



HAL
open science

Etude de quelques mouvements de terrain anciens dans le Haut Val d'Arly. Essai d'application des méthodes sismiques à la reconnaissance des glissements de versants

Jean Pierre Simonnet

► To cite this version:

Jean Pierre Simonnet. Etude de quelques mouvements de terrain anciens dans le Haut Val d'Arly. Essai d'application des méthodes sismiques à la reconnaissance des glissements de versants. Géomorphologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1978. Français. NNT: . tel-00510722

HAL Id: tel-00510722

<https://theses.hal.science/tel-00510722>

Submitted on 20 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 à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ EN GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Jean-Pierre SIMONNET

SUJET

**Etude de quelques mouvements
de terrain anciens dans le Haut Val d'Arly**
**Essai d'application des méthodes sismiques
à la reconnaissance des glissements de versants**

Soutenue le 18 Septembre 1978 devant la Commission d'Examen

M. R. BARBIER	Président
M. P. ANTOINE	Rapporteur
M. G. PERRIER	Examineurs
M. M. DAYRE	
M. C. AZIMI	Invité

Handwritten signature and stamp in the top right corner, possibly reading 'Flouret'.

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE SPÉCIALITÉ EN GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Jean-Pierre SIMONNET

SUJET

**Etude de quelques mouvements
de terrain anciens dans le Haut Val d'Arly**
**Essai d'application des méthodes sismiques
à la reconnaissance des glissements de versants**

Soutenue le 18 Septembre 1978 devant la Commission d'Examen

M. R. BARBIER	Président
M. P. ANTOINE	Rapporteur
M. G. PERRIER	Examineurs
M. M. DAYRE	
M. C. AZIMI	Invité

A ma mère ,
à la mémoire de mon père,

à Christine.

Je tiens à remercier très sincèrement toutes les personnes
qui de près ou de loin m'ont aidé, scientifiquement, moralement ou
matériellement, à mener à bien ce travail.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
<u>CHAPITRE I. INTRODUCTION, BUT DE L'ETUDE</u>	1
A. CADRE GEOLOGIQUE	3
1. Orohydrographie	5
2. Climat	5
a) Les précipitations	
b) Les vents	
c) Les températures	
3. La végétation	7
4. Hydrologie	8
5. Activité économique	8
B. GEOLOGIE LOCALE	9
1. Stratigraphie, sommaire de la zone étudiée	9
2. Aperçu tectonique	11
3. Formations quaternaires	13
a) Les tufs	
b) Les formations d'origine glaciaire	
c) Les cônes de déjection	
d) Les éboulis	
e) Les produits d'altération des pentes	
f) Les terrains glissés	
C. GEOMORPHOLOGIE	15
1. Glaciations et érosion glaciaire	15
2. Phénomènes périglaciaires	16
3. Erosion torrentielle	16
<u>CHAPITRE II. COLLECTE DES DONNEES - ETUDE PRELIMINAIRE</u>	19
A. MOYENS OFFERTS	19
1. Bibliographie	
2. Cartes topographiques	
3. Cartes géologiques	

	<u>Page</u>
B. TRAVAIL PERSONNEL D'ANALYSE	20
1. Photo interprétation	
2. Carte des pentes	
3. Observations de terrain	
a) Lever géologique	
b) Report des matières de glissement	
c) positionnement des profils	
C. PRINCIPALES HYPOTHESES DE TRAVAIL	22
1. Versant rive droite	
a) Observations générales	
b) Le grand glissement ou écroulement de Sciozier	
2. Versant rive gauche	
3. Conclusion.	
<u>CHAPITRE III. ETUDES SISMIQUES</u>	27
A. MATERIEL	27
B. PRINCIPES DE BASE DES METHODES SISMIQUES	27
C. CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE	29
D. SUJETIONS D'EMPLOI DE CE MATERIEL	29
F. PROFILS SISMIQUES	29
1. Choix des profils	
2. Position des profils	
F. CONDITIONS DE TRAVAIL	31
G. APPLICATION ET METHODES D'INTERPRETATION SISMIQUE DANS L'ETUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN	34
1. Méthode d'interprétation utilisée	
2. Profils systématiques d'étalonnage des vitesses sismiques in situ	
a) Etude du Lias	
b) Les micaschistes	
c) Le Trias	
d) Essai de mesure des vitesses sismiques en laboratoire sur un échantillon de schiste liasique.	
<u>CHAPITRE IV. ETUDE APPROFONDIE DE LA RIVE GAUCHE</u>	47
A. OBSERVATIONS DETAILLEES DE TERRAIN	47
B. SONDAGES MECANIQUES	47
C. ESSAIS DE LABORATOIRE	49
1. Prélèvement sondage F ₂	
2. Essai d'analyse des Joints du Lias des Evettes	

	<u>Page</u>
D. ETUDES SISMIQUES DE RIVE GAUCHE	51
E. CONCLUSIONS A L'ETUDE DETAILLEE DE LA RIVE GAUCHE	62
F. ETUDES COMPLEMENTAIRES SOUHAITABLES	65
1. Etude du glissement des blocs de Lias	
2. Les mouvements	
3. Problèmes posés par le profil sismique n° XV	
4. Prélèvement F ₂	
<u>CHAPITRE V. ETUDE APPROFONDIE DU GLISSEMENT DE SCIOZIER</u>	67
A. ETUDE DE LA PARTIE BASSE	67
1. Morphologie	
2. Géologie	
3. Hydrogéologie	
4. Sondages mécaniques	
5. Etudes sismiques	
B. ETUDE COMPLEMENTAIRE DE LA FALAISE	73
1. Géologie	
2. Structure	
3. Risque lié à la falaise	
C. ESSAI DE MODELISATION - APPROCHE D'UN CALCUL DU FACTEUR DE SECURITE INITIAL ET ACTUEL	75
1. Méthode de calcul choisie	
2. Hypothèses de calcul du "glissement" ancien	
3. Résultats	
4. Conclusions	
5. Estimation du risque actuel	
D. CONCLUSIONS A L'ETUDE DU "GLISSEMENT" DE SCIOZIER	79
<u>CHAPITRE VI. CONCLUSIONS A L'ETUDE DU VAL D'ARLY</u>	81
A. DONNEES ACQUISES	81
1. Etalonnage des vitesses sismiques	
2. Epaisseur des formations glissées	
3. Présence de matériaux "liquides" en profondeur	
4. Confirmation de l'existence d'un ancien mouvement dans le secteur de Sciozier	
5. Falaise actuelle	
6. Données nouvelles sur l'ombilic de Praz/Arly	

	<u>Page</u>
B. RAPPORTS AVEC L'HISTOIRE GLACIAIRE	85
C. PROJETS D'ETUDES COMPLEMENTAIRES	88
D. PROBLEMES LIES A L'AMENAGEMENT	89
<u>PLANCHES PHOTOS</u>	90
<u>ANNEXE</u>	97
Géologie	
Conditions d'exécution	
Résultats	
Conclusions	
Hodochrones	
<u>POST FACE</u>	107
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	109
<u>HORS TEXTE: Principaux sismogrammes.</u>	

C H A P I T R E I

INTRODUCTION, BUT DE L'ETUDE

Ce travail fait suite à une série de thèses de 3e Cycle concernant l'étude des glissements de terrain, commencée en 1968 par J.P. Bombard. Depuis, ce thème de recherche a été approfondi par le laboratoire dans diverses directions.

L'étude de la géométrie et de l'évolution des glissements est entreprise en 1971 par Pierre Desvarreux qui propose des moyens économiques de surveillance des mouvements. Plus tard, M. Amini effectue un essai d'application des méthodes sismiques aux glissements de terrain actifs.

Les études régionales à caractère statistique (établissement d'un fichier de mouvements ont permis de préciser les conditions d'exécution des cartes de risques naturels (A.M. Malatrait, A. Légier).

Dans cette ligne générale, l'équipe de géologie-géotechnique de l'I.R.I.G.M. s'attache tout particulièrement à "l'estimation des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol" en essayant de trouver les moyens propres à résoudre certaines difficultés pratiques apparues, notamment lors de la confection des cartes Z.E.R.M.O.S.

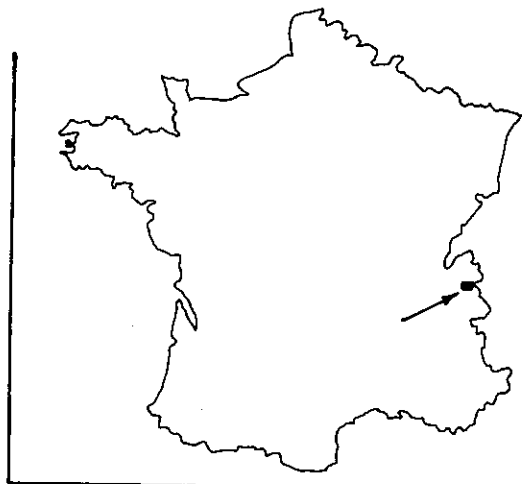
Un projet d'aménagement touristique, en rive gauche de l'Arly entre Flumet et Praz, attira notre attention, d'une part sur les risques que pouvaient présenter d'éventuels aménagements dans ce secteur, et, d'autre part, sur le caractère limité d'une étude fondée sur le seul examen géologique "classique" dans ce contexte.

Devant les questions posées : existence, profondeur, et nature des terrains remaniés, c'est la prospection sismique qui parut la méthode de reconnaissance la mieux adaptée.

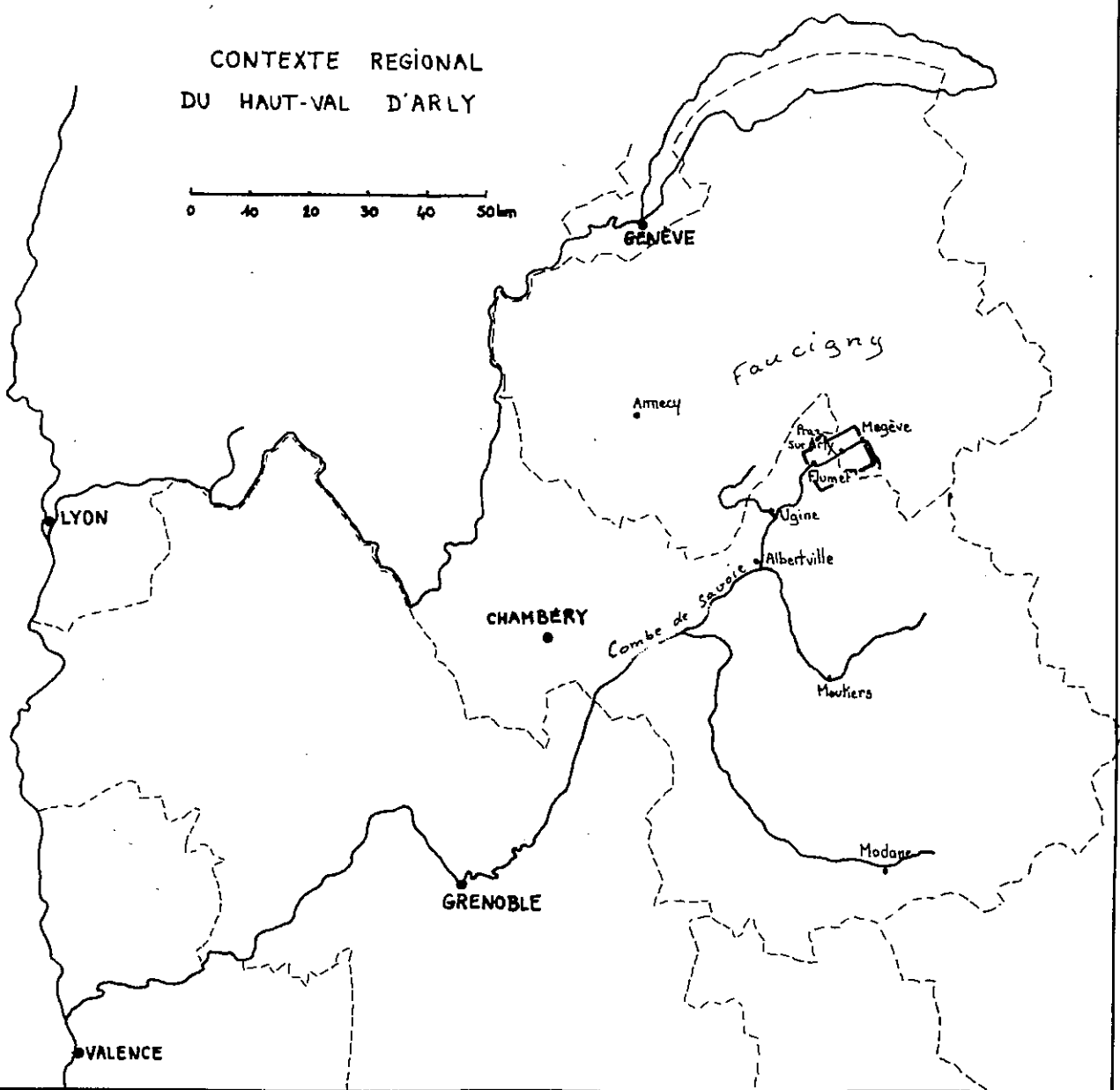
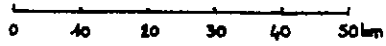
2
SITUATION DU HAUT-VAL D'ARLY
EN FRANCE



Fig. 1.



CONTEXTE REGIONAL
DU HAUT-VAL D'ARLY



Le but de ce travail fut, dans un premier temps, de réaliser par les méthodes habituelles un inventaire des glissements de terrain anciens et actuels de la vallée de l'Arly.

Devant la fréquence des mouvements gravitaires de cette région, le caractère diffus des indices, les difficultés de mise en oeuvre du matériel, les limites géographiques de l'étude furent réduits afin de pouvoir affiner les principes de travail sur un nombre restreint de cas.

J'ai d'abord effectué un lever géologique aussi précis que possible afin de positionner judicieusement les profils sismiques compte tenu des problèmes annexes (bruits de fond, habitations, etc...). L'étude sismique qui suivit fut de loin le travail le plus long. Les résultats obtenus permirent de préciser ou de découvrir des phénomènes inattendus. Ainsi puis-je ensuite proposer un modèle de gènèse de cette vallée.

Les conditions particulières d'étude des mouvements anciens par les méthodes sismiques m'ont conduit à les comparer avec l'étude sismique d'un glissement actif pour tirer quelques leçons de l'emploi des méthodes sismiques dans ce contexte.

Cette étude, à caractère fondamental, a été conduite sans apport financier extérieur avec les seuls moyens des laboratoires universitaires, la nouvelle structure de l'I.R.I.G.M. favorisant, techniquement, une telle étude interdisciplinaire.

Une étude complète de grand glissement actif présentant un intérêt pratique, réalisé parallèlement, permet, en guise de rappel, de juger de la différence "d'esprit" entre les deux types de travaux.

A. CADRE GEOGRAPHIQUE

Aux confins des deux Savoies, la haute vallée de l'Arly, entre le Beaufortin occidental et le massif des Bornes, constitue une véritable "région" naturelle. Vallée suspendue à une altitude moyenne de 1 200 m, elle relie le Faucigny par la cluse de Megève au Nord-Est, à la Combe de Savoie au Sud-Ouest par des gorges étroites et encaissées de l'Arly, entre Flumet et Ugine (figure 1).

La zone étudiée qui ne couvre qu'une portion du Haut Val d'Arly est essentiellement résidentielle et agricole. Le développement touristique des communes de Megève

Praz/Arly-Flumet restant le principal moteur de l'activité de cette région.

1. Orohydrographie

Orientée NE-SW, la Haute Vallée de l'Arly est encadrée au NW par les premiers contreforts de la chaîne des Aravis (Signal du Sac, Tête du Toret, montagne de Christomet) et au SE par les derniers chaînons liasiques reposant sur les massifs cristallins externes (les Evettes, Rochebrune, Mont d'Arbois).

Cette vallée possède un réseau hydrographique simple ; l'Arly, torrent principal, qui s'écoule du NE vers le SW, est alimenté par des ruisseaux affluents qui lui sont sensiblement perpendiculaires (figure 2).

L'Arly, dont le cours s'est encaissé jusqu'aux micaschistes au niveau de Panloup et Flumet, a comblé peu à peu le lac d'ombilic créé au niveau de Praz (voir Chapitre Conclusion). L'activité érosive de l'Arly dans cette portion de son cours est essentiellement le déblaiement des matériaux apportés par ses affluents. Ce n'est plus le cas en aval de Flumet où il devient lui-même un agent d'érosion que redoutent les services de l'équipement chargés de l'entretien de la route N212.

2. Climat

a. Les précipitations

L'altitude moyenne élevée de cette vallée jointe à son orientation en font une région fraîche, abondamment arrosée.

Le maximum des précipitations s'observe à Flumet où il tombe en moyenne 1600 m/m d'eau par an, tandis que Megève n'en reçoit que 1300 m/m.

Malgré une prédominance des fortes pluies d'été, le Haut Val d'Arly est toujours très enneigé l'hiver car les minima de précipitations sont peu accusés. Il tombe en moyenne 5 m de neige par hiver à Megève (figure 3).

Connaissant le rôle de l'eau dans les phénomènes de glissements de terrain, nous pouvons déjà conclure que nous nous trouvons dans une zone hydrologique favorable aux mouvements. Par contre, l'épaisseur de la couverture neigeuse réduit les phénomènes liés au gel et les mouvements de surface qui lui sont liés. Le flux froid ne péné-

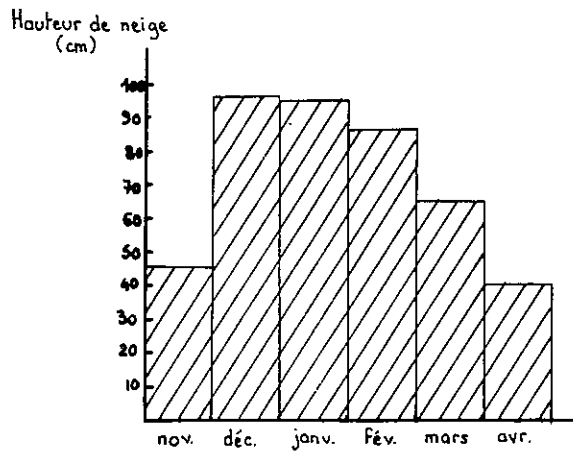


Fig 3 . Histogramme des hauteurs de neige moyennes mensuelles, calculées sur 20 hivers (1957/1958 à 1976/1977) à Megève (1113 m) . d'après Bull. Clim. Ann. H^{te} Savoie 1976.

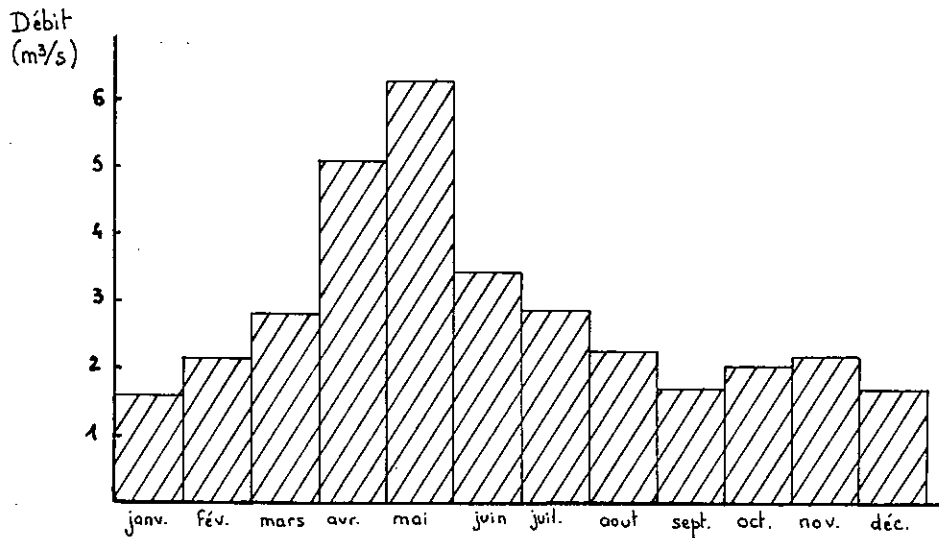


Fig 4 . Histogramme des débits moyens mensuels de l'Arly, calculés sur 8 années (1957-1964), au pont de la Frassette à Flumet (bassin versant : 80,4 km²) d'après documents E.D.F.

trant pas dans le sol, il n'y a généralement pas constitution de gélisol.

b. Les vents

La bise, vent du nord, est le vent dominant, avec les vents de SW ; tous deux apportent les précipitations en Val d'Arly.

A côté de ces vents principaux, citons aussi le foehn chaud et sec qui souffle ici du sud et la brise de vallée qui est sensible surtout en été par temps clair.

c. Les températures

La mauvaise exposition des terrains de rive gauche, l'altitude, la fréquence des vents du nord, l'abondance des précipitations font du Haut Val d'Arly une région au climat frais.

L'hiver dure généralement de mi-novembre à mi-avril. Durant cette période, les amplitudes diurnes de température peuvent atteindre des valeurs de l'ordre de 40° (+20° -20°).

3. Végétation

Le climat humide et frais favorise les forêts et les prairies.

Le bois est resté longtemps la grande richesse des communes du Haut Val d'Arly. Jadis "exporté" par flottage vers Ugine ou Albertville, il représente encore aujourd'hui un capital important pour les communes.

Il s'agit essentiellement d'épicéas, 50 à 90 % de la superficie boisée, de sapins et de hêtres; on trouve ça et là quelques pins et mélèzes.

Longtemps, le bois a fait l'objet d'une exploitation modérée, la demande étant faible, les moyens d'abattage réduits et les communications difficiles. Cette situation persista jusqu'au début des années 1960.

A cette date, la demande augmentant, il devenait intéressant de vendre plus pour investir dans la nouvelle industrie, le tourisme d'hiver.

L'abattage d'une forêt, créant un espace disponible pour le ski permettait aussi de trouver rapidement une partie au moins des disponibilités nécessaires au financement.

Cette situation a favorisé une forte exploitation de la forêt contre laquelle on s'élevait jadis : "L'exploitation des bois est une grande richesse pour le Haut Val d'Arly : aussi tâche-t-on de la développer par un meilleur aménagement qui évite les coupes blanches, trop souvent destructrices du sol même..." (H. Putz, 1934).

Les essences végétales rencontrées en Val d'Arly sont peu profondément enracinées (environ 1 m), la protection du sol est uniquement assurée par la densité de la forêt. Il suffit de dénombrer en bordure des forêts les arbres basculés par le vent pour s'en convaincre. Dans ces conditions, la déforestation intense des secteurs voués au ski n'est pas sans danger pour la stabilité des sols.

4. Hydrologie

Débits de l'Arly.(figure 4)

L'absence de dominante dans le régime des précipitations (figure 4), d'après documents E.D.F., a permis à H. Putz de le qualifier de type alpin de transition.

Il est intéressant de noter que la raideur des pentes du bassin versant, jointe à l'imperméabilité des roches qui le constituent donnent à ce torrent un régime très irrégulier, conséquence d'un "temps de réponse" très bref : l'examen du tableau des valeurs moyennes quotidiennes permet aisément de s'en rendre compte. Ainsi on enregistre en décembre 1965 un débit maximum instantané de $35 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que la moyenne mensuelle est de $18 \text{ m}^3/\text{s}$.

La très violente activité érosive de l'Arly dans les gorges en aval de Flumet explique l'absence de mesures sur le nouvel emplacement de la station limnimétrique. Placée à la cote 545 NG, elle est systématiquement détruite par la rivière.

5. Activité économique

La situation géographique particulière du Haut Val d'Arly en fit longtemps une zone économiquement isolée.

La réalisation historique et laborieuse de la route d'Héry, puis de la route des gorges permit une ouverture sur la Combe de Savoie et créa une voie de communication importante entre la vallée de l'Isère et de l'Arve ainsi qu'avec les villes du Faucigny.

Longtemps orientée sur le commerce du bois, la vallée de l'Arly, dépourvue d'industries anciennes, cherche son développement dans le tourisme estival et hivernal. L'extension des voies de communication et des équipements verra donc à l'avenir les aménageurs confrontés avec des problèmes de stabilité de pentes.

B. GEOLOGIE LOCALE

Les dimensions réduites du terrain étudié ne prennent en considération qu'une série géologique très limitée. Les informations ci-après ont été tirées du mémoire de doctorat d'état de J. Rosset (1954) et de la carte au 1/50 000 feuille St-Gervais.

Pour les besoins du présent travail, j'ai levé une carte géologique d'extension limitée, au 1/10 000, qui précise les contours du 1/50 000.

Le secteur étudié, entièrement inclus dans la "zone dauphinoise" (figure 5), se situe au contact entre les massifs cristallins externes et leur couverture, caractérisée par une tectonique souple en plis isoclinaux déversés sensiblement vers le N.W.

1. Stratigraphie sommaire de la zone étudiée

- Le socle, constitué par les micaschistes de la série satinée, forme un niveau relativement sain, très dur.

- Le Permien et le Trias inférieur, sont représentés par des quartzites et surtout des grès arkosiques (ravin des Ruppes-Blanches).

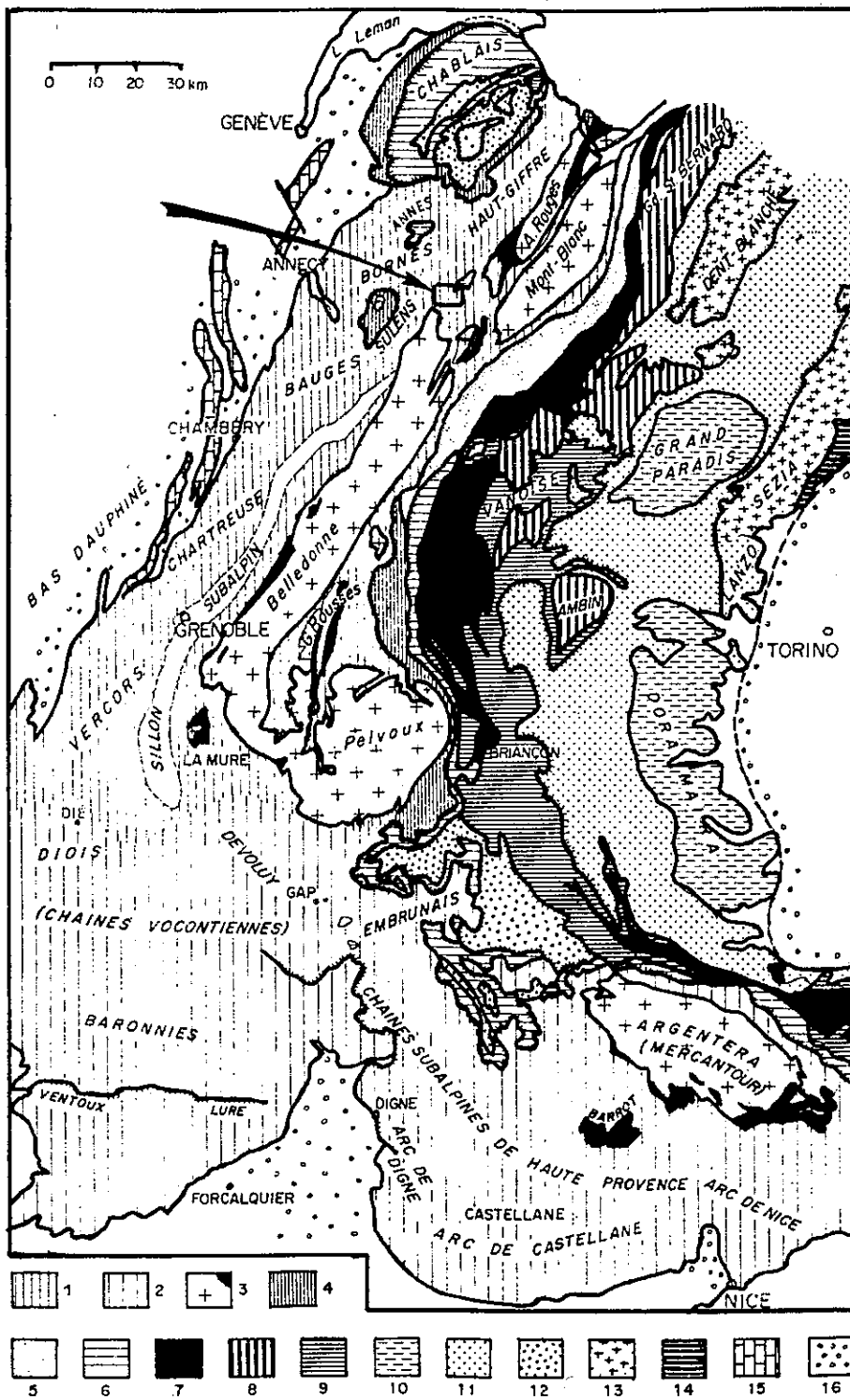
- Le Trias moyen et supérieur.

Essentiellement constitué de gypses et dolomies dans le secteur qui nous concerne, il n'affleure que dans la région de Flumet N.D. de Bellecombe et vers l'est jusqu'au ravin des Ruppes Blanches. Le Trias se réduit considérablement lorsqu'on se déplace vers le Nord-Est.

Fig. 5

SITUATION GEOLOGIQUE GENERALE

d'après J. Debelmas & M. Gidon



1. Chaînes subalpines septentrionales. - 2. Chaînes subalpines méridionales.
3. Massifs cristallins externes et bassins permo-houillers. - 4. Zone ultradauphinoise.
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 Helminthoïdes et Flysch de la Simme sl. - 13. Zone Sesia. - 14. Zone d'Ivree. - 15. Jura. - 16. Bassins molassiques pennins.

- Le Rhétien est absent du secteur étudié.

- Le Lias.

Il constitue l'essentiel des affleurements de cette partie du Haut Val d'Arly. Représenté par des schistes argileux noirs à feuilletés très minces intercallés de lits argileux, les niveaux supérieurs passent à des schistes à nodules orientés dans les plans de schistosité.

Nous aurions dû trouver normalement à la base de ces formations du Lias, des bancs calcaires présents dans le massif du Mont Joly, par exemple. Leur absence permet de dire que nous n'avons affaire entre Flumet et Praz qu'à du Lias moyen ou supérieur sans qu'il soit permis de l'affirmer.

- Bajocien et Bathonien (Dogger)

Alternance de schistes et de calcaires argileux, cette formation, plus massive que les autres constitue la partie supérieure des falaises de rive droite (le Gâteau - le Signal du Sac) où il est possible de remarquer des variations locales de faciès dues probablement à des différences de teneurs en carbonate.

La limite Bajocien-Bathonien/Lias supérieur est difficile à positionner en plan. lorsqu'elle se trouve dans une falaise.

Pour des raisons de commodité et à cause d'un comportement géotechnique très voisin, ces deux niveaux n'ont pas été différenciés sur la carte, ils ne le sont que sur les coupes et blocs diagrammes.

2. Aperçu tectonique

Les grands traits structuraux de la couverture sédimentaire des massifs cristallins externes au niveau de la vallée de l'Arly sont les suivants :

- Une première phase de déformation a entraîné la création d'une schistosité de flux S_1 , qui se retrouve d'ailleurs sur tout le massif de Belledonne. On attribue cet événement à l'Oligocène. Elle subit, à partir d'Albertville et en direction du NE une torsion (figure 6) que certains auteurs attribuent au passage des nappes préalpines (voir les nombreuses klippest de la région). Cette schistosité est actuellement, au niveau de l'Arly, subhorizontale.

- Une deuxième phase de déformation entraîne entre Flumet et Praz (zone d'ob-

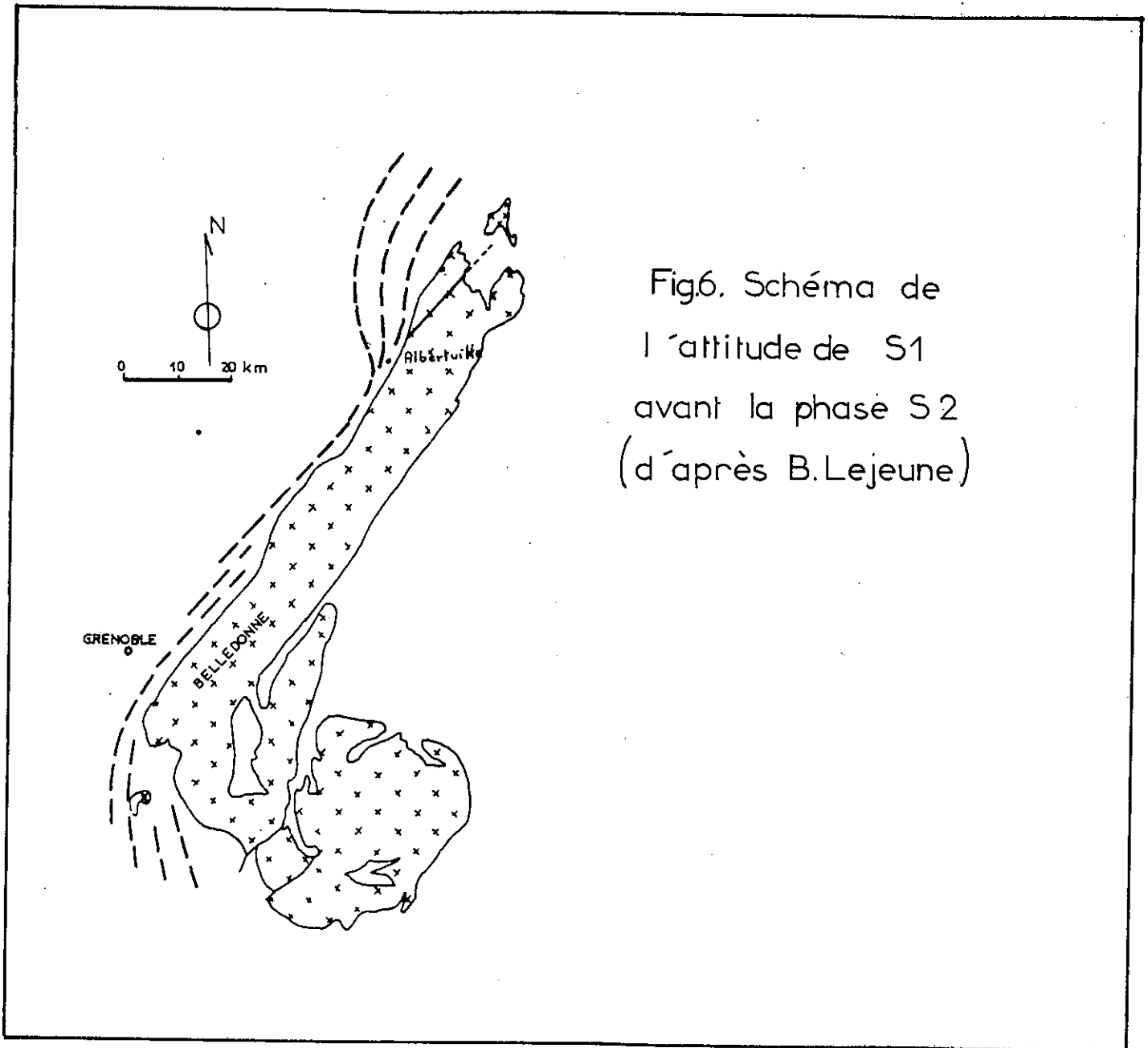


Fig6. Schéma de
l'altitude de S1
avant la phase S2
(d'après B. Lejeune)

servation) la formation d'un synclinal déversé vers l'W et qui enroule la schistosité S_1 à la manière d'une chenille (Lejeune, 1974), l'axe de ce pli est sensiblement Nord 10° E, mais subit quelques ondulations. Cette deuxième phase a créé la schistosité S_2 de pli-fracture beaucoup plus redressée que S_1 et qui semble se localiser au Nord d'Albertville.

Enfin, le bombement d'ensemble de Belledonne depuis la fin du Miocène a pu entraîner une torsion des directions de schistosité par placage des massifs sédimentaires sur le socle.

Ces variations de direction sont surtout sensibles pour S_1 dont le pendage est devenu proche de l'horizontale.

3. Formations quaternaires

a. Les tufs

Liés à des circulations d'eaux chargées en carbonates, ces tufs peuvent avoir deux origines : le lessivage des niveaux carbonatés du Dogger et du Lias supérieur, ou les circulations dans le Trias. Il est certain que nous avons à la fois les deux origines. Ils sont très répandus des deux côtés de la vallée, mais surtout dans les zones en mouvement de rive gauche.

Ils peuvent former soit des croûtes plaquées sur la surface du sol, soit des gisements massifs, utilisés localement pour la construction; leurs gisements sont très dispersés.

On en trouve également en dépôts au fond des ruisseaux dont ils surélèvent le lit. Tous les dépôts observés de tufs anciens ou actuels ont été repérés sur la carte géologique par une surcharge rouge vif.

b. Les formations d'origine glaciaire

Bien que le Haut Val d'Arly ait été occupé par un glacier épais de 600 m environ (R. Blanchard), les restes de moraines sont rares, je n'ai dénombré en tout et pour tout que quatre gisements.

En rive droite :

- Dans le ravin du Jorrax depuis la route jusqu'à la cote 1050 environ, l'un des blocs d'environ 1000 m³ barre le lit du ruisseau. Nous avons en général des argiles ocres, à blocs (amphibolites, gneiss, granites).

- Dans le ravin, à l'est du hameau de La Tonnaz, juste en contrebas de la route.

En rive gauche :

- Près de la Fromagerie de Flumet dans le ruisseau affluent de l'Arly à cet endroit.

- Dans le ravin aboutissant au téléski de la Verdete, à la cote 1250 m.

Il est intéressant de noter que tous ces affleurements se situent au fond de ravins où de ruisseaux. Je n'ai pas observé de blocs erratiques dans les prairies, par exemple. Ceci m'a permis de penser que nous avons peut-être des vestiges de moraine enfouie (ce qui explique les affleurements au fond des ruisseaux) dans des mouvements de terrain.

On peut en effet penser que le dépôt initial de moraine s'est trouvé mélangé aux éléments du glissement qui suivit.

Par la suite, l'érosion des torrents a dégagé les blocs, ce qui explique leur présence en fond de thalweg.

c. Les cônes de déjection

Malgré la "vigueur érosive" des ruisseaux, les cônes de déjection restent de dimensions réduites, l'Arly évacue rapidement les matériaux que lui apportent ses affluents. Seul le cône du ruisseau du Jorrax et celui du ruisseau de Praz sont convenablement formés (litage visible). Plus à l'amont, le grand cône du ruisseau de Cassioz est exploité en carrière, pour ses graviers.

d. Les éboulis

Essentiellement localisés au pied des falaises, leur extension est difficile à estimer à cause de la végétation qui masque leur partie basse. S'ils ne présentent

que peu de risques au pied de la falaise des Evettes, le problème n'est pas le même pour la falaise du Signal du Sac, où des blocs de l'ordre de la demi-tonne basculent sur des pentes surplombant des habitations. Il s'agit de blocs très plats qui souvent s'arrêtent rapidement dans les prairies. Ce sont souvent des secteurs peu actifs et la limite éboulis vifs-éboulis morts est impossible à faire.

e. Les produits d'altération des pentes

La distinction entre alluvions et colluvions, pour ce qui concerne la Haute Vallée de l'Arly, est délicate voire impossible à faire, les produits finaux étant les mêmes (argile à petites plaquettes de schistes).

On peut simplement noter l'abondance de ces produits d'altération, confirmée par les études sismiques ultérieures. Ils sont le siège de la plupart des mouvements gravitaires.

f. Les terrains glissés

Très nombreux sur le secteur étudié, leur morphologie est souvent floue et confuse, ce qui les rend difficiles à circonscrire. Seule l'étude des photos aériennes, suivie d'enquêtes et de prospections sur le terrain permet de conclure à leur existence.

Il s'agit dans tous les cas de phénomènes anciens à reprises subactuelles. Ce sont de grands mouvements de versants de type composite, qui se remobilisent localement par modification locale des conditions aux limites.

C. GEOMORPHOLOGIE

La géomorphologie de la Haute Vallée de l'Arly présente un caractère très particulier que l'on peut essayer de comprendre par l'étude du passé géologique récent de la région.

1. Glaciations et érosion glaciaire

Durant les grandes périodes froides du quaternaire, le Haut Val d'Arly fut, comme l'ensemble des Alpes du Nord, recouvert par les glaciers. En fait, le glacier de l'Arly n'aurait existé que peu de temps, pendant les phases de paroxysme du grand glacier de l'Arve (au NE).

Celui-ci engageait dans le Val d'Arly une langue glaciaire affluente du glacier de l'Isère. Le lit de ce glacier se trouvait donc suspendu à ses deux extrémités : seuil de Megève au NE et seuil de Flumet au SW au contact des roches plus dures du Houillier.

La présence des micaschistes en profondeur a certainement beaucoup freiné l'activité érosive du glacier au niveau du seuil de Flumet-Panloup. Le léger pendage amont du socle des micaschistes a entraîné le surcreusement d'un ombilic à l'amont dans les niveaux tendres du Lias et du Trias réduit.

Cet ombilic profond s'étend de Panloup jusqu'à Cassioz.

2. Phénomènes périglaciaires

Ils sont peu fréquents en raison de l'altitude réduite et de l'épaisseur de la couverture neigeuse. On peut remarquer quelques ondulations superficielles près du chalet de Holvet qui pourraient être liées au couple gélisol-mollisol (au début du printemps).

3. Erosion torrentielle

- Nous avons vu que l'Arly est un torrent très bien alimenté ; ceci joint à des pentes accusées lui confère un fort pouvoir érosif.

Le seuil de Flumet, extrémité SW de la vallée suspendue du Haut Arly sépare le cours du torrent en deux parties distinctes.

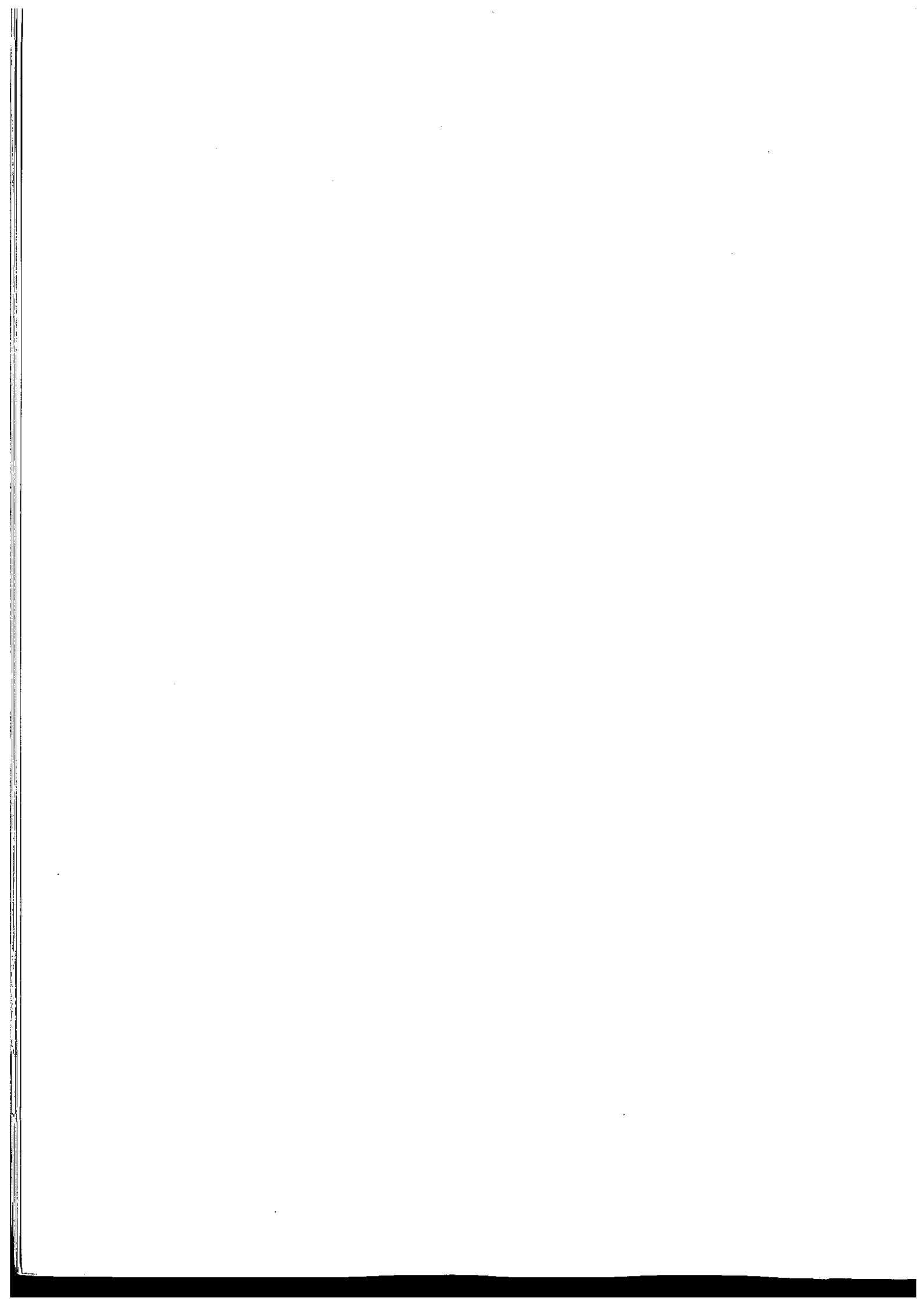
- Vers l'aval, une pente moyenne de 4 % en fait un torrent violent charriant lors de ses crues des blocs de plusieurs centaines de tonnes. Ceci explique qu'aucune station limnigraphique n'ai résisté dans ce secteur.

- A l'amont, la pente moyenne diminue de moitié.

Dans cette portion, le caractère torrentiel est moins marqué, il affouille cependant en permanence les pieds de talus de ses berges.

- Les torrents affluents, entre Flumet et Praz, dont la pente moyenne va de 16 % (ruisseau du Jorrat) à plus de 40 % (ravin du Corbaray) ont un rôle très actif dans l'évolution des versants.

Il est intéressant de noter que nous avons, en rive droite, des torrents permanents dont la pente est de l'ordre de 20 %, et des ravins à très forte déclivité, qui ne fonctionnent réellement que quelques mois de l'année mais effectuent une érosion intense.



CHAPITRE II

COLLECTE DES DONNÉES - ETUDE PRELIMINAIRE
--

A. MOYENS EMPLOYES1. Bibliographie

Aucune étude des glissements anciens du Val d'Arly n'avait été réalisée jusqu'à présent, bien que très près de là A. Pachoud (1974) ait dessiné une carte des risques naturels de la commune d'Ugine.

Les études géologiques et géographiques effectuées sur cette région sont à caractère stratigraphique ou tectonique. Il existe aussi des publications sur les glissements "actifs" du cours inférieur de l'Arly.

2. Cartes topographiques

La récente publication de la carte topographique au 1/25 000 m'a permis d'obtenir de l'I.G.N. les documents techniques provisoires (D.T.P.) au 1/10 000 de la région à étudier. Ce document, très précis pour le lever géologique reste tout de même insuffisant pour l'étude de la falaise du Signal du Sac.

3. Carte géologique

La carte de base est la feuille St-Gervais au 1/50 000e, publiée en 1976, dont la coordination des contours fut assurée par G. Menessier. Elle m'a été très utile

bien qu'insuffisamment précise à l'échelle de mon travail.

B. TRAVAIL PERSONNEL D'ANALYSE

Les étapes du travail furent les suivantes :

- Etude photo interprétative pour repérer et analyser l'ensemble des indices de mouvement, et destinée à orienter l'étude géologique.

- Lever géologique de surface pour vérifier les observations photo-interprétatives et aboutir à une carte géologique détaillée sur laquelle seront placés les profils sismiques.

- Etude sismique qui devait compléter en profondeur les informations géologiques obtenues précédemment.

1. Photo interprétation

J'ai utilisé pour cela des photos aériennes de 1972 et 1974 missions FR 2263/200 et FR 2437/210 en noir et blanc 23 x 23 cm sur papier mat.

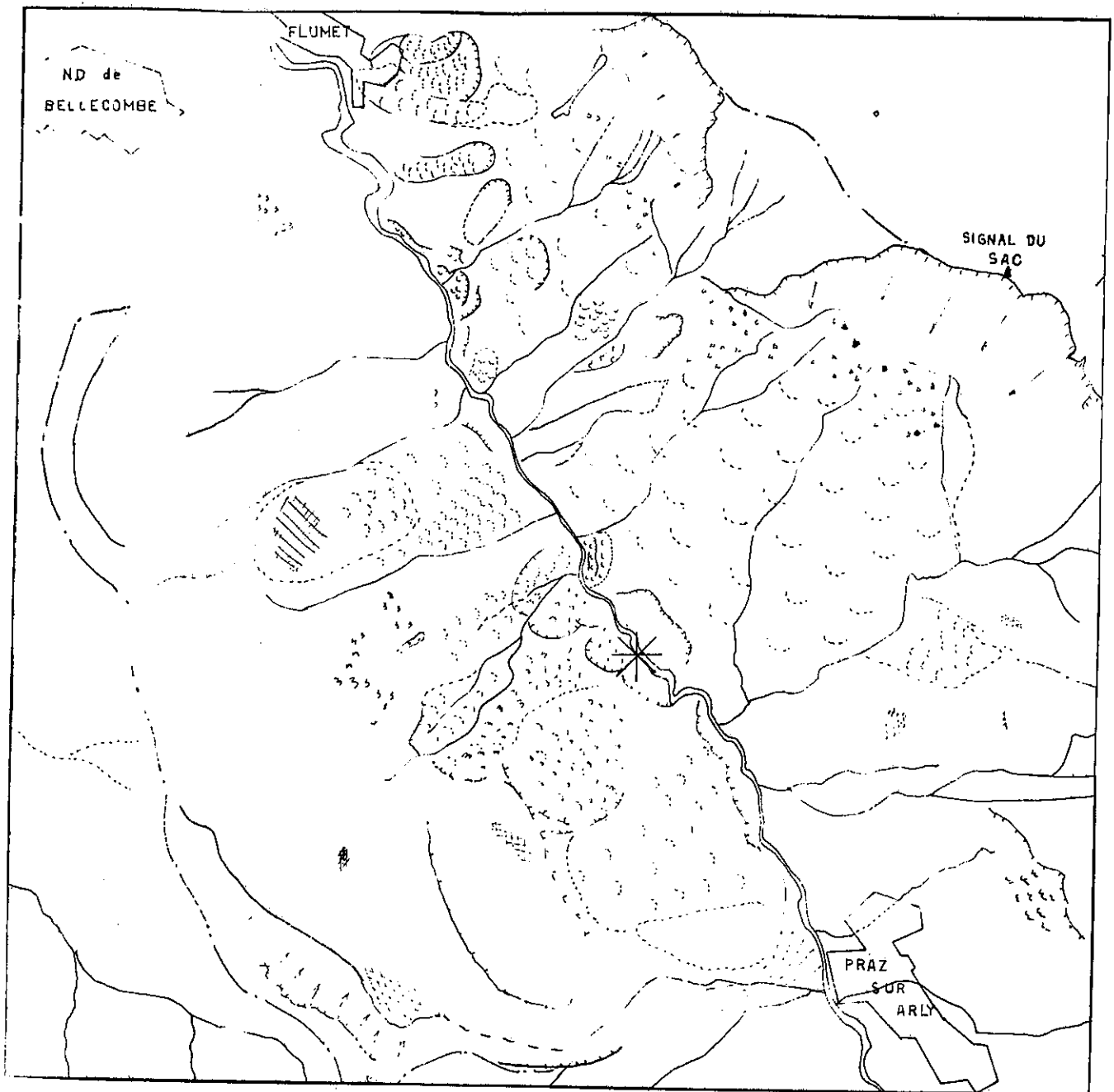
Grâce à cet "outil", j'espérais dans un premier temps circonscrire toutes les zones douteuses et recenser les indices morphologiques significatifs de mouvements, les zones humides, etc...



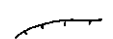

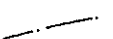

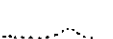





Cet objectif n'a pas été vraiment atteint en raison du caractère très diffus des indices. Par ailleurs, la végétation estompe très vite les contours des mouvements et les formes du relief.

Le document photo-interprétatif de la figure 7 n'est pas le résultat brut, il a déjà à ce stade été modifié par les observations de terrain.

La photo interprétation permet de gagner du temps, mais plus ici que dans tout autre contexte, il ne faut accorder à ces observations qu'une valeur indicative préalable au travail définitif.

Fig.7 Document photo-interprétatif



- | | | | |
|---|---------------------------------------|---|------------------------------------|
|  | Ligne de rupture de pente |  | Mouvements superficiels |
|  | Rupture de pente avec falaise |  | Mouvements anciens |
|  | Ligne de crête |  | Mouvement actuel |
|  | Limite presumée d'ancien glissement |  | Cône de déjection ancien ou actuel |
|  | Limite de glissement ancien ou actuel |  | Replat humide |
|  | Falaise: ligne de pente (éboulements) |  | Blocs éboulés |

2. Carte des pentes

Préalablement à une future carte de risques, j'ai réalisé une carte des pentes très détaillée, où les différentes valeurs sont représentées par des couleurs

vert clair	0 à 15 %
vert foncé	15 à 30 %
bleu	30 à 45 %
violet	45 à 60 %
rouge	60 % à 100 %.

3. Observations de terrain - carte géologique

Un lever précis, au 1/10 000 a été réalisé, qui a permis d'ajuster les contours du 1/50 000e. Malheureusement, comme nous l'avons vu au chapitre "stratigraphie", le 1/10 000e s'est souvent révélé insuffisant, en particulier pour l'étude détaillée de la rive droite.

Cette carte avait trois objectifs :

a) Lever géologique des formations rencontrées afin d'apprécier leur géométrie en profondeur. Il s'agit strictement d'une carte d'affleurements sur laquelle figure en surcharge tous les détails du quaternaire et les notations hydrogéologiques (sources, sagnes, dépôts de tufs, arrachements actifs, fissures de maisons) souvent invisibles à l'échelle des photos aériennes.

b) Report des indices de glissement confirmés par l'étude du terrain, et tracé éventuel des contours des mouvements. Pour cela, l'observation d'un flanc à l'autre de la vallée, en éclairage rasant fut très utile pour préciser des limites invisibles sur les photos aériennes.

c) Positionnement des profils sismiques

C'est à partir des observations géologiques précédentes qu'il a été possible de positionner judicieusement les profils sismiques.

C. PRINCIPALES HYPOTHESES DE TRAVAIL

Le contexte géologique m'a conduit à distinguer nettement chaque versant de la vallée. Ils sont en effet le siège de phénomènes très distincts.

1. Versant de rive droite

a. Observations générales

L'examen de la carte des pentes nous permet de distinguer trois unités morphologiques, de l'amont vers l'aval :

- Le versant du Bois des Têtes entre Praz/Arly et Cassioz où les pentes fortes sont homogènes (45 à 100 % - le rouge et le violet dominant). L'examen de terrain, consécutif à l'étude des photos aériennes permet de conclure à la stabilité d'ensemble de la pente dans son état naturel, hormis quelques petites perturbations superficielles affectant le sol.

- Entre le ruisseau de Praz et le ravin du Jorraz. Les pentes très hétérogènes (les cinq couleurs réparties également) sont couvertes en grande partie par des alluvions morainiques, sujets à des mouvements actuels localisés. Mouvements sur la route de la Tonnaz et en contrebas du village.

- Entre le ravin du Jorraz et Flumet, que l'on peut encore diviser en deux parties :

- . d'une part la falaise du Signal du Sac et les terrains qu'elle domine, où les pentes, moyennes à faibles (de 0 à 30 %, vert foncé et clair) vont en s'adoucissant vers le bas.

- . d'autre part, depuis le ravin de Corbaray jusqu'à Flumet des pentes plus fortes vers le bas, mais qui présentent un replat près de la cote 1120, où se trouve le village de La Fougère.

b. Le grand glissement (ou écroulement) de Sciozier

L'observation photo géologique du secteur de Sciozier a permis, dans un premier temps, d'envisager l'existence, à cet endroit, d'un grand glissement de versant.

L'examen structural de la falaise montre par ailleurs que la schistosité S_2 , orientée ici parallèlement à la pente naturelle du versant, est susceptible d'avoir joué le rôle de glissoir en favorisant la rupture suivant son plan.

Enfin, la morphologie particulière, inexplicable par les seuls phénomènes glaciaires (photo 7, planche 2), nous confirme dans l'hypothèse d'un glissement ancien au niveau de Sciozier.

La mise en évidence d'un tel mouvement, les conditions géologiques et d'affleurement nous ont conduits à l'étudier plus en détail pour tenter d'en cerner la dynamique rétrograde et de remonter aux conditions mécaniques de déclenchement (Back analysis).

Pour cela, il fallait :

- Etablir la géométrie
 - a) Parties externes : obtenues par étude structurale et carte géologique.
 - b) Parties profondes : c'est là qu'intervient la géophysique.
- Modéliser. C'est-à-dire dans ce cas précis, schématiser les observations de façon à ce que l'on puisse appliquer une méthode de calcul et choisir des grandeurs physiques.
- Calculer éventuellement.

2. En rive gauche

De l'amont à l'aval :

- Dans le secteur amont, entre Praz et un méridien passant par Les Rutennes, l'examen des photos aériennes a permis, dans un premier temps d'observer de nombreux glissements anciens et actuels.

Ces observations ont été confirmées par l'étude de terrain, et principalement par les enquêtes auprès des habitants, confirmées par des observations qualitatives effectuées d'une année à l'autre.

Il faut noter cependant l'absence presque totale d'indices de mouvements semblables à ceux que l'on a sur des glissements actifs.

La répartition des mouvements laisse à penser que nous avons là une pente évoluant lentement mais de façon continue.

La lenteur du phénomène global permet d'expliquer l'absence d'indices nets, mais seulement des modifications topographiques diffuses, sensibles seulement à l'échelle de l'année. C'est dans la zone située à l'est des fermes de Belliard et de La Sauge, dans un secteur inculte, donc non drainé depuis quelques années, que se produit le "phénomène-type" le plus spectaculaire. Le terrain a fait l'objet d'une étude sismique dé-

taillée. A l'amont de ce glissement, un mouvement de bascule d'une maison est incontestablement lié aux mouvements du terrain (photo 3, planche ?).

Entre les zones en "mouvement", on peut remarquer des zones "stables" (Belliard, Leutelet, le Mariage) où là géophysique m'a permis de constater une très légère remontée du substratum, insuffisante cependant pour expliquer cette stabilité.

Par ailleurs, j'ai pu observer, entre le lieu-dit Sur le Crêt et les chalets des Evettes, une morphologie particulière : de grands blocs de Lias moyen, pentés naturellement vers la vallée sont disjoints les uns des autres et du substratum ; la végétation qui les entoure est en général jeune. Au front de cette zone, au bord de l'épaulement de la vallée, des secteurs non colonisés où l'on enregistre même des phénomènes actuels de glissement (photo 4, planche ?).

Certains de ces blocs sont très probablement en mouvement, mais là aussi, il s'agit d'un déplacement très lent qui ne perturbe que très peu la végétation.

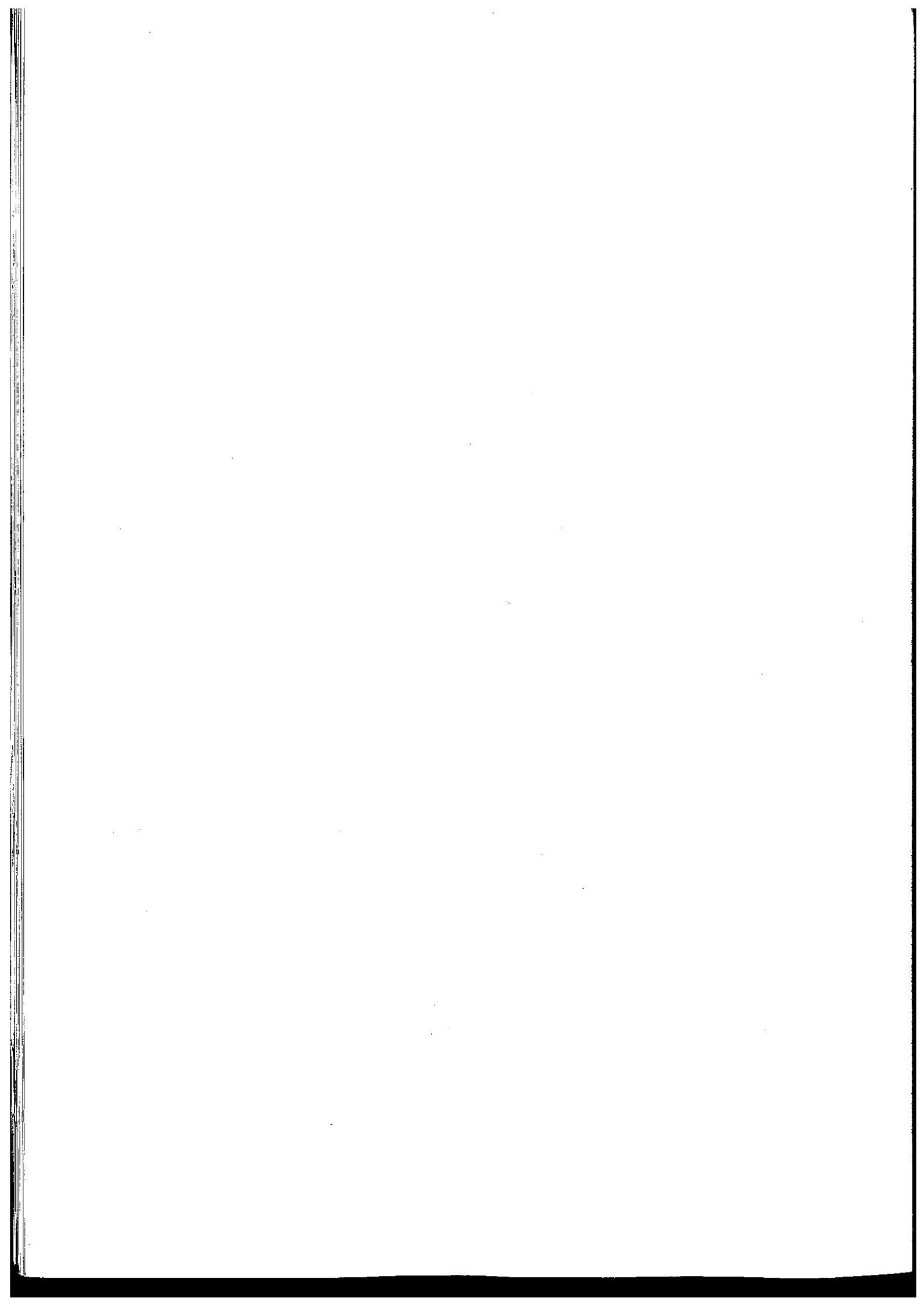
- A l'aval du secteur précédent, une grande zone boisée de pente relativement constante ne laisse apparaître aucun mouvement superficiel important. L'étude géologique de terrain nous montre à l'évidence la proximité du substratum (nombreux affleurements).

En Conclusion

Le problème des blocs de Lias observé près des Evettes pouvait être approché de façon plus quantitative par le prélèvement et l'étude des niveaux argileux faisant office de "coussinets lubrificateurs" entre blocs.

La valeur de cohésion et angle de frottement interne de ce matériau devrait pouvoir, en fonction de l'inclinaison du plan de glissement, permettre d'estimer le coefficient de sécurité de cette zone.

Au terme de cette étude préliminaire de rive gauche, il m'est apparu important d'essayer de chiffrer l'épaisseur des terrains en mouvement et d'exprimer la forme de la vallée glaciaire, les conclusions pouvaient ensuite nous amener à une compréhension de la genèse de cette vallée.



CHAPITRE III

ETUDES SISMQUES

L'étude préliminaire m'a amené à envisager la mise en oeuvre de matériel de prospection sismique pour préciser entre autres paramètres l'épaisseur des terrains remaniés.

A. MATERIEL

L'I.R.I.G.M. possède un appareil Mandrell ER 75/12 dont j'ai pu disposer (photo 1, planche 1). Les douze traces sont enregistrées sur une plaque photo à développement rapide, le temps maximum d'enregistrement est de 0,45 s sur 12 cm de photo. Ce temps d'enregistrement est relativement court, et interdit toute possibilité de prospection profonde dans des terrains lents (de 500 à 900 m/s).

J'ai pu par ailleurs utiliser l'appareil du laboratoire de glaciologie. Il s'agit d'un Trio Seismic System, type Ultralette SX 12 enregistrant douze traces sur du papier à développement instantané. La durée d'enregistrement n'est pas limitée, cet appareil permet d'enregistrer d'éventuelles arrivées secondes d'ondes réfléchies.

B. PRINCIPES DE BASE DES METHODES SISMQUES

Les méthodes de prospection sismiques utilisent les propriétés élastiques des roches et des sols.

"Si en un point du sol on provoque un ébranlement, il se propage de proche en proche en s'amortissant ; le temps nécessaire pour qu'il atteigne les récepteurs dépend de la nature et de la disposition des formations géologiques. La prospection sismique a pour but l'étude de ce temps de propagation" (J.L. Astier).

En prospection sismique, nous n'utilisons en général que les ondes P ou ondes de compression et dilatation, à l'exclusion des ondes de cisaillement et des ondes de surface.

La vitesse de propagation des ondes sismiques pour un même type de roches va varier selon le degré d'altération de fracturation ou de fissuration, qui modifient la valeur des modules dynamiques du matériau considéré.

- Cas des glissements de terrain.

Un glissement de terrain se traduit généralement par l'apparition au sein de la masse déplacée, de discontinuités qui vont abaisser les valeurs des vitesses de propagation des ondes sismiques.

Ces discontinuités peuvent également entraîner une accélération des phénomènes d'altération en facilitant la circulation de l'eau dans le massif considéré.

Un cas particulier des mouvements de terrain est celui des mouvements d'ensembles lents qui se traduisent par des modifications topographiques n'impliquant pas nécessairement l'apparition de surfaces de discontinuité cinématiques aussi marquées que dans le cas d'un glissement traditionnel.

L'étude des glissements de terrain anciens et actuels suppose nécessairement l'existence d'un milieu très fissuré, ou altéré, dont la masse volumique moyenne est sensiblement différente de la masse volumique moyenne du terrain resté en place.

- Propagation des ondes dans le sol (figure 8, p.31).

Il existe deux méthodes de prospection sismique, l'une utilise les ondes réfractées sur les interfaces entre milieux différents, c'est la sismique réfraction, l'autre utilise les ondes réfléchies sur les interfaces, c'est la sismique réflexion (voir trajet des ondes sur le schéma d'après Astier).

L'objet de ce travail n'étant pas de rappeler toutes les méthodes d'interpré-

tations sismiques, je renvoie le lecteur aux ouvrages cités et je rappellerai au paragraphe G.1 celle que j'ai choisie d'utiliser.

C. CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE

La nécessité de prospector jusqu'à des profondeurs déjà importantes des terrains très dissipateurs d'énergie m'a obligé à utiliser systématiquement des explosifs.

Les deux types d'appareils employés sont munis de boîtes de tir permettant le couplage de l'échelle de temps avec l'enregistrement.

L'explosif utilisé est, soit de la dynamite gomme, soit du cordeau détonant à 70 g, beaucoup plus cher, mais qui s'est révélé très pratique pour des raisons de législation.

Placé dans un trou réalisé à la tarière à main (Ø 60), l'explosif est mis à feu par un détonateur électrique basse intensité.

D. SUJETIONS D'EMPLOI DE CE MATERIEL

Le Mandreil ER 75/12 est un appareil "portable", néanmoins, assorti de l'ensemble des matériels nécessaires à sa mise en oeuvre ; géophone, flûte, tarière, explosif, etc... le poids total atteint 90 kg, ce qui réduit les possibilités de transport à dos d'homme si l'on dispose d'une équipe réduite.

Le Trio, plus encombrant encore, exclut toute possibilité de transport autre qu'avec un véhicule léger adapté.

E. PROFILS SISMIQUES

1. Choix des profils

* Avant même de songer aux profils de prospection, il a d'abord été nécessaire de procéder à une série d'expériences afin de déterminer le mieux possible les para-

mètres sismiques des terrains concernés par l'étude de cette vallée.

Le choix de ces profils d'étalonnage a donc été fait uniquement en fonction de la qualité des affleurements.

J'ai donc essayé de mesurer les vitesses sismiques dans le Lias suivant diverses configurations, dans les micascistes "sains" et dans le Trias.

* La position des profils de prospection a d'abord été choisie sur la carte en fonction du contexte géologique. Il s'agissait de retrouver, d'une part l'épaisseur des matériaux remaniés par les glissements supposés, et, d'autre part, la forme éventuelle de la vallée. Dans ces conditions, il était logique de songer dans un premier temps à de grands profils perpendiculaires à l'axe de la vallée.

Cette disposition n'a pas été adoptée, car il était matériellement impossible de transporter et de mettre en oeuvre les appareils de façon rationnelle pour un tel travail.

Par ailleurs, les choix primitifs ont été modifiés par un certain nombre de "facteurs limitants":

- la densité et la répartition de l'habitat ne permet pas la réalisation de longs profils continus, de même que les parasites engendrés par la fréquentation des voies d'accès aux maisons.

- la morphologie qui intervient pour une grande part dans l'interprétation des mesures. J'ai donc choisi des profils dont la topographie pose peu de problèmes.cf.III G.

- emplacements de tir possibles ; le grand morcellement des propriétés entraîne un grand nombre de problèmes avec les agriculteurs. J'ai donc été amené à tirer essentiellement dans les ruisseaux et les sagnes et à extrapoler certaines valeurs.

La liste des profils "réalisables" tenant compte de ces limitations est inférieure à la série initialement envisagée.

2. Position des profils

La localisation des profils sismiques fait l'objet de la figure 9 et du tableau n° 1, page 33)

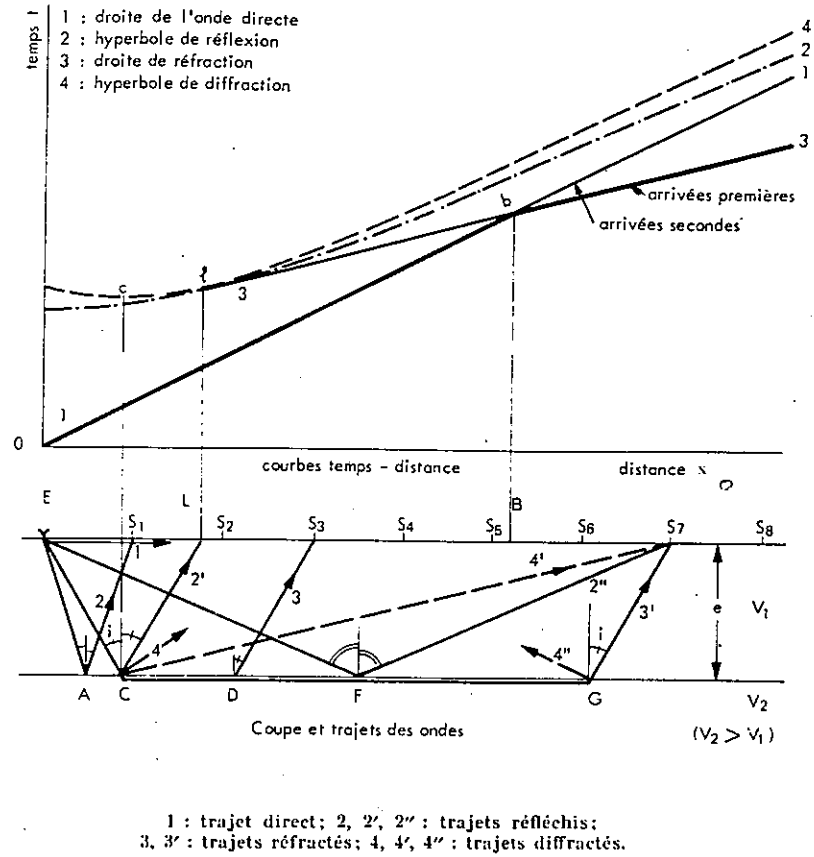


Fig.8. Différents trajets possibles des ondes , et courbes temps - distance. (d'après Astier)

F. CONDITIONS DE TRAVAIL

La saison de travail coïncidant avec la fenaison, la chronologie des manipulations fut souvent perturbée. Les chiffres désignant les profils ne sont pas significatifs de l'ordre des opérations.

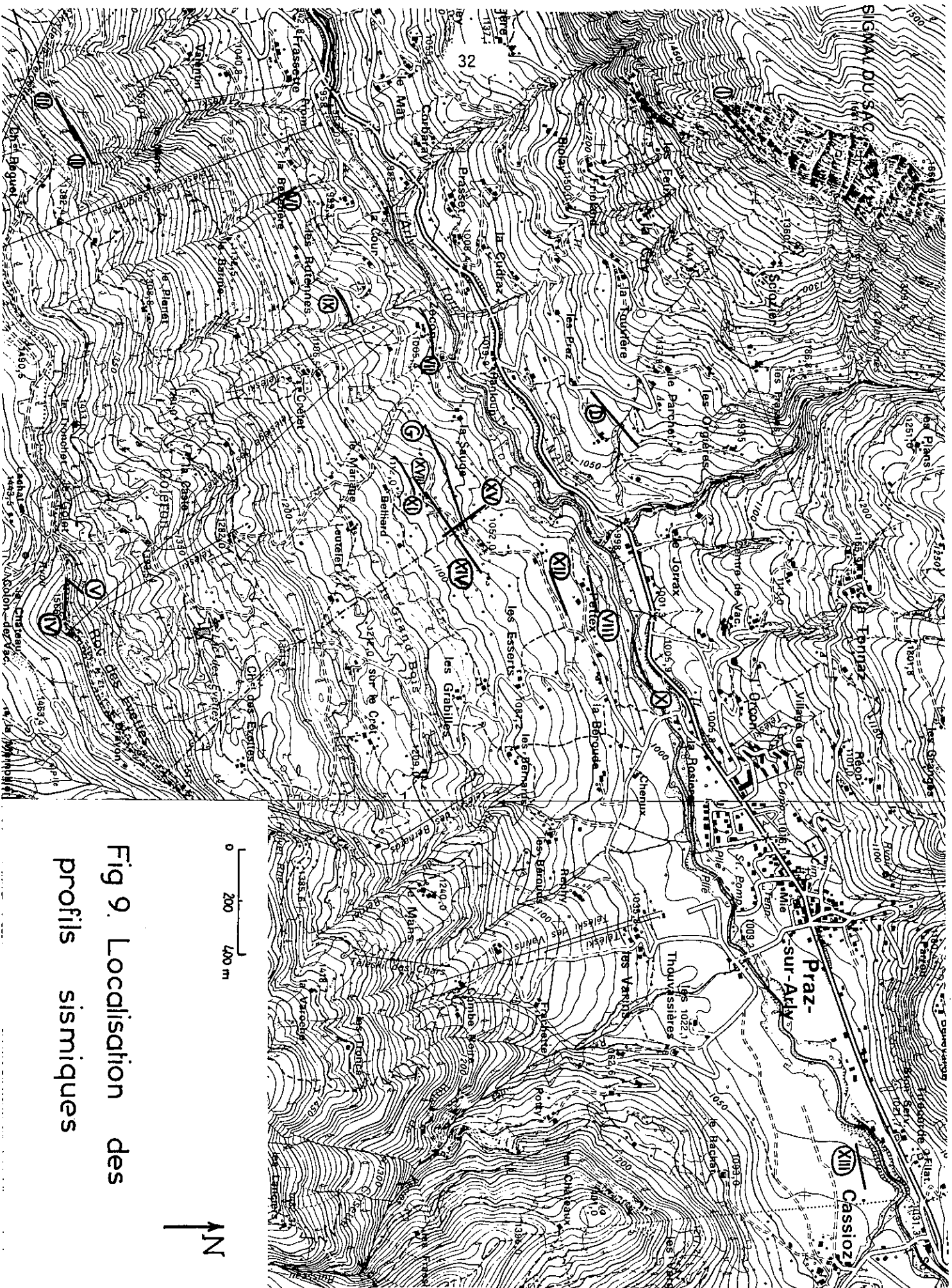


Fig 9. Localisation des
 profils sismiques

Numéro	Nom	X			P o s i t i o n Z			But recherche
		Y						
I	Lias Sciozier	2 101,45	925,85	1 480			- Vitesses du Lias	
II	Lias	2 098,95	926,10	13 201				
III	Lias) N.D. Bellecombe	à peu près idem II						
IV	Lias	2 099,05	927,80	1 530			Etalonnage possible	
V	Lias) Têleski Evettes	même origine que IV		Lias			} dans le Lias	
VI	Micaschistes	2 099,80	926,25	1 020			- Etalonnage micaschistes	
VII	Zécon	2 100,35	926,70	1 000			- Epaisseur terrains remaniés	
VIII	Sur l'eau (en bas)	2 101,05	927,65	1 020			- Epaisseur terrains remaniés toit des micaschistes	
IX	Les Rutennes	2 100,00	926,60	1 050			- Epaisseur terrains remaniés toit des micaschistes	
X	Arly	2 101,25	927,85	990			- Remplissage de l'ombilic de Praz	
XI	Sous Belliard	2 100,30	927,25	1 090			- Epaisseur terrains remaniés	
XII	Sur l'eau (en haut)	2 100,90	927,70	1 040			- Epaisseur terrains remaniés	
XIII	Cassioz	2 102,20	929,80	1 020			- Remplissage de l'ombilic de Praz	
XIV	Belliard (3 séries)	2 100,40	927,40	1 070			- Epaisseur terrains remaniés	
XV	Belliard selon la Pente	2 100,65	927,40	1 030			- Epaisseur terrains remaniés	
XVI	Trias Crest Voland	2 097,05	924,15	1 220			- Etalonnage du Trias	
XVIII	Belliard limite glissement	à peu près idem XIV					- Essai de localisation limite de glissement	
D	Rive droite Arly						- Epaisseur terrains remaniés	
G	Rive gauche Arly						- Epaisseur terrains remaniés	

TABLEAU 1.

Par ailleurs, il ne fut pas toujours possible de concilier circulation touristique et enregistrements sismiques: certains profils sont interprétés à partir d'enregistrements difficilement lisibles.

Chaque élément de profil nous a pris en moyenne une journée à deux opérateurs. Il était fréquent de recommencer quatre à cinq fois chaque tir avant d'obtenir des données satisfaisantes. A chaque fois, il fallait recommencer un trou de 1 m à 1,50 m à la tarière à main.

G. APPLICATION ET METHODES D'INTERPRETATION SISMIQUE DANS L'ETUDE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

Wood et Weston (1964) ont montré que la vitesse des ondes transversales et longitudinales dépend de deux facteurs fondamentaux qui sont la porosité et la cohésion du sol. Tous les phénomènes qui exercent une influence sur ces deux paramètres peuvent donc faire varier la vitesse de propagation des ondes.

La déformation mécanique des sols lors des mouvements de terrain entraîne la formation de micro et de macro-fissures qui amènent une diminution de la vitesse sismique dans les niveaux déformés par rapport aux niveaux "intacts" (variation des modules de déformation).

Bien que l'on puisse avoir, localement, des augmentations de vitesse dues à la mise en compression de certaines portions de versant, ou éventuellement une compaction produite par une toute autre cause, on a, pour l'ensemble du massif déformé une vitesse inférieure à celle du substratum non déformé. Les vitesses sismiques de la "tranche" supérieure déformée sont donc inférieures à celles de la zone saine profonde ; ces conditions permettent d'utiliser éventuellement la limite entre sols remaniés et soubassement sain comme surface de réfraction des ondes.

Comme nous l'avons vu au paragraphe IV.6, il n'a pas toujours été possible d'effectuer les tirs d'ébranlement aux endroits souhaitables. Pour cette raison, les distances point de tir-géophone, pour un même profil, ne sont pas toujours homogènes. J'ai donc été conduit à effectuer une correction sur les hodochrones après lecture des données brutes.

Par ailleurs, ceux des tirs lointains qui absorbaient trop d'énergie pour être

captés dans de bonnes conditions, n'ont souvent pas permis le tracé des hodochrones des niveaux profonds. C'est ainsi que j'ai été conduit à n'accorder qu'un crédit limité aux profils Zecon (VII) et Les Rutennes (IX).

Les profils réalisés en Maurienne (cf. Annexe : Comparaison avec l'étude d'un glissement actif) sont par contre tous exploitables. Ils ont été réalisés dans de bonnes conditions : personnel, explosifs, propriétaires, support logistique important.

Il n'a jamais été question, dans les calculs qui suivent, de corriger les temps d'arrivée en fonction de la topographie, bien que celle-ci ait été établie pour tous les profils. En effet, si nous considérons, dans le cas général, que nous avons des terrains à 1 900 m/s reposant sur des terrains à 4 000 m/s, la valeur de la correction à effectuer pour un dénivelé de l'ordre de 5 mètres (valeur maximale) serait :

$$\frac{\delta h \cos i}{V_1} = 2.10^{-3} \text{ s}$$

Cette valeur est faible eu égard à la précision des calculs et des valeurs de profondeurs recherchées.

Il est bien évident que ces corrections sont très utiles, voire indispensables, dans le cas d'expériences réalisées sur des glissements actifs à topographie tourmentée et dont les vitesses en surface sont très lentes.

1. Méthode d'interprétation utilisée

L'inconvénient des méthodes classiquement décrites dans la littérature est de supposer l'existence d'interfaces planes, les hodochrones sont alors assimilés à des segments de droites.

L'examen d'enregistrements réalisés sur des glissements de terrain, comme sur beaucoup de profils de subsurface, montre qu'il est souvent difficile d'y faire passer honnêtement une droite. L'approximation qui en résulte, surtout pour des écarts faibles de vitesse entre les terrains concernés, peut entraîner parfois des erreurs importantes sur les épaisseurs mesurées. Dans le cas de plusieurs terrains aux interfaces inclinées, ces méthodes peuvent conduire à l'utilisation de formules très lourdes.

Il existe une méthode d'interprétation sismique à faible profondeur qui ne présente pas ces inconvénients. C'est la méthode des T_0 ou méthode des moyennes arithmétiques décrite par I.I. Gurvitch, (1964) (figure 10).

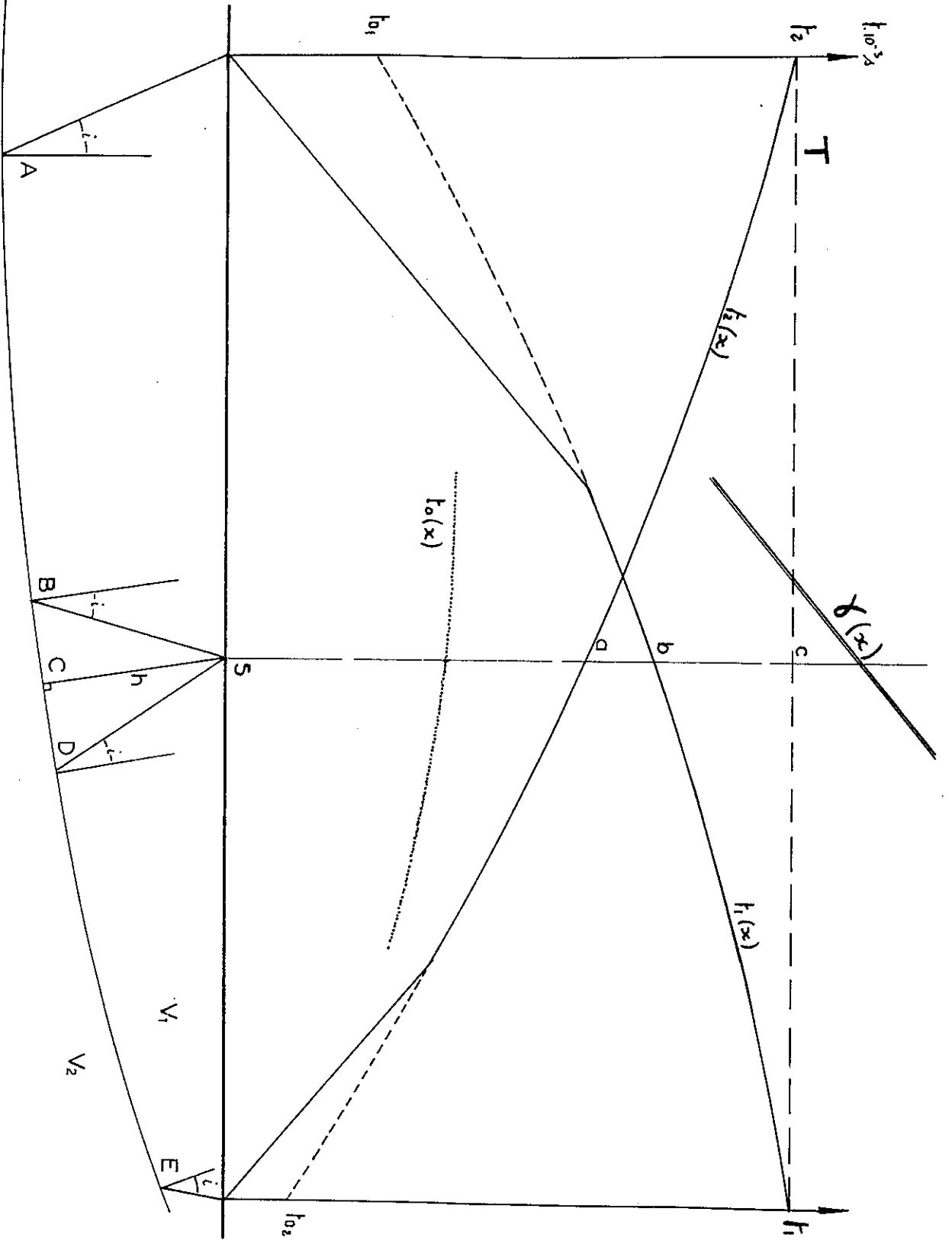


Fig.10. Mesure des t_0 , construction de l'interface réfringente et définition de la vitesse vraie de l'onde réfractée. (d'après GURVICH).

Elle peut être utilisée dans le cas d'interfaces courbes à condition toutefois que le rayon de courbure de l'interface soit beaucoup plus grand que la profondeur de celle-ci. Comme pour les autres méthodes, la vitesse le long de l'interface doit être constante ou varier régulièrement.

Si l'on considère un système d'hodochrones croisées $t_1(X)$ et $t_2(X)$ observées à partir de O_1 et O_2 , les points d'intersection des branches de l'hodochrone avec les axes O_1t et O_2t donnent les "temps réciproques" T égaux si les courbures se rapportent à la même surface réfringente.

Les temps d'arrivée aller et retour au sismomètre S sont déterminés par les équations suivantes

$$t_1 = t_{O_1AB} + t_{BS}$$

$$t_2 = t_{O_2ED} + t_{DS}$$

$$T = t_{O_1AB} + t_{BD} + t_{O_2ED}$$

De ces équations on tire

$$t_1 + t_2 - T = t_{BS} + t_{DS} - t_{BD} = t_0(X) \quad (1)$$

Ainsi, seul BD doit être considéré comme plan.

Menons du point S une perpendiculaire SC à l'interface.

Si l'on considère que le rayon de courbure de l'interface est grand, on peut considérer le segment BD comme une droite.

On obtient

$$t_{BS} = t_{DS} = \frac{h}{V_1 \cos i} \quad \text{avec } h = SC.$$

$$t_{BD} = 2 t_{BC} = \frac{2 h \operatorname{tg} i}{V_2} = \frac{2 h \sin^2 i}{V_1 \cos i} \quad \text{avec } \sin i = \frac{V_1}{V_2}$$

Si on remplace t_{BS} , t_{DS} et t_{BD} par leur valeur dans (1), on obtient

$$t_0(X) = t_1 + t_2 - T = \frac{2 h}{V_1 \cos i} - \frac{2 h \sin^2 i}{V_1 \cos i} = \frac{2 h \cos i}{V_1}$$

or
$$\cos i = \sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2}$$

on obtient donc
$$t_0(X) = \frac{2h\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2}}{v_1}$$

d'où l'on tire

$$h(X) = t_0(X) \frac{v_1}{2\sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2}} = k t_0(X) \quad (2)$$

Pour connaître la profondeur de la couche réfringente, il suffit donc d'obtenir $t_0(X)$ et k .

$t_0(X)$ s'obtient graphiquement de la façon suivante :

$t_0(X) = t_1 + t_2 - T$ peut aussi s'écrire $t_{(X)} = t_1 - (T - t_2)$, il suffit, pour chaque abscisse (chaque sismomètre) de reporter $Sb - ac$ (figure 10) car $t_1 = Sb$ et $T - t_2 = ac$. On peut donc construire point par point la courbe $t_0(X)$.

Le calcul de k suppose que nous connaissons v_1 et v_2 .

Si la vitesse v_1 de la couche de couverture ne varie pas le long du profil, sa valeur peut être facilement calculée d'après la pente de la première branche de l'hodochrone (non représentée sur la figure).

Si la valeur de v_1 est sensiblement différente pour le tir aller et pour le tir retour, il est possible d'interpoler les valeurs de vitesse en considérant que celle-ci varie linéairement le long du profil. Il ne s'agit que d'une méthode approchée mais dont les résultats sont satisfaisants pour l'étude des glissements de terrain en l'absence d'un moyen véritablement pratique de déterminer la vitesse du terrain de surface sous chaque sismomètre. La méthode des tirs latéraux exige beaucoup de place de part et d'autre du profil.

Pour le calcul de v_2 on utilise une procédure graphique proche de celle utilisée pour le calcul de $t_0(X)$, la valeur de ac est reportée à partir de b vers le haut suivant une verticale.

En joignant entre eux les points ainsi obtenus, on obtient la droite $\gamma(x)$ (figure 10), dont le coefficient angulaire peut se calculer ainsi :

ϕ est l'angle d'inclinaison de l'interface avec l'horizontale (pendage).

X est la distance du point de tir.

e_1 profondeur du réfracteur suivant le tir aval.

e_2 profondeur du réfracteur suivant le tir amont.

$$\gamma(x) = Sb + ac = t_1 + (T - t_2)$$

$$= t_1 - t_2 + T$$

$$= \frac{X}{V_1} \sin(i-\phi) + 2 \frac{e_1 \cos i}{V_1} - \left[\frac{(0_1 0_2 - X)}{V_1} \sin(i+\phi) + 2 \frac{e_2 \cos i}{V_1} \right] + \frac{0_1 0_2 \sin(i-\phi)}{V_1} + \frac{2 e_1 \cos i}{V_1} \quad \text{avec } e_1 - e_2 = 0_1 0_2 \sin \phi$$

$$\gamma(x) = \frac{X}{V_1} \left[\sin(i+\phi) + \frac{X}{V_1} \sin(i-\phi) \right] + \frac{2 e_1 \cos i}{V_1} = Ax + B$$

$$\frac{d\gamma}{dx} = \frac{1}{V_1} \sin(i+\phi) + \sin(i-\phi) = \frac{1}{V_1} 2 \sin i \cos \phi$$

$$\text{avec } \sin i = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{d\gamma}{dx} = \frac{2}{V_1} \frac{V_1}{V_2} \cos \phi$$

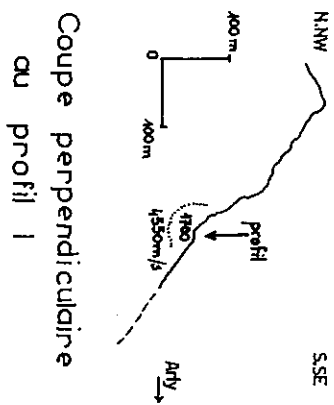
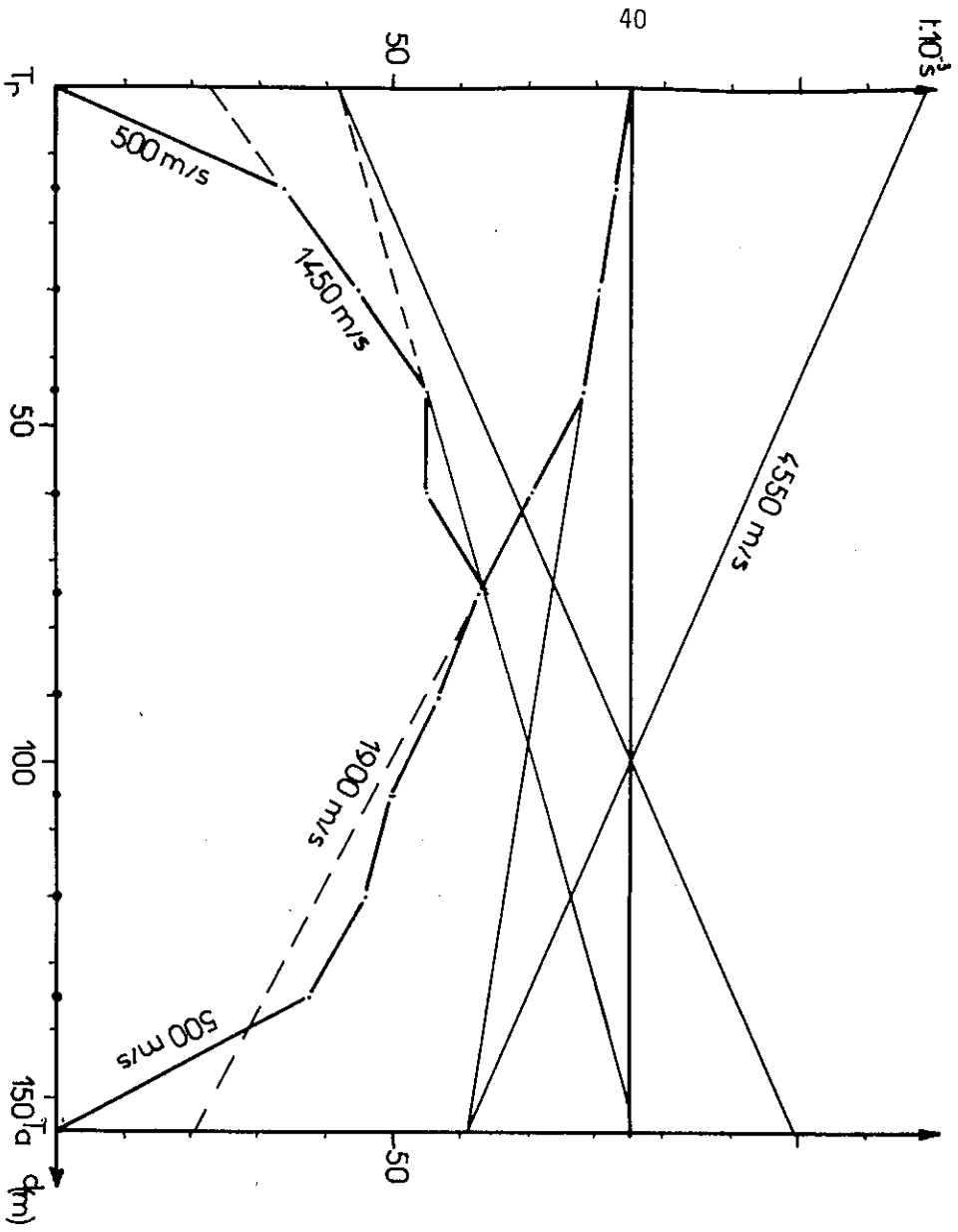
$$\frac{d\gamma}{dx} = \frac{2}{V_2} \cos \phi = \theta x \quad \text{soit } V_2 = 2 \cos \frac{\phi}{\theta}$$

lorsque $\phi \rightarrow 0$ on a :

$$V_2 = \frac{2}{\theta x} = \frac{2}{\frac{d\gamma}{dx}}$$

Dans la pratique, après calcul d'une première valeur de V_2 par la formule approchée $V_2 = 2 \frac{dx}{d\gamma}$, si le miroir possède une inclinaison supérieure à 10° , le calcul complet est repris en corrigeant la valeur de V_2 et on ajuste de nouveau les profondeurs.

Fig 11. Hodochrone du profil I
 - SCIOZIER -



Coupe perpendiculaire
 au profil I

2. Profils systématiques d'étalonnage des vitesses sismiques in situ

Préalablement aux études sismiques destinées à déterminer les épaisseurs de terrains en mouvement, j'ai réalisé un certain nombre de profils d'"étalonnage" des vitesses sismiques des différents terrains, à l'affleurement. Le positionnement des profils a donc été pour cela conditionné par le contexte géologique.

C'est ainsi que j'ai procédé aux tirs I II III IV V dans les schistes du Lias en divers niveaux.

a. Etude du Lias

* En I. Le profil réalisé sur la route panoramique du Signal du Sac nous a donné, après une couche superficielle d'une vitesse maximale de 500 m/s correspondant probablement aux terrassements de la route taillée à l'explosif (déblais et zone éboulée), une couche de terrains à 1 450 - 1 900 m/s de matériaux encore très fissurés permettant d'expliquer en partie l'hétérogénéité des vitesses (figure 11). Enfin, nous touchons, à une profondeur variable, de l'ordre de 15 à 30 m suivant les endroits, un matériau à 4 550 m/s qui pourrait être le Lias supérieur en place, ou la base du Dogger.

La partie finale de l'hodochrone retour a été extrapolée jusqu'à T à partir de trois points seulement, le résultat peut être considéré comme acceptable en raison de l'égalité des "tirs réciproques" ainsi obtenus. Ce procédé a été utilisé aussi pour d'autres profils de cette étude.

Cette valeur est prise probablement dans les niveaux plus carbonatés du Dogger, et à une profondeur où l'on peut supposer les fissures très fermées.

Ces valeurs, comme celles qui vont suivre, ne sont que des résultats indicatifs issus de calculs portant sur trois, voire quatre profils sismiques.

L'incertitude sur la mesure des temps est de $\pm 10^{-3}$ s, l'incertitude sur le positionnement est de $\pm 0,5$ m, ce qui nous donne par exemple pour ce profil $V_1 = 500$ m/s ± 65 m/s, et $V_{2_{aller}} \approx 1450$ m/s ± 125 m/s. On se rend compte ainsi que des petites variations sur les valeurs des vitesses, ne sont pas significatives, essentiellement du fait que nous supposons les vitesses constantes, homogènes le long des profils alors que nous n'avons en fait que des vitesses moyennes.

* Les profils II et III très largement perturbés ne sont pas significativement exploitables, j'obtiens tout de même sur un enregistrement des vitesses de l'ordre de 1500 m/s sous les terrains de couverture.

* IV et V ont été réalisés au sommet du télésiège des Evettes sur la piste de ski ; à cet endroit, le Lias décapé est à nu.

Les géophones ont été placés verticalement dans des trous faits au tamponnoir suivant deux directions. Pour le IV, les ondes se propagent perpendiculairement à la schistosité tandis que le V était parallèle à la schistosité.

Les résultats obtenus, difficiles à lire, m'ont donné dans les deux cas des valeurs très proches, de l'ordre de 1600 m/s. On peut donc conclure de cet essai que la fissuration est très importante à cet endroit puisqu'elle parvient apparemment à masquer une anisotropie de vitesse liée à l'orientation des trajets des ondes par rapport à la schistosité.

Cependant, il n'est pas interdit de penser que l'éventuelle anisotropie de vitesse rentre dans le domaine d'erreur des mesures. C'est pour obtenir au moins un ordre de grandeur de ces vitesses qu'a été tenté une expérience en laboratoire, voir III G.2.d.

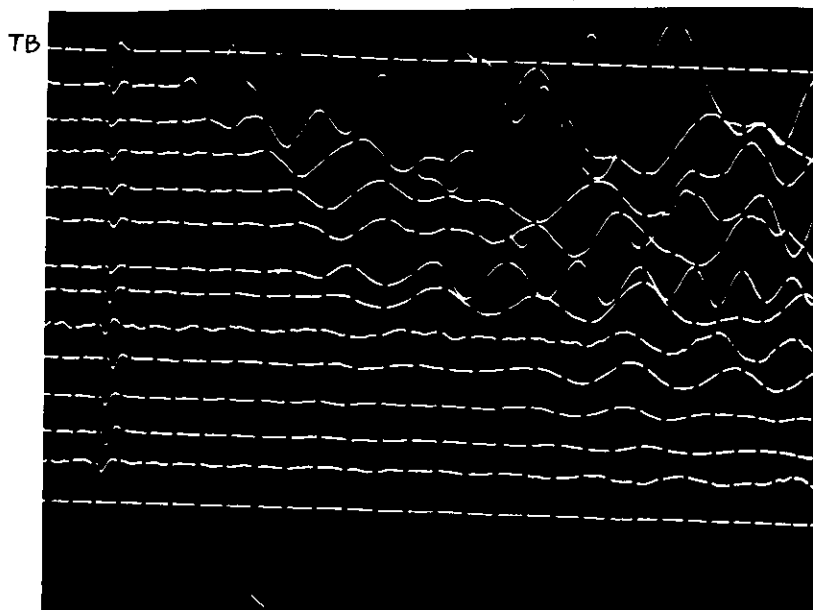
La faible valeur des vitesses dans ce terrain apparemment en place peut s'expliquer par le fait que ces essais ont été conduits dans une zone en décompression (décapée) qui de surcroît a subi un minage et un rippage d'une partie de son épaisseur pour la mise en forme de la piste de ski.

Il est donc raisonnable de penser que les valeurs des vitesses trouvées ne sont pas significatives du Lias de la vallée.

* Conclusion à l'étude du Lias.

A la suite des essais réalisés, principalement ceux du télésiège des Evettes (IV et V), j'ai été conduit à admettre une vitesse de 1400-1900 m/s au moins pour les niveaux altérés ou remaniés, suivant leur teneur en eau et leur état de remaniement.

Dans ces niveaux, il est intéressant de remarquer l'importante absorption d'énergie due à la forte fissuration, et le filtrage de l'onde transmise conduisant à une réception "molle" d'allure sinusoïdale. Dans ce cas, la précision du pointage des arrivées est faible. (photo sismogramme (III Ta3 ci-après)).



Enregistrement du profil III, tir Ta3.

b. Les micaschistes

Le profil VI était destiné à mesurer la vitesse sismique des micaschistes du socle, à l'affleurement.

J'ai été amené à réaliser cet essai dans le lit d'un ruisseau, seul endroit possible pour implanter mon dispositif sismique.

Placés verticalement dans des trous réalisés dans la roche au tamponnoir, les géophones se trouvaient le long du ruisseau, quelquefois même dans l'eau. Malgré cela les enregistrements sont acceptables.

En raison de la faible extension du profil, les temps de réponse sont très brefs, ce qui accroît de beaucoup l'erreur de lecture.

Si l'on considère tout de même l'erreur de lecture égale à $\pm 10^3$ s et l'erreur de positionnement à $\pm 0,5$ m, nous obtenons $V = 4900 \text{ m/s} \pm 500 \text{ ms}$! (figure 12, page 46)

On peut cependant considérer que, malgré les apparences à l'affleurement, nous avons un matériau décomprimé dont les valeurs de vitesse sont inférieures à la réalité. Les micaschistes sont tout de même un excellent niveau repère car, malgré les incertitudes, le contraste est très fort avec ce qui précède.

c. Le Trias

En raison des difficultés d'accès aux affleurements de Trias, j'ai réalisé le profil XVI sur le territoire de la commune de Crest Volland, à proximité des habitations, sur le plateau. A cet endroit, le Trias sous-jacent n'affleure pas.

Le sondage à la tarière à main a été poussé jusqu'à 3 m, j'ai sorti essentiellement des argiles sableuses ocre de décomposition des niveaux du Trias.

La grande hétérogénéité des niveaux du Trias nous a fourni des enregistrements pratiquement ininterprétables, par ailleurs ce profil n'aurait eu qu'une valeur indicative puisque nous nous trouvons sur des niveaux du Trias assez différents de ceux du secteur Flumet-Praz/Arly.

d. Essai de mesure des vitesses sismiques en laboratoire sur un échantillon de schiste liasique

Parallèlement à ces essais in situ d'étalonnage des vitesses sismiques, j'ai pu, grâce à l'équipe "Fissuration et rupture" de l'I.R.I.G.M., essayer d'obtenir des valeurs de vitesse sismiques dans une éprouvette de schistes. J'ai été conduit à tenter cette expérience pour établir une comparaison avec les résultats des profils établis dans le Lias suivant différentes directions par rapport à la schistosité.

J'ai dû pour cela sélectionner un échantillon "sain" ne comportant pas d'autre plan de discontinuité visible que la schistosité. Provenant du niveau des "schistes à nodules" l'éprouvette a pu être taillée et surfacée sous la forme d'un parallépipède rectangle.

Les mesures ont été effectuées en appliquant les capteurs à ultrasons directement sur l'échantillon, la fréquence de l'excitation était de 2,2 Mhz, la mesure se fait au moyen d'un oscilloscope à mémoire.

Mesures (figure 13)

Les vitesses V_2 et V_3 des ondes se propageant dans le sens de la schistosité ont sensiblement la même valeur : $5600 \text{ m/s} \pm 80 \text{ m/s}$.

La mesure de V_1 perpendiculairement à la schistosité n'a donné aucun résultat. Les nombreuses discontinuités emplies d'air interdisant le passage des ultrasons.

Il eut fallu pour cela recommencer les mesures avec un appareil fonctionnant en plus basses fréquences, ce qui n'était pas possible à l'I.R.I.G.M. mais le sera prochainement avec l'équipement d'émission acoustique.

En l'absence de ces dernières mesures, je ne pouvais tirer que des conclusions sommaires à cet essai.

Qualitativement, nous avons la confirmation ici que les valeurs des vitesses, trouvées dans le Lias, de l'ordre de 1200 à 2000 m/s ne se rapportent pas à des niveaux sains.

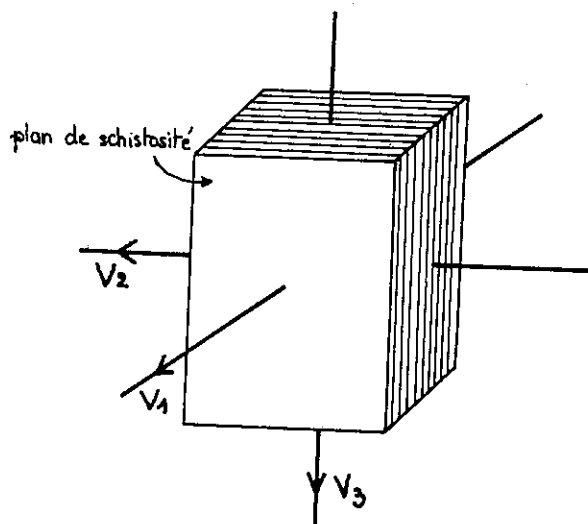
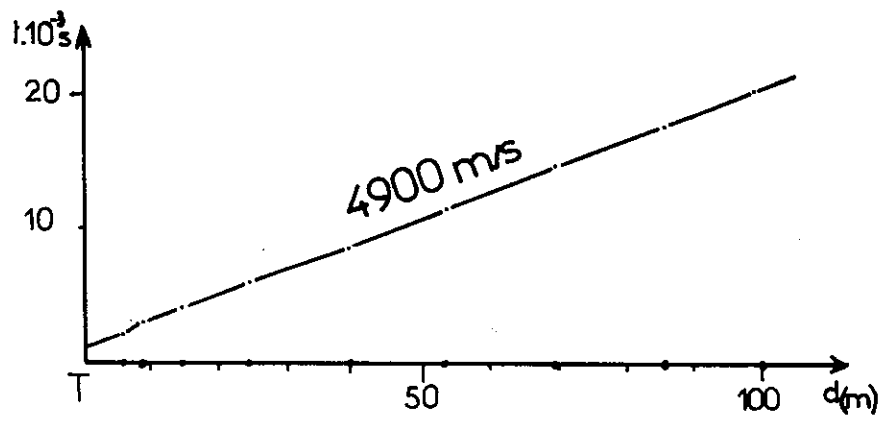


Fig. 13. - Mesure des vitesses sismiques en laboratoire

Fig.12.Hodochrone du profil VI
— micaschistes —



C H A P I T R E IV

ETUDE APPROFONDIE DE LA RIVE GAUCHE

A. OBSERVATIONS DETAILLEES DE TERRAIN

L'aspect du terrain, le relief, la couverture végétale ne permet pratiquement pas de déceler rapidement l'existence de mouvements, excepté dans des zones telles que La Sauge où il existe des indices de surface

Ailleurs, malgré un quadrillage quasi-systématique (maille de 150 m environ), une enquête auprès des habitants est indispensable pour obtenir autant de renseignements que possible sur les mouvements des maisons, des chemins, des rives des cours d'eau, ainsi que tous les phénomènes historiques locaux. On peut obtenir aussi de précieuses indications sur les variations lentes de topographie qu'il est tout de même nécessaire de vérifier soi-même avant de leur accorder un crédit définitif. Ce dernier phénomène peut être observé d'une année à l'autre en plusieurs endroits de la rive gauche. Il serait du reste intéressant de pouvoir y faire des séries de mesures précises, de photogrammétrie et télémétrie par exemple.

C'est ainsi que l'on pourra éventuellement déterminer les mouvements lents de ce versant.

B. SONDAGES MECANIQUES

Tous les profils, à l'exception de G, ont nécessité le creusement à la tarière à main \varnothing 60 m/m de trous de 0,80 à 1,20 m de profondeur suivant le cas, permettant

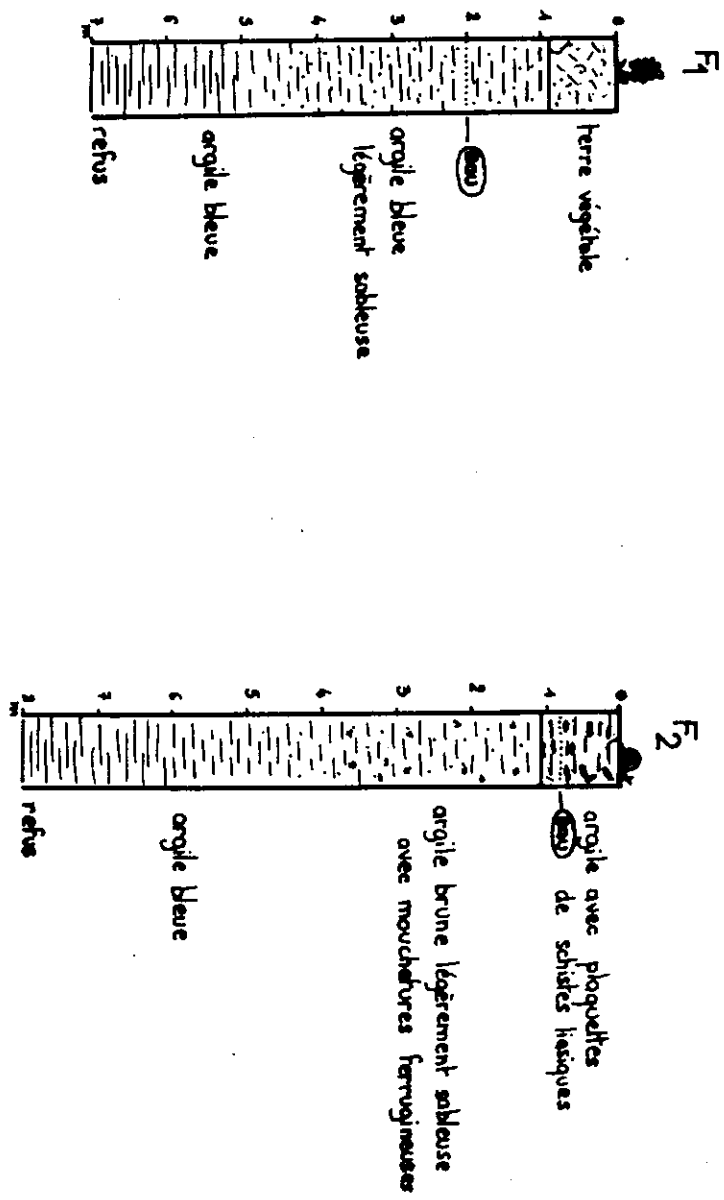


Fig.14. Logs des sondages mécaniques (rarière)

de déterminer en même temps la nature des terrains situés immédiatement sous la couverture humifère. Je n'ai pas effectué de report de ces observations sur des logs car dans tous les cas j'observais des argiles grises à plaquettes de schistes, les rares exceptions se trouvant dans les marais et les sagnes où l'épaisseur de la vase est supérieure à 1,50 mètre.

Les tirs du profil G ont été réalisés à partir d'un trou \varnothing 100 m/m de 8 m de profondeur tubé en PVC \varnothing 80 m/m et réalisé au moyen d'une tarière mécanique type SIMCO montée sur le camion Mercedes Unimog de l'I.R.I.G.M.

Le log du sondage F_2 (figure 14) nous montre que, sous une couche d'argile à débris de Lias, on trouve une deuxième couche d'argile, brune, assez raide pour atteindre la cote - 4 m tN environ, un niveau pratiquement liquide dans lequel l'eau était légèrement en charge (remontée à 0,8 m TN), à la date de l'observation au moins (juin 1978).

C. ESSAIS DE LABORATOIRE

1. Prélèvement du sondage F_2

Les matériaux très fluides extraits du sondage mécanique ont fait l'objet d'un prélèvement.

L'analyse granulométrique nous montre surtout une granularité remarquablement continue et étalée (figure 15, courbe granulo) laissant à penser que nous avons là probablement un produit sableux d'origine glaciaire dans lequel les gros éléments flottaient et qui a pu être par la suite colmaté par des fines.

Les limites d'Atterberg réalisées sur la fraction $< 0,4$ m/m du même échantillon sont les suivantes : $W_l = 36\%$, $W_p = 23\%$, $I_p = 13\%$, or la teneur en eau naturelle est de 55 % !

A ce niveau, le terrain est en profondeur très largement saturé, bien au-delà de sa limite de liquidité.

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GEOLOGIE ET MECANIQUE

Echantillon :

F 2

ANALYSE

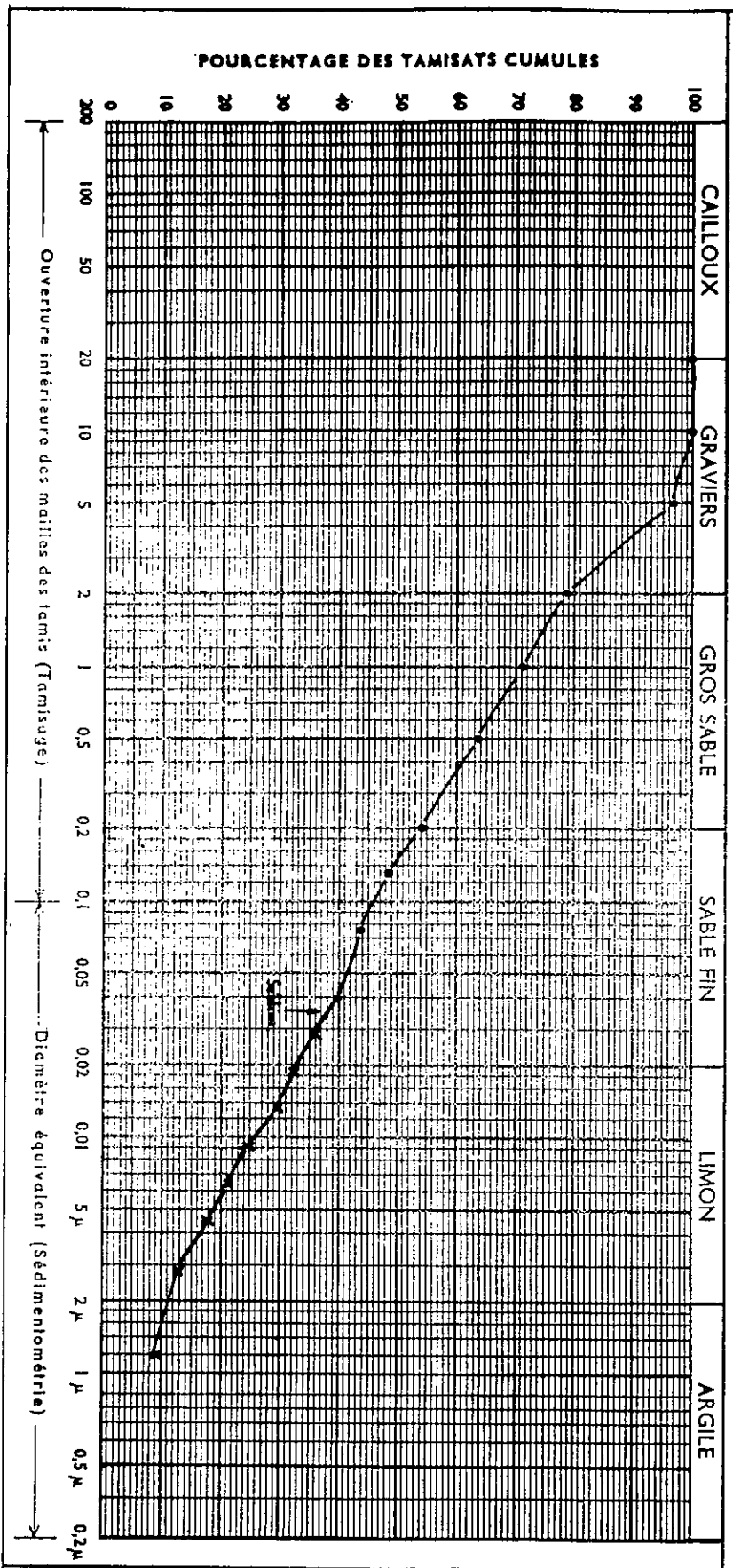
FIGURE 15.

Opérateur :

Provenance :

Date :

GRANULOMETRIQUE



2. Essai d'analyse des joints du Lias des Evettes

J'ai effectué aussi un prélèvement d'argile parmi les gros blocs de Lias dis-joints, sous les chalets des Evettes, près de la cote 1 300 m.

Comme nous l'avons vu au terme de l'étude préliminaire, mon but, dans ce cas était de savoir dans quelle mesure ces matériaux entourant les blocs de Lias et susceptibles de combler les vides (ou les joints) entre eux, ont pu permettre le mouvement suivant le plan incliné que constituent ici certains plans structuraux. Malheureusement, il n'est pas possible d'effectuer un échantillonnage significatif sans moyens mécaniques, et les voies d'accès sont difficiles. Il est peu probable que l'échantillon prélevé devant l'un des blocs soit représentatif du matériau constitutif des joints. Il est très certainement pollué par les produits d'altération mécanique du bloc lui-même. Je n'ai donc pas tenu compte des résultats obtenus là.

D. ETUDES SISMIQUES DE LA RIVE GAUCHE

Cette étude a un double but :

- Retrouver éventuellement le toit des micaschistes, bel horizon réfracteur, pour préciser le contexte géologique et tenter de retracer un profil transversal et un profil longitudinal de la vallée.

- Tenter de reconnaître les vitesses des terrains de surface afin de pouvoir, dans l'optique des cartes de risques, reconnaître les vitesses sismiques des terrains en présence. Ceci permet une première approche des caractéristiques mécaniques, qui corrélée avec des essais simples d'identification et des sondages mécaniques peut permettre une zonation qualitative des terrains susceptibles de bouger.

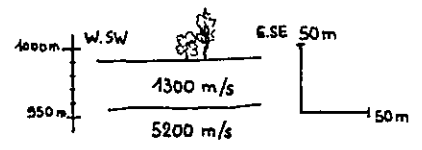
C'est uniquement dans cet esprit qu'ont été réalisés tous les profils sismiques, desquels j'ai essayé de tirer le maximum de renseignements (figure 8, localisation).

1. Profil X (figure 16)

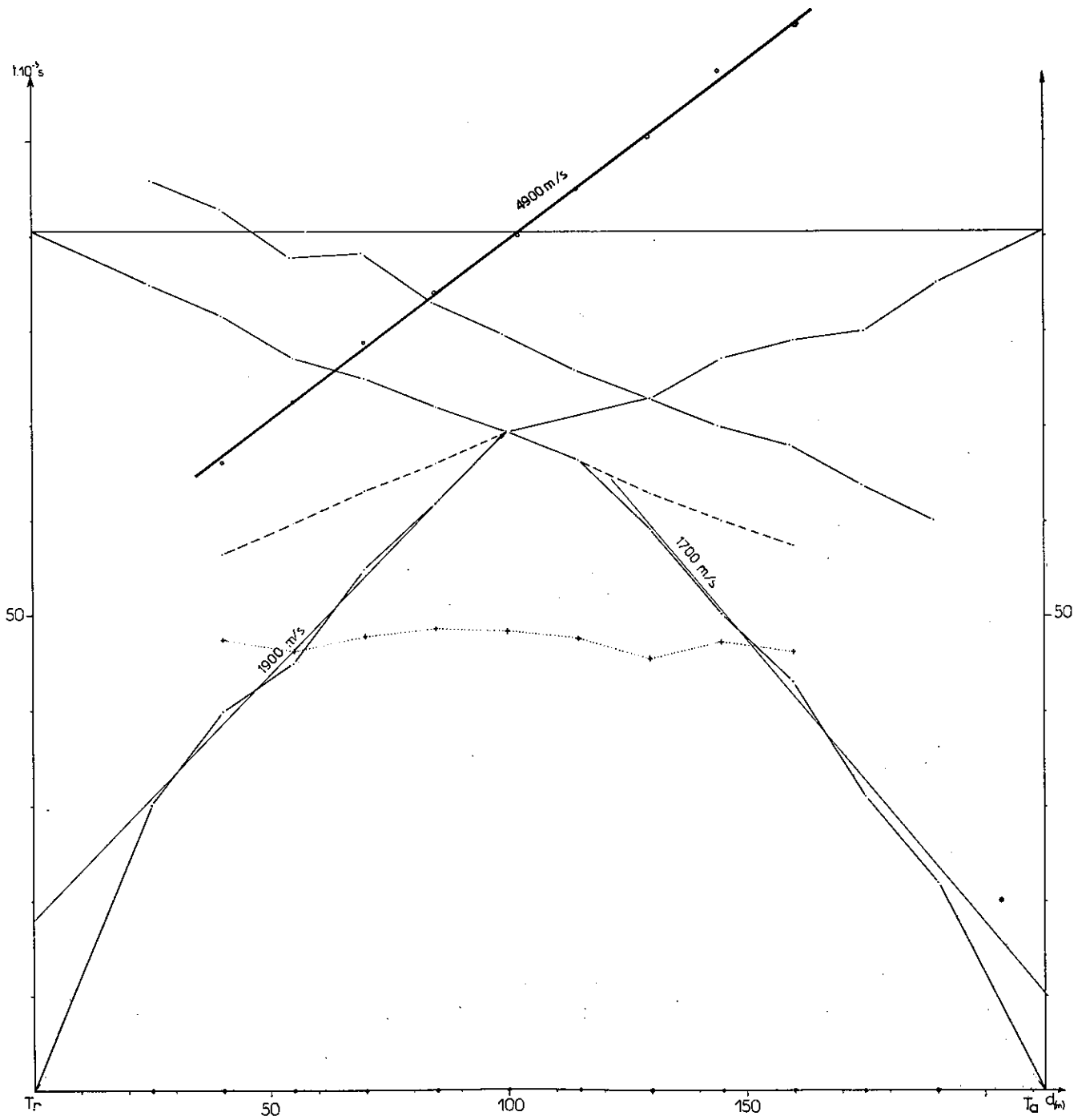
But : essentiellement la reconnaissance du toit des micaschistes, ce profil, à rapprocher dans ses buts du n° XIII, devait permettre de préciser la forme de "l'ombilic de Praz".

Fig16. Hodochrone du profil X

— ARLY —



Coupe parallèle au profil X



Les résultats obtenus nous montrent un horizon réfracteur à 4 900 m/s à environ 35 mètres sous le niveau du sol. D'après le contexte géologique, il est raisonnable de penser que nous avons bien là le toit des micaschistes (cf. hodochrones du profil X). Ce qui confirme l'existence d'un ombilic profond en amont du "Seuil de Flumet". En fait, les micaschistes ne disparaissent du fond de la vallée qu'au lieu-dit Panloup, 2,5 km en amont de Flumet. Le décalage des courbes "premiers terrains" vers le haut est dû à la présence près du point de tir de terrains alluvionnaires particulièrement meubles et "lents". On peut constater d'autre part que la vitesse en profondeur obtenue par la méthode graphique correspond très bien à celle que l'on obtient par le calcul. En effet, considérant un réfracteur très faiblement penté, on a

$$\frac{2 V V'}{V+V'} = V_{\text{vraie}} = 4\,900 \text{ m/s} \quad \text{avec} \quad V_{\text{amont}} = 4\,600 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{aval}} = 5\,200 \text{ m/s.}$$

2. Profils VIII et XII de part et d'autre de la ferme de Sur l'eau (Pettex sur la carte):

But : reconnaître éventuellement l'épaisseur des terrains susceptibles d'avoir bougé, et mesure des vitesses en profondeur dans les micaschistes ou le Trias.

Ces profils nous donnent une surface à 3 300 m/s entre 30 (profil aval) et 50 m (profil amont) de profondeur (figure 17). Il est peu probable que nous ayons atteint les micaschistes à ce niveau, il est possible que ce soit là le Trias réduit, on ne peut préciser ici, faute de réels profils d'étalonnage, si l'on a affaire aux quartzites ou aux dolomies.

3. Profils XIV (3 séries), XV, XI et G

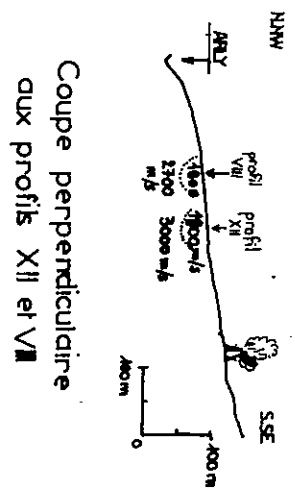
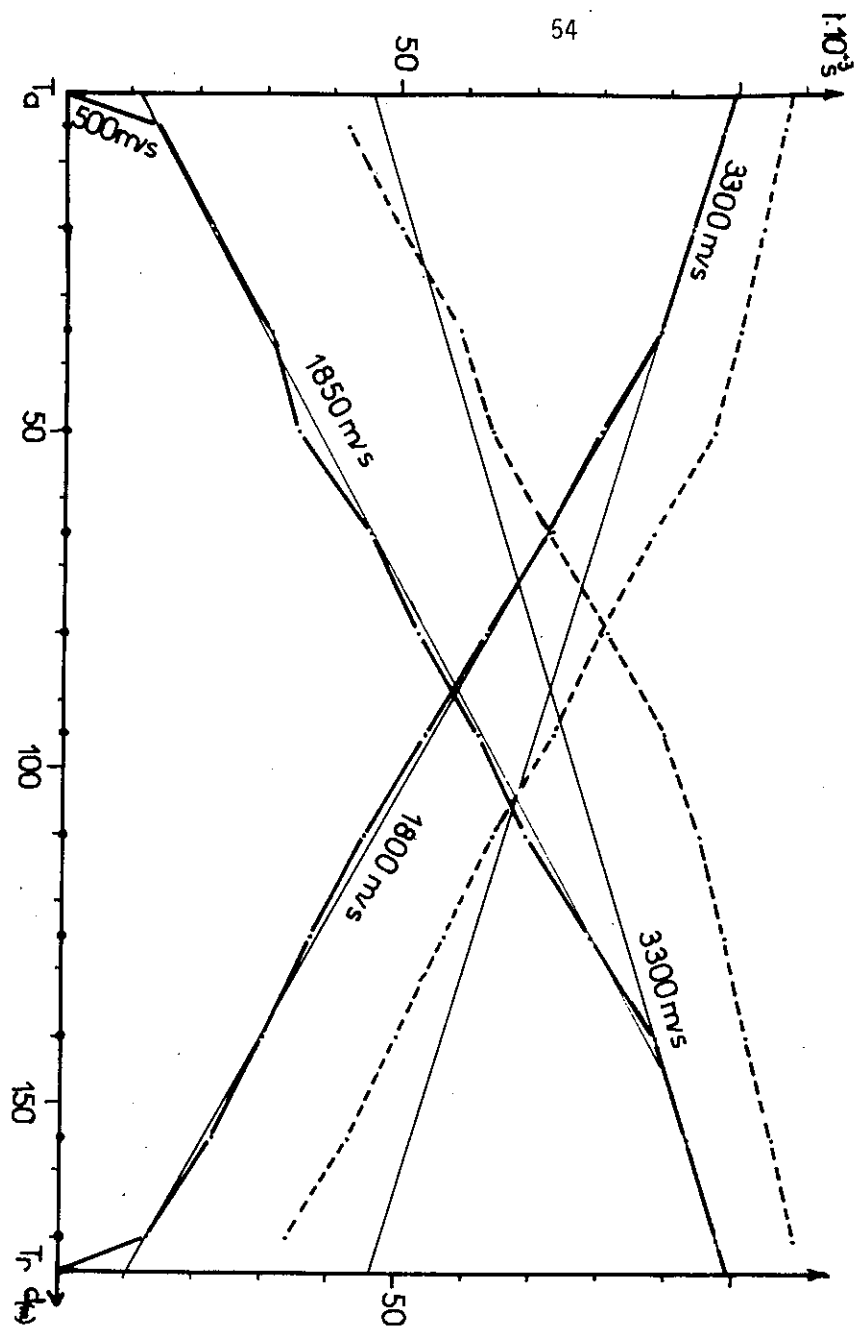
But : essais de reconnaissance systématique d'une zone sujette à un mouvement lent d'ensemble.

a. Profil XI

Sous la ferme de Belliard, sur le sommet d'une zone reconnue comme la partie haute d'un ancien glissement (figure 18).

Les tirs retour ont eu lieu dans un profond thalweg.

Fig 17. Hodochrone du profil XII
 - SUR L'EAU (en haut) -



Coupe perpendiculaire
 aux profils XII et VIII

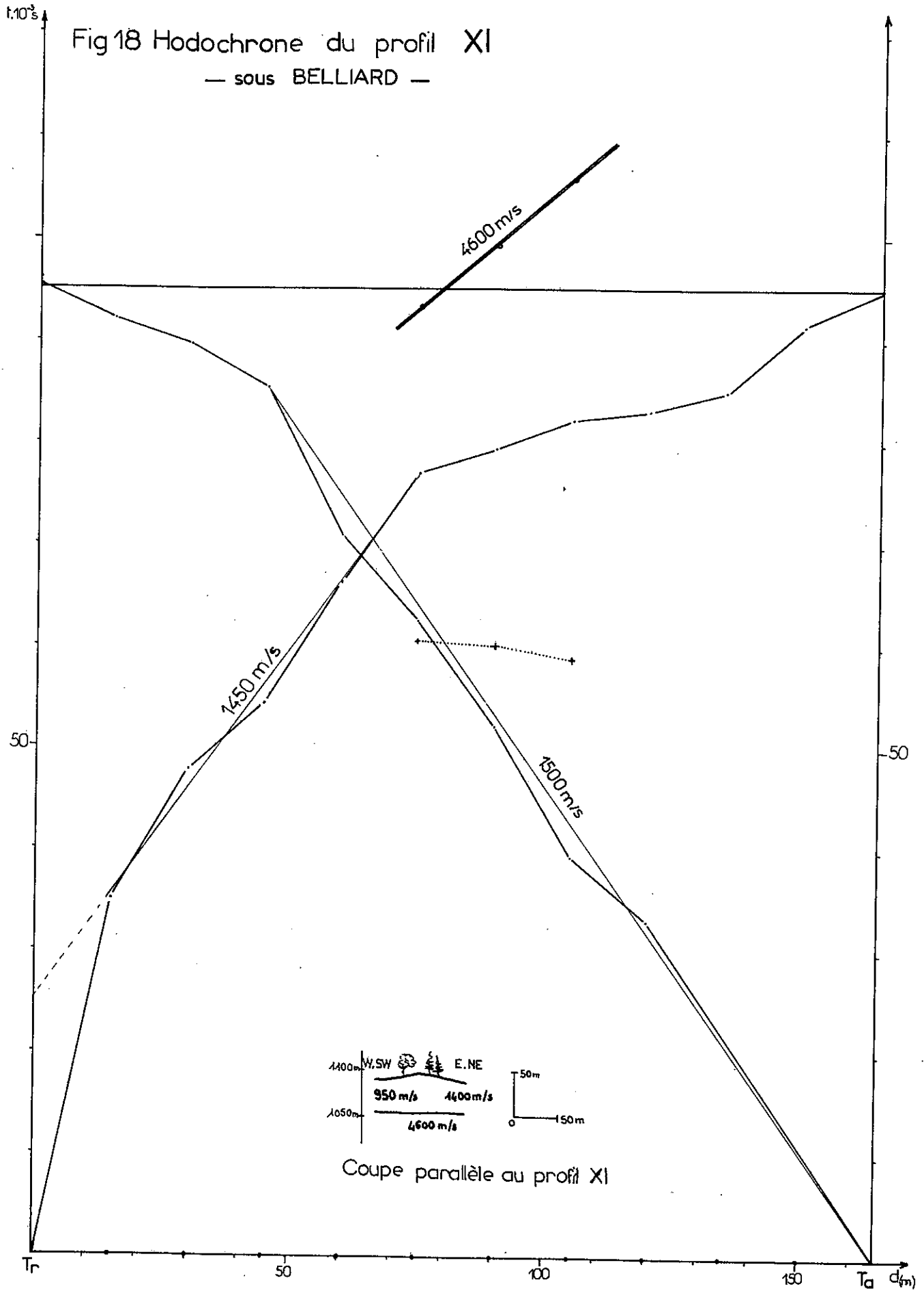
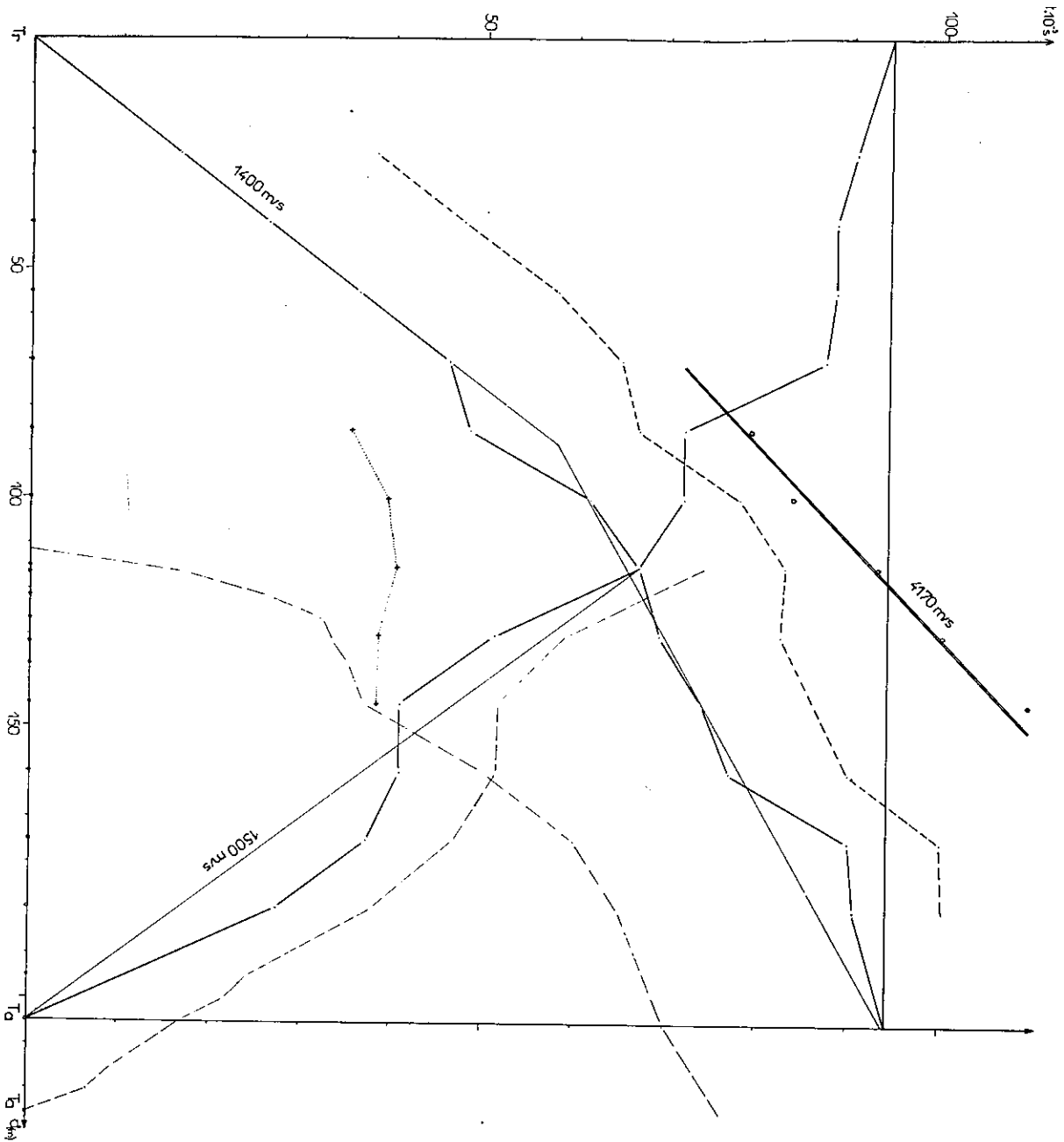


Fig.19. Hodochrone du profil XIV 1^{re} 2^e séries
— BELLIARD



Coupe parallèle au
profil XIV 1^{re} 2^e s.

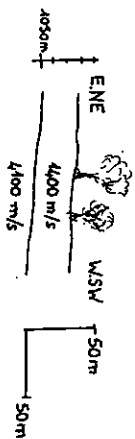
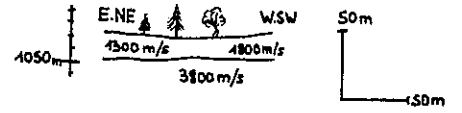
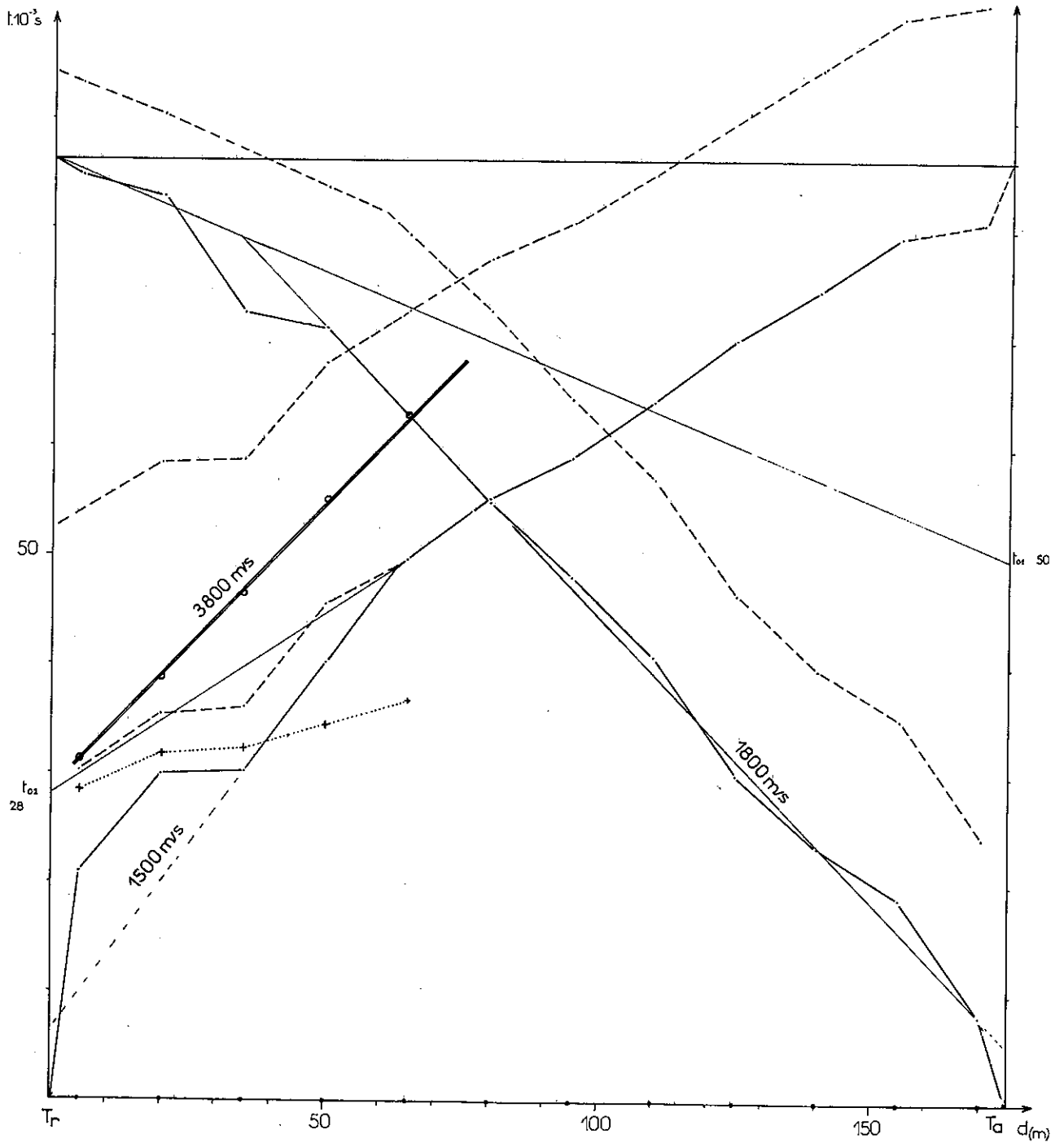


Fig.20.Hodochrone du profil XIV 3^esérie

— BELLIARD —



Coupe parallèle au profil XIV 3^es.



Nous avons de 0 à 35 m des terrains dont la vitesse moyenne est de l'ordre de 1 500 m/s ; il est intéressant de noter, à proximité du thalweg (extrémité WSW du profil) une zone à très faible vitesse, de l'ordre de 500 m/s. Les niveaux à 1 500 m/s doivent reposer sur le Trias réduit plutôt que sur les micaschistes (4 600 m/s).

b. Profil XIV (série de trois profils consécutifs)

But : reconnaissance des terrains glissés à l'E-NE de la ferme de Belliard. Il devait aussi permettre de préciser les limites éventuelles du glissement.

Ces trois profils ont quelques parties communes qui m'ont beaucoup aidé dans l'analyse des hodochrones (figures 19 et 20).

Les résultats obtenus m'ont permis de caractériser, sous des terrains dont la vitesse moyenne est de 1400-1500 m/s, un horizon réfracteur à 4 000 m/s environ (3 800 pour le troisième, aux erreurs de manipulation près) dont la profondeur varie entre 25 m environ à l'amont et 20 m et même 15 m à l'aval près de la ferme de Belliard.

Nous avons là, à partir de la surface, 20 à 25 m de terrains meubles ou de roches altérés profondément.

Au-dessous, tout ce qu'il est possible de dire d'après ce que j'ai pu établir, c'est que la vitesse de 4 000 m/s est celle d'un rocher sain dans son gisement normal. Nous ne pouvons malheureusement préciser le faciès : Lias sain ou Trias.

c. Le profil XV

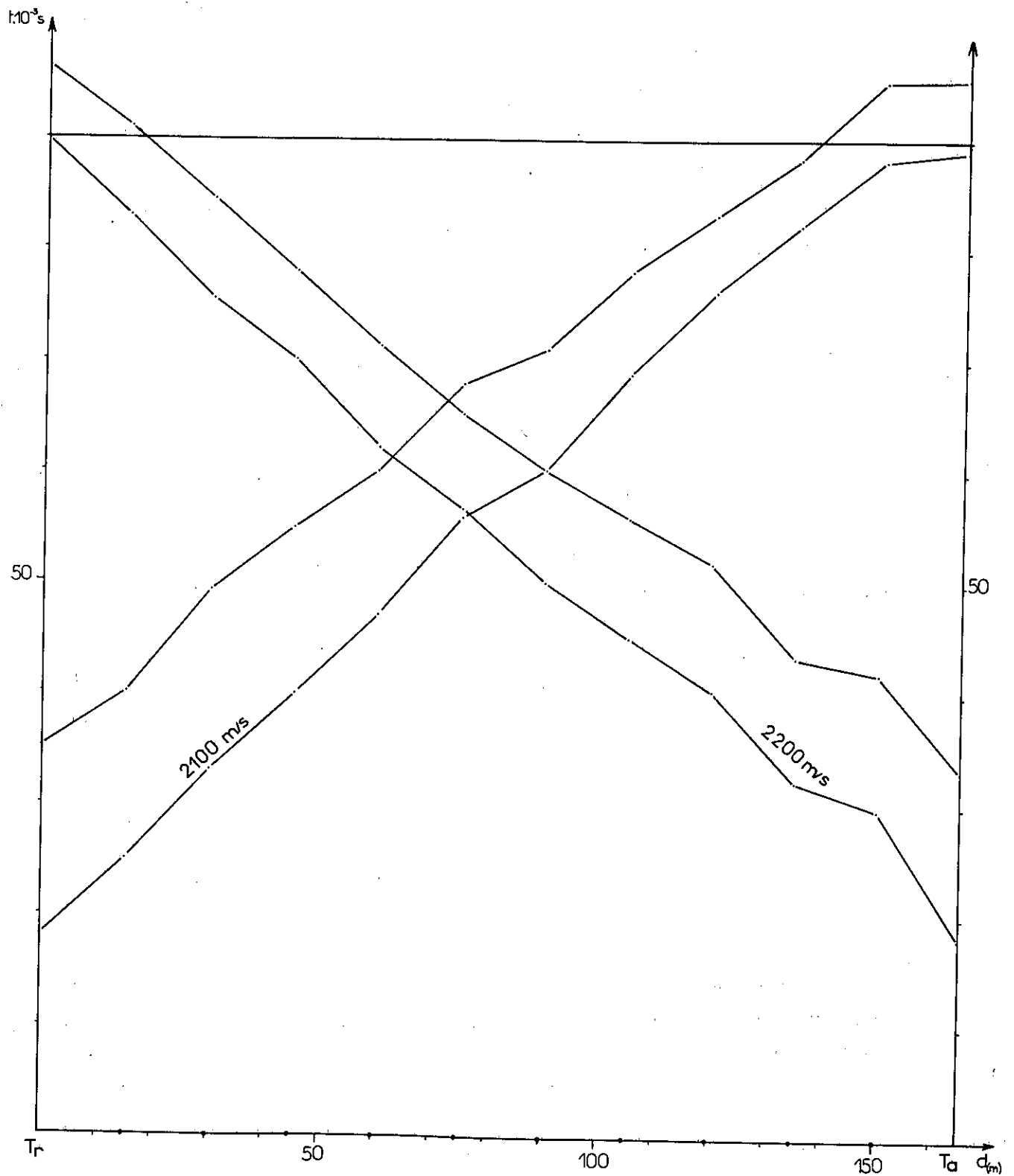
Réalisé dans la ligne de plus grande pente, il aurait éventuellement donné le toit du niveau à 4 000 m/s. A cette fin, les tirs rapprochés n'ont pas été notés sur l'hodochrone (figure 21).

Cette expérience n'a donné aucun résultat probant, en effet, nous recevons une seule et unique onde dont la vitesse moyenne est de l'ordre de 2 200 m/s.

Les tirs sismiques ont été réalisés de part et d'autre du profil, dans des marécages assurant une bonne transmission de l'onde de choc.

Si nous avons effectivement un miroir profond à 4 000 m/s, nous pouvons dire qu'au niveau du profil XV il est à une profondeur supérieure à 100 mètres. Dans ce cas, je considère que l'arrivée de l'onde réfractée sur cet horizon rapide arrive juste après le douzième géophone, c'est-à-dire en dehors de mes possibilités d'enregistrement.

Fig 21 Hodochrone du profil XV
 — BELLIARD selon la pente —



Il est aussi possible que nous ayons dans ce cas un interface trop penté pour permettre l'émergence des rais sismiques, lors du tir descendant par exemple (on aurait $i + \alpha > 90^\circ$). Dans ce cas, nous aurions essayé d'obtenir, si l'appareillage l'avait permis, les ondes réfléchies sur ce miroir très penté, lors du tir aval.

La troisième possibilité est que nous ayons des terrains à 2 200 m/s, comprenant la zone marécageuse et quelques terrains de surface qui reposent sur une couche plus lente, interdisant la propagation en profondeur des ondes sismiques. Dans ce cas, seuls un forage et un carottage sismique peuvent nous aider.

Nous sommes donc là en présence d'un contexte qui permet de juger des limites de la prospection sismique de surface prise isolément, ou simplement corrélée avec la géologie de surface.

d. Profil G (figure 22) d'une longueur totale de 320 mètres fut réalisé avec un appareil susceptible d'enregistrer toutes les arrivées. Les tirs, plus puissants pour compenser la forte absorption des terrains en présence, n'ont permis de recevoir que des ondes réfractées sous des terrains à 1 900 m/s environ. Il fut impossible, faute d'un véhicule spécial tout terrain, d'effectuer des tirs retour.

Deux interprétations sont possibles pour ce qui concerne les arrivées réfractées (figure 22, hodochrone du profil G).

1er cas

On considère que le niveau profond correspond à la vitesse apparente de 7 000 m/s. S'il s'agit de notre horizon à 4 000 m/s, nous l'avons à 80 m de profondeur au centre du glissement et il est penté de 13° environ vers l'amont de la vallée.

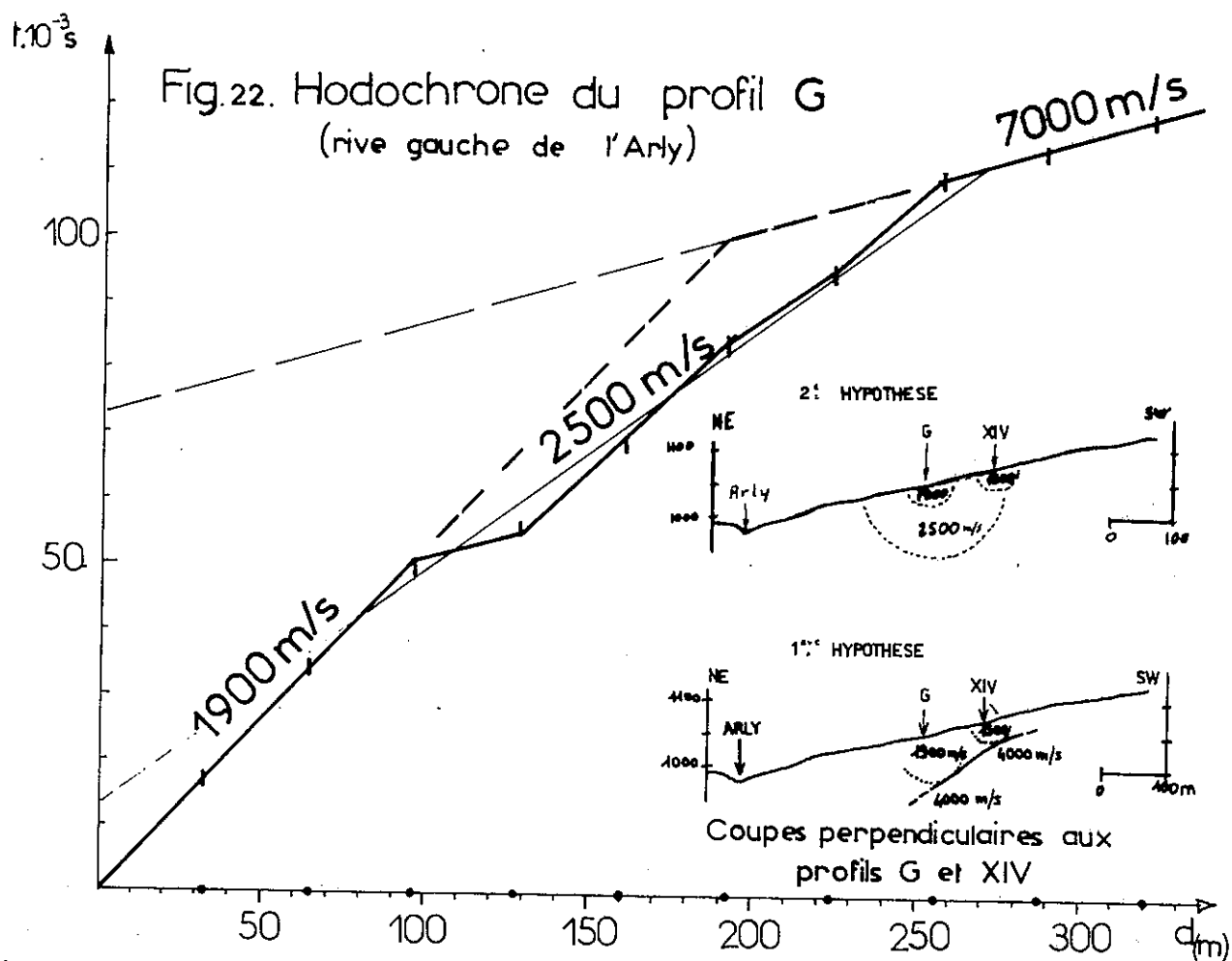
Si nous avons là les micaschistes sains à 5 500 m/s (cette valeur est prise surtout pour donner un ordre de grandeur des profondeurs possibles), nous aurions alors un réfracteur à 75 m dont la pente serait d'un peu moins de 5° .

2e cas

On interprète les arrivées situées entre l'onde directe et les terrains profonds comme une réfraction sur des terrains intermédiaires à 2 500 m/s. Dans ce cas, nous avons un premier réfracteur à 19 m de profondeur et un second à 105 ou 115 mètres suivant que l'on prenne respectivement 5 000 ou 4 000 m/s pour le réfracteur profond.

Il faut cependant prendre ces résultats avec beaucoup de précautions car nous

ne disposons pas de tir retour ni de courbe off-set permettant d'analyser objectivement les arrivées.



4. Profil VII près de la ferme de Zécon.

Le but était de trouver l'épaisseur de la masse glissée à cet endroit et de retrouver éventuellement les micaschistes.

Cette expérience, réalisée dans des conditions très difficiles, n'a pu être prolongée autant qu'il eut été souhaitable. C'est la raison pour laquelle, manquant de données, j'ai dû extrapoler raisonnablement la partie manquante de la courbe retour à partir des éléments obtenus.

Ainsi, j'arrive à observer tout d'abord une notable variation des vitesses en surface, de 1 200 m/s au tir retour dans l'axe de la gare inférieure du télésiège à 1 600 m/s au tir aller, 240 mètres plus loin.

Sous ce niveau très hétérogène de surface un horizon à 4 000 m/s comme nous avons observé au cours des tirs précédents.

Ce niveau réfracteur est à une profondeur moyenne de 25 mètres et serait faiblement penté vers l'amont (moins de 5°).

5. Profil IX, Les Rutennes.

Réalisé à travers les lacets de la route nous montre une hodochrone hâchée, très discontinue qu'il n'a pas été possible de comparer avec des enregistrements offset. Il était impossible pour des raisons de sécurité entre autres d'effectuer des tirs lointains.

6. Profil XVII. Echec.

E. CONCLUSIONS A L'ETUDE DETAILLEE DE LA RIVE GAUCHE

Un sondage mécanique, des essais d'identification, mais surtout onze profils sismiques et des observations de surface, m'ont permis de progresser dans la compréhension de ce flanc de vallée, et d'envisager un modèle d'évolution géologique.

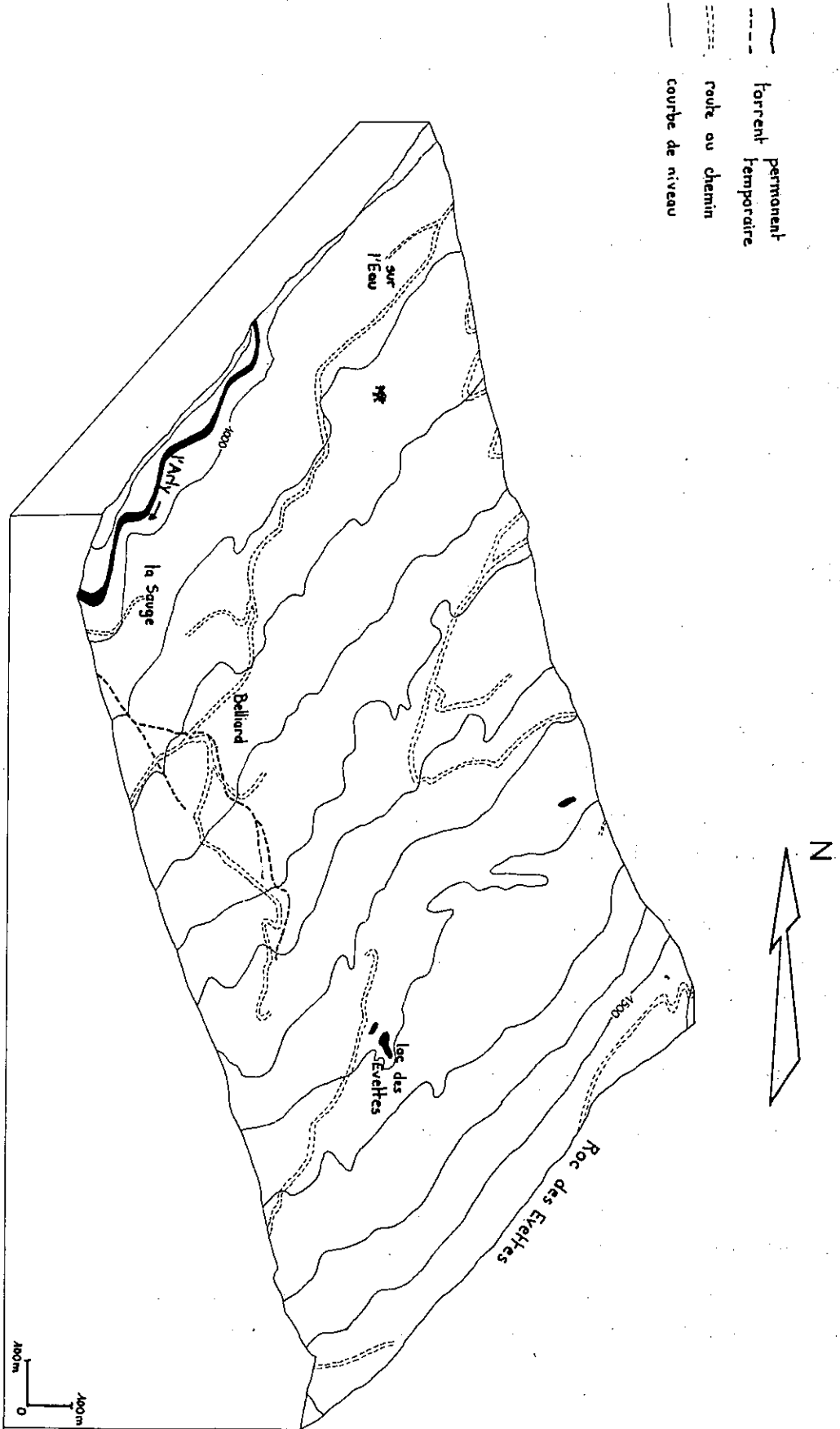
Les observations effectuées sur cette rive gauche m'ont conduit à imaginer que nous sommes là en présence d'un phénomène de désagrégation de la pente par mouvement des blocs de Lias, plan sur plan. Ce mouvement est rendu possible par le pendage général moyen conforme à la pente du versant. Après séparation du bloc du reste de la formation, sa désagrégation commence et il va devenir mobilisable par des glissements plus classiques. Cette hypothèse permet d'expliquer la nature d'autant plus grossière des blocs lorsqu'on remonte la pente.

De même, on peut effectuer, dans les secteurs où les talus de route le permettent (route des Grabilles) des mesures structurales de plus en plus incohérentes en descendant le flanc de la vallée.

Ces "mouvements" se retrouvent dans l'examen attentif de la topographie (cf. bloc diagramme, figure 23) et dans l'allure festonnée des courbes de niveau.

Ces phénomènes ont produit ainsi une épaisseur importante de colluvions si l'on en croit les résultats de prospections sismiques. La couverture ainsi produite pouvant être épaisse par endroits de 30 à 40 mètres.

Fig. 23. Bloc-diagramme de la rive gauche de l'Arly, en face du secteur de Scizier.



La nature très fluide des matériaux profonds extraits du sondage F₂ permet d'émettre une hypothèse pour expliquer les mouvements rencontrés à mi-pente sur la rive gauche, entre la partie supérieure "à blocs" et la partie basse périodiquement reprise par les affouillements de l'Arly.

Ces mouvements lents ont lieu sans véritables indices de surface, ni fissure, ni perturbation notable de la végétation, mais parfois tassement différentiel de construction pourtant légère (photo 3, planche 2).

Nous avons, sous une couche d'argile d'environ 3,5 mètres (l'incertitude est due à l'usage de la tarière mécanique), un niveau sablo-argileux à une teneur en eau supérieure à sa limite de liquidité.

Ce niveau quasi-liquide sous un manteau plastique permettrait des déformations lentes sans provoquer l'apparition d'indices de surface. Les mouvements du niveau profond seraient simplement transmis par le niveau superficiel.

Remarque

La zone la plus notablement en mouvement (NW de Belliand où ont été réalisés les profils XIV, XV et G) n'est plus en culture depuis quelques années, c'est-à-dire que le drainage n'y est plus entretenu. C'est par ailleurs le seul endroit, près de la ferme en ruine du centre du glissement où l'on peut trouver des fissures relativement larges (0,50 m) et profondes (1,50 m) dans la zone que j'estime la plus mobile.

Par ailleurs j'ai pu retrouver aussi les restes de coulées de boue et de pierres, dans laquelle coule de nouveau le ruisseau (thalweg à l'W du téléski des Evettes).

Ce phénomène n'est pas daté mais il est récent, moins de vingt ans d'après les proches habitants. La proximité des torrents devra donc être envisagée avec prudence dans le cadre d'un aménagement.

En résumé à cette étude de rive gauche, nous avons mis en évidence :

- un substratum non remanié à une profondeur d'une quarantaine de mètres environ.
- des mouvements généralisés peu nets près de la cote 1 300 dérivant de glissements lents de blocs sur leur plan de stratification.
- la présence dans les matériaux remaniés de mi-pente, d'un niveau très fluide, sursaturé, susceptible de jouer un rôle dans la déformation lente des terrains sous-jacents.

F. ETUDES COMPLEMENTAIRES SOUHAITABLES

Les conclusions qui précèdent appellent à des travaux de reconnaissance complémentaires, dont la réalisation n'a pas été possible dans le cadre de ce mémoire.

1. Etude du glissement des blocs de Lias (région des Evettes)

- Les prélèvements effectués sur les matériaux entourant les blocs sont très approximatifs et n'ont pas permis une étude convenable de la cohésion du matériau des "joints". Les questions sont les suivantes : 1) Avons-nous eu réellement affaire aux argiles des joints entre blocs ou à un matériau pollué par l'altération mécanique de surface ? 2) Le tamisage du matériel pour les essais (limites, essais à la boîte de Casagrande) ne nous a-t-il pas éloigné de la réalité ?

- Pour répondre à ces questions, il faudrait prélever les échantillons des joints par forages mécaniques. Malheureusement, l'emplacement des sondages est si délicat d'accès que cette question restera encore longtemps posée.

2. Les mouvements de terrain affectant la rive gauche

- Le déplacement des blocs de Lias est très faible et très lent, il est probable aussi que tous les blocs ne bougent pas en même temps ou à des vitesses différentes.

- Les mouvements globaux de versants ne peuvent être quantifiés à l'oeil nu, même dans la très intéressante zone NEW de Belliand. Les mouvements verticaux, à peine perceptibles d'une année sur l'autre, mériteraient d'être suivis régulièrement sur plusieurs années.

Ces mesures peuvent être faites après installation de balises témoins relevées par télémétrie, méthode utilisée en glaciologie depuis déjà quelques années.

3. Problème posé par le profil sismique n° XV

Dans ce cas, le doute ne peut être levé que par la réalisation d'un carottage sismique pour éventuellement savoir si les terrains sous-jacents sont masqués par un niveau lent.

4. Prélèvement F₂

Les très intéressantes informations apportées par ce forage ne doivent pas nous faire oublier le caractère extrêmement ponctuel du prélèvement.

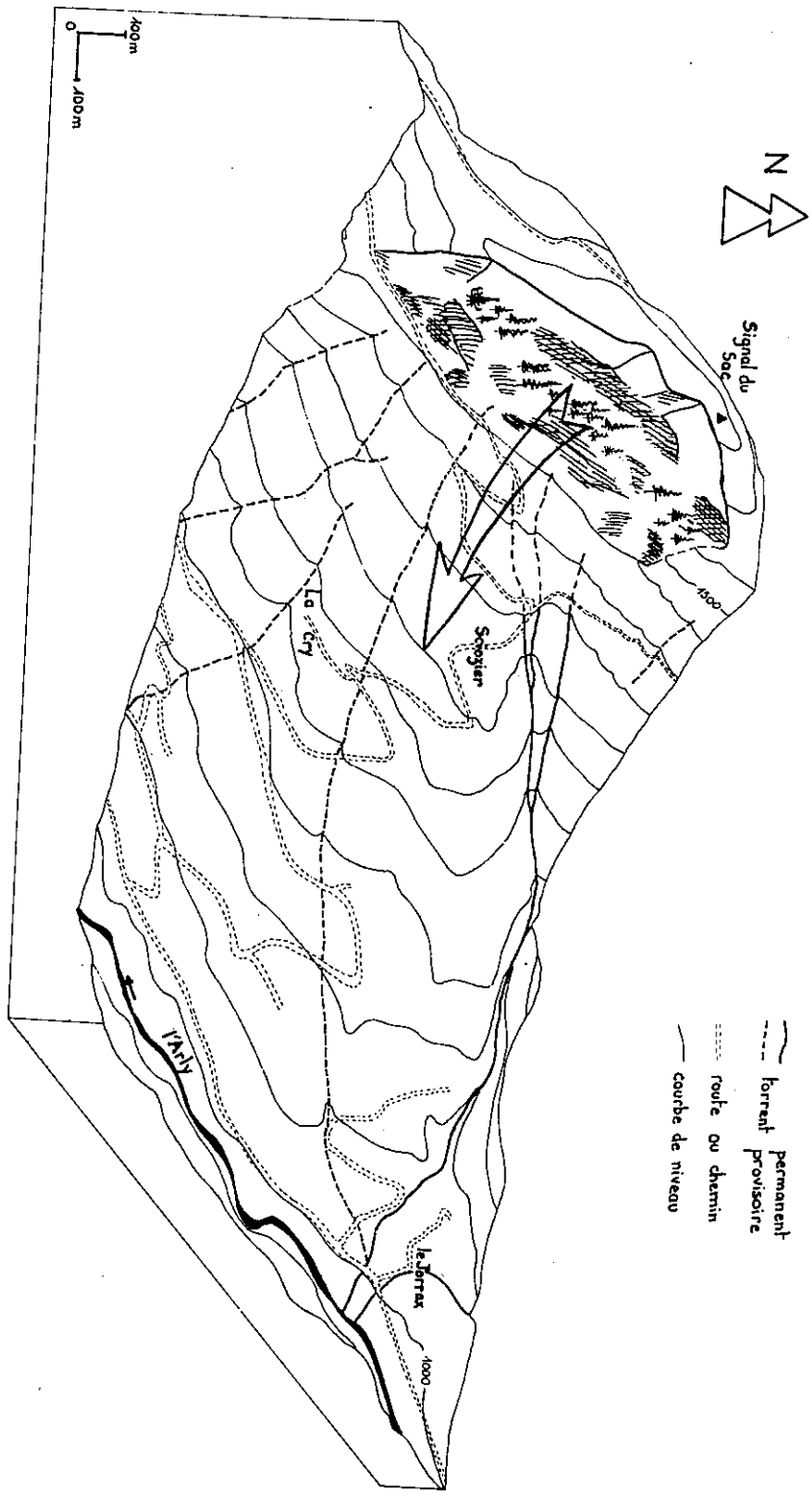


Fig24. Bloc-diagramme de la rive droite de l'Arly, dans le secteur de Sciouzien.

CHAPITRE V

ETUDE APPROFONDIE DU "GLISSEMENT" DE SCIOZIER

L'étude géologique de surface, et l'examen préliminaire de la rive droite de la vallée nous ont amenés à conclure à la présence, au niveau de Sciozier, d'un grand glissement ou écoulement ancien. J'ai, pour des raisons pratiques essentiellement, subdivisé ce travail en deux parties distinctes concernant :

- la partie aval de la falaise, c'est-à-dire les champs et les prés de la zone habitée jusqu'à l'Arly et qui correspond sensiblement à la masse glissée et profondément remaniée,
- la falaise proprement dite, en amont de la route panoramique du Signal du Sac, qui constitue la surface de départ, à partir de laquelle un phénomène similaire pourrait se renouveler.

Une estimation des paramètres mécaniques nous permet de tenter une approche du facteur de sécurité.

A. ETUDE DE LA PARTIE BASSE

1. Morphologie

Cette zone se présente grossièrement comme un demi-cône de pente moyenne égale à 18-20° (bloc diagramme topographique, figure 24).

La surface de ce demi-cône est parsemée de bosses de 3 à 8 m de haut environ

(non discernables sur la carte topographique) qui sont des blocs de Lias supérieur (seuls affleurements visibles), plus ou moins colonisés par la végétation. Ces blocs sont, à l'évidence, dissociés du substratum.

2. Géologie

Nous avons dû rencontrer, de bas en haut, le Trias réduit éventuel, puis le Lias dans son ensemble.

En fait, sur toute la surface de ce "demi-cône", il n'y a aucun affleurement en place. Il faut s'éloigner de ce secteur et aller au fond du ravin du Jorrat vers le NNE ou près du thalweg de Biolay-La Fougère (cote 1 300 m) au SW pour rencontrer le premier affleurement.

3. Hydrogéologie

Le rôle essentiel de l'eau dans nombre de glissements de terrain conduit à étudier les écoulements particuliers de cette zone.

- Les sources et les ruisseaux permanents sont rares au-dessus de la cote 1 150 (l'eau de La Touvière vient de Frioland !).

- Au-dessous de cette cote, on rencontre fréquemment des ruisseaux également répartis sur la surface du terrain, les sagnes sont rares.

Des observations précédentes, il est possible de tirer le schéma suivant :

- L'écoulement de l'eau dans le versant se fait par l'intermédiaire de zones d'écoulement préférentiel ou chenaux,

- les circulations de la partie haute, par entraînement des fines vont colmater totalement ou partiellement la partie basse expliquant les nombreuses résurgences disséminées dans les prairies sous la cote 1150 (P.Desvarreux, 1971).

Une telle circulation de chenaux peut très bien exister dans l'hypothèse d'un grand glissement ou écroulement (existence de nombreux vides).

4. Sondages mécaniques

Comme pour la rive gauche, j'ai pu faire un sondage mécanique avec la tarière Simco de l'I.R.I.G.M.

Ce sondage était, là aussi, principalement destiné à des tirs sismiques. Son implantation fut donc conditionnée par le positionnement du profil sismique lui-même d'une part et par la bonne volonté des propriétaires des champs, d'autre part.

Il fut donc finalement réalisé dans une petite sagne, à l'extrémité SW du profil D, à côté de la ferme "La Croix de l'Allié".

Poussé au refus, à 7 mètres (cf. log, figure 14), il a donné, sous un mètre de terre végétale humifère, 6 mètres d'argile bleue, légèrement sableuse, très plastique. Ces argiles seront identifiées ultérieurement.

L'outil s'est arrêté sur des schistes du Lias dont nous avons remonté des fragments. Ce trou, tubé PVC \varnothing 80 m/m permettait quelque temps après le forage, de mesurer un niveau statique de -2 mètres TN.

Réalisé ici dans un but autre que la reconnaissance systématique, ce forage souligne le manque d'intérêt des reconnaissances tarière en de tels terrains. Définitivement stoppés par les blocs profonds, nous n'avons qu'un aperçu sommaire sans certitude de la configuration des terrains en profondeur. Un forage rotatif pourrait être utile ultérieurement pour confirmer les résultats de l'étude sismique.

5. Etudes sismiques

L'existence d'un grand mouvement ancien rendait intéressante la mise en oeuvre de reconnaissances profondes afin de déterminer une éventuelle surface de transition des vitesses corrélable avec la géologie.

a. Profil I.

Pour préciser les valeurs des vitesses dans ce secteur, déjà très nettement en pied de falaise, un premier profil fut réalisé sur la route panoramique de Sciozier au Signal du Sac.

Le but principal de ce profil, nous l'avons déjà vu, était de déterminer les valeurs des vitesses dans le Lias ou le Dogger à ce niveau.

Il était raisonnable d'attendre une série de vitesses : - le remblai routier éventuellement - la zone décomprimée et très fissurée visible en surface - le Lias en place.

Les résultats (hodochrone, figure 11)

Une couche superficielle à 500 m/s traduisant une très forte fissuration jusqu'à une profondeur de 6 mètres, cette couche n'est pas le remblai de la route, mais représente plus probablement une pellicule de terrain très décomprimée et fissurée éminemment mobilisable et dangereuse. Au printemps 1978, des fissures et des amorces de glissements pouvaient être notées sur la route à l'endroit du profil. Il est très probable que ce soit là le résultat des tirs de mines des terrassements de la route, et des phénomènes de décompression qui suivirent.

Sous ces terrains décomprimés, nous avons une deuxième zone fissurée à 1450-1900 m/s. Suivant la position sur le profil, l'épaisseur de cette tranche de terrain varie entre 34 m (tir aller à l'aval du profil) et 8 m à l'amont.

En profondeur, nous en avons déjà parlé, les schistes du Lias plus ou moins carbonatés présentent une vitesse de 4 550 m/s.

b. Profil D

La profondeur présumée du bed-rock (100-150 m) dans le cas d'une rupture en pied de pente, sensiblement circulaire interdisait, en première approximation, l'emploi du Mandrell dont la durée d'enregistrement est trop courte. Par ailleurs, en sismique réflexion, dans le cas d'un réflecteur profond, la densité des habitations et des routes posait des problèmes de sécurité des tirs.

J'ai donc procédé à des tirs dans un forage tubé à une époque où la région est encore peu fréquentée par les touristes. Un seul site réunissait toutes les conditions requises.

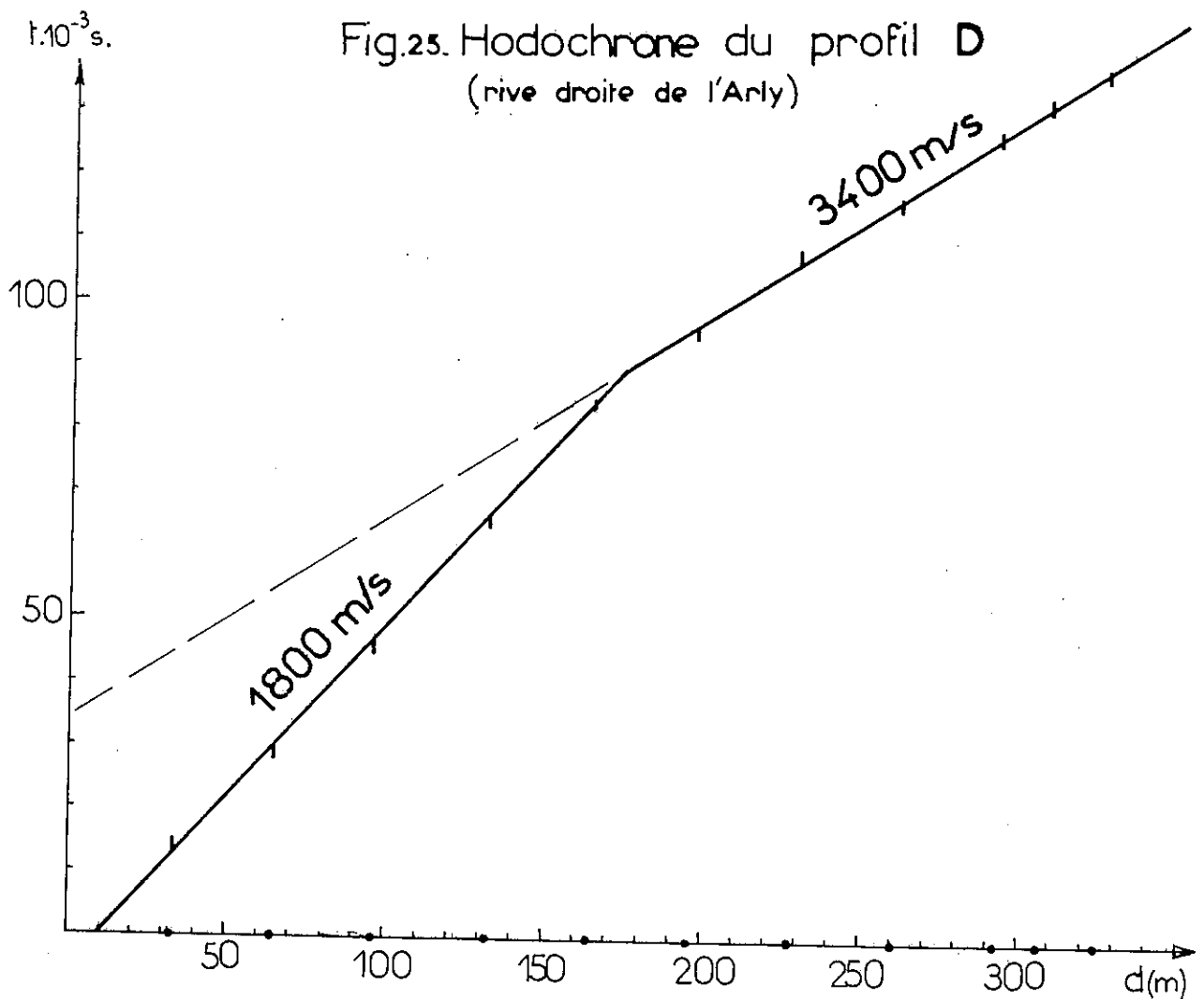
Par ailleurs, l'appareil Trio Ultralette SX 12 devait permettre de capter d'éventuelles arrivées secondes.

* Résultats (figure 25)

Le tracé de l'hodochrone nous permet de calculer deux vitesses :

- la première dans les terrains de surface, comme nous pouvions nous y attendre, est de 1 800 m/s,

- la deuxième portion de la courbe nous donne une vitesse relative (il n'y a pas eu de tir retour) de 3 400 m/s.



A partir de ces valeurs, nous pouvons faire deux hypothèses :

- soit nous avons réellement affaire à un terrain réfracteur à 3 400 m/s dont l'interface serait plan parallèle à la surface du terrain naturel au droit du dispositif sismique.

Dans ce cas, nous avons $V_1 = 1800$ m/s , $V_2 = 3400$ m/s , $t_0 = 35 \cdot 10^{-3}$ s, nous obtenons un interface à 37 mètres de profondeur.

- soit nous considérons que l'interface est penté légèrement vers l'aval-profil, ce qui est vraisemblable si l'on considère le contexte géologique ; et que la vitesse vraie est de 4000 m/s (vitesse trouvée dans le terrain sain à mi-pente en rive gauche).

Avec $V_1 = 1800$ m/s , $V_2 = 4000$ m/s , $t_0 = 35 \cdot 10^{-3}$ s, le réflecteur est alors à 35 mètres de profondeur.

* Conclusions

Les résultats de ce profil restent intéressants, malgré le manque de précision dû au matériel ($\Delta t = \pm 10^{-3}$ s) et au positionnement ($\Delta r = \pm 1$ m).

Ces chiffres viennent confirmer l'hypothèse d'un vieil écoulement de versant, car dans le contexte géologique (nature supposée du bed-rock et coupes géologiques) où ont été réalisés ces profils, il est impossible que nous ayons eu à cet endroit des terrains sains, en place, présentant des vitesses de l'ordre de 1 800 m/s.

Malgré cela, le doute ne sera réellement levé que lorsqu'un forage profond pourra être réalisé.. Aidé du schéma de la figure 27, il est possible d'effectuer une estimation sommaire du volume glissé. On obtient ainsi environ $3 \cdot 10^7$ m³.

Malgré la longueur de l'enregistrement (environ 2 s), nous n'avons pas enregistré de réflexion, ce qui laisse supposer que les micaschistes, pourtant excellent niveau réflecteur, plongent rapidement après avoir passé l'axe de la vallée.

Le fait que nous n'ayons perçu aucune arrivée seconde ne veut pas dire qu'elles n'existent pas. Si nous avons pu filtrer les longues périodes qui oblitèrent une grande partie de l'enregistrement, nous les aurions peut-être captées.

B. ETUDE COMPLEMENTAIRE DE LA FALAISE

1. Géologie

Constituée à sa base de schistes et schistes à nodules du Lias supérieur, elle passe progressivement vers le haut à des niveaux Bajociens Bathonien, schistes et calcaires alternés.

Il convient de noter que l'on trouve, dans ces niveaux, de grands volumes plus carbonatés où l'on ne distingue aucune stratification.

L'un de ces gros "rognons" calcaires constitue le surplomb de la route panoramique du Signal du Sac (photo 8 , planche 4).

2. Structure

Orientée S.SW-N.NE (environ N 25°), la falaise du Signal du Sac présente une pente moyenne de 45° vers l'ESE.

Elle est découpée par deux plans de schistosité, et une famille de fractures subverticales sensiblement N 130° (figure 26).

La schistosité S_2 conforme à la pente, détermine grossièrement la morphologie de la falaise.

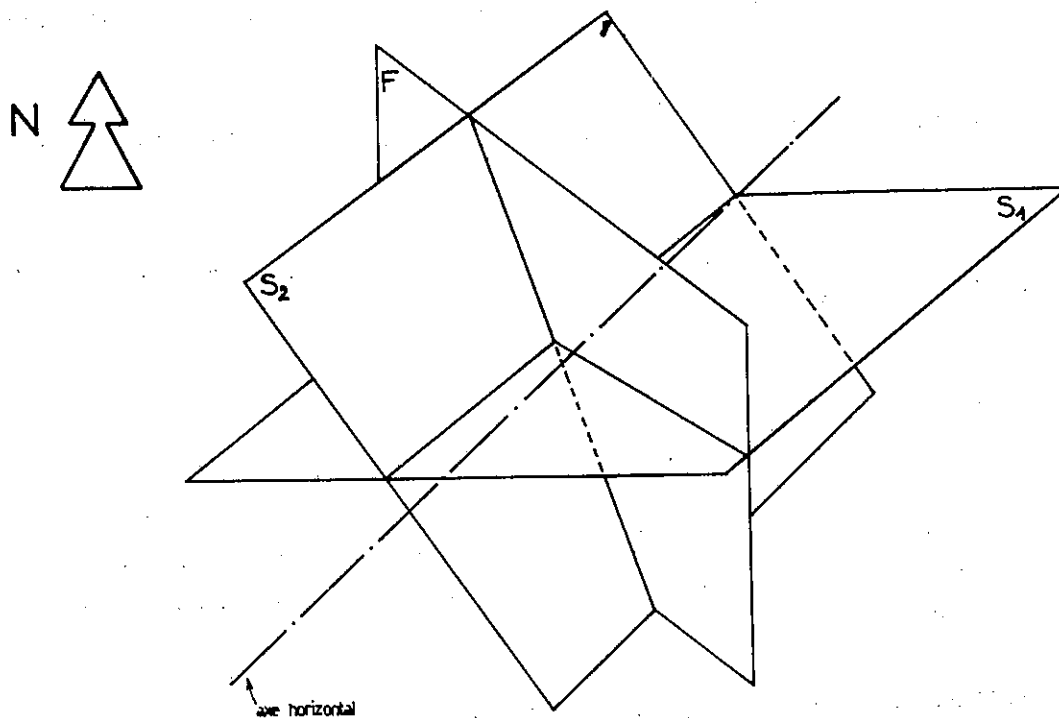
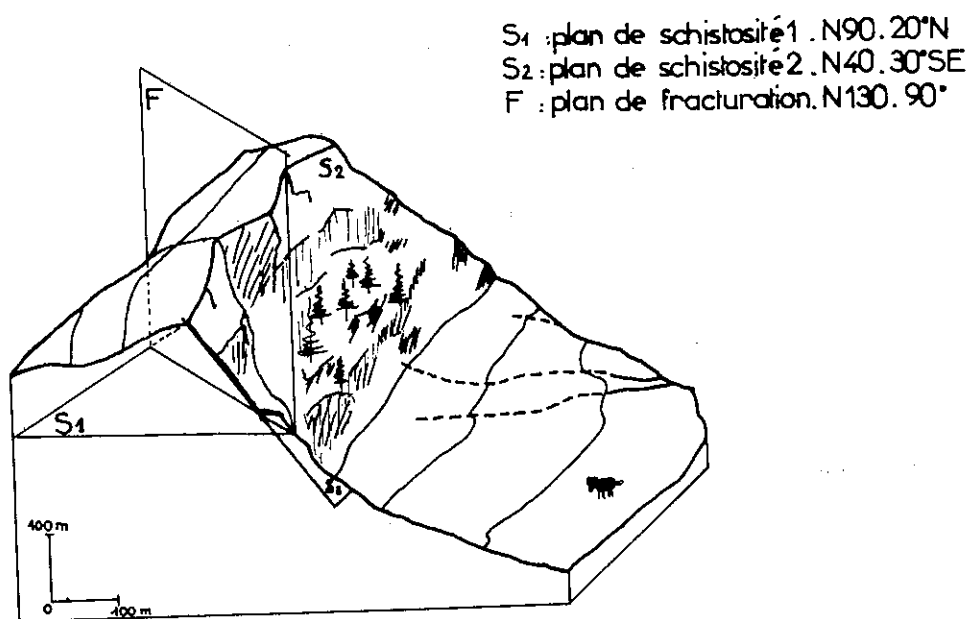
Combinée avec la schistosité ancienne S_1 , elle débite la roche en "crayons" donnant à la surface résultante un aspect finement ondulé.

3. Risque lié à la falaise

C'est la schistosité S_2 qui présente le plus de danger pour la stabilité d'ensemble. En effet, le pendage de ce plan est supérieur à l'angle de frottement résiduel joint sur joint. On peut aisément le constater sur le terrain, où aucun bloc ne reste en équilibre sur le plan S_2 .

La fracturation joue aussi un rôle en facilitant le départ des blocs, mais elle en limite heureusement le volume.

Fig.26. Schéma des plans recoupant la falaise du Signal du Sac



L'examen de la falaise depuis son sommet (accès par le chemin forestier du Signal du Sac) permet d'observer de grandes fissures parallèles à la falaise, leur largeur est difficile à estimer en raison de leur distance au point d'observation, et leur orientation impossible à mesurer de façon précise. Elles ne sont pas visibles en photographie aérienne (mission 1972). Je pense que ces larges fissures sont la limite profonde de la zone à 1 700 mètres/s du profil I dont j'ai parlé précédemment. Leur orientation correspond tout à fait avec S_2 , mais il est impossible d'affirmer s'il s'agit réellement de S_2 en profondeur.

Vues depuis la crête du Signal du Sac, ces fissures, par leurs dimensions, permettent de penser qu'il existe un danger réel de mobilisation de la tranche superficielle fortement fissurée. Les observations que l'on peut faire depuis le bas (route panoramique) ; basculement de blocs en équilibre, ouverture de fissures, etc... ne peuvent que confirmer ces craintes.

La décompression que subit actuellement la partie basse de la falaise manifestement amplifiée par la route, jointe à la disposition des plans de discontinuité, ne permet pas de négliger le danger qu'elle présente pour les hameaux situés à ses pieds. Nous ne pouvons ignorer, dans ce contexte, que la Vallée de l'Arly se trouve dans une zone à forte sismicité possible. (J. Fréchet, 1978.)

C. ESSAI DE MODELISATION - APPROCHÉ D'UN CALCUL DU FACTEUR DE SECURITE

L'étude qui précède a permis de confirmer, d'une part l'existence d'un ancien glissement au niveau de Sciozier, d'autre part le danger possible que représente la falaise du Signal du Sac.

Les éléments apportés par l'étude géologique détaillée et surtout par la prospection sismique, malgré leur caractère fragmentaire, induisent naturellement un essai de modélisation de ce glissement afin de tenter au moins une analyse sommaire de la stabilité initiale.

1. Méthode de calcul choisie

En raison du caractère quelque peu sommaire de certaines données, il serait vain de vouloir faire un calcul très précis de la stabilité initiale.

Pour estimer cette valeur, j'ai utilisé les abaques de calcul de M. Hoek et J.W. Bray, (1974). Ces courbes ont été calculées pour une rupture circulaire de pied à partir d'une fissure de sommet de talus (figure 27, géométrie du modèle).

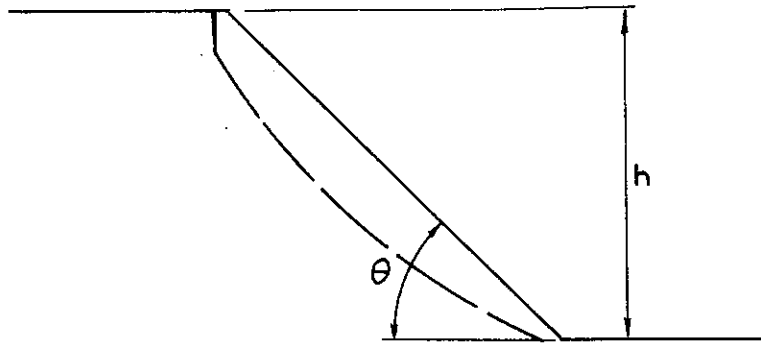


Fig. 27 Géométrie schématique de la falaise du Signal du Sac

Cette figure est dessinée à la même échelle que la coupe de la figure 30.

2. Hypothèses de calcul du "glissement" ancien

Il a fallu, dans un premier temps, étudier le profil initial de la vallée glaciaire, ce que j'ai fait essentiellement en extrapolant les courbes de niveau des zones non glissées de ce même versant. J'ai ensuite vérifié la vraisemblance des résultats obtenus en comparant le volume de la masse glissée (3.10^7 m^3) avec le volume initial supposé. Le résultat est acceptable.

Les abaques ne sont pas faites pour les ruptures de matériau rocheux, mais pour des terrains meubles où "la rupture est libre de choisir la ligne de moindre résistance à travers le glissement". (Hoek et Bray).

Cependant, la grande fissuration du massif permet, en première approximation, de considérer comme possible une rupture circulaire. En effet, on peut dire que S_1 et S_2 décomposent grossièrement des "blocs" de roche, de petites dimensions par rapport au volume du massif, qui nous permettent de raisonner comme si nous avions réellement affaire à des grains de sols dans un petit talus. C'est la différence d'échelle qui me permet d'utiliser ces abaques, toutefois les résultats obtenus sont à prendre avec prudence, la lecture de l'abaque étant quelquefois délicate.

Considérant une rupture de pied circulaire avec une fissure en sommet de talus, le choix de l'abaque nécessite la connaissance de la cote de la "nappe phréatique" éventuelle.

Je n'ai pas tenu compte de la nappe phréatique, car lors d'une rupture en milieu rocheux on admet généralement que la valeur de la pression interstitielle s'annule par drainage instantané. Avant la rupture, il est indéniable que la pression intersti-

tielle joue un grand rôle. En simplifiant ainsi le problème, je me mets volontairement dans le cas le plus favorable, d'où un facteur de sécurité très optimiste.

Pour le calcul de facteurs de sécurité, il nous faut par ailleurs connaître :

- les paramètres intrinsèques du matériau

. la masse volumique du matériau. J'ai pris la valeur moyenne de $2\ 400\ \text{kg/m}^3$,

. l'angle de frottement interne $30^\circ < \phi < 45^\circ$,

. la cohésion $c = 2400\ \text{kg/m}^2$.

- la géométrie de la falaise

La falaise originelle est alors considérée comme un talus de 450 m de haut, pour cette estimation, il convient de se reporter au schéma de la figure 28 montrant la surface de rupture supposée. Ce talus aurait alors un angle à la base $\theta = 50^\circ$ (figures 27 et 30).

3. Résultats

Partant des valeurs ci-dessus, nous obtenons le coefficient sans dimension $\frac{c}{\gamma H \text{ kg } \phi}$, le report sur l'abaque nous donne pour un talus de 50° la valeur correspondante de $\frac{\text{kg } \phi}{F}$ on tire $F = 0.75$, ceci dans le cas d'une falaise où l'on admet qu'il n'y a pas de nappe phréatique, c'est-à-dire que nous nous mettons volontairement dans les conditions les plus favorables possibles.

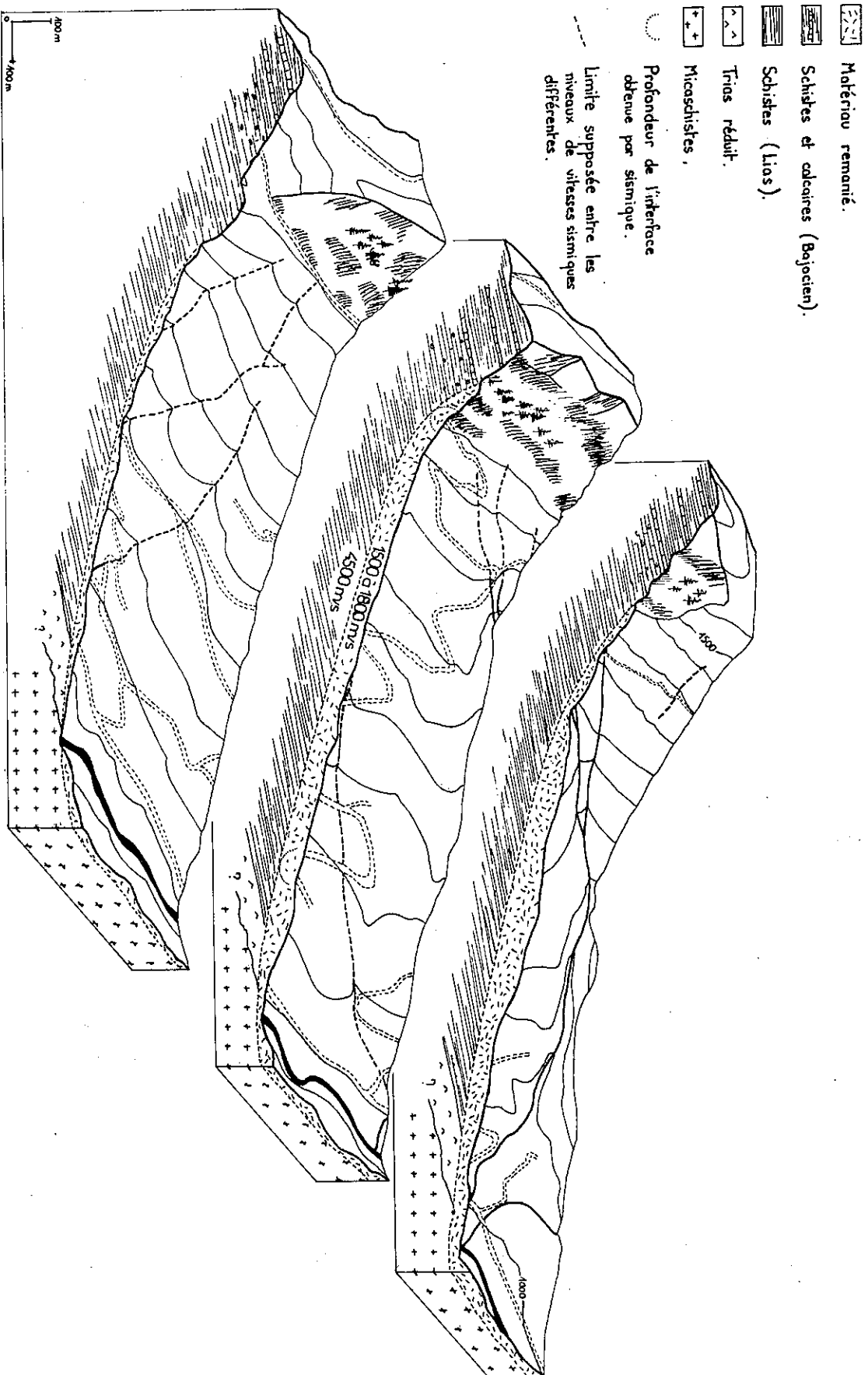
4. Conclusion

La faible valeur du facteur de sécurité obtenu permet de penser que le versant tenait par la présence seule du glacier, la "désagrégation" de la pente a dû commencer dès le début du retrait glaciaire.

5. Estimation du risque actuel

Pour ce qui est de la stabilité actuelle de la falaise, on peut là encore se livrer à ce même type d'estimation rapide du facteur de sécurité.

Fig.28 Bloc-diagramme du secteur de Sciozier
 — Interprétations sismique et géologique —



Comme nous sommes pour une grande part dans les niveaux du Dogger, beaucoup plus carbonatés que le Lias supérieur, j'ai pris une valeur de la cohésion $C = 4000 \text{ kg/m}^2$ avec $\phi = 40^\circ$ et $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$, sensiblement identique au cas précédent, c'est surtout la géométrie du massif considéré qui change : $H = 200 \text{ m}$ et $\phi = 45^\circ$.

La nappe phréatique est là encore considérée comme absente.

Le calcul nous donne ainsi très rapidement $F \neq 1$, confirmant (en première approximation !) les observations de terrain : une pente en équilibre précaire.

D. CONCLUSION A L'ETUDE DU "GLISSEMENT" DE SCIOZIER

La distribution anormale des vestiges de moraine glaciaire sur ce secteur, et la morphologie particulière de cette portion de vallée furent les principaux indices qui nous conduisirent à supposer l'existence d'un ancien mouvement.

Dans le cadre de cette hypothèse, qu'il fallait confirmer, deux solutions étaient possibles :

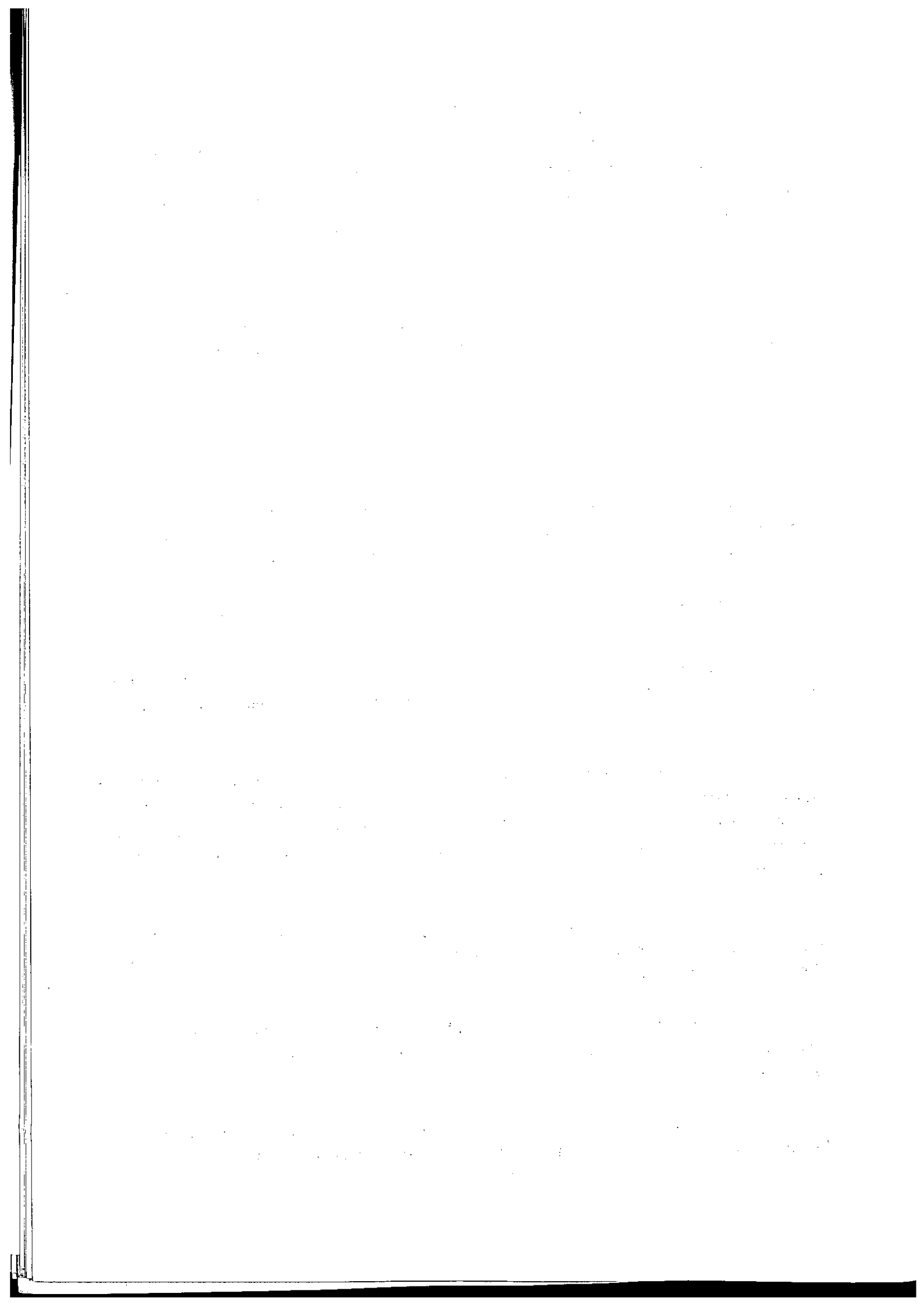
- Glissement profond mettant en jeu de grandes masses rocheuses jusqu'à 100-150 m de profondeur assimilable à un glissement de pied affectant tout le flanc du Signal du Sac.

- Glissement réduit ne concernant qu'un volume plus restreint. Cette dernière hypothèse semblait plus plausible a priori pour des raisons morphologiques. En effet, la pente encore forte des matériaux glissés et la faible extension du glissement rendait plus probable un glissement ou écroulement venant couvrir de matériaux une pente pré-existante.

C'est l'étude sismique qui a permis de confirmer cette dernière hypothèse et nous a conduit à tenter un calcul très sommaire du facteur de sécurité de la pente ancienne et de la falaise actuelle.

La fiabilité de cette dernière hypothèse peut conduire ultérieurement à une étude plus poussée du phénomène, à des essais in situ, et enfin à des calculs, induits par une modélisation aussi précise que possible.

Il est évident qu'un tel raisonnement n'a pas d'autre prétention que d'orienter judicieusement un travail spécialisé plus poussé de mécanique des roches.



CHAPITRE VI

CONCLUSIONS A L'ETUDE DU VAL D'ARLY

A. DONNEES ACQUISES1. Etalonnage des vitesses sismiques

Une campagne systématique d'étalonnage des vitesses sismiques des roches du substratum nous a permis de dégager les valeurs des vitesses admissibles pour les terrains sains. L'essentiel du travail a porté sur les schistes argileux du Lias et les calcaires et schistes du Dogger pour lesquels nous avons admis des vitesses supérieures à 3 800 m/s pour les terrains en place, et de moins de 2 000 m/s pour les terrains remaniés. Un essai de mesure des vitesses sismiques en laboratoire n'a pu que confirmer le grand état de fissuration de ces niveaux (plans de schistosité) sans obtenir d'élément quantitatif de comparaison. Sur ce dernier point, une étude complémentaire sera réalisée à l'I.R.I.G.M. avec un matériel d'émission acoustique.

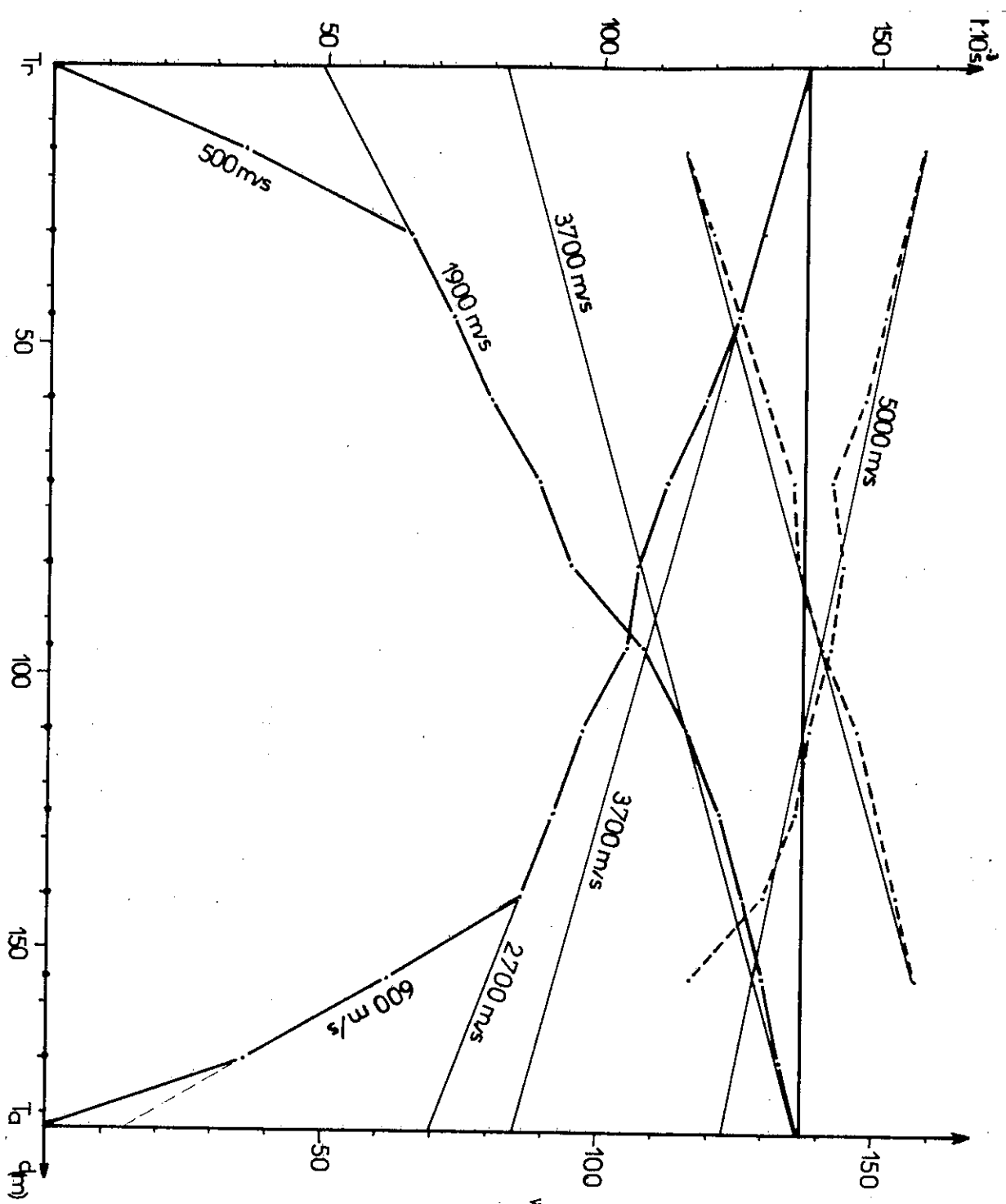
2. Epaisseur des formations glissées

L'étude sismique a permis de confirmer l'épaisseur importante des niveaux remaniés.

- En rive droite, en contrebas du hameau de Sciozier, une quarantaine de mètres de "couverture" remaniée sur une pente "en place" sans toutefois pouvoir différencier en profondeur les matériaux éboulés, d'une éventuelle moraine.

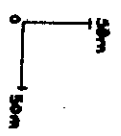
- En rive gauche, la confirmation en profondeur des observations de surface, on obtient ainsi des épaisseurs de matériaux remaniés de 10 à 30 mètres. Je n'ai pu mal-

Fig.29. Hodochrone du profil XIII
 — CASSIOZ —



W E
 100 m/s 500 m/s
 1900 m/s 2700 m/s
 3700 m/s 5000 m/s

Coupe parallèle au
 profil XIII



heureusement, en raison des problèmes techniques, obtenir une image de substratum telle que je l'aurais souhaité.

3. Présence de matériaux "liquides" en profondeur

Le forage F₂ m'a permis d'observer en profondeur, sous quatre mètres d'argiles "raides" non saturés, un niveau liquide (Wp = 36 %, teneur en eau naturelle 55 %). La granulométrie très particulière de ce niveau laisse à penser qu'il s'agit peut-être d'un matériau issu d'une moraine glaciaire remaniée (la courbe est idéalement étalée). Ce niveau pourrait être le "moteur" des mouvements diffus de rive gauche observables à l'Est de Belliard.

4. Confirmation de l'existence d'un ancien mouvement dans le secteur de Sciozier

La présence, sur le secteur de Sciozier, d'un ancien mouvement de versant est confirmée par l'étude sismique qui nous donne une épaisseur de 40 mètres environ de matériaux remaniés reposant sur un substratum "sain".

Le calcul sommaire du facteur de sécurité de cette pente à partir d'un modèle vraisemblable de vallée, montre que les conditions géologiques anciennes, à la fin de l'époque glaciaire, étaient nécessairement très précaires.

5. Falaise actuelle

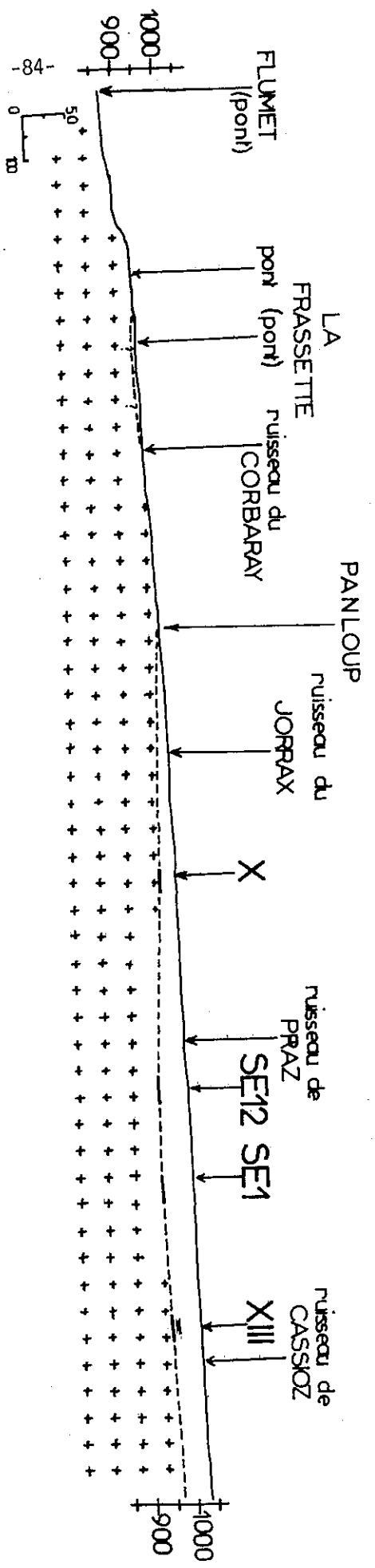
Elle présente une configuration favorable à une rupture. L'observation de fissures ouvertes, malheureusement impossibles à étudier en détail, confirme le caractère éventuellement dangereux de cette falaise.

La route, aménagée en son pied, contribue aussi à déstabiliser la "pellicule" de terrain à faible vitesse sur laquelle elle se fonde. On peut, à cet endroit, observer des fissures ouvertes et des mouvements de blocs.

6. Données nouvelles sur l'ombilic de Praz/Arly

Des études antérieures, effectuées pour le compte de la commune de Praz, dans la plaine, avaient déjà mis en évidence un surcreusement à ce niveau, et les forages réalisés

Fig.30 Coupe longitudinale de la vallée de l'Arly
entre Flumet et Cassioz



SE1 & SE12 : sondages électriques (documents Mortmasson - Anney)

X & XIII : profils sismiques

- +++ micaschistes
- limite obtenue par géophysique
- - - limite supposée
- ▨ lias en place ?
- terrains de rempissage

à cette occasion avaient montré la présence en profondeur d'argiles probablement glacio-lacustres.

Dans le contexte précédemment décrit, il est tentant de penser que le glissement de Sciozier et le mouvement de la rive gauche ont pu barrer la vallée de l'Arly et permettre la création d'un lac.

Pour tracer la forme du bed-rock, nous disposons : - du seuil de Panloup - du profil sismique n° X - des renseignements issus de la prospection électrique de Praz-Arly, aimablement communiqués par le cabinet Montmasson à Annecy, en particulier les sondages électriques SE1 et SE12.

Afin de compléter ces données, j'ai effectué un profil sismique complémentaire dans la plaine près de Cassioz. Le profil nous a permis de trouver le bed-rock à 5 000 m/s à une profondeur globale de 56 mètres sous trois couches de terrain de vitesses différentes (figure 29).

Partant de ces résultats, j'ai pu tracer le profil du fond de la vallée (figure 30, coupe longitudinale de la vallée).

On s'aperçoit ainsi que le lac pouvait exister en l'absence de glissements. Le seuil de Panloup est sensiblement à 975 m NGF alors que le point bas en amont est, lui, à 925 m NGF. Nous aurions donc là une morphologie s'apparentant à un ombilic glaciaire.

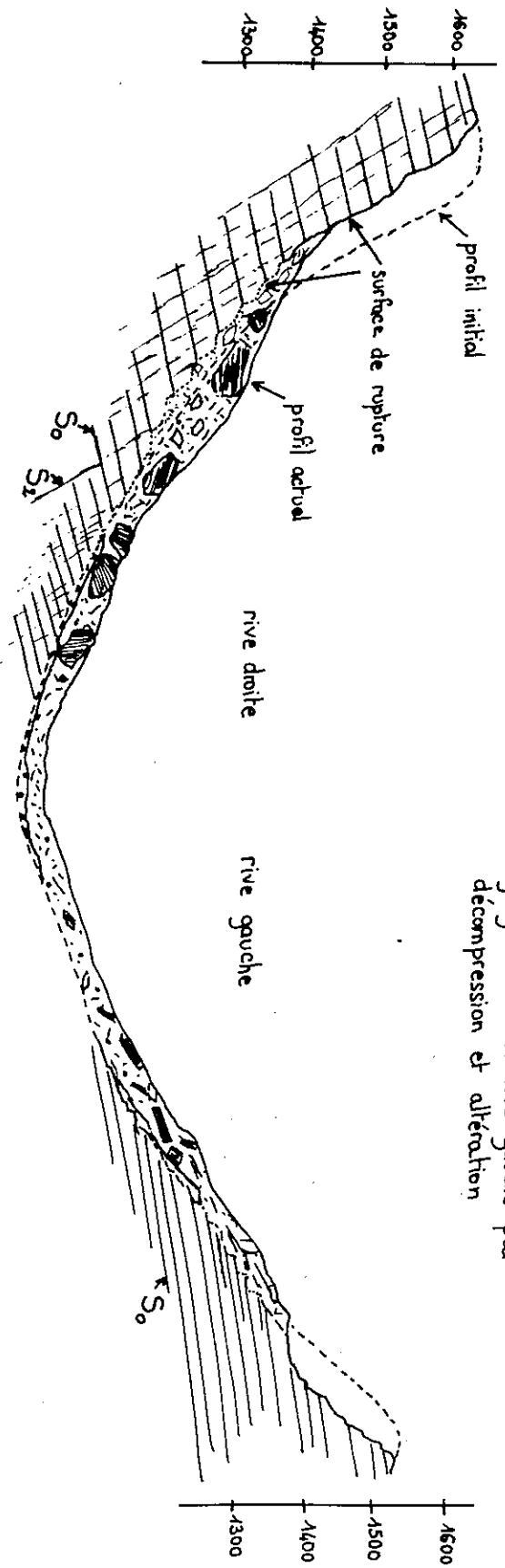
B. RAPPORTS AVEC L'HISTOIRE GLACIAIRE

Au terme de ce travail, nous avons dégagé les faits suivants :

- la rive gauche est caractérisée par une désagrégation du versant de la vallée à partir de la roche-mère, qui affleure encore à la partie haute, représentée par des schistes du Lias. Il y a accumulation au bas de pentes de grandes épaisseurs de matériaux argilo-schisteux fortement remaniés, remobilisés à la faveur de mouvements de réajustement de la pente.

- la rive droite est, par contre, essentiellement caractérisée, au niveau de Sciozier, par un grand écroulement ou glissement ancien des calcschistes et calcaires du Dogger.

③ Retrait définitif du glacier
 Désagrégation de la rive gauche par
 décompression et altération



④ Coupe géologique de la vallée,
 état actuel.

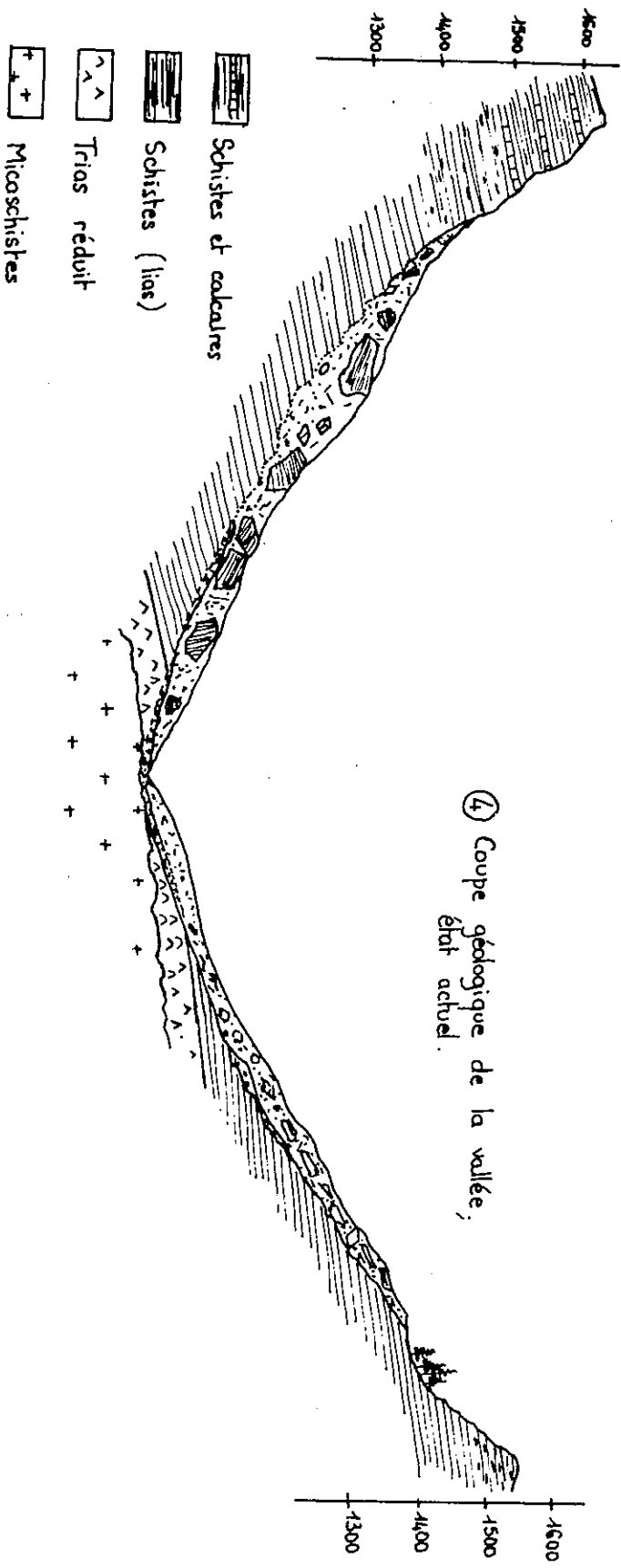
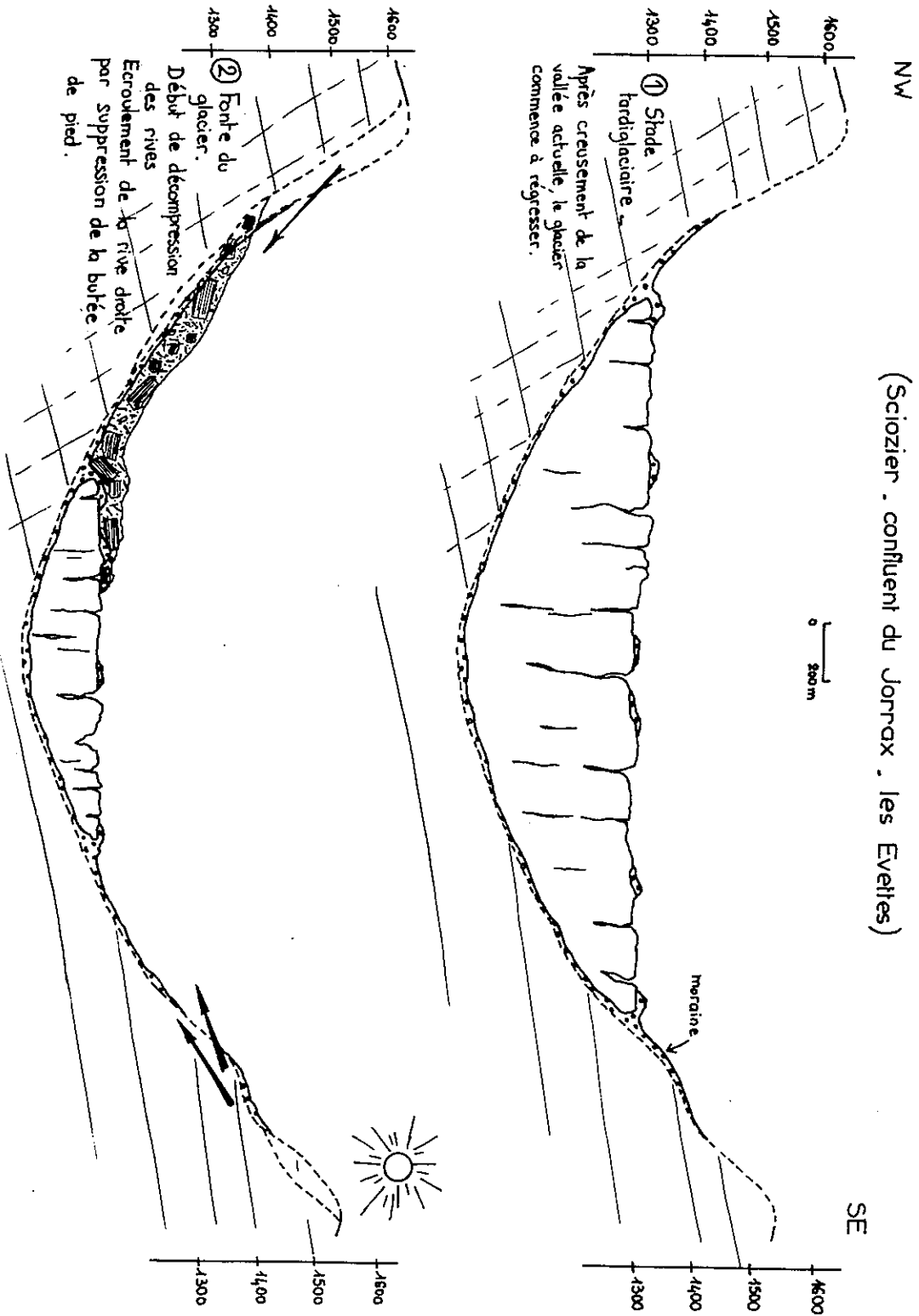


Fig30 Evolution hypothétique des flancs de la haute-vallée de l'Arly. (Sciozier - confluent du Jorraz, les Evettes)



Les buttes de Lias tendre observables sur le flanc sud du Signal du Sac au niveau de Sciozier prouvent qu'elles se sont mises en place après le retrait du glacier.

L'évolution des versants, au moins dans le secteur de Sciozier, a donc eu lieu postérieurement au retrait du glacier. On peut alors envisager un mécanisme possible d'évolution des versants, suivant le schéma de la figure 3, d'après un mécanisme déjà décrit par A.M. Malatrait, se décomposant comme suit :

1. Un glacier épais, exerçant des pressions importantes sur les flancs et le fond, a modelé la future vallée de l'Arly.

2. Le retrait du glacier permet l'éroulement de la rive droite par suppression de la butée qu'exerçait la glace sur le versant en déséquilibre ($F \approx 0,75$).

La décompression de la rive gauche ouvre les fissures du terrain et permet le début d'une dégradation lente du versant par glissement de blocs plan sur plan, conformément à la stratification (S₀).

3.4. Retrait définitif du glacier qui dépose sur la pente les matériaux qu'il avait pu recevoir.

Poursuite de l'évolution de la rive gauche (sub-actuel).

L'Arly modèle son lit et donne à ses rives un profil plus abrupt qui est actuellement le siège de mouvements actifs entre le ruisseau du Jorrat et Flumet-Panloup.

N.B.

Afin de ne pas trop surcharger les dessins, j'ai volontairement fait figurer en 3 les seuls éléments structuraux et en 4 la géologie.

C. PROJETS D'ETUDES COMPLEMENTAIRES

En raison des délais impératifs d'achèvement de ce travail, et malgré l'effort matériel important consenti par l'I.R.I.G.M., je n'ai pu aborder un certain nombre

de recherches complémentaires que je me bornerai à résumer ici :

- Mesures de déplacement du glissement (de Belliard) et relevé topographique précis des lieux avec comparaison d'une année sur l'autre.
- Mesures de déplacement des blocs de Lias des Evettes afin d'aboutir à des certitudes et des valeurs quantitatives.
- S'il y a mouvement, prélèvement du matériau des joints entre blocs. L'idéal pour les atteindre serait le forage mécanique carotté, ou mieux le prélèvement des blocs avec leur joint. Le principal problème actuellement est l'accès au lieu de prélèvement.
- Mise en oeuvre des méthodes sismiques suivant des profils continus (voir en annexe des exemples de ce type de travail).
- Photos aériennes et document photo-restitution à grande échelle de la falaise pour permettre une étude fine : géologie, structure, mouvement.

Ces travaux complémentaires n'ont pas été poursuivis dans le cadre de ce travail, soit pour des raisons de temps, soit de moyens financiers.

En fait, certaines études peuvent donner lieu à elles seules à une étude complémentaire spécialisée que la présente thèse aura contribué à orienter.

D. PROBLEMES LIES A L'AMENAGEMENT

La région du Val d'Arly est déjà bien connue pour ses glissements et ses écroulements actifs, notamment les gorges en aval de Flumet.

Les mouvements anciens sensibilisent peu les habitants et les aménageurs par l'aspect "normal" que prennent les pentes après quelques années. Or, les versants ainsi constitués restent souvent en équilibre précaire.

PLANCHE 1

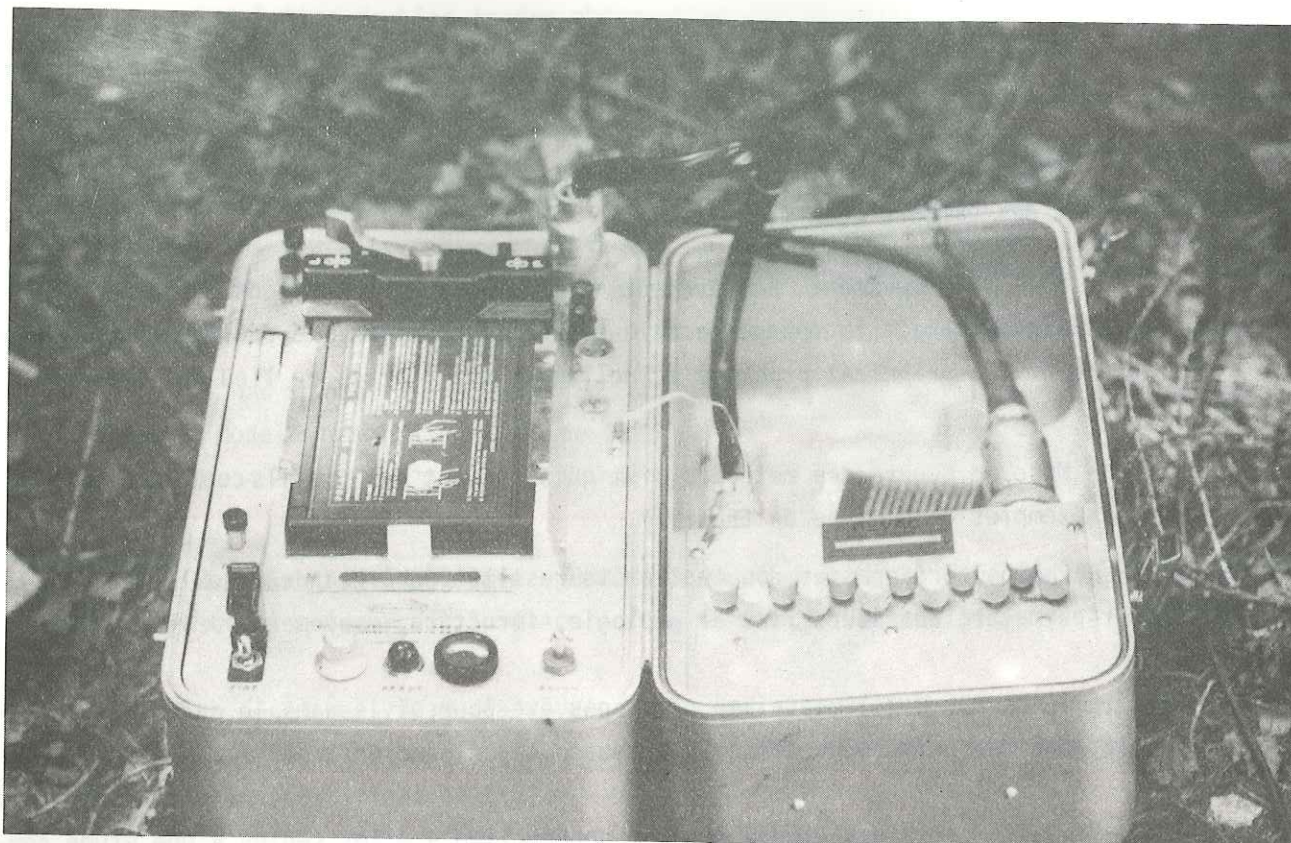


Photo 1 - Le sismographe Mandrell ER 75/12



Photo 2 - Vue partielle de la rive gauche . Belliard est légèrement à gauche du centre de la photo .

PLANCHE 2

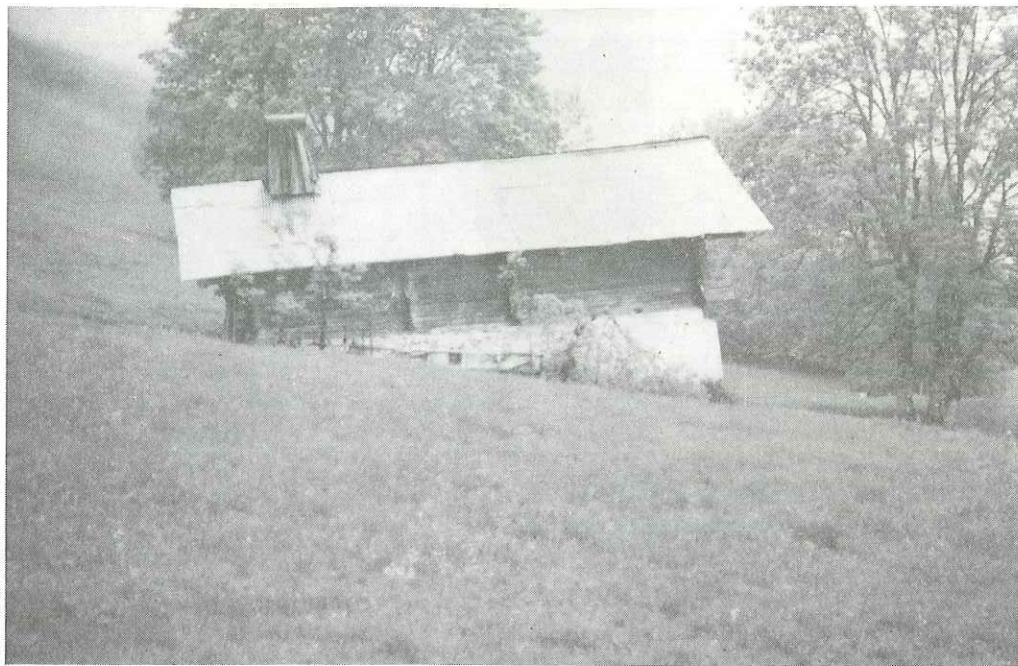


Photo 3 - Mouvement sensible d'habitation .
La verticalité est donnée par le bord de
la photo .



Photo 4 et 5 - Indices de mouvement .



Photo 6 - La rive droite de l'Arly au niveau du Mât .

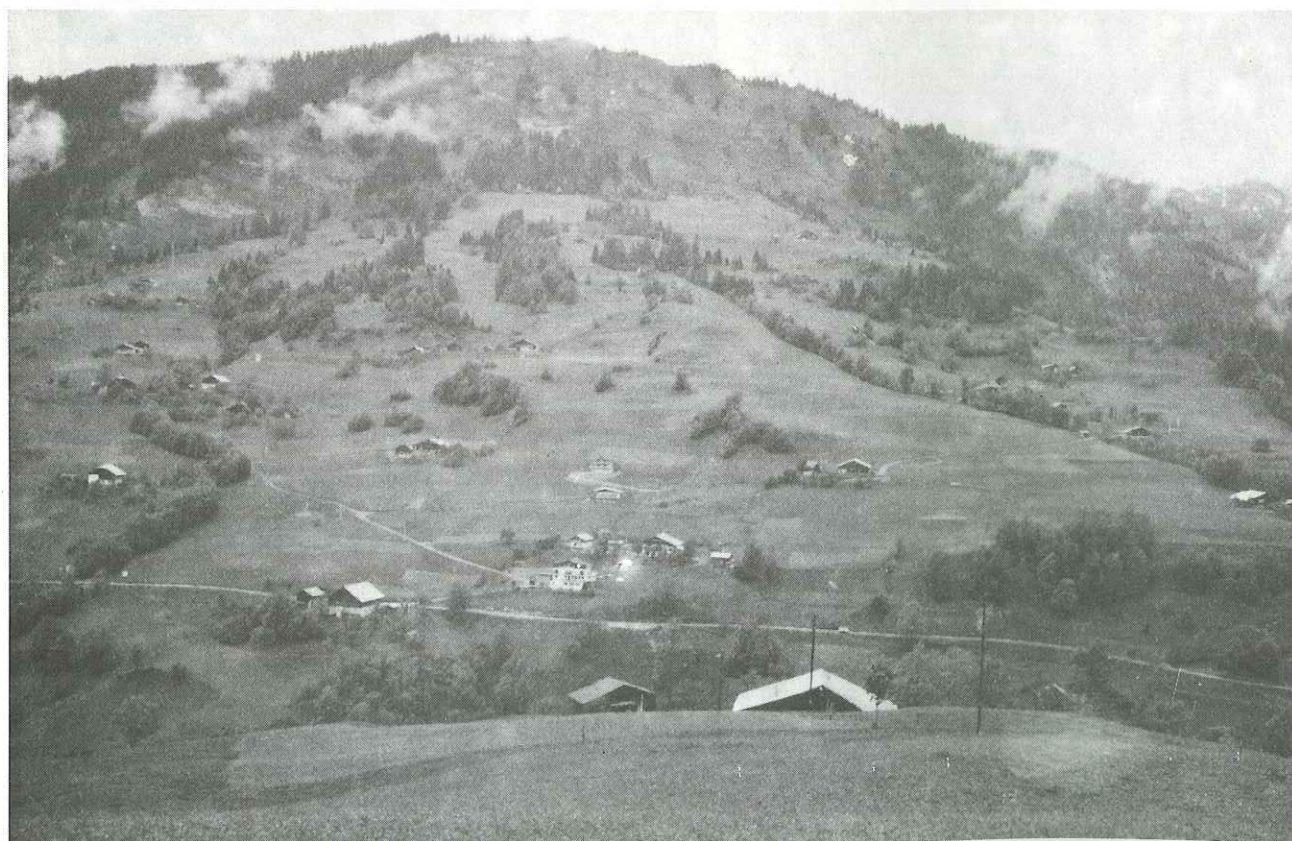


Photo 7 - Vue d'ensemble du secteur de Sciozier et de la falaise du Signal du Sac .

PLANCHE 4



Photo 8 - Détail de la falaise du Signal du Sac vue de profil .



Photo 9 - Les différents plans de schistosité dans les schistes liasiques du Signal du Sac; coupe suivant un plan de fracture .

PLANCHE 5



Photo 10 - Au premier plan, surface en équilibre
selon la schistosité S_2

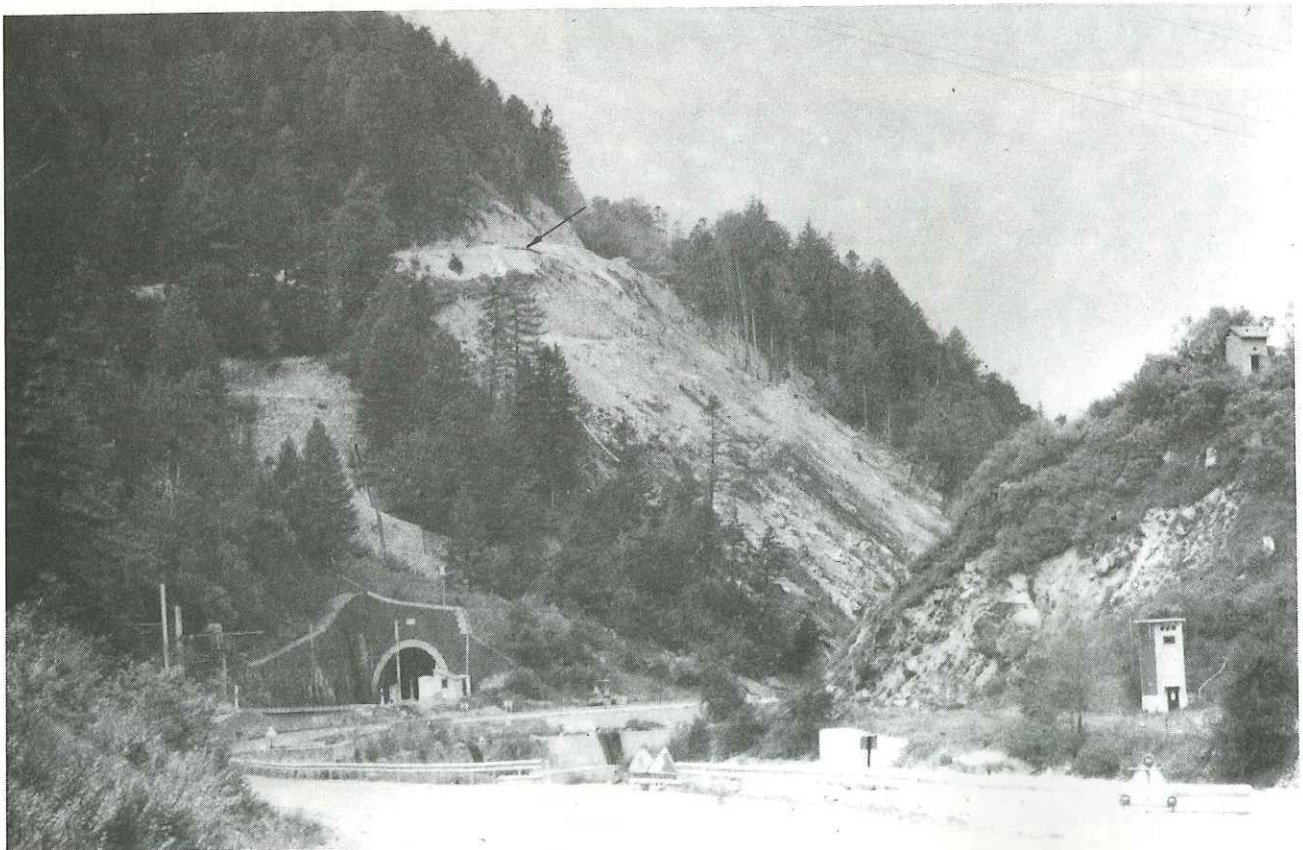


Photo 12 - Glissement du Fréney vu de profil;
remarquez la rupture superficielle sur la piste B .



Photo 11 - Vue générale du glissement du Fréney .

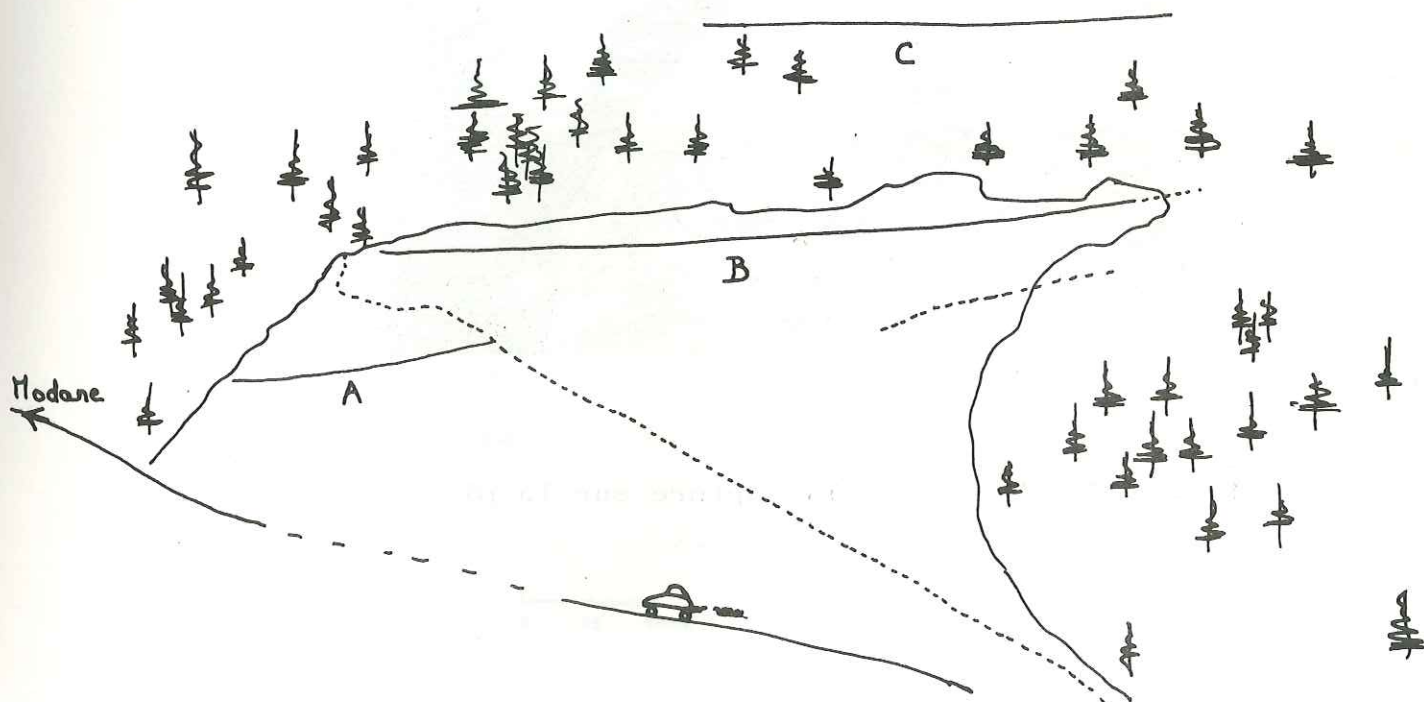




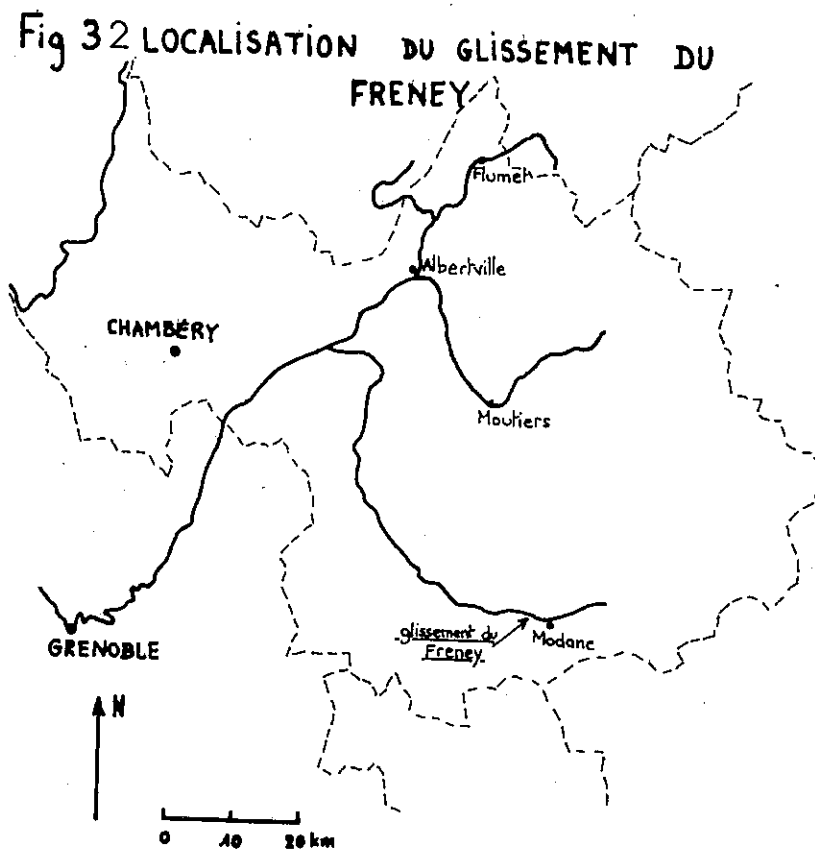
Photo 13 - Détail de la rupture sur la piste B .

ANNEXE

Parallèlement à l'étude du Haut Val d'Arly, j'ai pu, en accord avec l'Association pour le Développement des Recherches sur les glissements de terrain (38 Saint-Egrève), obtenir l'autorisation de publier les résultats d'une campagne sismique effectuée sur un glissement de terrain actif situé dans la vallée de la Maurienne (Savoie) près de la localité du Freney (figure 31).

Cette étude totalement indépendante de la précédente, fournit d'utiles comparaisons grâce aux résultats obtenus dans un cadre tout à fait différent (prospection en vue de travaux, donc disposant de moyens plus importants).

Jé me bornerai à résumer cette prospection, qui ne représentait du reste que l'une des opérations réalisées sur le site.



Géologie

Appartenant à la "zone houillère briançonnaise", le site ne montre que des grès micacés et des psammites emballés dans une matrice argilo-sableuse. On distingue au centre de la zone étudiée un secteur plus stable encore partiellement boisé où des niveaux rocheux très fracturés affleurent. (photo 11).

Conditions d'exécution

L'étude a été réalisée en équipe au moyen de l'appareil Mandrell ER 75/12 de l'I.R.I.G.M. Nous avons toute latitude pour le tir des explosifs, il n'y avait pas de sujétion de sauvegarde de l'état du terrain comme sur les propriétés du Val d'Arly.

Par ailleurs, il était possible de faire cesser à tout moment toute activité sur le chantier et toute circulation routière pour permettre d'enregistrer les tirs dans de bonnes conditions.

Résultats : Figure 32, et hodochrones figures 33 à 39. Localisation, photo 11 et schéma. Planche 6

Les résultats sont les suivants (interprétation par la méthode des t_0) :

- En surface : un niveau à 500 m/s, c'est-à-dire très fortement remanié. C'est ce matériau qui semble pour l'instant se mobiliser.

- Au-dessous : des terrains à 1 000 m/s, plus sains que la couverture précédente, correspondant aux roches, visibles au centre du profil B (zone partiellement boisée). Une telle vitesse dénonce la grande fissuration de la masse concernée.

- En profondeur : une vitesse de 2 000 m/s reste insuffisante pour un substratum de houiller "sain" constitué de grès fins et grossiers. On peut s'attendre, dans ces niveaux, à une vitesse d'au moins 4 000 m/s, dans ce cas on peut dire que le bed-rock est au moins à 45-50 mètres de profondeur.

L'existence d'une telle fissuration en profondeur confirme l'existence d'un ancien grand écroulement ou glissement de terrain.

Les études complémentaires réalisées sur le site ont permis de confirmer cette hypothèse.

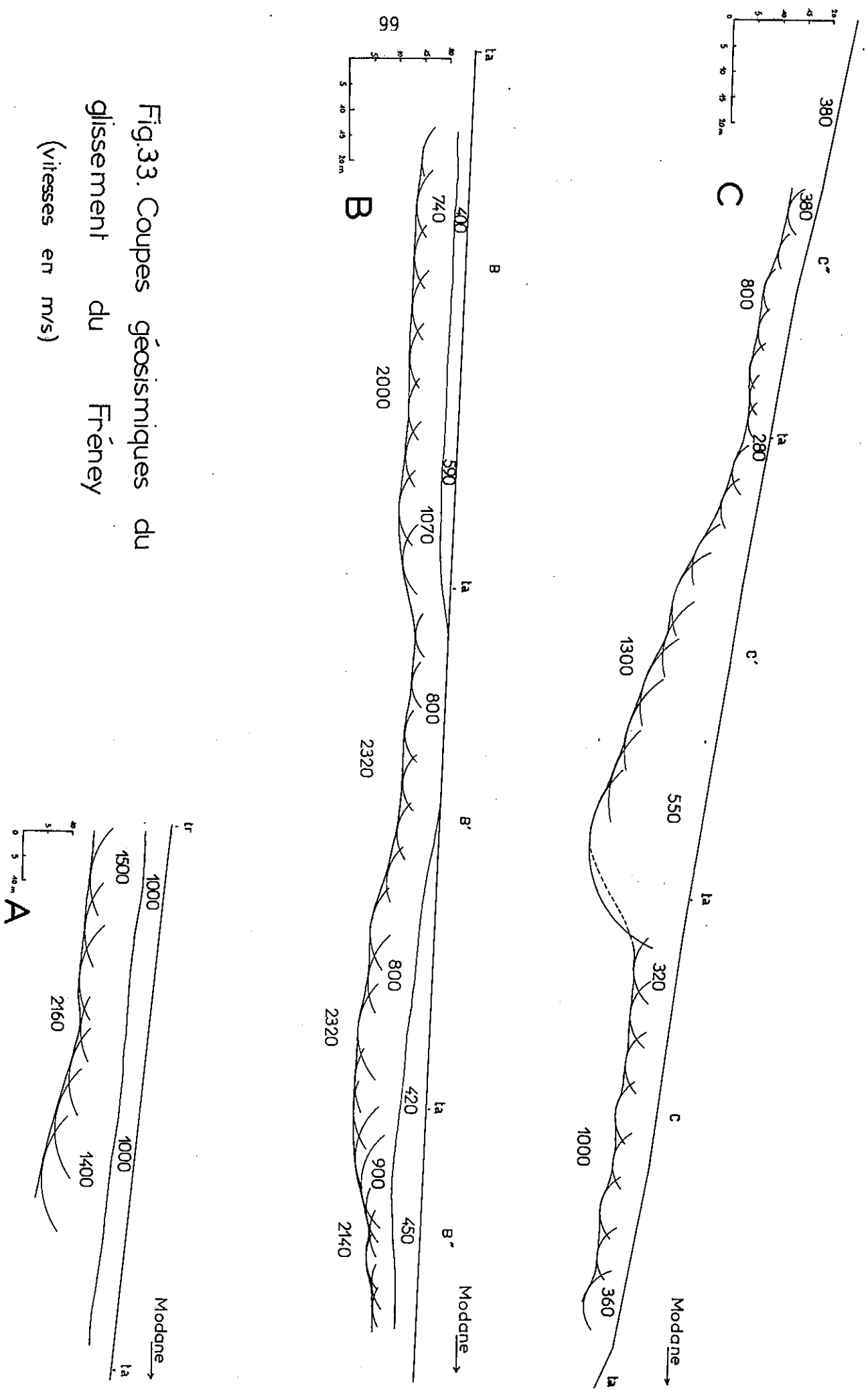


Fig.33. Coupes géosismiques du glissement du Fréney (vitesses en m/s)

Conclusion

Les résultats obtenus sur les glissements actifs sont en général plus francs que ce que l'on peut faire sur des mouvements anciens.

Ces différences sont dues aux paramètres mécaniques des terrains, mais aussi aux conditions de travail qui, dans l'un et l'autre cas ne furent pas les mêmes.

En effet, la facilité de mise en oeuvre des expériences et la rapidité d'exécution améliore sensiblement la qualité des résultats et leur interprétation.

Sur ces points, on peut tirer les enseignements suivants :

- La possibilité d'effectuer des tirs en trous profonds (2,5 m) ou sans crainte de détériorer le sol permet d'établir les profils dans de bonnes conditions et surtout d'obtenir des interfaces géosismiques continues d'un profil à l'autre.

- On peut, dans le cas de profils jointifs continus (cas du Freney) suivre "à la trace" en profondeur en interface repérable en surface (niche d'arrachement, par exemple).

- Dans le cas de terrains très dissipateurs d'énergie, la dynamite gomme permet d'ajuster des puissances de tir très supérieures, et plus économiques qu'avec le cordeau détonant.

- Les sept profils du Freney ont été réalisés en un peu moins de deux jours et demi car l'équipe était constituée de :

- . Un boute-feu, responsable du positionnement, de la réalisation et du bourrage des trous.
- . Deux manœuvres,) Chargés du positionnement des géophones, de
- . Un opérateur) la flûte, ainsi que la mise en oeuvre du matériel.

Ce dernier point, concernant le personnel, est fondamental pour la mise en oeuvre rationnelle de telles expériences.

Fig.34.Hodochrone du profil A

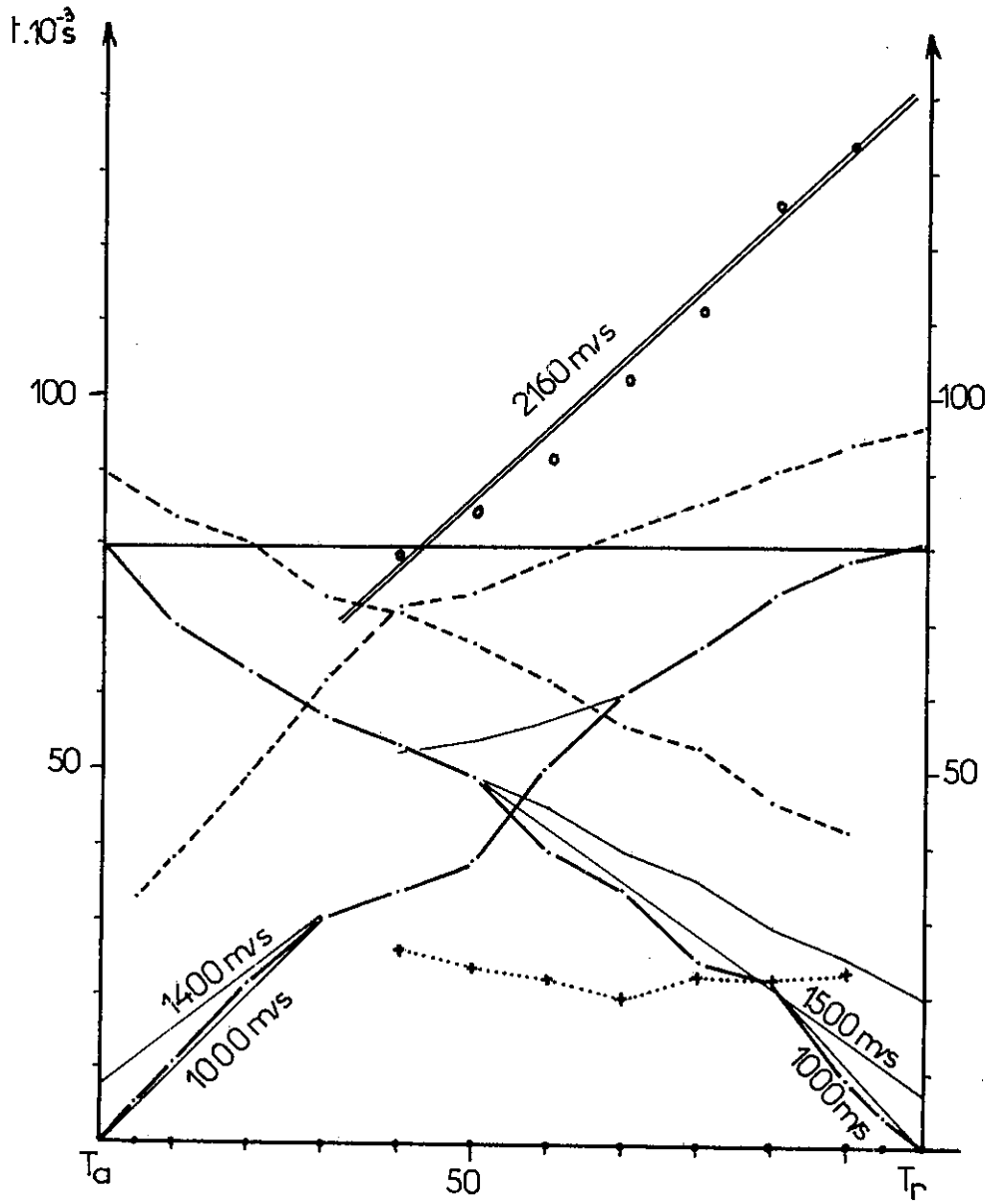


Fig.35. Hodochrone du profil B

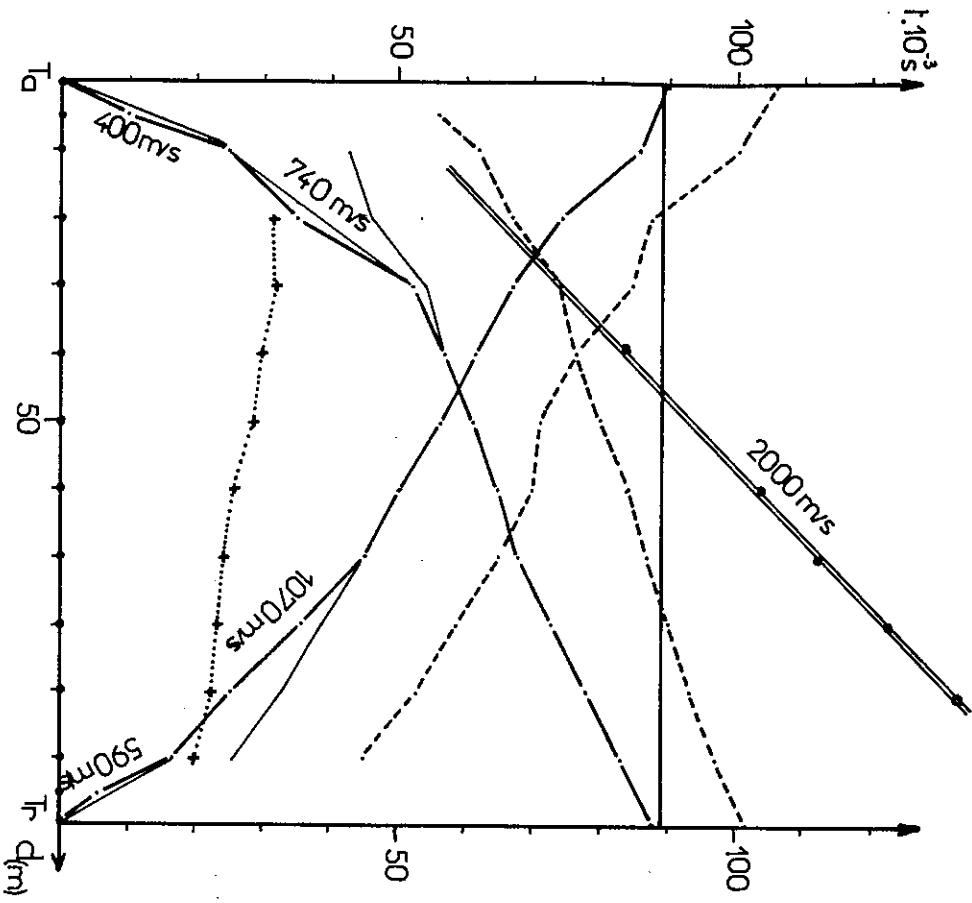


Fig.36 Hodochrone du profil B'

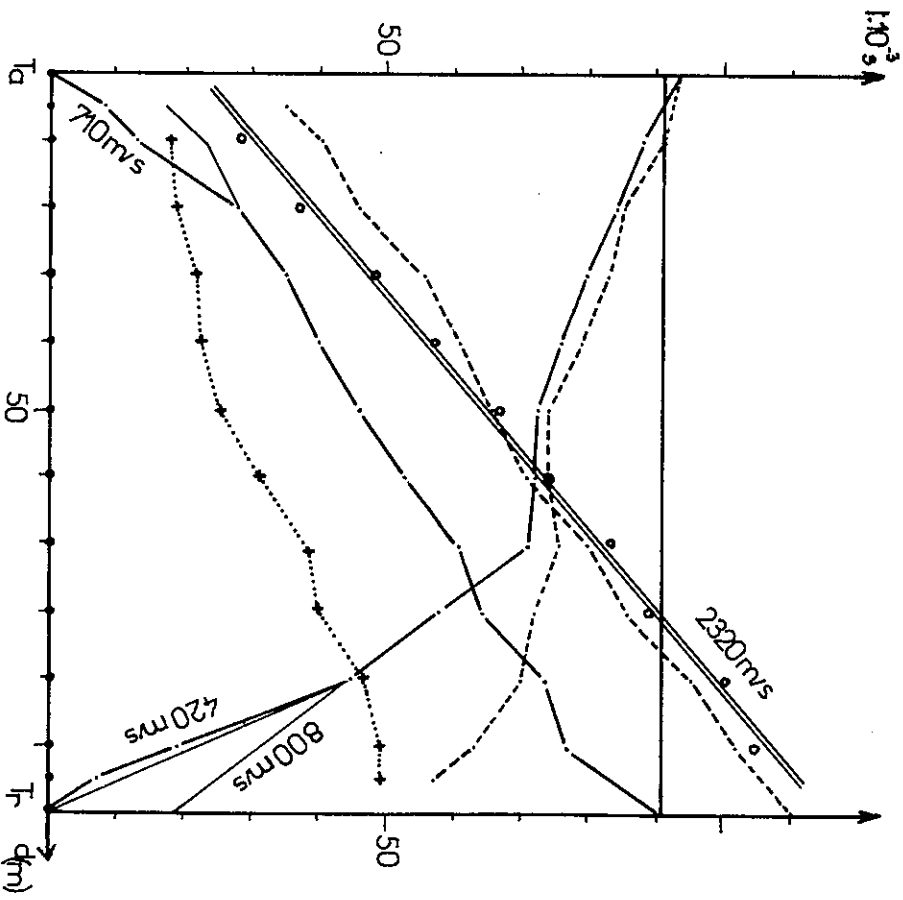


Fig.37. Hodochrone du profil B

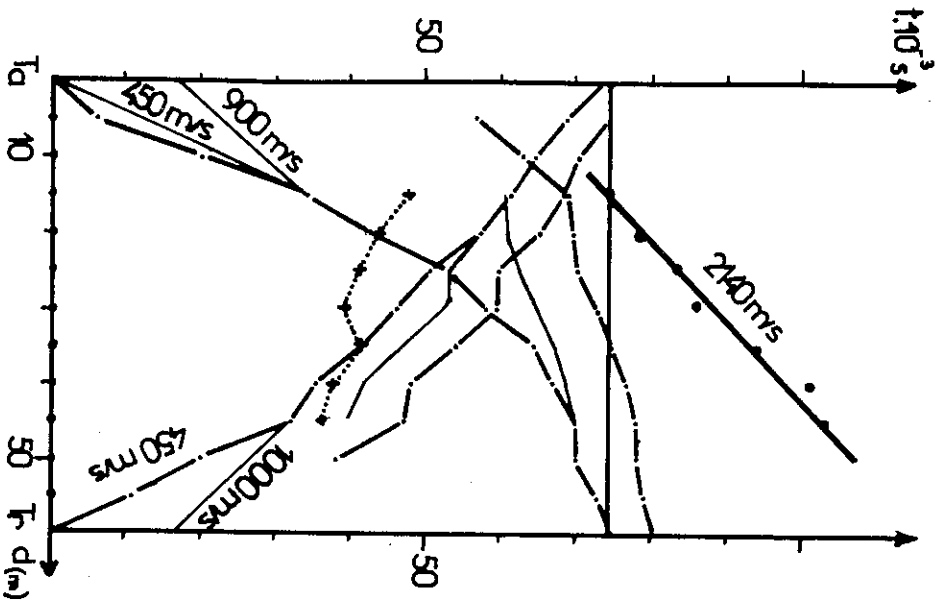


Fig.38 Hodochrone du profil C

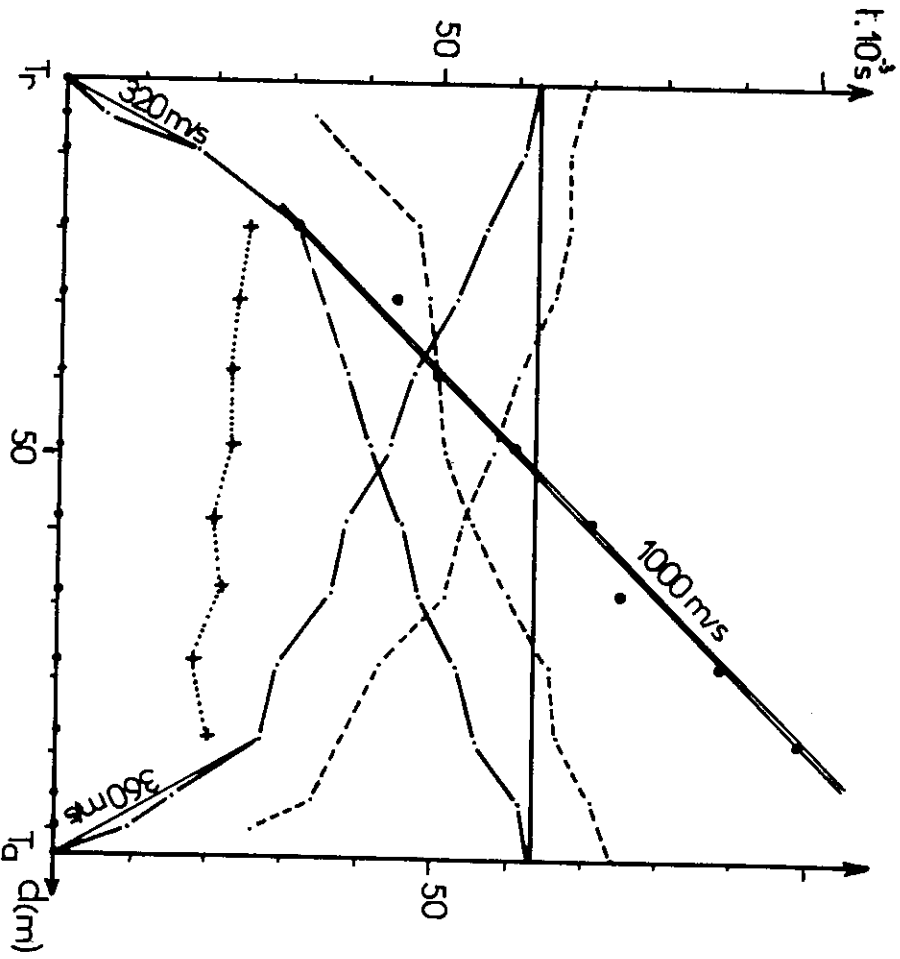


Fig.39.Hodochrone du profil C'

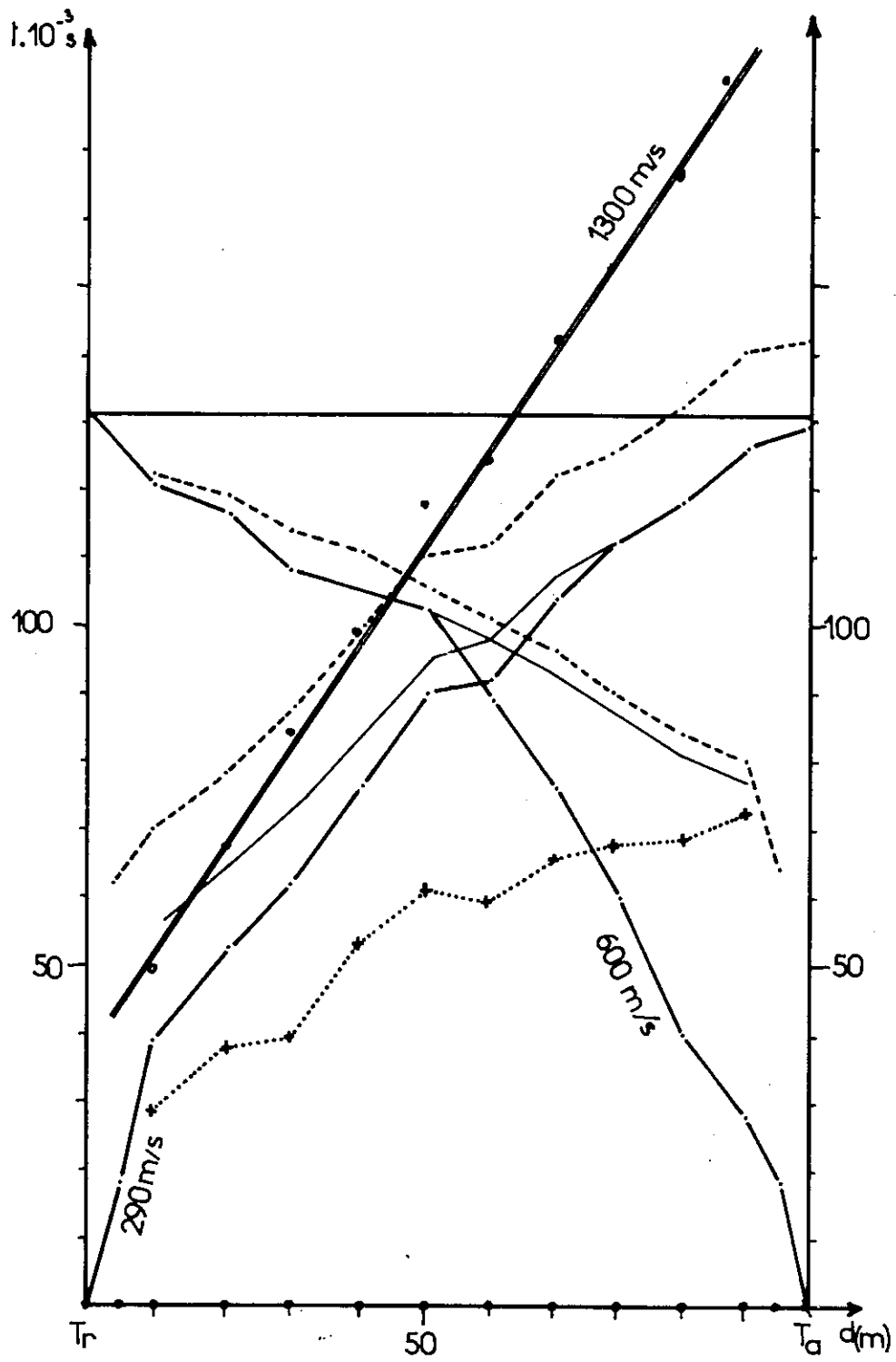
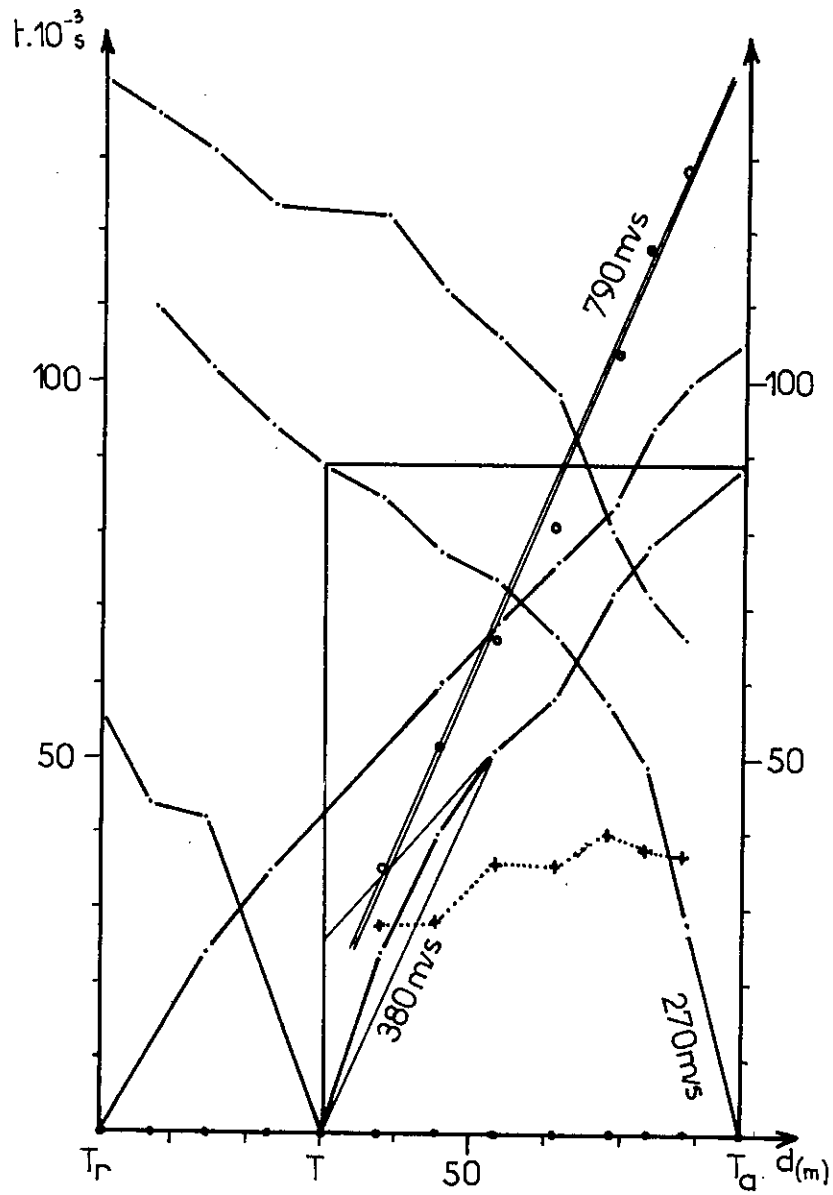
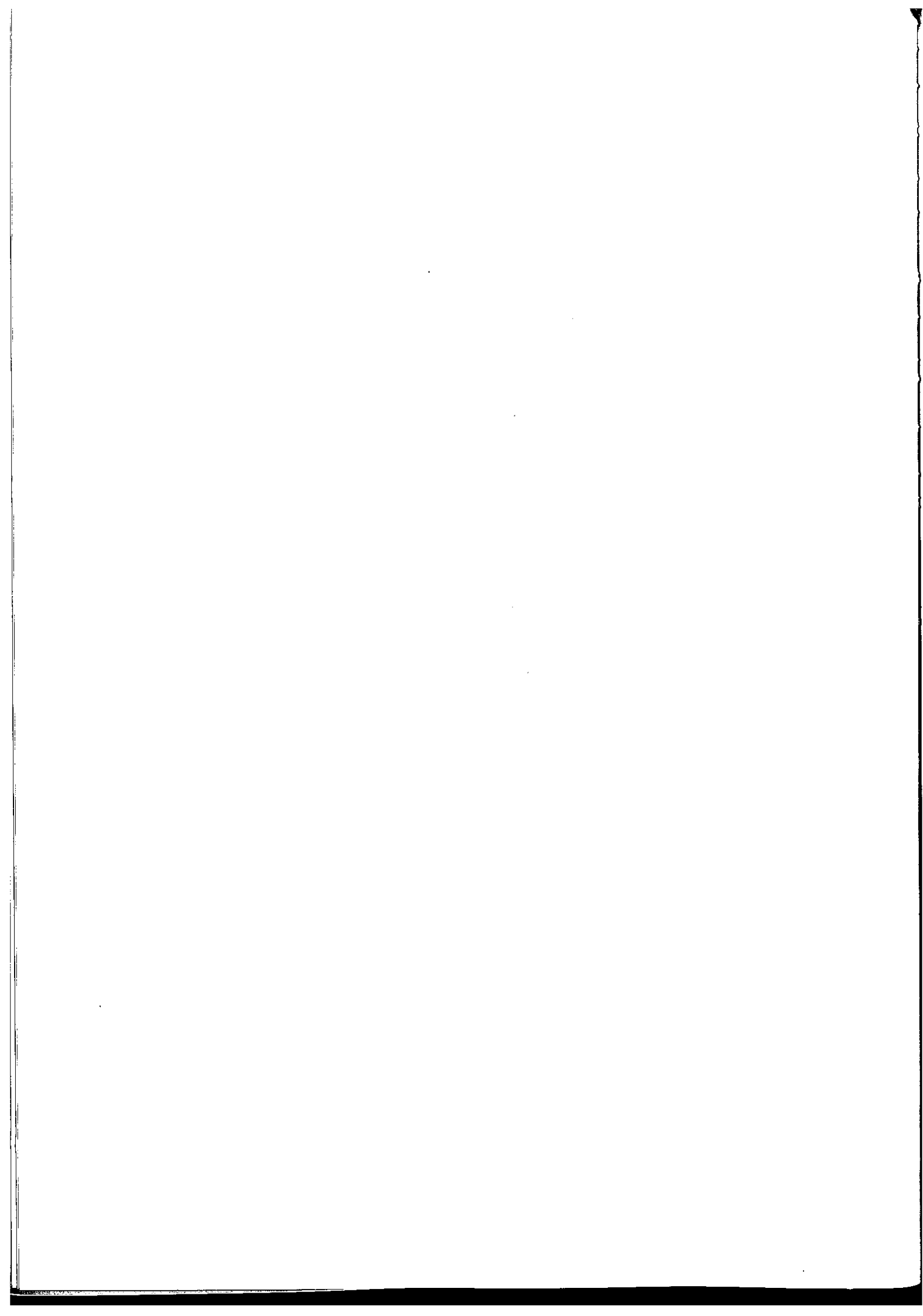


Fig40. Hodochrone du profil C''





P O S T F A C E

Le moment est venu, au terme de ce travail, de décrire une méthode, empirique celle-la, mais éprouvée à l'usage, pour la lutte contre les glissements de terrain. L'observation y joue un très grand rôle, mais en outre il faut pouvoir disposer, le moment venu, de l'aide de bras nombreux!... temps jadis.

Ce savoir-faire particulier appartient à la vieille tradition du Haut Val d'Arly (et peut-être d'autres régions de Savoie affectées de mouvements lents). Il m'a été décrit par Madame et Monsieur Rechon demeurant l'été au chalet Le Mans (rive gauche), dont la stabilité fut plusieurs fois compromise depuis la construction.

La technique locale de construction utilise des poutres ou des troncs d'arbres encastrés les uns dans les autres pour former les murs et dont les extrémités sont croisées¹ emboîtées. L'ensemble est posé sur un petit sous-bassement de tuf.

On réalise ainsi un chaînage efficace qui permet de supporter un taux non négligeable de déformations, l'ensemble ne devient dangereux que lorsque la flèche est importante en raison de la faible résistance du mur de tufs au renversement. (Photo 3)

Ainsi, contrairement à ce que l'on attend généralement de la "sagesse antique", ces chalets pouvaient jadis être positionnés sans autre précaution que l'instinct du constructeur².

Habités immédiatement, certains n'ont jamais bougé, les plus anciens d'entre eux datant de 1750.

Si, par contre, le terrain manifestait quelque humeur folâtre, soit qu'il "tire"¹ (glissement), soit qu'il "pousse"¹ (poussée due au gel), on ne s'affolait pas pour autant. Le charpentier du village, aidé du propriétaire et de quelques amis, démontait le "bois" de la construction pour remonter le tout un peu plus loin, c'est ainsi que, par approximations successives, les hameaux se sont constitués sur les sec-

teurs les plus stables.

Les temps ont changé et cette méthode n'est plus utilisée, soit que la "tradition" se perde, soit que la revente de la construction, en l'état, à quelque citoyen avide d'air pur, charmé par le "rustique" des chambranles de portes bancales, constitue une solution très "économique".

(1) Appellations locales.

(2) Certaines constructions actuelles, même des bâtiments plus importants, laissent à penser que nous en sommes toujours là.

B I B L I O G R A P H I E

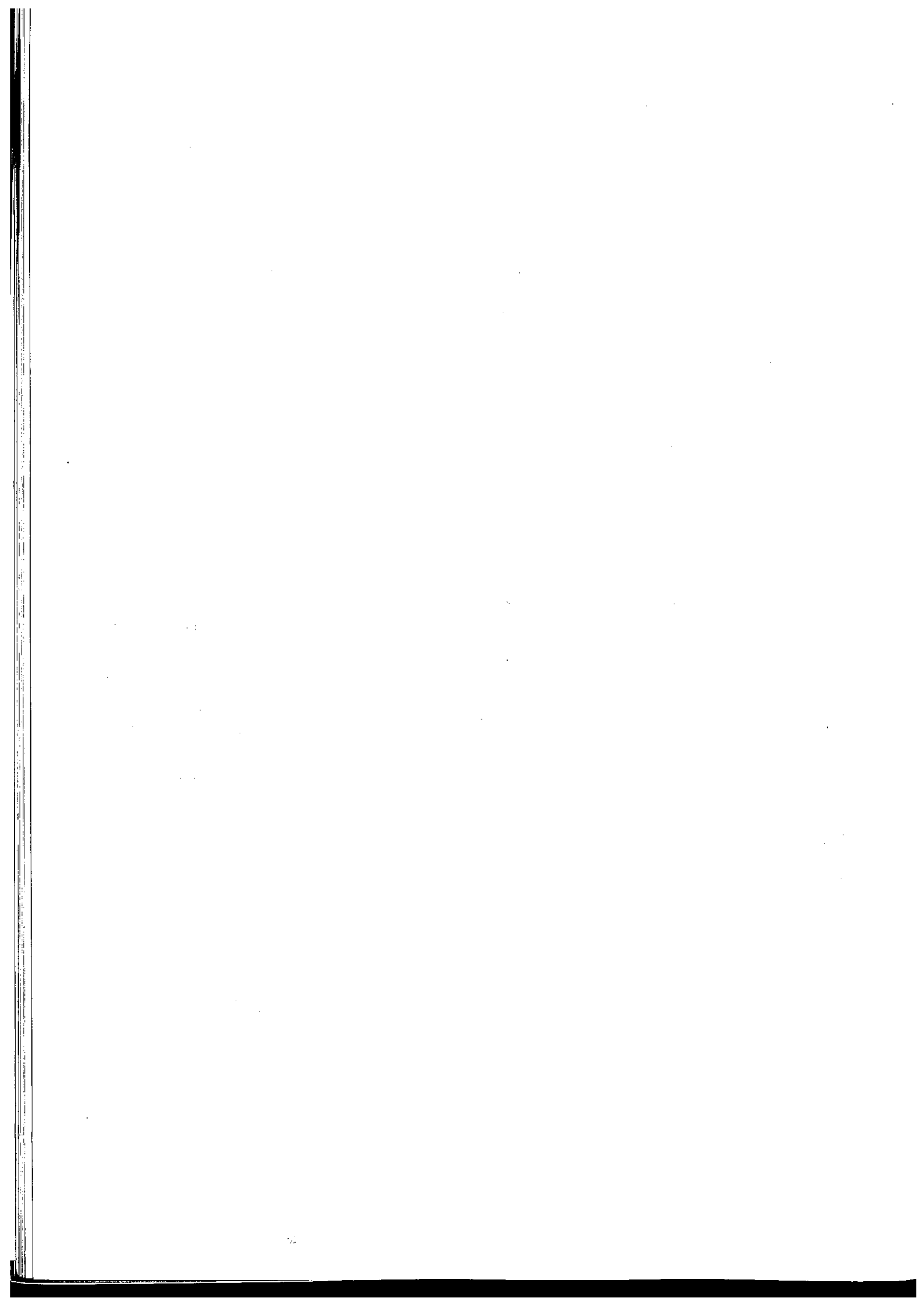
- AMINI M. (1973) - Application des méthodes sismiques à l'étude des glissements de terrain. Thèse 3e Cycle. Fac. Sciences. Grenoble.
- ANTOINE P. (1977) - Réflexions sur la cartographie Zermos et bilan des expériences en cours. Bull. B.R.G.M. 2e Série, Section III, n° 1.2.
- ANTOINE P., BIAREZ J., DESVARREUX P., MOUGIN J.P. (1971) - Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Revue Géologique Alpine, 47, p. 5-24.
- ANTOINE P., LETOURNEUR J. (1973) - Aperçu et réflexions sur les cartes géotechniques - Leur utilité pour l'aménagement en montagne. Rev. Géog. Alp. Grenoble, t. 61, fasc. 1.
- ANTOINE P., PACHOUD A. (1975) - Enseignement tiré de deux essais de cartographie systématique de glissements de terrains. N° Spécial. Bull. Liais. L.P.C.
- ANTOINE P. (1975) - Eléments de Géologie appliquée au génie civil. Cours destiné aux élèves de l'E.N.T.P.E. de Lyon. Tome 2, 379 p.
- ASTIER J.L. (1971) - Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Masson éditeur. 277 p et fig. 16 x 24,5. cm
- AVENARD J.M., TRICARD J. (1961) - Technique de travail et idées de recherches. Application de la mécanique des sols à l'étude des versants. Rev. Géomorphologie dyn. oct.-déc., p. 146-156.
- AZIMI Ch. (1963) - Utilisation de la méthode sismique pour l'étude des glissements de terrain au bord de la Mer Noire. Rapp. Ann. de Trav. de Rech. de la Fac. de Géol. Univ. de Moscou. (en Russe) (pm).
- BARFETY T.C., PACHOUD A. (1973) - Cartographie du glissement de Montricher-Le Bochet (Savoie). Méthodes de surveillance et de prévention adoptées. SSSSC Cannes, p. 187-198.

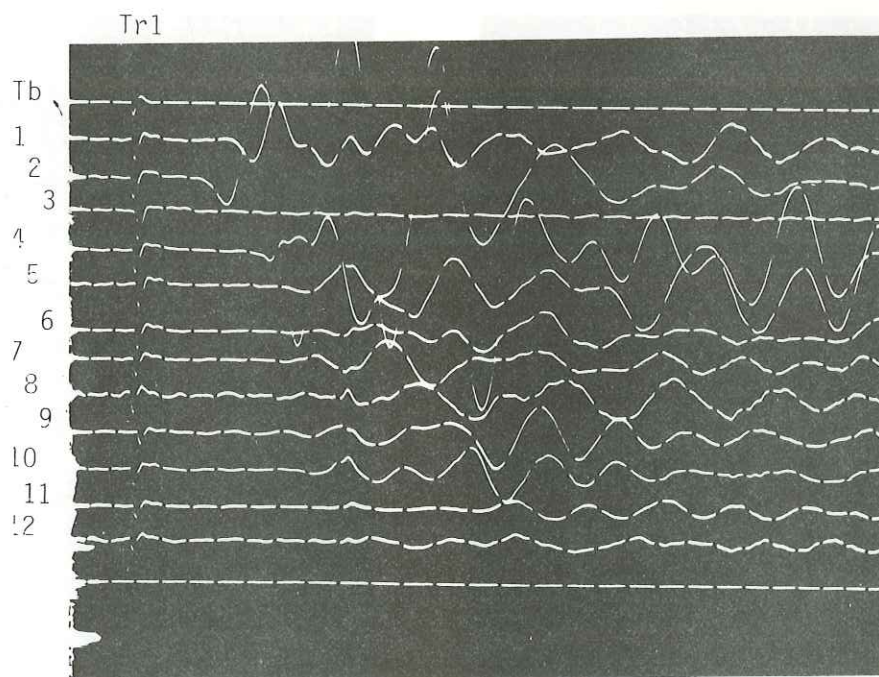
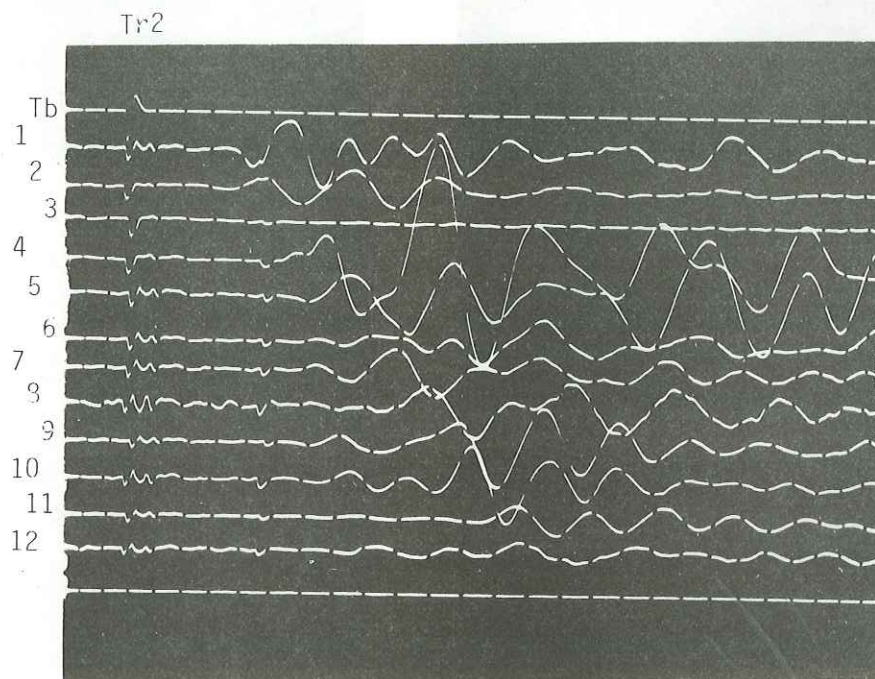
- BERTRAND Y. (1967) - La prospection électrique appliquée aux problèmes des ponts et chaussées. B.L.L.P.C. n° spéc. 165 p.
- BLANCHARD R. (1947) - Les Alpes Occidentales, Tome II (Les Cluses préalpines et le Sillon alpin). B. Arthaud.
- BOLLO M.F., BOLLO M.F. (1974) - (pm) - Localisation d'anciens glissements. Répercussion sur la stabilité des talus en projet. C.R. 3e Congrès SIMG Denver 1974. II B. p. 848-853.
- BOMBARD J.P. (1968) - Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Essai méthodologique. Thèse 3e Cycle. Grenoble.
- BOURDIER F. (1961) - Le Bassin du Rhône au quaternaire. Thèse Sci. Paris C.N.R.S. 2 vol. 364 + 294 p. 296 fig.
- CAILLEUX A., TRICARD J. (1962) - (pm) - Le modelé glaciaire et nivgl. Paris-Sedes (bibl.)
- CARFANTAN J.Ch. (1975) - Les terrains anté-oxfordiens de la chaîne du Charvin (massif des Bornes, Savoie). Caractères stratigraphiques et structuraux. Annales du Centre Univ. de Savoie. Sciences naturelles - Tome II.
- COSTET J., SAUGLERAT G. (1976) - Cours pratique de mécanique des sols. Nouvelle édition. Tome 1. Plasticité et calcul des tassements. Paris. Dunod. 263 p.
- CRUDEN D.M. (1975) - The influence of discontinuities on the stability of rock-slopes. 4th Guelph. Symposium ou Géomorphology 1975. Publi. Géo. Abstracts LTD. Univ. of East Anglia. Association with geomorphology symposium.
- CRUDEN D.M. (1976) - A composite net for the rapid analysis of rock slope stability. Journal of Engineering Geology. Vol. 9. pp. 119-124, 2 fig.
- CRUDEN. D.M. (1976) - Major rock slides in the Rockies. Canadian Geotechnical journal. Vol 13. Number 1. pp. 8-20.
- DAGUEUX J.P., LEMOINE Y. (1970) - Cartographie géotechnique en milieu côtier vaseux par sismique réfraction et pénétromètre. AIGI. 1er Congrès intern. Paris. Vol. 2, p. 895-903.
- DEBELMAS J. (1970) - Alpes (Savoie et Dauphiné). Guides géologiques régionaux. Masson et Cie. Editeur.
- DEMATHIEU (1973) - Cartographie des risques et télédétection (I.G.N.). Symp. Nat. SSSC. Cannes, t. 1, p. 119-123.

- DESVARREUX P. (1971) - Recherche d'une méthode d'étude des mouvements de terrain et applications pratiques. Thèse Docteur-Ingénieur. Fac. des Sciences; Grenoble.
- DOBRINE M.B. () - Introduction to Geophysical prospecting. Mc Graw Hill. International Student Edition. (pm)
- FOLLACCI J.P., MENEROUD J.P. (1973) - Les éboulements et la sécurité des routes en pays montagneux. Symp. Nat. SSSSC Cannes, t. 1, p. 134-139.
- GAND G. (1973) - Contribution à l'étude géologique des formations permo-triasiques de la partie septentrionale de Belledone de la vallée de l'Arly au lac de la Girotte, Savoie. Thèse doctorat 3e Cycle. Labo. Géol. Appl. Grenoble.
- GARNIER J.C., COMES G. (1970) - Intérêt et limites des reconnaissances par géophysique et des essais géotechniques. 1er Congrès Int. de Géologie de l'Ingénieur. AIGI. Tome II. pp. 707-718.
- FRECHET.J.(1978) - Sismicité du Sud-Est de la France, et une nouvelle méthode de zonage sismique. Thèse 3e Cycle. Lab. Géophysique interne. Université de Grenoble.
- GRATIER JP.LEJEUNE B. VERGNE JL. (1973) -Etude des déformations de la couverture et des bordures sédimentaires des massifs cristallins externes de Belledonne, des Grandes Rousses et du Pelvoux. Thèse 3^e Cycle. USMG Grenoble.
- GOGUEL J. (1956) - Les glissements des gorges de l'Arly (Savoie) - C.R. de la Société Géologique de France.
- 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 1/20 000e.
- GURVITCH I.I. (1964) - La prospection sismique. Editions Niédra, Moscou. (en Russe)
- GRIM R.E. (1968) - (pm) - La minéralogie des argiles en relation avec les propriétés mécaniques des minéraux argileux. "Applied clay mineralogy". Ed. Mc Graw Hill Book. New York, 1962, t. 1, 204-277. Traduction LCPC, 63 T, 1968.
- HABIB J. (1973) - Précis de Géotechnique. Dunod Ed.
- HABIB J. (1973) - La fissuration des massifs rocheux. Annales ITBTP, n° 306, p. 64-70.
- HOCK E., BRAY T.W. (1974) - Rock slope Engineering. The institution of Mining and Metallurgy, London 1974. 309 p et fig. 21 x 29,7.
- KOBOLD F. (1968) - (pm) - Méthodes géodésiques pour la détermination des mouvements de roches ou de terrain dans les zones de glissement. Hoch und Tiefbau. Zurich, n° 42.

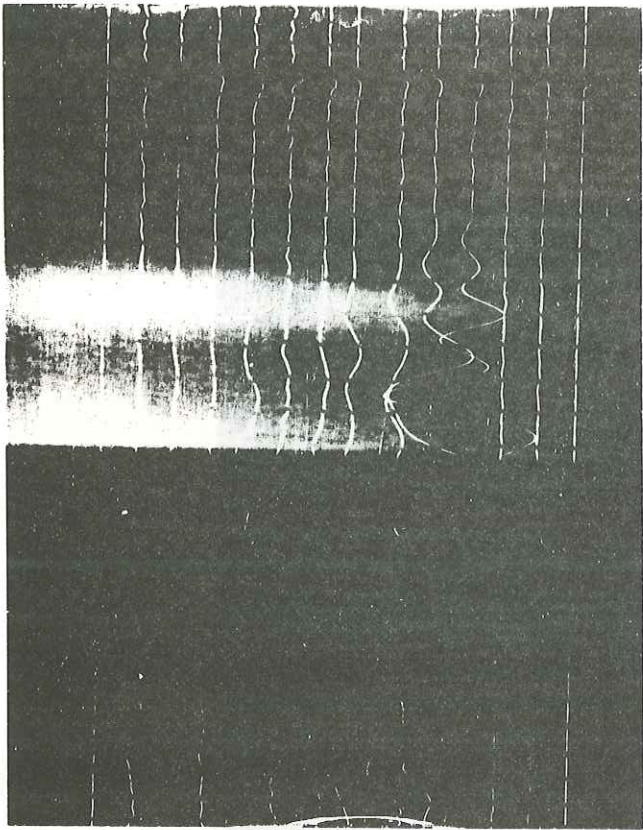
- LETOURNEUR J. (1966) - Les mouvements du sol. Examen des facteurs géologiques de l'instabilité superficielle. Trav. du Labo. de Géol. de l'école des mines de St-Etienne. n° 1, 67 p.
- LETOURNEUR J. (1944) - Observations sur la région comprise entre Ugine et le Mont-Joly, feuille d'Albertville 1/80 000. Bull. de la carte géol. de France, n° 216, tome XLV.
- LETOURNEUR J., MICHEL R. (1971) - Géologie du génie civil. Paris. A. Colin, 728 p. 8 pl.
- L'HERMINIER R. (1967) - Mécanique des sols et des chaussées. Centre de Hautes Etudes de la construction . Pub. Société de diffusion des techniques du Bâtiment et des Travaux publics, 201 p. et fig. 21 x 29,7.
- MALATRAIT A.M. (1975) - Analyse et classement des myts. gravitaires. Feuille St Jean de Maurienne au 1/50 000. Thèse 3e Cycle. Grenoble. Rappt B.R.G.M. Orléans.
- MAMELEA M.A. (1974) - La solifluxion et l'enbouement, processus physiques qui constituent au déclenchement des déplacements de terrains. Bull. AIGI, n° 9, p.63-68.
- MONTANDON F. (1933) - (pm) - Chronologie des grands éboulements alpins, du début de l'ère chrétienne à nos jours. Rev. Mat^é pour l'étude des calamités. Soc. de Géogr. de Genève, n° 32, IV.
- MO GIN J.P. (1973) - Les mouvements de terrain. Recherche sur les apports ^{mutuels} des études géologiques et mécaniques à l'estimation de la stabilité des pentes. Thèse Docteur-Ingénieur, Grenoble.
- PACHOUD A. (1974) - Notice explicative de la carte des risques naturels géologiques d'Ugine (Savoie). 1 carte 1.20 000 coul., B.R.G.M. Orléans.
- PANET M., ROTHEVAL J.P. (1977) - Stabilité des masses rocheuses in."La mécanique des roches appliquée aux ouvrages de génie civil". Document de Formation Continue de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. p. 109-119.
- PAQUET J., JUNOD D. (1966) - Application des méthodes géophysiques aux études des sols à faible profondeur pour le bâtiment et les travaux publics. Ann. I.T.B.T.P. 219-220, p. 313-320.
- PAUTRE A., SABARLY F., SCHNEIDER B. (1974) - L'effet d'échelle dans les écroulements de falaises. C.R. 3e Congrès S.I.M.R. Denver, II B., p. 859-864.
- PELTIER R. (1959) - Manuel du laboratoire routier. Dunod Editeur, Paris. 291 p., 16 x 25cm.

- PERRIER G. () - "La croûte terrestre", in Traité de Géophysique Interne. Publié sous la direction de J. Coulomb et G. Jobert. Masson Editeur. pp. 230-251.
- POLUBARINOVA-KOCHINA (1962) - (pm) - Theory of ground water movement. Princeton Univ. New-Jersey. 1er Cong. Intern. de Géologie de l'Ingénieur, 1970. Comité Français de Géologie de l'Ingénieur, 2 t. Paris.
- PUTZ H. (1935) - Le Haut-Val d'Arly. Revue de Géographie Alpine. Tome XXIII. Publi. de l'I.G.A. (Université de Grenoble).
- PUTZ H. (1934) - Le Haut-Val d'Arly. Revue de Géographie Alpine, Tome XXII p. 719-743. Publi. de l'I.G.A. Grenoble (Université).
- ROSSET J. (1954) - Description géologique de la chaîne des Aravis entre Cluses et le col des Aravis (Savoie). Doctorat ès-sciences naturelles. Fac des Sciences de Grenoble.
- SEGUIN M. (1971) - La Géophysique et les propriétés mécaniques des roches. Les Presses de l'Université Laval, 562 p.
- SKEMPTON A.W., HUTCHINSON J. (1969) - Stability of natural slopes and embankments foundations. 7e Congrès Int. de méc. des Sols et travaux de fondations. Mexico 1969.
- TERZAGHI K., PECK R.B. (1965) - Mécanique des sols appliquée. Dunod, 565 p. et fig. 16 x 25.
- THOMAS A. (1970) - Réflexions sur la cartiographie géotechnique. 1er Congrès de l'AIGI. Tome II, pp. 960-970.
- VOIGHT B. (1977) - Rockslides and Avalanches. 834 p et fig. Elsevier Scientific Publishing Company.
- WOOD A.B., WESTON D.E. (1964) - The propagation of sound in mud. Rev. Acustica.
- ZOLOTAREV G.S. (1971) - Relaxation of natural stresses and rock weathering as an important factor in the development of rockfalls and landslides on natural slopes. Geologia applicata e Ideologeologia, Volume VIII, parte I.
- ZOLOTAREV G.S. (1970) - Les principes des méthodes d'études géotechniques des formations de pente en région montagneuse. pp. 108-170, 1er Cong. Int. de Géologie de l'Ingénieur.

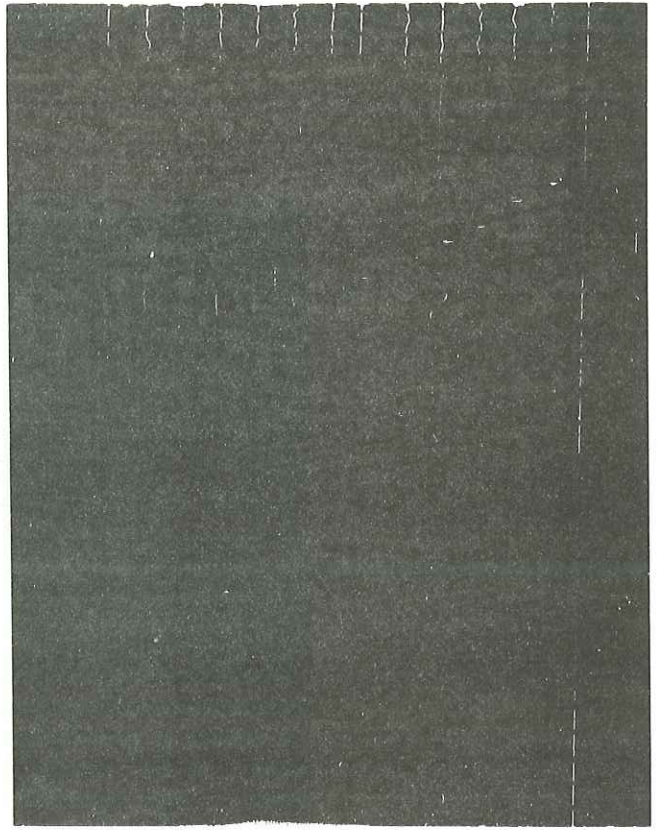


PROFIL I

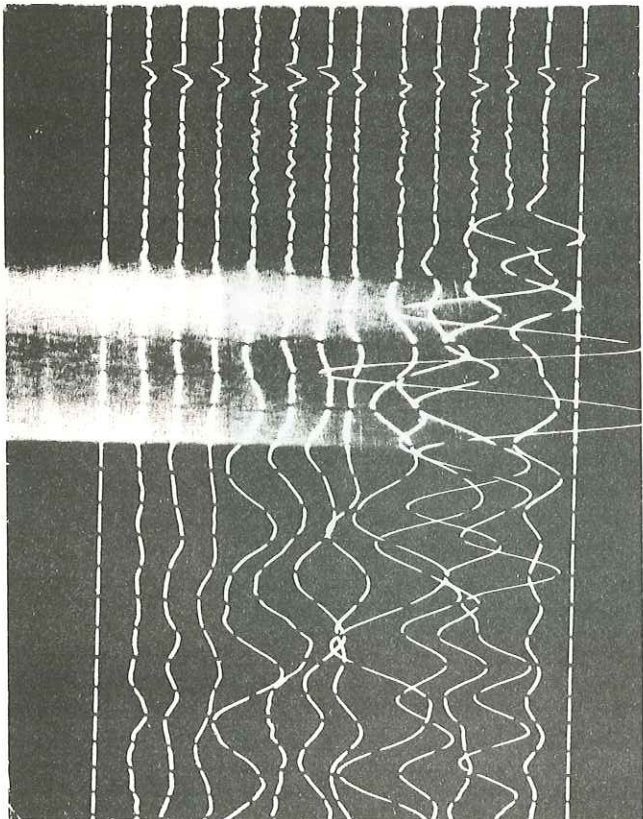
La nomenclature des géophones est la même pour tous les enregistrement qui suivent. L'origine du temps (Tb) est toujours placée en haut des photos.



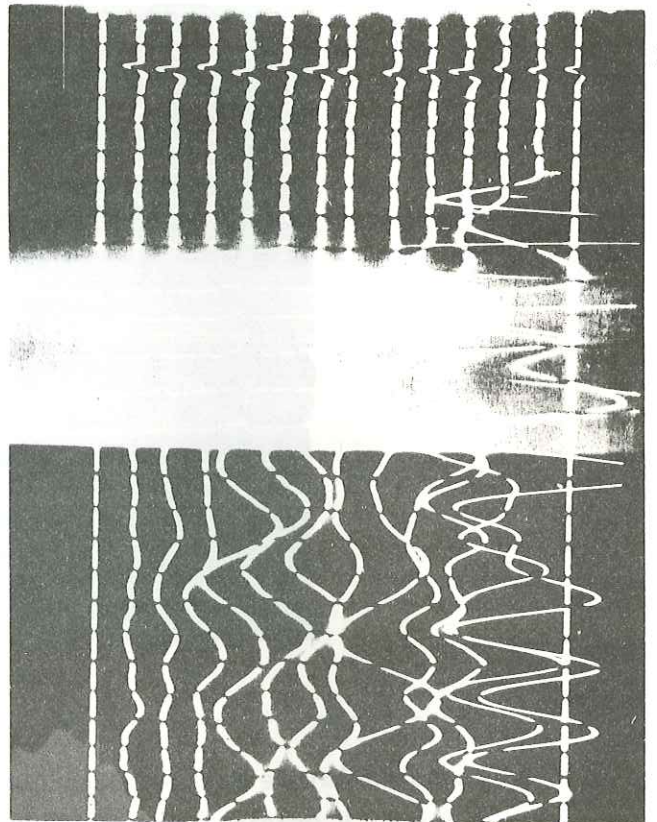
A2



T24

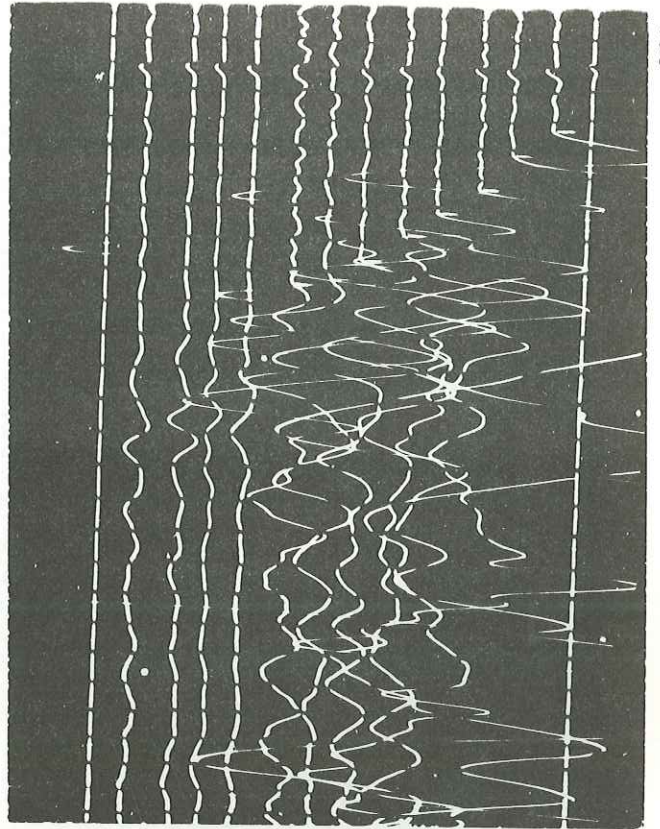


Ta5

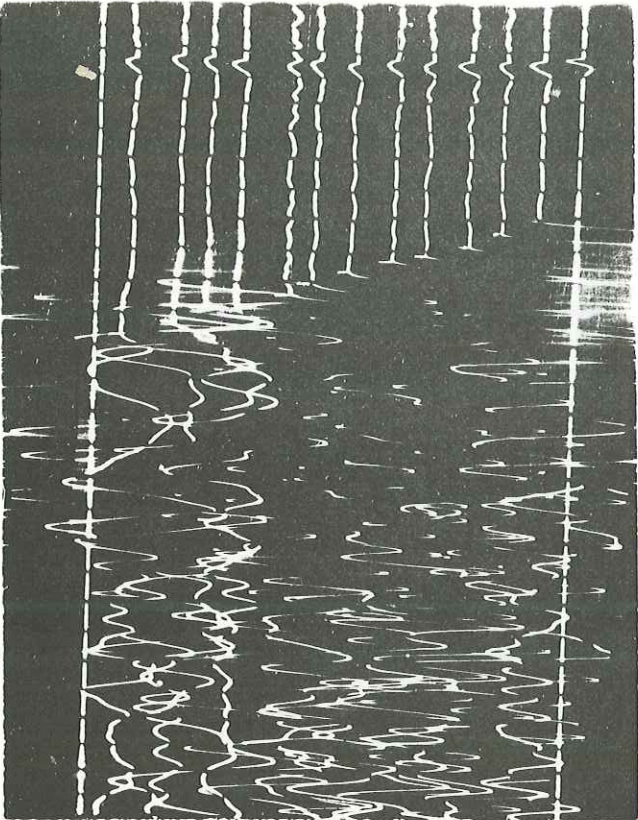


Ta3

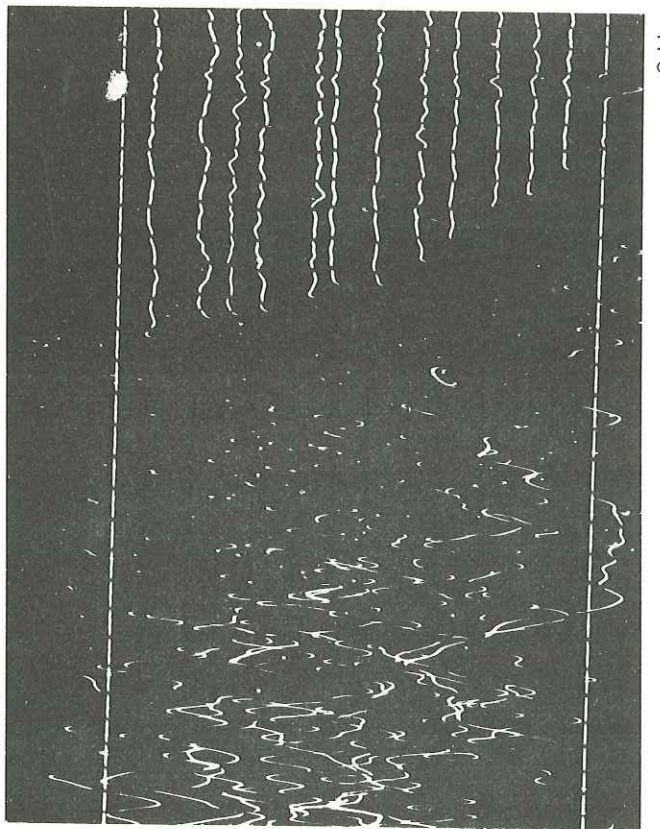
Ta3



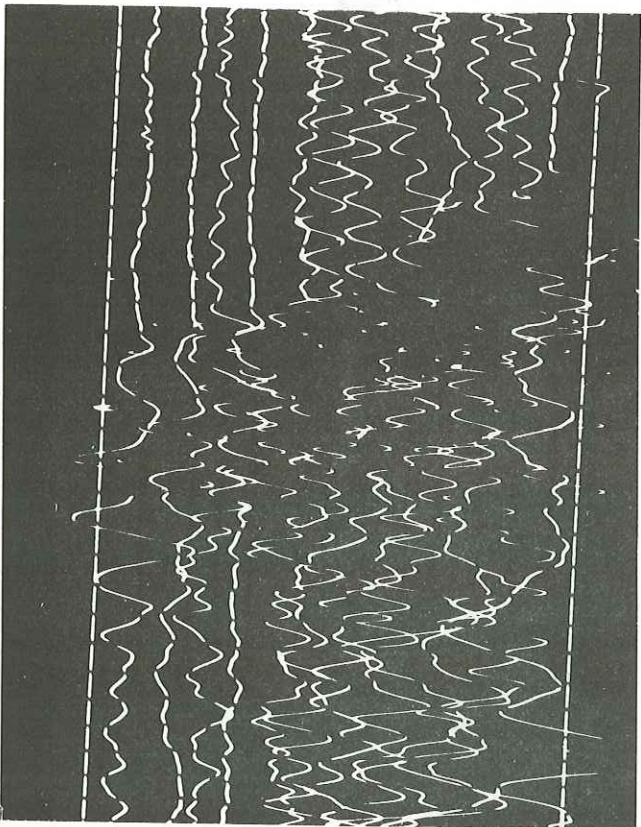
Ta5



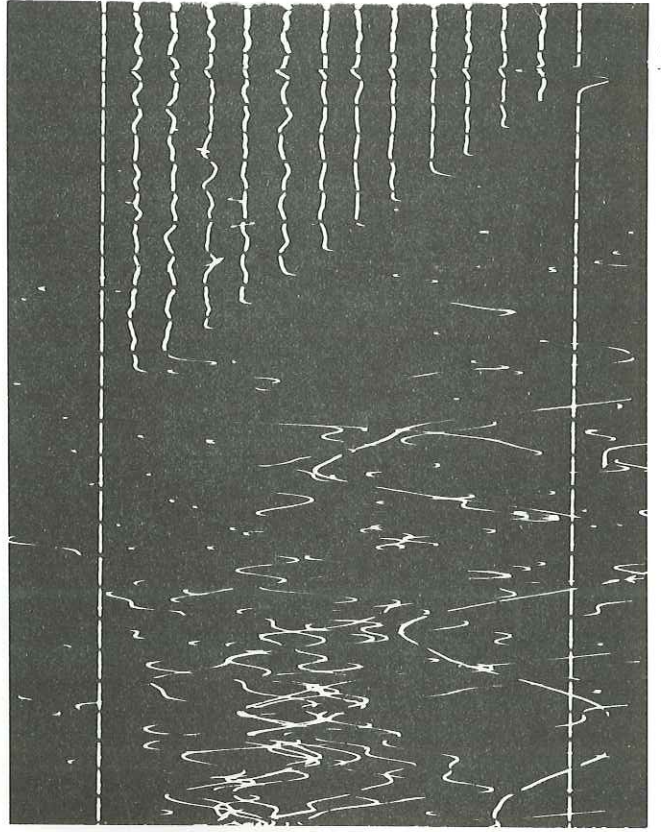
Tr3



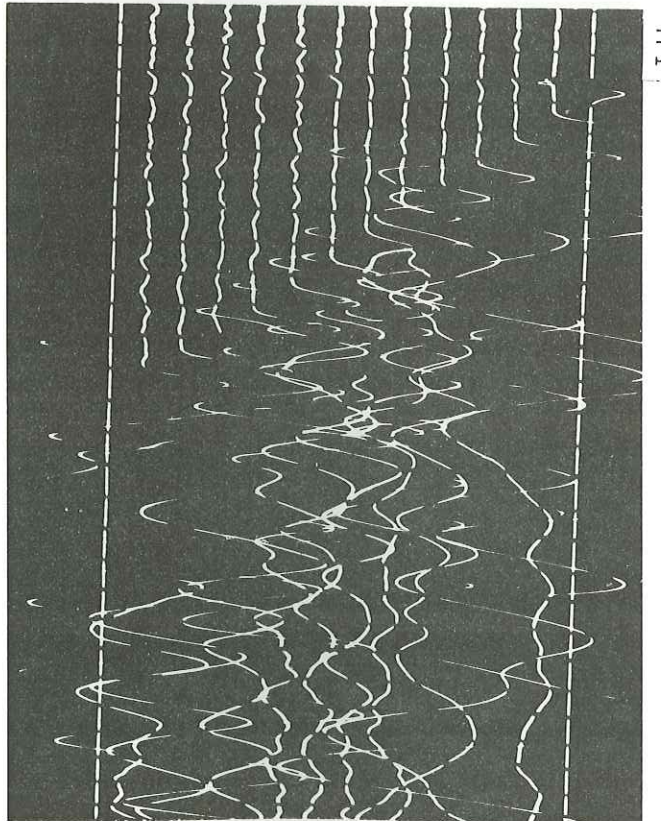
Exemple de perturbations (gains inchangés)



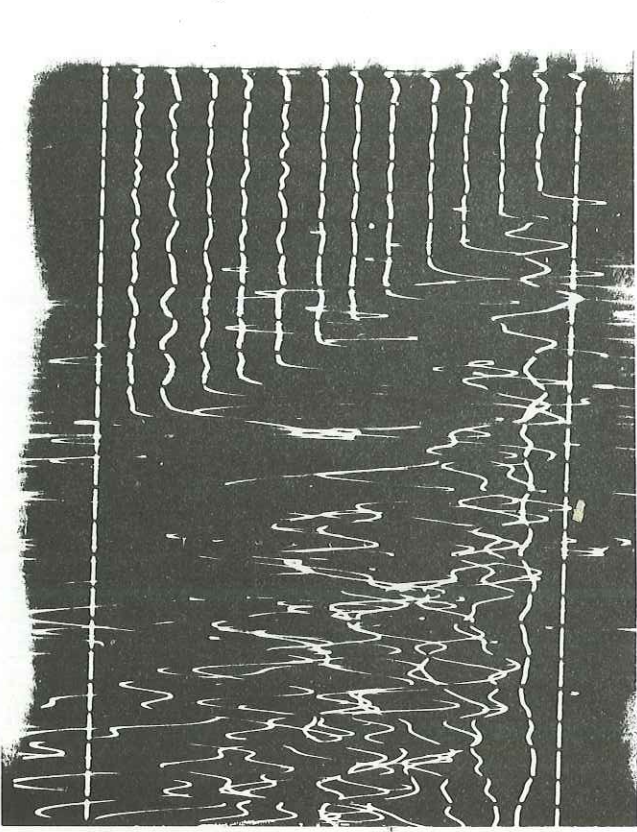
Ta1



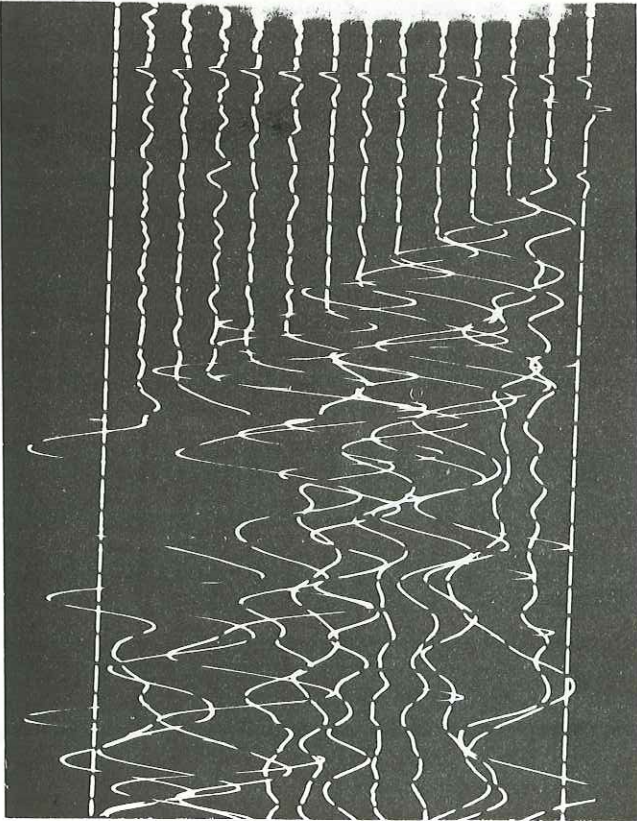
Tr1



Ta2



Tr2

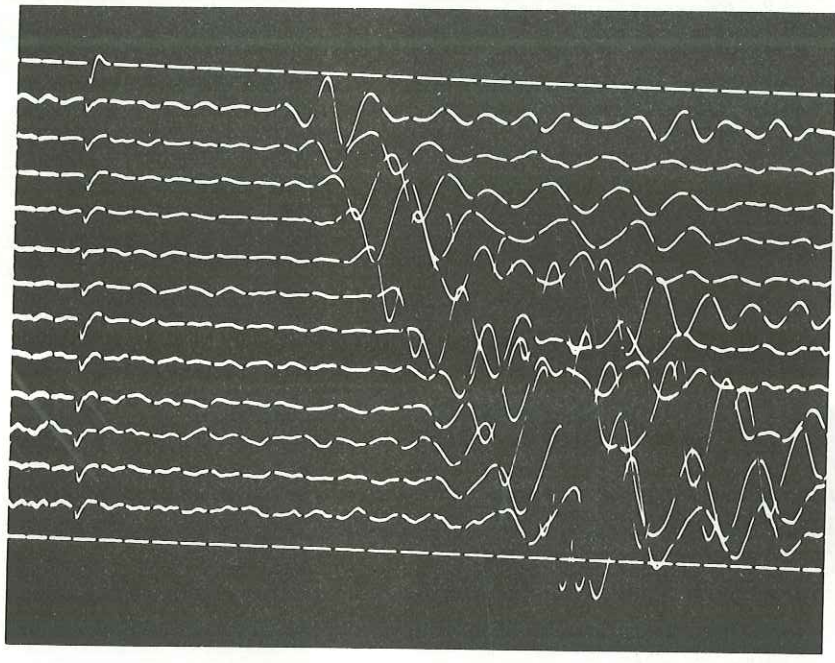


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

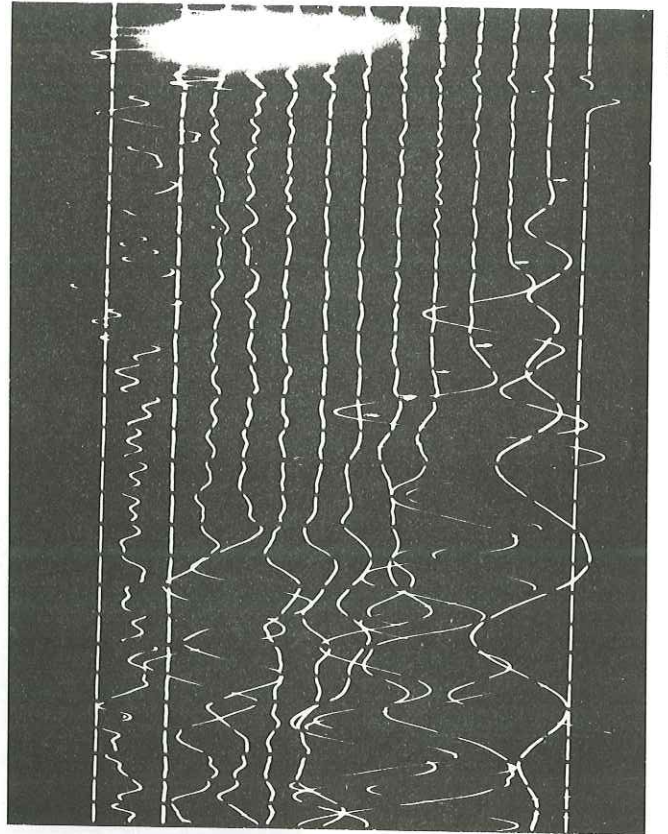
T
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

PROFIL XII Sur l'Eau

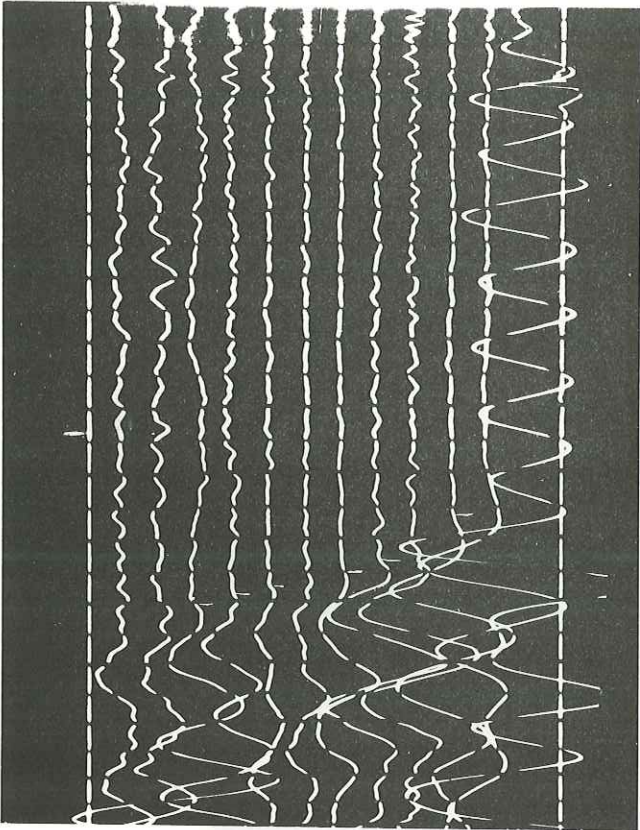
Tr3



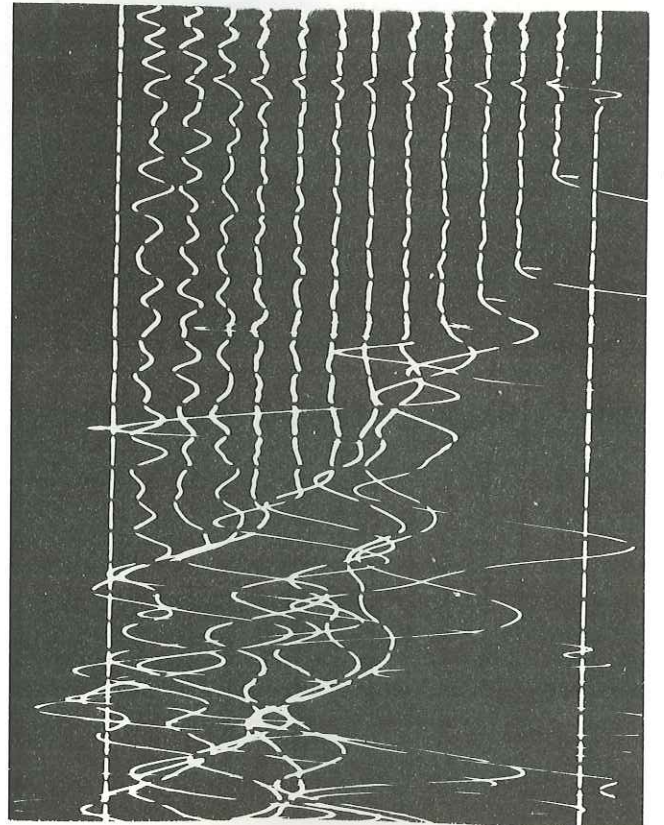
Ta1



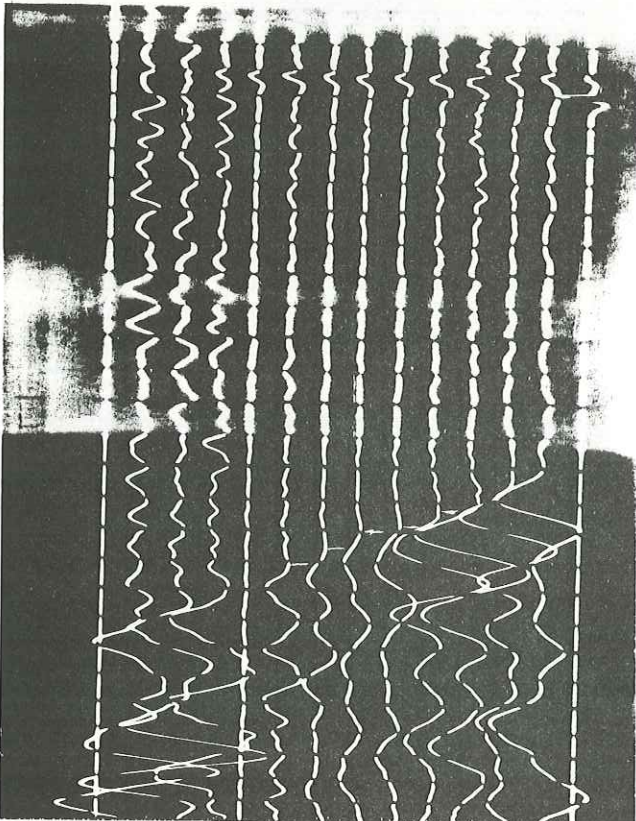
Ta2

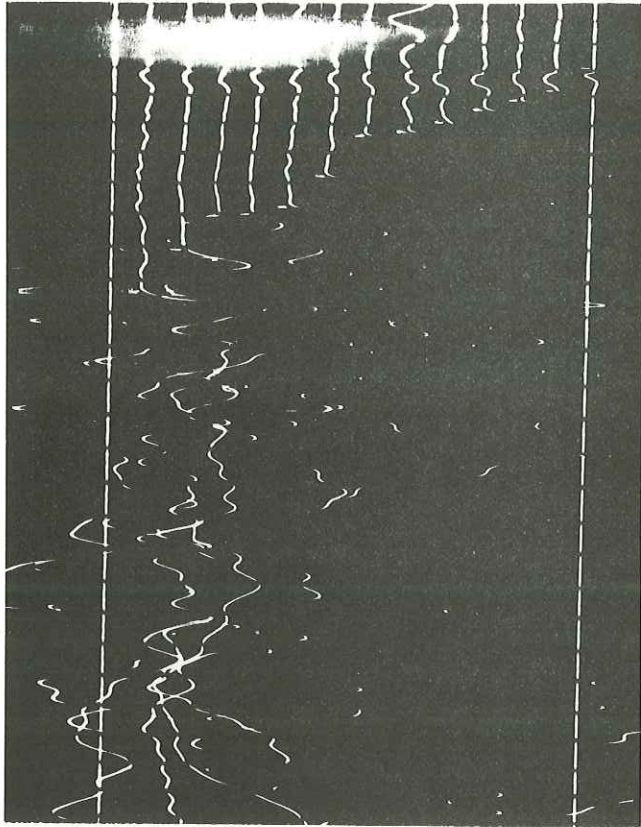


Tr1

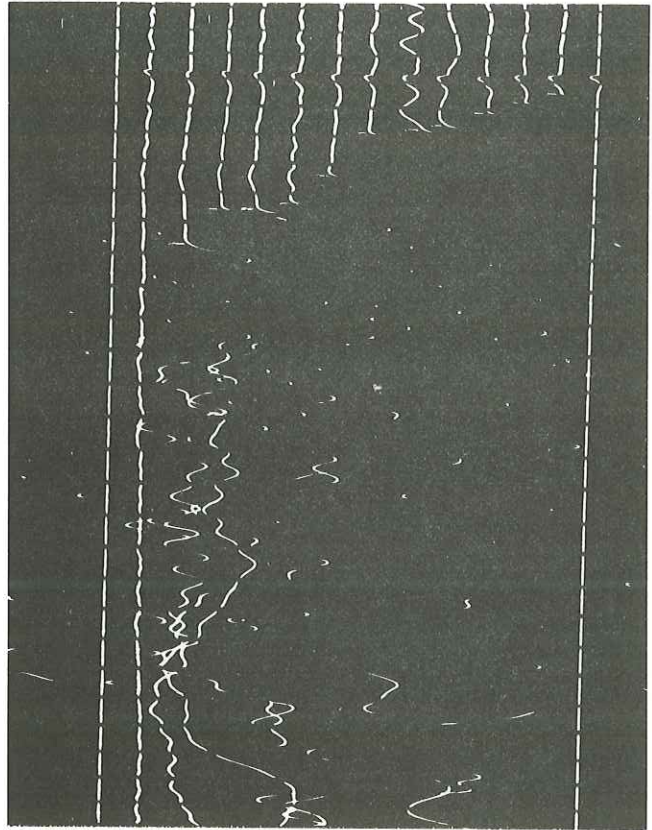


Tr2

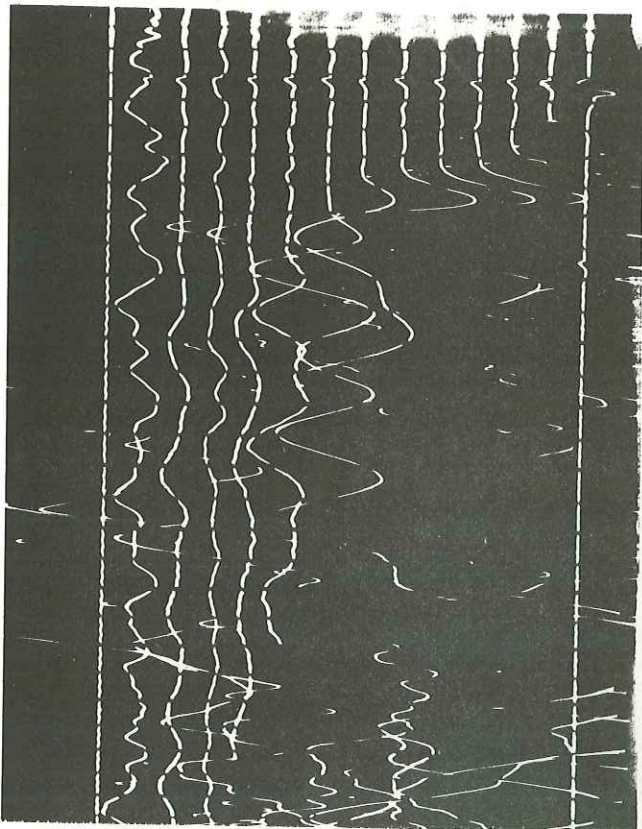




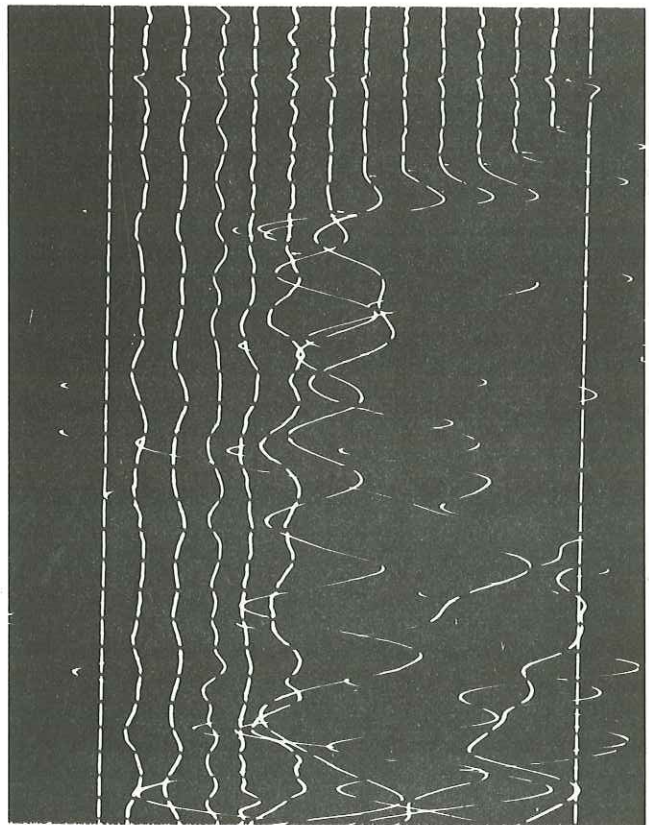
Ta2



Ta1

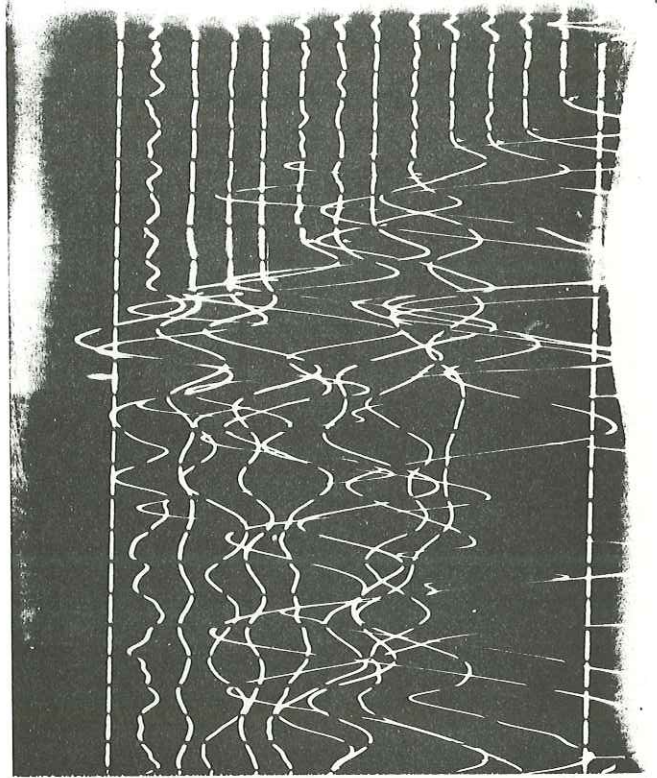


Tr2

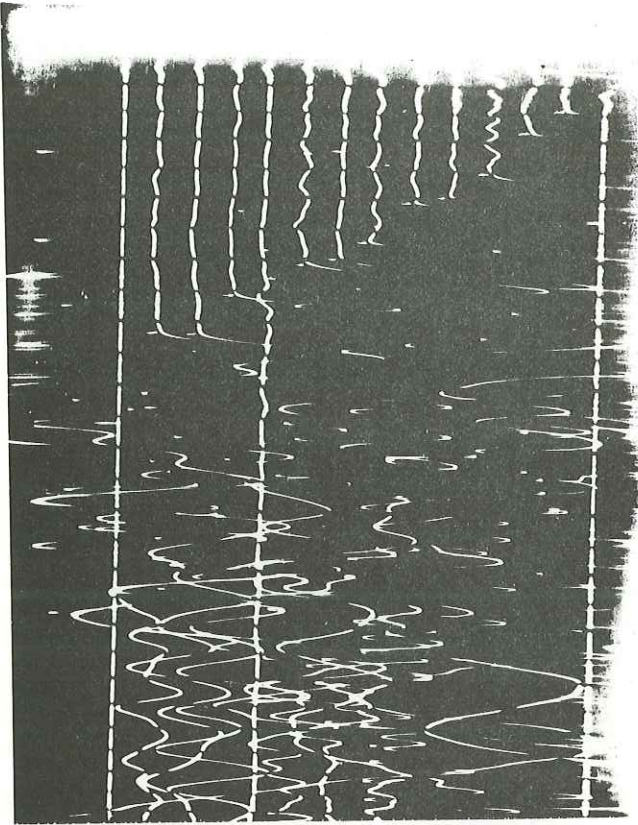


Tr1

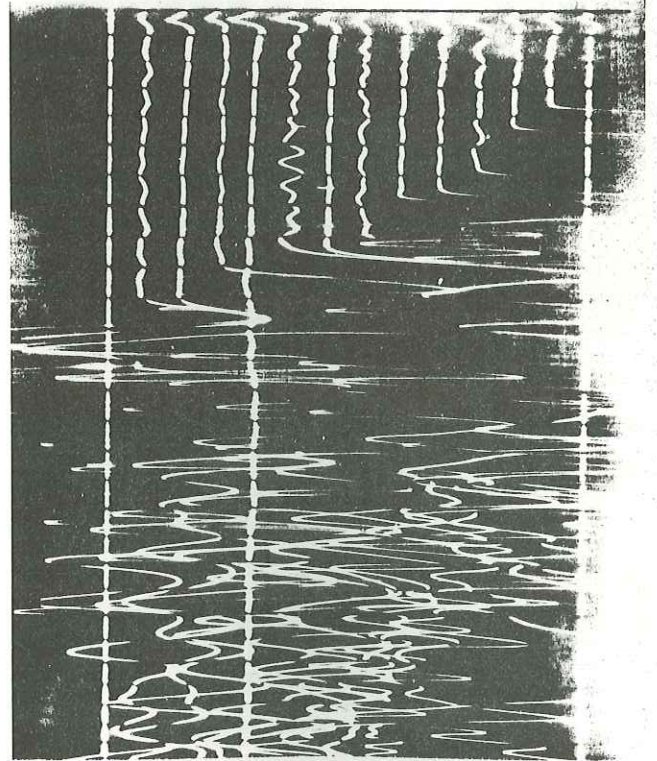
Ta1



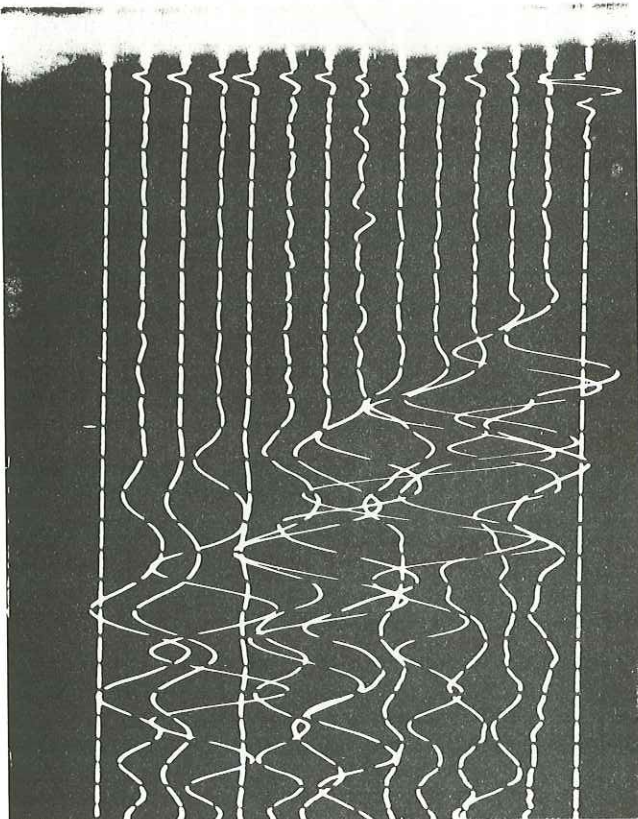
Tr1



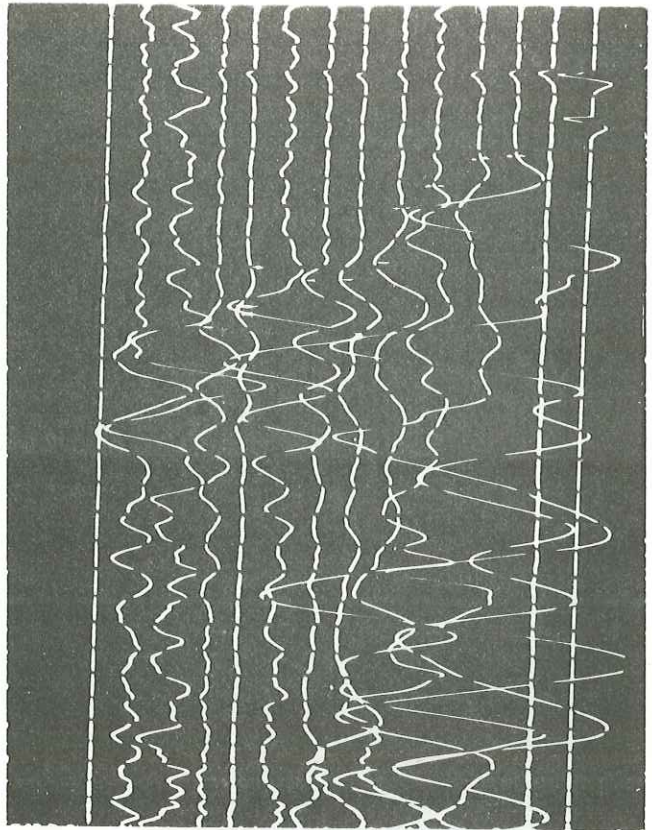
Tr2



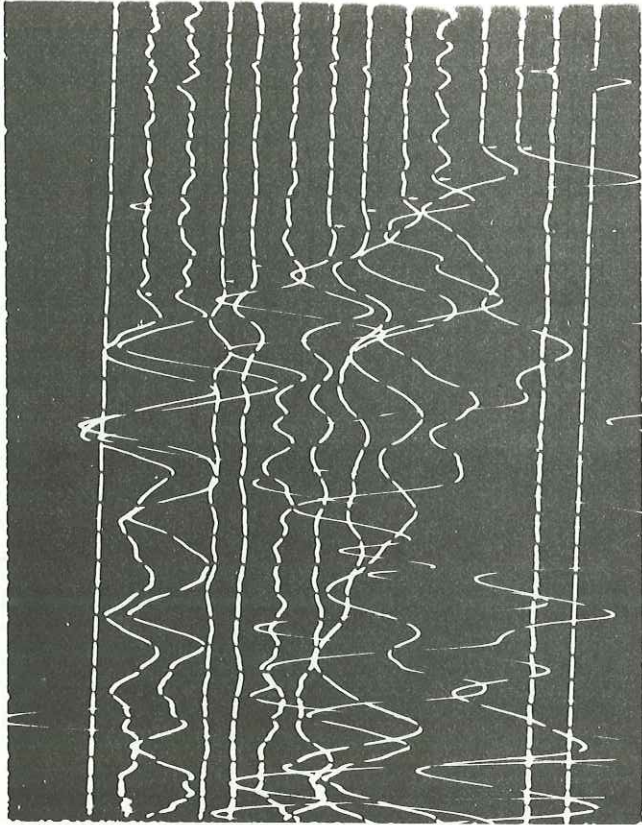
Tr3



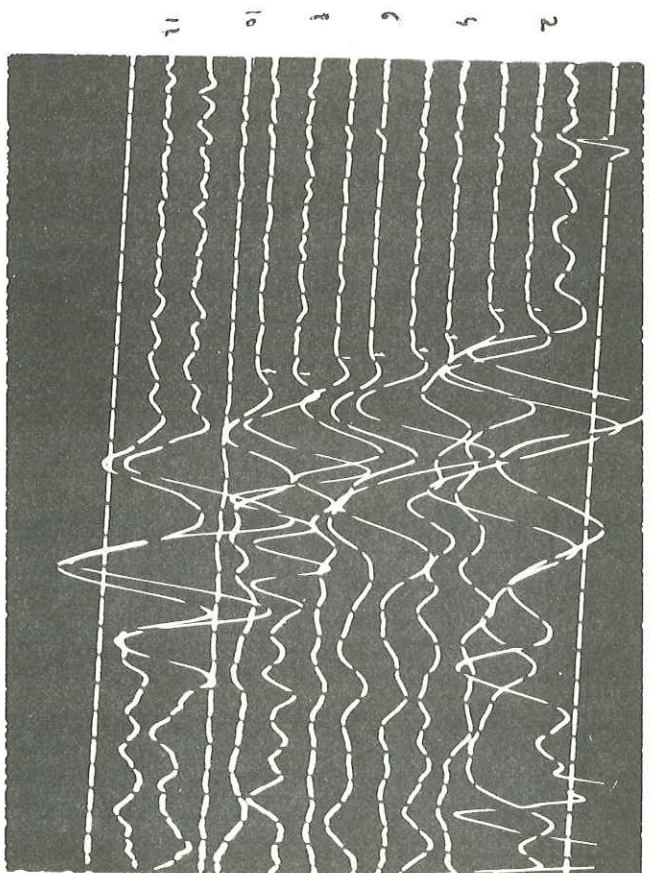
Tr1



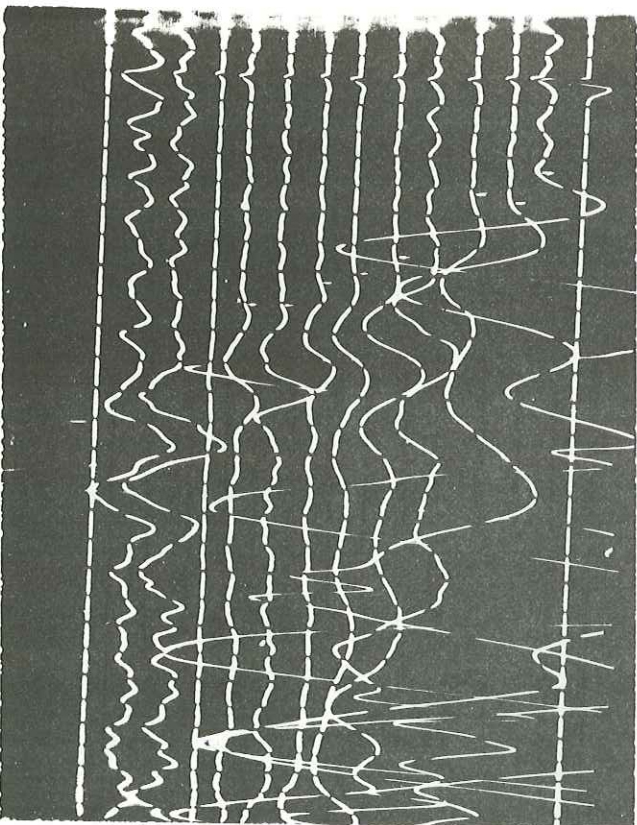
Tr2

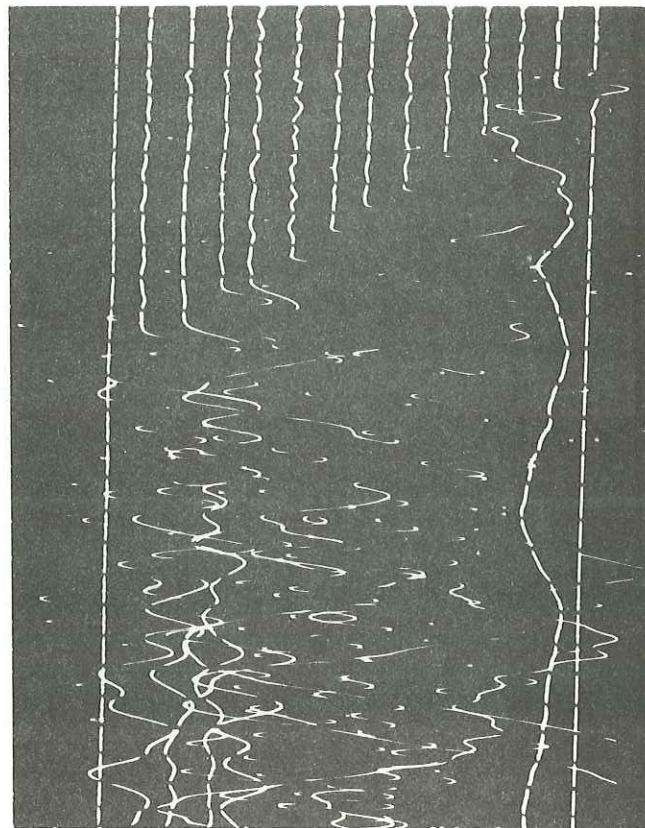


Tr5

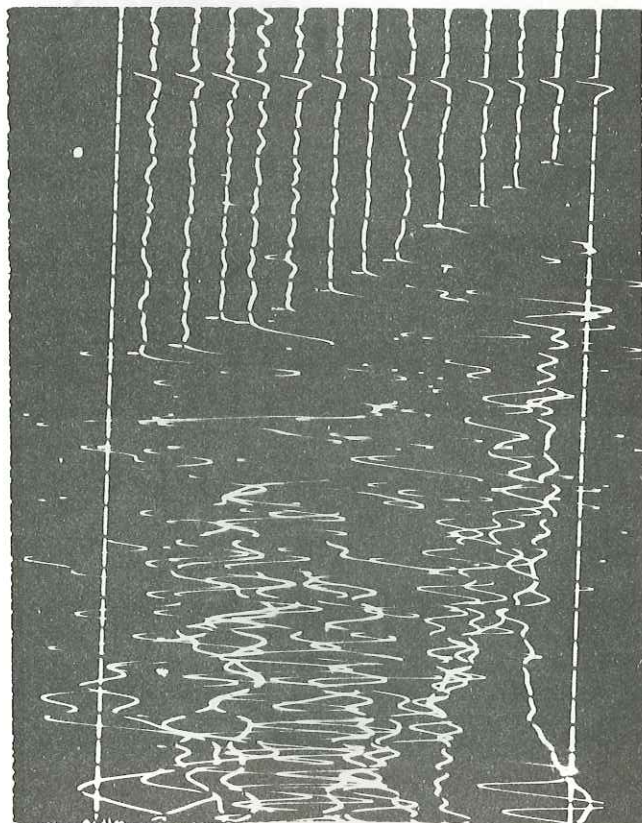


Tr4

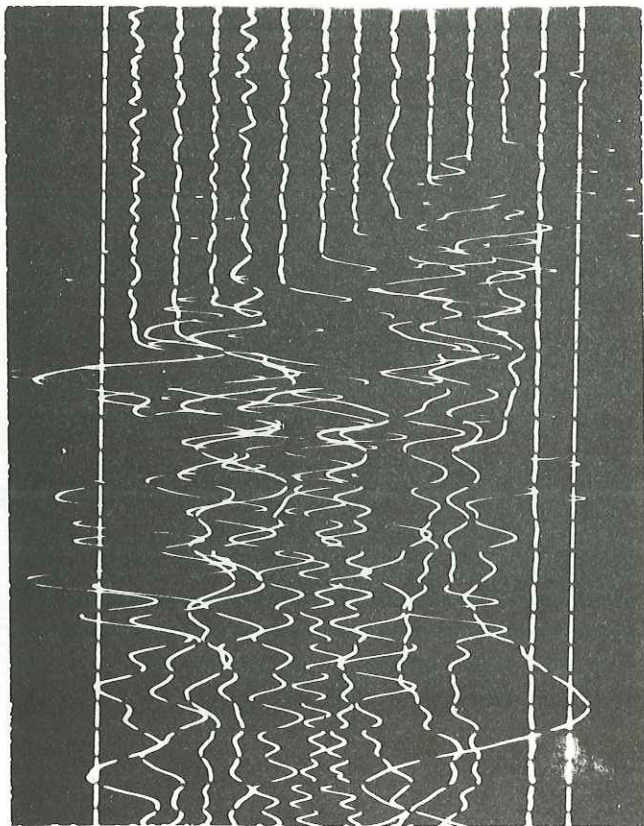




Ta1



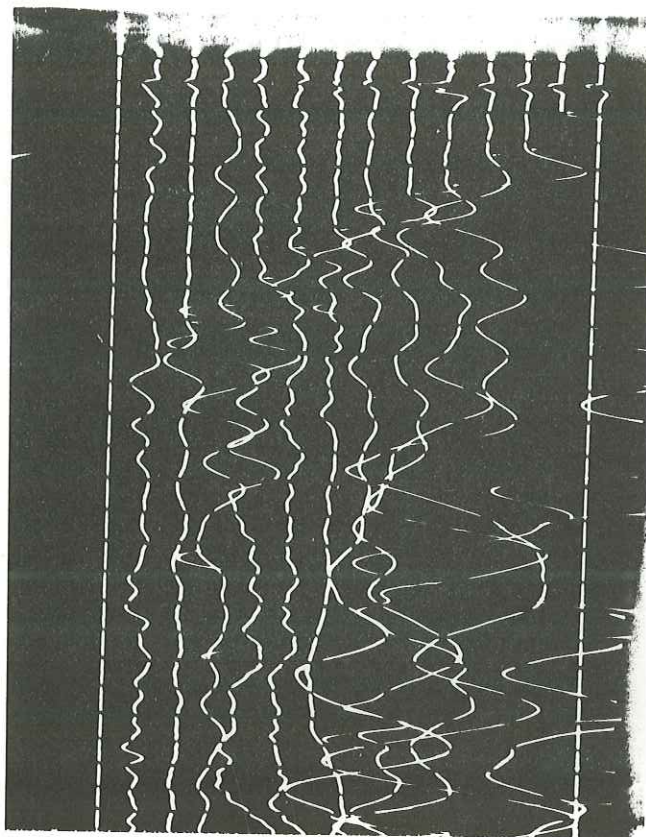
Ta3



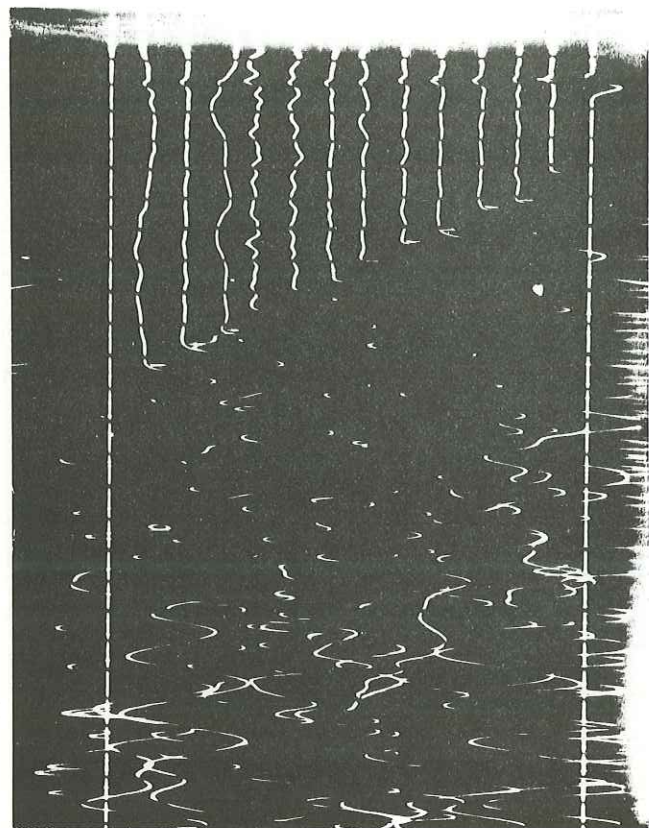
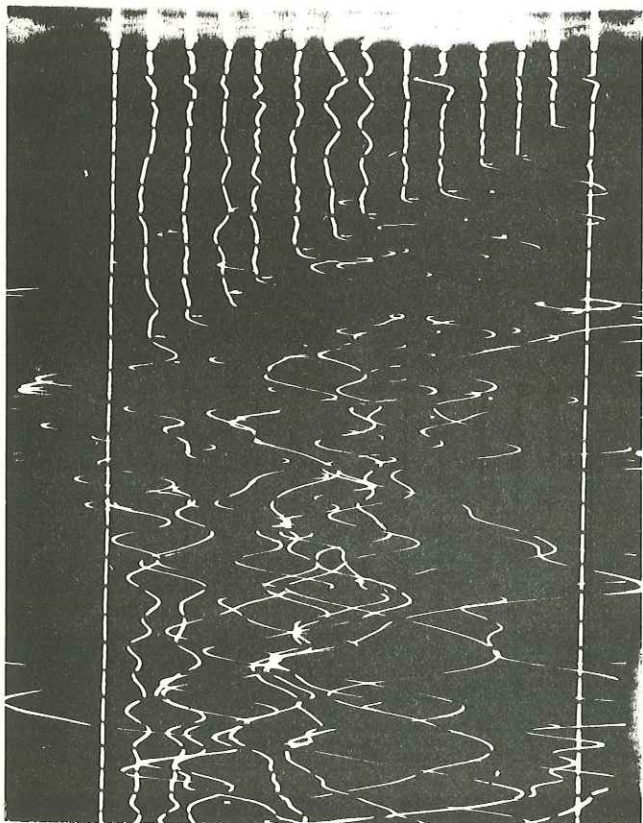
Ta2

Ta4

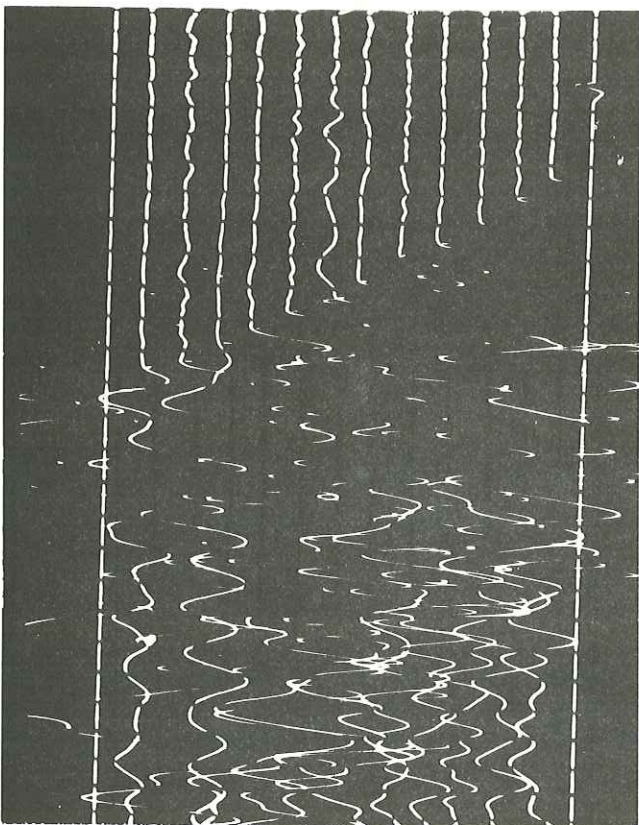
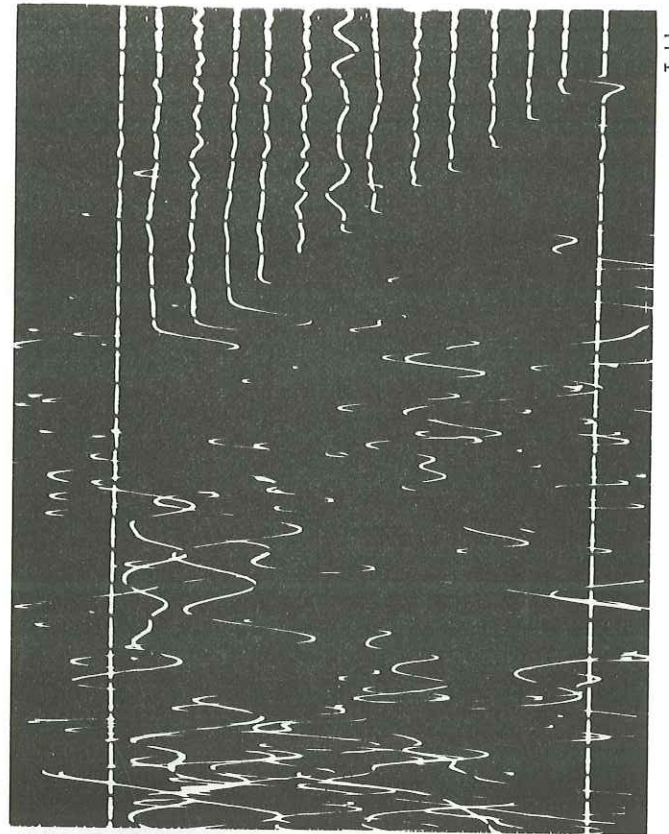
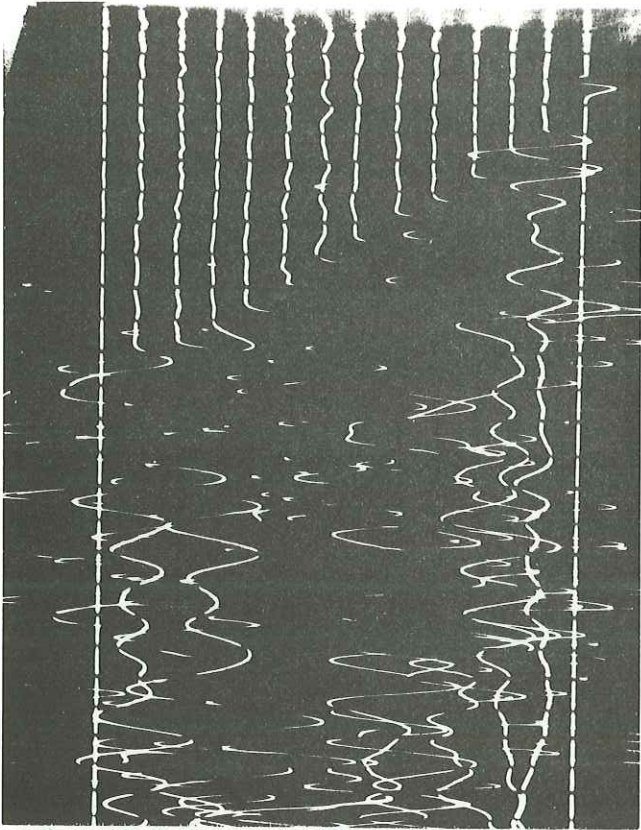
Ta2



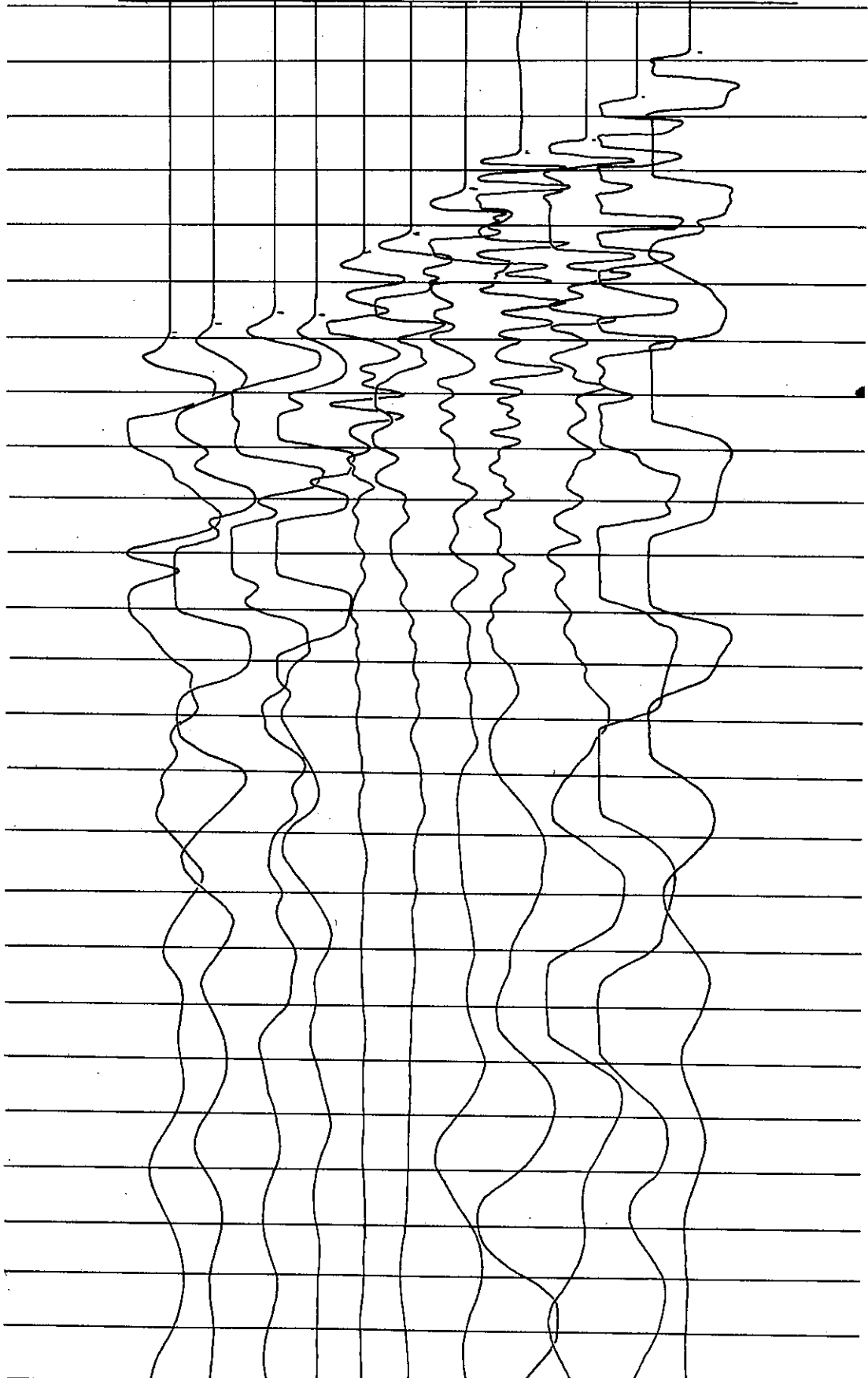
Ta3



Tirs retour.

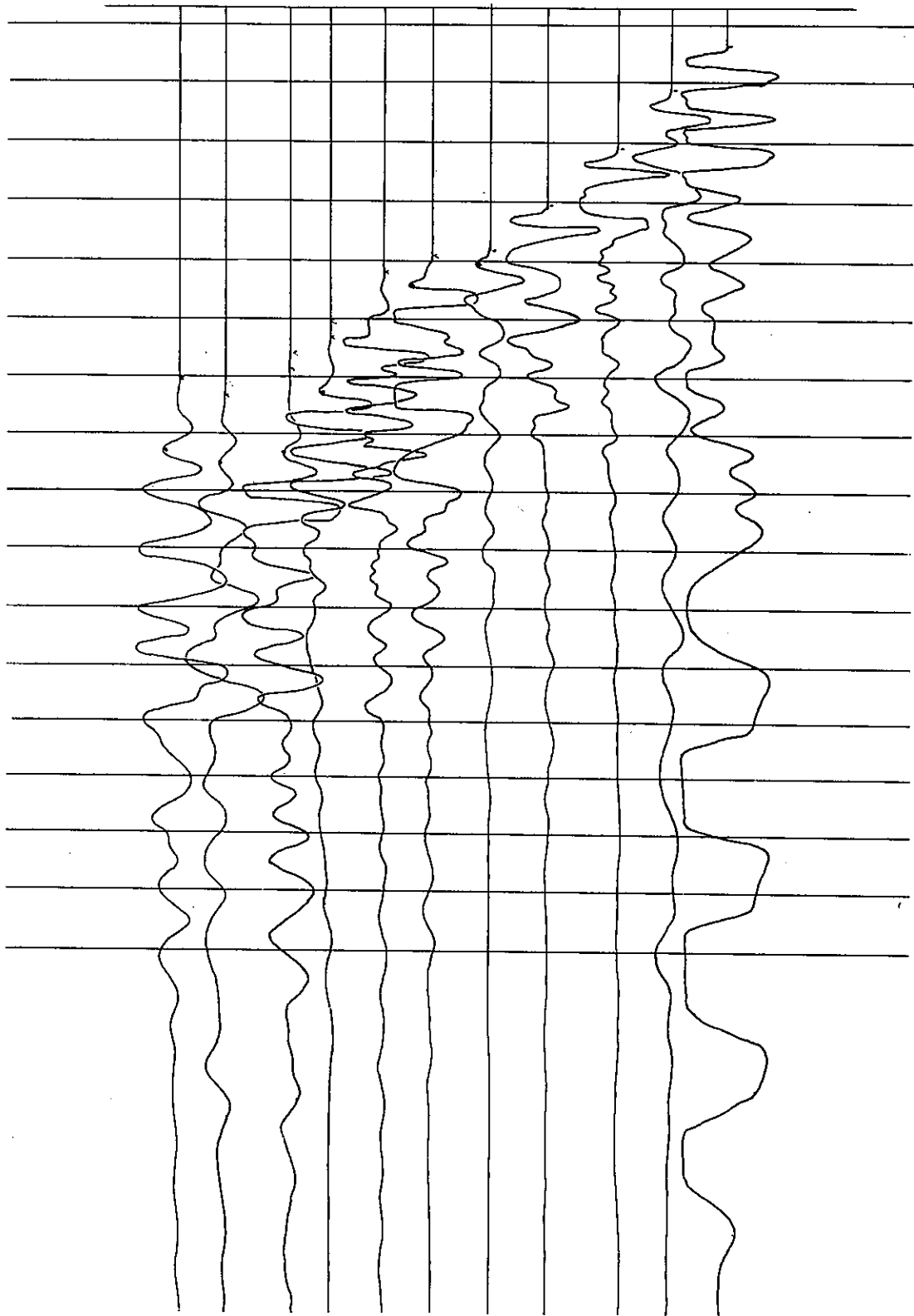


12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1



PROFIL RD

10 11 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0

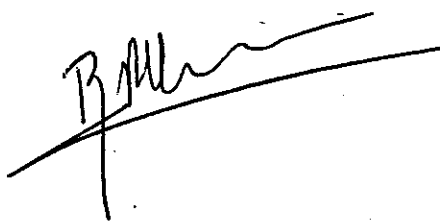


Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 29 AOÛT 1978

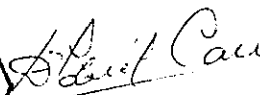
Le Président de la thèse



Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 4 septembre 1978

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale



DR G. CAU