (1914) - Les torrents de Savoie. Grenoble, 1251 p.
- MOUGIN P. (1931) - La restauration des Alpes. Imp. Nat., p. 82-101.
- MÜLLER L. (1964) - The rock slide in the Vajont valley, Felsmechanik und Ingenieur geol., II/3-4, Springer Verlag, Vienne.
- ONDE H. (1938) - La Maurienne et la Tarentaise ; étude de géographie physique. Ed. Arhand, 623 p.
- PACHOUD A. (1974) - Notice explicative de la carte des risques naturels géologiques d'Ugine (Savoie). Rapp. inédit B.R.G.M., 1 carte 1/20 000 en couleurs (hors texte).
- PALAUSSI G. (1973) - Projet de cartographie simplifiée des zones instables dans les Alpes Maritimes. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. II, p. 187-191.

- PAUTRE A., SCHNEIDER B. (1973) - Les conséquences de l'avalanche rocheuse du Huascarán (Pérou, 1970) étaient-elles prévisibles ? Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 194-201.
- PERUSSET A.-C. (1974) - Les glissements de terrain superficiels. Rhéologie. Géotechnique, Prévision. Thèse de Doct.-Ing., Nice.
- POZZI R., SFONDRINI G. (1972) - Caratteri generali della franosità in provincia di Sondrio, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Milan, n° 88, 174 p., 3 cartes 1/100 000.
- ROUBAULT M. (1970) - Peut-on prévoir les catastrophes naturelles ? Paris, Presses universitaires de France, 173 p.
- RYBAR J., PASEK J., REPKA L. (1965) - Dokumentation der systematischen untersuchung der rutschungsgebiete in der Tschechoslowakei, Engineering Geology, vol. 1, n° 1.
- SHARPE C.F. (1938) - Landslides and Related Phenomena. Columbia University Press, 127 p.
- SOUCHÉZ R. (1963) - Evolution des versants et théorie de la plasticité. Rev. belge de Géogr., année 87, n° 1, p. 9-94.
- SYMPOSIUM NATIONAL (oct. 1973) - Sol et sous-sol et sécurité des constructions. Cannes, 2 tomes, 582 p.
- TACHKER Y. (1973) - Méthodes utilisées dans le département de l'Isère pour la délimitation des zones exposées à des risques naturels, Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, 1, p. 384-388.
- 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, p. 2204-2206.
- TER-STEPANIAN G. (1974) - Depth creep of slopes, Bull. A.I.G.I., n° 9, p. 97-102.
- TERZAGHI K. (1950) - Mechanism of landslides. In "Berkey volume", Application of geology to engineering practice, Geol. Soc. Amer., p. 83.
- TERZAGHI K. (1962) - Stability of steep slopes on hard, unweathered rock, Geotechnique, vol. XII, p. 251-270.
- TERZAGHI K., PECK R. (1965) - Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et au bâtiment, Paris, Dunod, 565 p.
- THOMAS A. (1973) - Détermination et cartographie des zones de risque en mécanique des sols (Ec. nat. sup. Géol., Nancy), Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 202-211.
- TOURENQ C. (1970) - La gélivité des roches. Application aux granulats. L.C.P.C., Rapp. de recherche n° 6, 60 p.
- TRESKINSKIJ S. (1959) - Estimation préliminaire de la stabilité des pentes dans la taïga montagnaise lors d'observation en avion, Prospection et protection du sous-sol, n° 8, p. 43-46.
- TRICART J. (1967) - Le modelé des régions périglaciaires, Sedes, Paris, 512 p., 127 fig.

VACHER J.-P. (1971) - Contribution à l'étude hydrogéologique du bassin de l'Isère. Thèse 3e cycle, Bordeaux.

YARNES, 1958

VERDEYEN J., ROISIN V., NUYENS J. (1968) - La mécanique des sols. Paris, Dunod, 508 p.

VOGT J. (1973) - La contribution possible d'un inventaire systématique des témoignages du passé à l'appréciation du comportement des terrains et à la prévision des "risques géotechniques". Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 212-217.

VOÏNOVITCH I.A. (19) - L'analyse minéralogique des sols argileux. B.L.L.P.C., n°

WEECKSTEEN G. (1973) - Photo-interprétation et télédétection face à certains problèmes de stabilité des terrains. Symp. Nat. S.S.S.C., Cannes, t. I, p. 218-224.

ZARUBA Q., MENCL V. (1969) - Landslides and their control. Amsterdam, Elsevier, Prague Academia, 202 p.

LISTE DES TABLEAUX

N°	Pages
1 - Températures moyennes mensuelles et annuelles pour 4 stations (1946 à 1972)	10
2 - Précipitations annuelles par station	11
3 - Précipitations moyennes mensuelles pour 5 stations (1936 à 1965) ..	13
4 - Précipitations moyennes mensuelles pour 3 stations (1963 à 1972) ..	13
5 - Débits moyens mensuels pour 4 torrents	21
6 - Evapotranspiration pour 3 stations	22
7 - Répartition des mouvements recensés sur les 8 plans directeurs St-Jean-de-Maurienne au 1/20 000	94
8 - Pente moyenne des versants affectés par un ou plusieurs mouvements.	96
9 - Pente de la zone de départ	97
10 - Situation de la zone de départ dans le versant	97
11 - Répartition des sources pérennes entre 4 situations possibles	98
12 - Répartition des mouvements suivant la lithologie	100
13 - Extension des plus grands mouvements	103
14 - Répartition du degré d'activité de 161 mouvements divers	105
<u>Annexe</u>	
15 - Localisation et identification des échantillons	195 à 200
16 - Limites d'Atterberg	179
17 - Valeurs moyennes des limites d'Atterberg par groupe d'échantillons.	178
18 - Distribution des dimensions suivant divers paramètres granulométriques	185
19 - Répartition des sables fins, limons et argiles et des Ip et WL correspondants	188
20 - Répartition générale des minéraux dans les roches totales d'après leur analyse par diffractométrie des R.X	187
21 - Répartition et caractéristiques des minéraux argileux dans 3 groupes d'échantillons	190
22 - Répartition quantitative des principaux constituants minéralogiques dans 4 groupes d'échantillons	191
23 - Répartition quantitative des valeurs moyennes dans 3 groupes d'échantillons	192
24 - Répartition quantitative des principales espèces argileuses	193
25 - Résultats comparés pour les échantillons ayant subi diverses analyses	194

TABLE DES FIGURES

N°	Pages
1 - Situation géographique de la feuille St-Jean-de-Maurienne au 1/50 000	2
2 - Schéma orohydrographique	6
3 - Variation du gradient vertical de la température	12
4 - Gradient vertical de la température moyenne mensuelle (1963-1967) .	14
5 - Gradient vertical de la température moyenne mensuelle (1963-1967) .	15
6 - Carte d'isohyètes (1963-1967)	16
7 - Profil topographique et coupe dans les isohyètes (1963-1967)	17
8 - Histogrammes de répartition des précipitations moyennes mensuelles.	18
9 - Débits moyens mensuels de l'Arc au Pont de la Madeleine	20
10 - Répartition annuelle des débits moyens mensuels du Tepey	21
11 - Répartition annuelle des débits moyens mensuels pour les torrents alpins	22
12 - Situation géologique générale	24
13 - Situation tectonique	25
14 - Unités structurales de la région	26-27
15 - Coupe transversale de part et d'autre de la vallée de l'Arc	29
16 - Coupes schématiques du Trias supérieur	31
17 - Coupes schématiques du Lias	31
18 - Coupe de l'arête nord de la Croix des Têtes	33
19 - Coupes schématiques du Flysch	33
20 - Exemple de tectonique souple représentée par la digitation de la Grande Moenda	35
21 - Carte des courants glaciaires au début du retrait würmien	41
22 - Profils transversaux des principales vallées	42
23 - Profils perpendiculaires aux grands courants glaciaires würmiens ..	43
24 - Coupe schématique de colluvions sur des schistes altérés	45
25 - Interprétation schématique du glissement d'En Brunet	56
26 - Classification des mouvements de terrains	60
27 - Schémas des divers types de mouvement	62 à 64
28 - Liste de figurés	76-77
29 - Photo-interprétation de la coulée de la Rochette	78
30 - Croquis de l'écroulement du Mont Charvin	80
31 - Fiche analytique du glissement de Jarrier	81 à 85
32 - Schéma interprétatif des mouvements de Villarembert	87

33 - Vallon du ruisseau des Combes-Col d'Arves - Cartographie interprétative des mouvements	88
34 - Répartition de 81 versants affectés par un ou plusieurs mouvements, suivant leur orientation	95
35 - Histogrammes de répartition des extensions maximales L pour 3 types de mouvement	102
36 - Histogrammes de répartition des rapports d'extension L/l par type de mouvement	104
37 - Mécanisme de formation d'un canal souterrain à partir d'un ruisseau de surface	114
38 - Glissement de l'Indrion : coupes longitudinales	116
39 - Glissement du Grand Couloir : schéma	117
40 - Coupes géologiques de la région de Montricher-Le Bochet	118
41 - Glissement de Mont-Denis : coupe longitudinale	120
42 - Glissement du Plan-Gapard : coupe longitudinale	120
43 - Glissement du Plan du Méléze : schéma de situation	122
44 - Glissement du Plan du Méléze : coupes longitudinales	122
45 - Coulée de Bonvillard : schéma	124
46 - " " : coupes longitudinales - Coupe des terrains en place	125
47 - Glissement de l'Eglise : schéma	126
48 - " " : coupes longitudinales	128
49 - " " : coupes transversales	129
50 - Glissements du Chalmieu : schéma	130
51 - " " : coupes longitudinales	131
52 - " " : coupes transversales	131
53 - Glissement du Crêt de la Feisse : 1 ^{ère} hypothèse	132
54 - " " " : 2 ^{ème} hypothèse	133
55 - Déformations dans les schistes du Lias supérieur	134
56 - Basculements et fauchages dans le Flysch des Aiguilles d'Arves	136
57 - Eroulement du Mont Charvin : schéma et coupe longitudinale	138
58 - Glissement du Crêt d'Ornon : croquis et coupe longitudinale	139
59 - Glissement du Grand Tru : schéma et coupe longitudinale	140
60 - Glissement de la Grande Chible : schéma	143
61 - " " " : coupe longitudinale	144
62 - Coulée de Saute Jarnan : schéma et coupe longitudinale	140
63 - Glissement de la Pointe de l'Ouillon : schéma	146
64 - " " " : coupes longitudinales et transversales	147
65 - Glissement de St-Sorlin-d'Arves : schéma	150
66 - " " : hydrologie et pentes	152
67 - " " : coupe transversale	154

68-

69 - Evolution hypothétique de la vallée de l'Arvan et des massifs qui constituent ses flancs entre St-Sorlin-d'Arves et le confluent du Rieu Froid 154-155

70 - Coulées du Rieu Bachard : schéma 156

71 - Coulée de la Rochette : représentation schématique des divers ensembles et coupes transversales 158

72 - Coulée de la Rochette : coupe longitudinale 159

73 - Glissements et coulées d'Albiez-le-Vieux : représentation cartographique 161

74 - Glissements et coulées d'Albiez-le-Vieux : représentation schématique des divers ensembles 163

75 - Glissements et coulées de Jarrier : schéma synthétique 165

76 - " " " : coupe longitudinale hypothétique 167

77 - Glissements et coulées des Encombres : photo-interprétation de la partie inférieure 169

Annexe

78 - Répartition des échantillons sur le diagramme de plasticité 180

79 - Morphoscopie des éléments 182

80 - Caractéristiques des courbes granulométriques - Diagramme de Doeglass 184

81 - Représentation de la fraction inférieure à 400 μ sur un triangle de répartition 186

TABLE DES MATIERES

	Pages
SOMMAIRE	1
INTRODUCTION	3
<u>CHAPITRE 1</u> <i>Caractéristiques géographiques et hydrologiques</i>	
I - CADRE GEOGRAPHIQUE	7
A - L'OROGRAPHIE	7
1 - Les vallées	7
a) La vallée de l'Arc	7
b) Les vallées secondaires	7
2 - Les unités orographiques	7
B - LES ACTIVITES ECONOMIQUES ET LE PEUPEMENT	8
1 - La vallée de l'Arc	8
2 - Les vallées secondaires	8
3 - La montagne	8
C - LA VEGETATION	9
II - LE CLIMAT	10
A - LES VENTS	10
B - LES TEMPERATURES	10
C - LES PRECIPITATIONS	11
1 - Les précipitations totales	11
2 - La neige	19
3 - Le brouillard et la brume	19
4 - Les apports occultes	19
III - L'HYDROLOGIE	19
A - L'ARC	19
B - DEBITS DE PETITS TORRENTS	20
C - L'EVAPOTRANSPIRATION	22
<u>CHAPITRE 2</u> <i>Données géologiques et géomorphologiques</i>	
I - LA GEOLOGIE	28
A - GEOLOGIE DU SUBSTRATUM	28
1 - Grands traits structuraux	28
a) Les massifs cristallins externes (zone dauphinoise) ...	28
b) La couverture des massifs cristallins externes	28
c) La zone ultradauphinoise	28

d) La zone subbriançonnaise	28
e) La zone des Gypses	30
f) La zone briançonnaise	30
2 - Stratigraphie sommaire	30
a) Le Houiller	30
b) Le Permien	30
c) Le Trias	30
d) Le Rhétien	30
e) Le Lias	32
f) Le Dogger	32
g) Le Callovien et l'Oxfordien	32
h) Le Jurassique supérieur	32
i) Le Crétacé	32
j) Le Nummulitique	32
3 - Aperçu tectonique	34
a) L'orogénèse alpine	34
b) Les divers styles tectoniques	34
c) Quelques données sur les déformations naturelles des roches	34
B - LES FORMATIONS QUATERNAIRES	36
1 - Les colluvions	36
2 - Les éluvions	37
3 - Les éboulis	37
4 - Le glaciaire	37
C - DONNEES HYDROGEOLOGIQUES SOMMAIRES	38
1 - Les roches imperméables	38
2 - Les roches perméables en petit	38
3 - Les roches perméables en grand	38
a) Les roches à perméabilité de fissures	38
b) Les roches à perméabilité de chenaux	39
II - LES CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES	39
A - ANCIENS CLIMATS ET GLACIATIONS	39
1 - Généralités	39
2 - Interprétation régionale	40
B - L'EROSION GLACIAIRE	40
1 - Les formes d'érosion	40
2 - Les formes d'accumulation	44
C - LES PHENOMENES PERIGLACIAIRES	44
1 - Le gel	44
a) Le comportement des roches au gel	44
b) L'action superficielle	45
c) L'action profonde	46
d) Conclusion sur le gel	46

2 - Le dégel et le ruissellement	46
D - L'EROSION TORRENTIELLE	47
E - LES MOUVEMENTS GRAVITAIRES	47

CHAPITRE 3 *Généralités sur les mouvements de terrain*

I - IMPORTANCE DU PHENOMENE	51
II - DEFINITION	52
III - ETUDES ANTERIEURES	52
IV - CLASSIFICATION DESCRIPTIVE	53
A - INTRODUCTION	53
B - LES CRITERES UTILISES	53
1 - Le mode de mouvement	54
2 - La complexité du mouvement	54
a) Les mouvements circonscrits, simples ou isolés	54
b) Les mouvements généralisés et/ou complexes	55
3 - La morphologie	55
4 - L'ampleur et les dimensions	55
5 - La géologie	57
6 - Le remaniement interne	57
7 - La surface de rupture principale	58
C - CLASSIFICATION	58
1 - Les mouvements circonscrits, simples ou isolés	58
a) Les écroulements	58
b) Les affaissements	59
c) Le fauchage	59
d) Les glissements	59
e) Les coulées	65
f) La reptation	66
g) La solifluxion	66
h) Les laves	66
2 - Les mouvements généralisés et/ou complexes	67
a) Les glissements de versant	67
b) Les mouvements évolués, de types divers	68

CHAPITRE 4 *Méthode de recensement et documents établis*

I - ORIENTATION GENERALE ET STADES SUCCESSIFS	71
II - COLLECTE DES DONNEES	71
A - MOYENS OFFERTS	71
1 - Documents graphiques	71
a) Cartes topographiques I.G.N.	71
b) Cartes géologiques	72
c) Photographies aériennes	72

2 - Bibliographie et archives	72
a) Bibliographie	72
b) Etudes de caractère local	72
c) Documents archivés	73
B - TRAVAUX PERSONNELS D'ANALYSE	73
1 - La photo-interprétation	73
2 - L'observation sur le terrainz.....	73
3 - Les techniques annexes	74
a) Les enquêtes	74
b) Les analyses de laboratoire	74
III - TRANSCRIPTION ET PRESENTATION DES DONNEES	74
A - GLOSSAIRE ET FIGURES	75
1 - Le glossaire	75
2 - Les figurés	79
B - LA FICHE D'ETUDE DE MOUVEMENT DE TERRAIN	79
1 - Présentation	79
2 - Mode d'emploi	79
C - L'EXPRESSION CARTOGRAPHIQUE	86
1 - Présentation	86
2 - Le dessin cartographique	86
IV - CONCLUSIONS	89
A - BILAN PRATIQUE	89
B - PASSAGE A LA CARTE DES RISQUES NATURELS	89
C - ASPECT SCIENTIFIQUE	89
<u>CHAPITRE 5</u>	
<i>Repartition et fréquence des divers types de mouvements</i> <i>Facteurs principaux de leur apparition</i>	
I - INTRODUCTION	93
II - ESSAI DE TRAITEMENT SUR ORDINATEUR	93
III - ANALYSE ELEMENTAIRE	94
A - REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE SOMMAIRE DES DIVERS TYPES	94
B - REPARTITION DES VERSANTS AFFECTES PAR UN OU PLUSIEURS MOUVEMENTS, SUIVANT LEUR ORIENTATION	94
C - TOPOGRAPHIE GENERALE	95
1 - Pente moyenne des versants affectés par un ou plusieurs mouvements	96
2 - Pente de la zone de départ	96
3 - Situation de la zone de départ dans le versant	97

D - HYDROLOGIE	98
1 - Hydrologie superficielle	98
2 - Hydrologie souterraine	98
E - GEOLOGIE	99
1 - Terrain de couverture	99
2 - Substratum	99
F - CARACTERISTIQUES PROPRES AUX MOUVEMENTS	101
1 - Dimensions	101
a) Extension maximale	101
b) Rapport d'extension L/l des matériaux déplacés	103
2 - Age	103
3 - Degré d'activité	105
G - RELATIONS AVEC L'ACTIVITE HUMAINE	106
1 - Les ouvrages	106
2 - Responsabilité des travaux dans l'instabilité des terrains	106
IV - FACTEURS PRINCIPAUX DE L'APPARITION DES MOUVEMENTS	107
A - LES DEFORMATIONS DES ROCHES	107
1 - Les déformations anciennes	107
2 - Les déformations récentes ou actuelles	107
a) Origine tectonique	107
b) Effets de la pesanteur et de la décompression	108
B - L'EAU	108
C - LA MORPHOLOGIE	109
D - LE CLIMAT	109
V - CONCLUSION	109

CHAPITRE 6 *Analyse de divers types de mouvements circonscrits, simples ou isolés*

I - INTRODUCTION	113
II - LES MOUVEMENTS AFFECTANT LES TERRAINS DE COUVERTURE	113
A - CARACTERISTIQUES SOMMAIRES	113
B - LA SOLIFLUXION	114
C - LES AFFAISSEMENTS	114
D - LES GLISSEMENTS ET COULEES	115
1 - Eboulis	115
Glissement de l'Indrion	115
2 - Eboulis mêlés au Glaciaire	119

a) Glissement du Grand Couloir	119
b) Glissement de Mont-Denis	121
3 - Glaciaire	121
a) Glissement du Plan Gapard	121
b) Glissement du Plan du Mèlèze	123
c) Coulée de Bonvillard	123
d) Glissement de l'Eglise	127
e) Glissement du Chalmieu	127
III - LES MOUVEMENTS AFFECTANT LE SUBSTRATUM	135
A - LE FAUCHAGE	135
B - LES ECROULEMENTS	135
Ecrolements du Mont Charvin	137
C - LES GLISSEMENTS	137
1 - Glissement du Crêt d'Ornon	137
2 - Glissement du Grand Tru	141
3 - Glissement de la Grande Chible	142
D - LES GLISSEMENTS ET COULEES	142
1 - Coulée de Saute Jarnan	142
2 - Glissement de la Pointe de l'Ouillon	145

CHAPITRE 7 *Analyse de mouvements généralisés et/ou complexes*

I - INTRODUCTION	151
II - LES GLISSEMENTS DE VERSANTS	151
- Glissement de St-Sorlin-d'Arves	151
III - LES MOUVEMENTS EVOLUES, DE TYPES DIVERS	157
1 - Coulée du Rieu Bachard	157
2 - Coulée de la Rochette	157
3 - Coulée d'Albiez-le-Vieux	160
4 - Glissements et coulées de Jarrier	162
5 - Coulées terminales des Encombres	168
CONCLUSIONS GENERALES	171

ANNEXE *Analyse d'échantillons au laboratoire*

I - INTRODUCTION	177
II - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE	177
III - CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES	177
A - LIMITES D'ATTERBERG ET TENEUR EN EAU	177
1 - Essais et résultats	178
2 - Interprétations	178

B - MORPHOSCOPIE DES GRAINS	181
C - GRANULOMETRIE	181
1 - Méthode	181
2 - Résultats des essais	183
3 - Représentations synthétiques des résultats	183
a) Diagramme de Doeglass	183
b) Triangle de répartition	183
IV - CARACTERISTIQUES MINERALOGIQUES PAR DIFFRACTOMETRIE DES R.X.	187
A - ANALYSE QUALITATIVE	187
1 - Roche totale : méthode de Debye et Scherrer	187
2 - Fraction argileuse : méthode des agrégats orientés	189
3 - Conclusion	189
B - ANALYSE QUANTITATIVE	189
1 - Roches totales	189
2 - Fraction argileuse	192
V - COMPARAISON DES DIVERS RESULTATS ET CONCLUSIONS	192
BIBLIOGRAPHIE	201
LISTE DES TABLEAUX	209
TABLE DES FIGURES	210

Vu,

Grenoble, le

Le Président de la thèse

R. BARBIER

Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

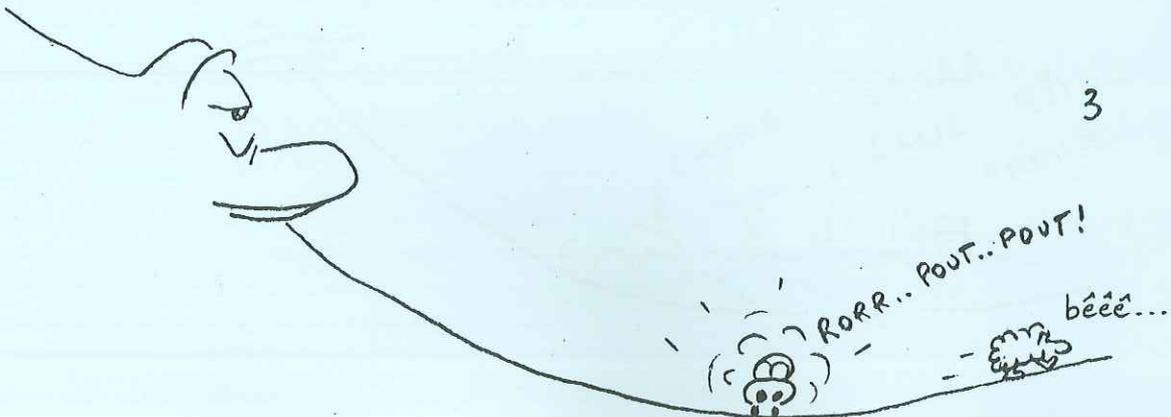
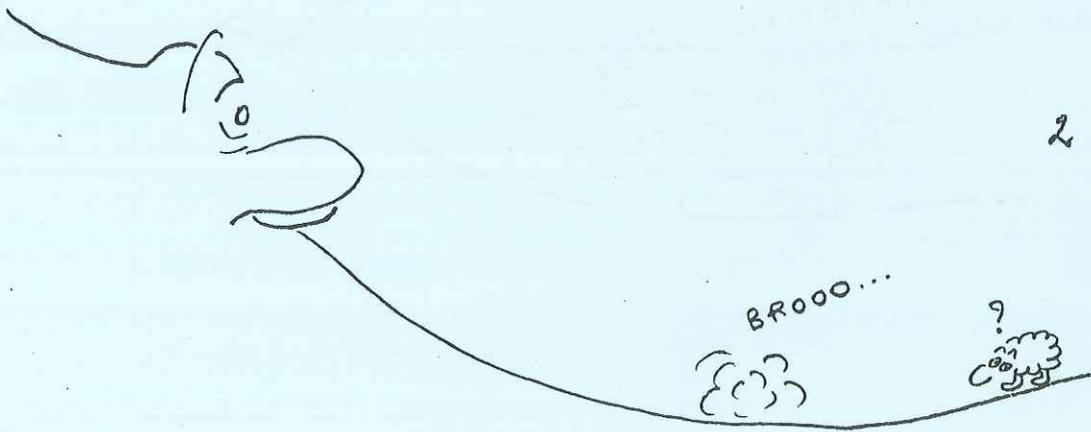
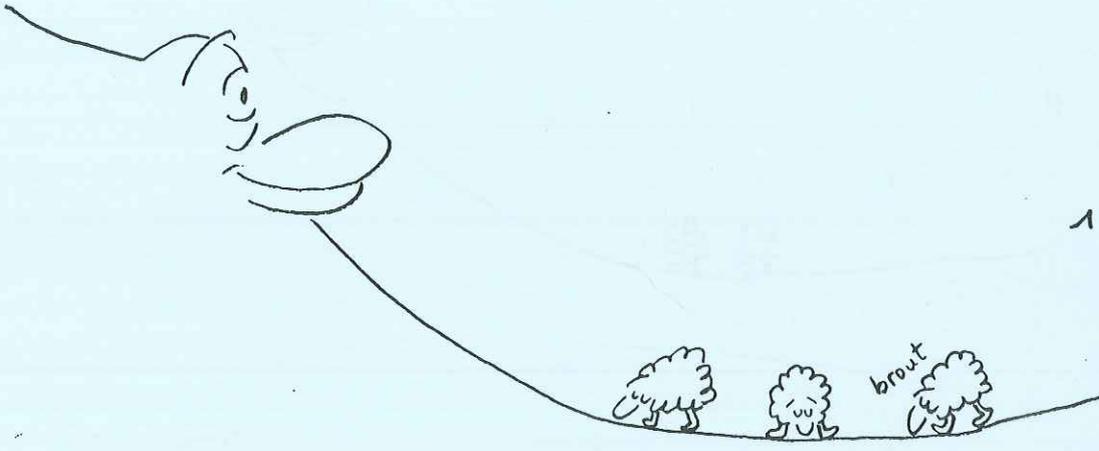
Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale de Grenoble

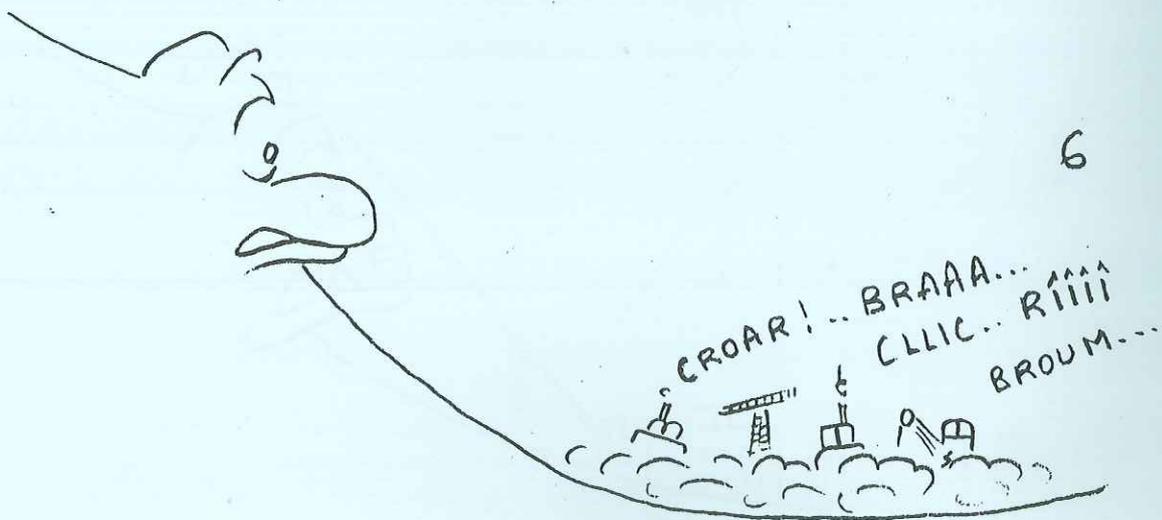
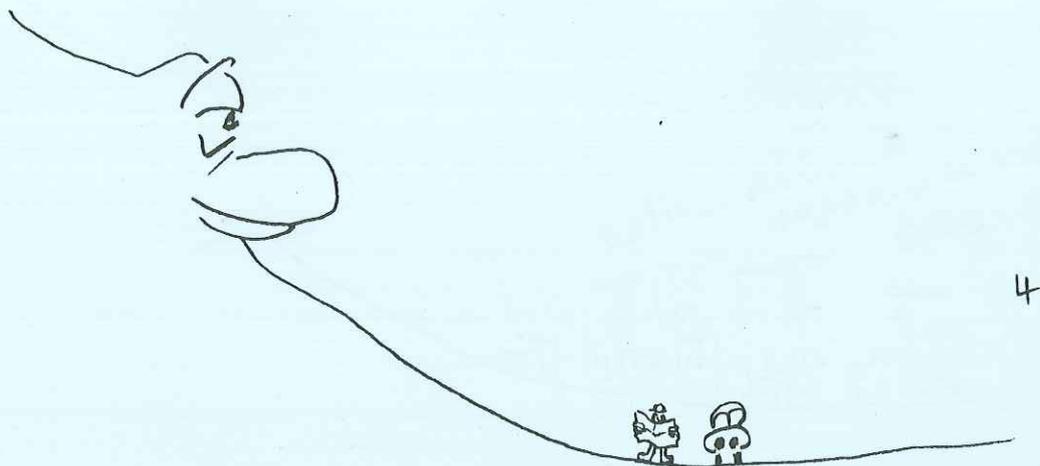
M. SOUTIF

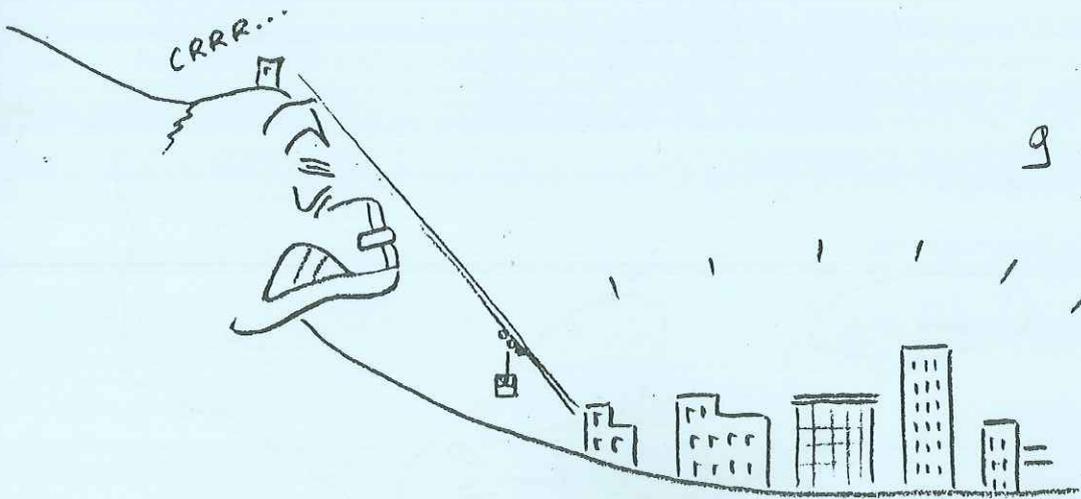
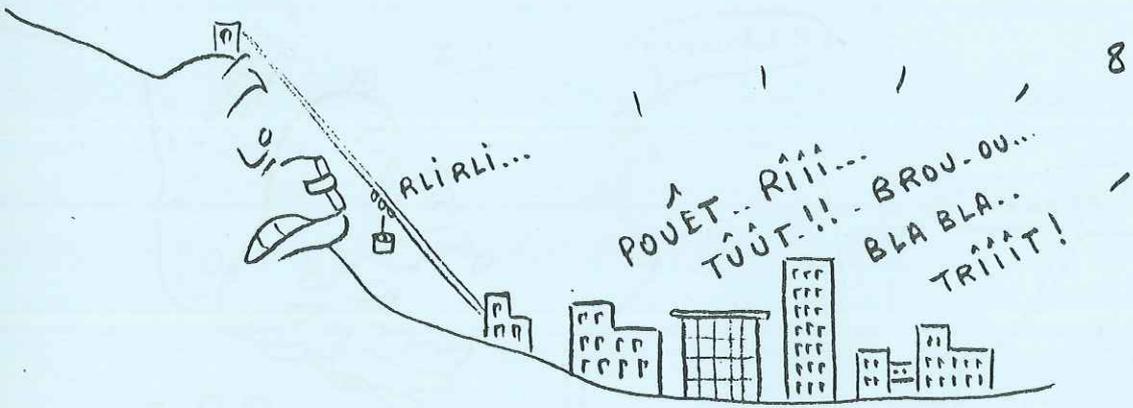
HORS TEXTE

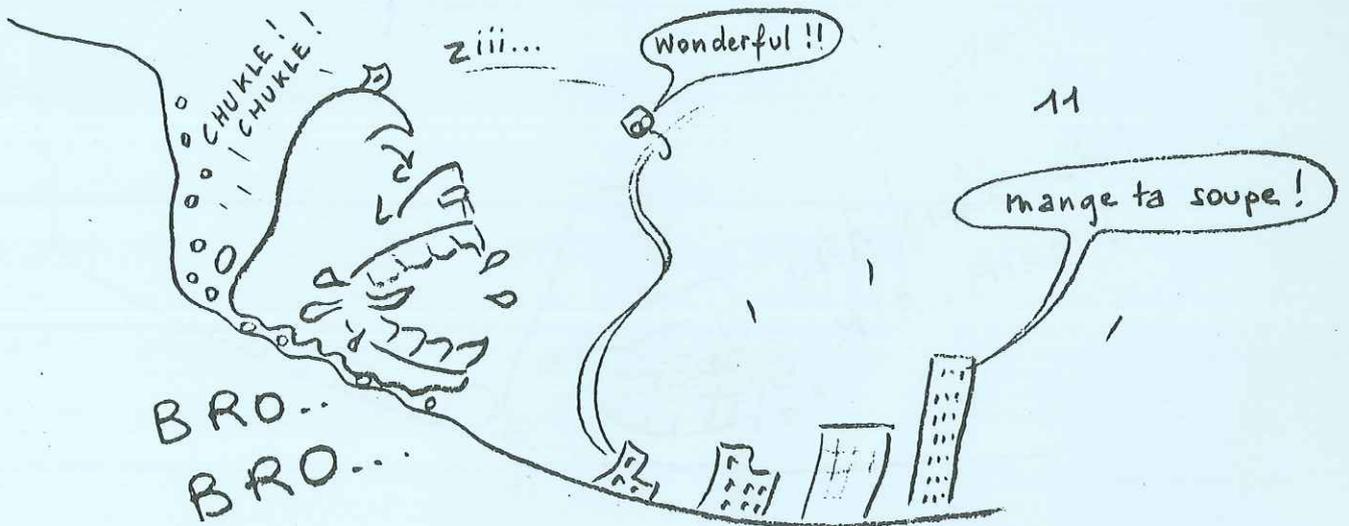
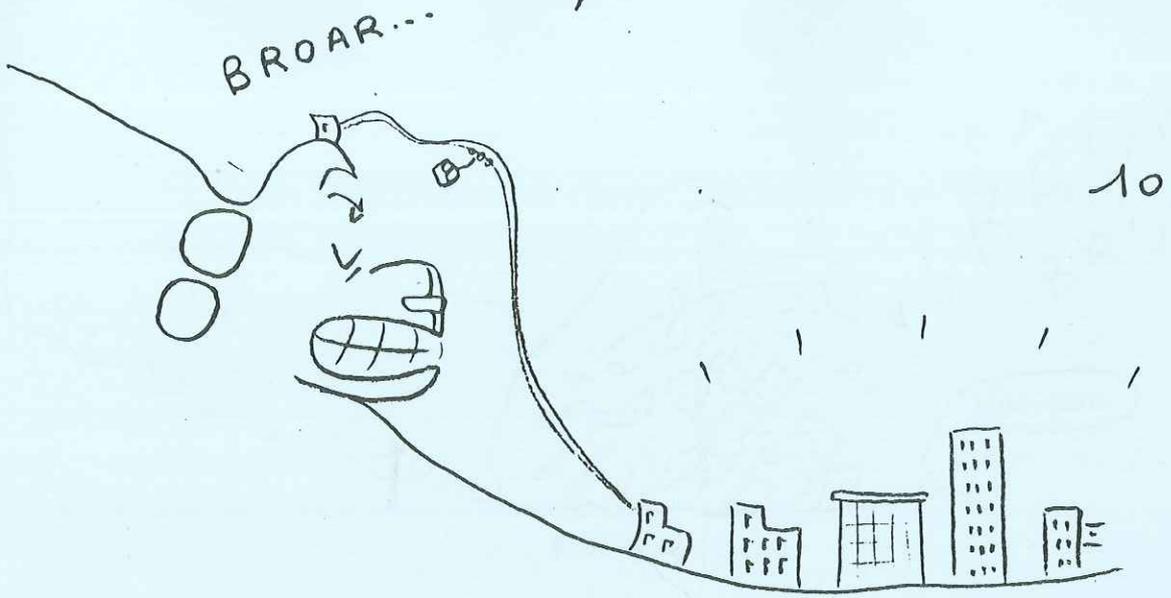
LA VIE

EN MONTAGNE !





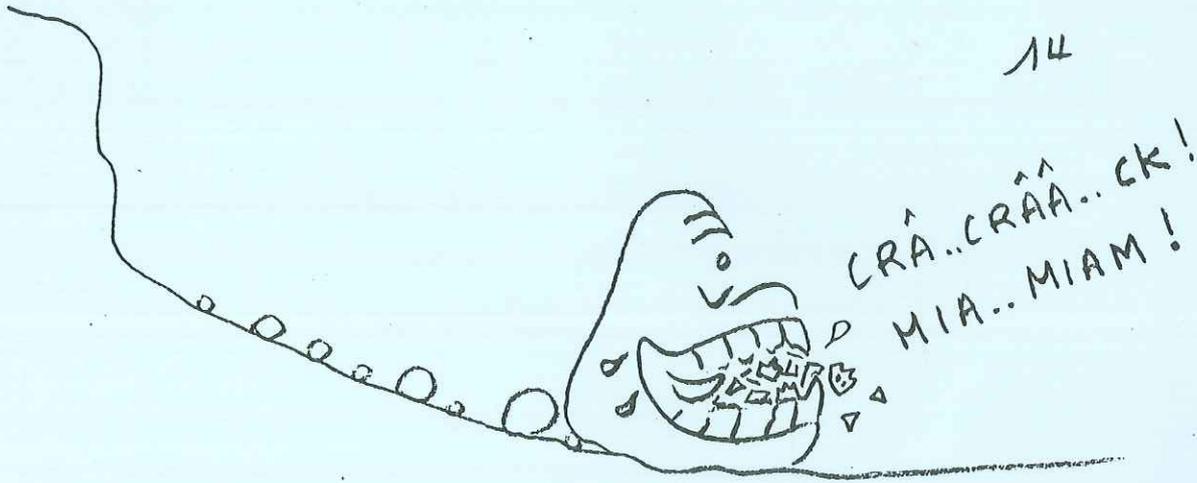




13



14



15



Ala la trait