

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45060 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

DEPARTEMENT des VOSGES

*RELANCE de l'INDUSTRIE EXTRACTIVE
des GRANITES dans le DEPARTEMENT des VOSGES*

*Recherche de sites exploitables
au sein du Massif des Crêtes
et du Massif de Senones*



Service géologique régional LORRAINE

Rue du Parc de Brabois - 54500 Vandœuvre-lès-Nancy

Tél. : (83) 51.43.51

R E S U M E

Les industries extractives liées aux pierres ornementales au sein du Massif vosgien sont en récession depuis plusieurs décennies. Le B. r. g. m. - Service Géologique Régional Lorraine a effectué une étude en trois phases à la demande des Pouvoirs Publics, des instances régionales et locales, afin d'évaluer les modalités suivant lesquelles une relance de ces activités était envisageable.

La première étape dite "de l'inventaire" a permis la sélection de quelques gisements, analysés plus en détails lors de la deuxième phase.

Le présent rapport concerne les deux sites sélectionnés en dernier lieu, analysés suivant une méthodologie spécifique basée sur l'utilisation des techniques suivantes :

- analyse de la fracturation,
- prospection géophysique,
- exécution de sondages mécaniques,
- étude pétrographique et géologique,
- analyses de laboratoire.

A l'issue de ces investigations, effectuées par une équipe pluridisciplinaire, il s'avère qu'au sein du Massif des Crêtes, les problèmes majeurs sont liés à la fracturation et à la présence d'anomalies pétrographiques. Le granite de Senones est plus homogène mais affecté par une arénisation intense sur plusieurs dizaines de mètres.

En général, le rendement pierre est donc d'autant plus faible que la tranche exploitée est superficielle. Il convient donc d'approfondir de façon substantielle les zones d'exploitation, ce qui suppose une mécanisation poussée mais aussi un changement radical des méthodes d'extraction traditionnelles, notamment de l'abattage.

Par ailleurs, la valorisation des sous-produits (granulats, tout-venants, petits blocs) mais aussi le développement de nouveaux marchés, différents du funéraire, nous semblent impératifs si l'on veut exploiter les sites retenus.

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 - Etude du champ de fractures Crête Ouest bordant la Vallée du Chajoux au voisinage de La Bresse
- Annexe 2 - Evaluation "in situ" par méthode sismique de l'altération et de la fracturation de granites en vue de leur utilisation ornementale
- Annexe 3 - Résultats de la campagne de reconnaissance
- Annexe 4 - Résultats de la caractérisation mécanique
- Annexe 5 - Etude du faciès magmatique sur deux sites : granite des Crêtes et granite de Senones
- Annexe 6 - Auscultation ultrasonique des blocs de granite
- Annexe 7 - Carte synthétique relative au granite des Crêtes
- Annexe 8 - Carte synthétique relative au granite de Senones

AVANT PROPOS

La récession des industries extractives au sein du Massif Vosgien, constatée depuis plusieurs décennies, est alarmante d'autant que le contexte économique général dans le département des Vosges s'est singulièrement détérioré.

La présente étude est le fruit de la collaboration d'une équipe pluridisciplinaire constituée à la demande du Conseil Général des Vosges, sous la maîtrise d'oeuvre du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, placée par convention sous le contrôle technique du Chef du Service Interdépartemental de l'Industrie.

Le financement du programme a été assuré par l'Etat dans le cadre du schéma départemental et d'orientation du Massif Vosgien (34,1 %), par l'Etablissement Public Régional (43,2 %) et par le département des Vosges (22,7 %).

La coordination des études intervenant dans le programme a été assurée par Messieurs P. L. VINCENT et J. BONVALLET du Service Géologique Régional Lorraine (B. r. g. m.) et Monsieur J. RICOUR, Directeur du Service.

L'étude géophysique (prospection sismique) a été effectuée par Monsieur J. PERAGALLO, ingénieur au Département Géophysique du B. r. g. m.

L'étude structurale, relative à la fracturation, à différentes échelles, a été confiée à Monsieur A. THOMAS du Centre National de la Recherche Scientifique, Ecole de Géologie de Nancy.

Les aspects plus particulièrement péetrographiques concernant le granite des Crêtes et le granite de Senones ont été analysés par Monsieur le Professeur C. GAGNY de l'Université de Nancy I qui s'est assuré le concours de Messieurs J. Ph. BLANCHARD et F. ANDRE.

Les sondages, après consultation, ont été exécutés par l'Entreprise FONDASOL ; Monsieur D. RUCQUOI du B. r. g. m. assurant le suivi de chantier ainsi que divers essais spécifiques (radioactivité naturelle).

L'Ecole de Géologie a, par ailleurs, étudié les carottes en laboratoire (essais mécaniques).

La synthèse a été effectuée par Monsieur J. BONVALLET du Service Géologique Régional Lorraine avec la collaboration de Messieurs J. MISSEY et D. RUCQUOI pour le graphisme.

Ce présent rapport est dans la continuité de deux études précédentes, effectuées de 1977 à 1978 dont les références sont données en bibliographie.

L'essentiel des conclusions relatives à cette étude est contenu chapitre 4.

CHAPITRE 1

1 - Rappel sur les études antérieures

1.1. Motivations

1.2. Historique

2 - Généralités sur l'altération des granites

2.1. L'altération hydrothermale

2.2. L'altération superficielle

2.3. Quelques remarques concernant la géomorphologie

3 - Méthodologie déployée

CHAPITRE 1

1 - RAPPEL SUR LES ETUDES ANTERIEURES -

1.1. Motivations

* Les tendances (*)

L'industrie granitière est représentée en Lorraine et notamment dans les Vosges (90 % de la production Lorraine) par deux secteurs : la production et la transformation.

La production est en récession constante et ne représente que 1 % environ de la production nationale alors que les industries de transformation, élaborant pour l'essentiel des monuments funéraires, représentent sensiblement 10 % du chiffre d'affaire national.

En d'autres termes, la majeure partie du granite (**) travaillé dans les ateliers Vosgiens provient soit des grandes régions d'extraction que sont la Bretagne et le Tarn, soit de pays exportateurs comme la Norvège, l'Afrique du Sud et la Finlande.

La deuxième caractéristique du marché Vosgien est la part très importante du funéraire qui s'exerce au détriment des secteurs liés à la construction (moëllons équarris et moëllons tout-venants, revêtement minces) et à la voirie (pavés, bordures et dalles de trottoirs).

(*) Sources Unicem Lorraine et documents cités en bibliographie.

(**) Par soucis de clarification, nous employerons toujours le terme granite (au sens : roches granitoïdes). Les granitiers utilisent l'expression granit.

En effet, plus de 85 % de l'activité vosgienne est tournée vers le funéraire alors que ce secteur représente moins de la moitié du chiffre d'affaire des professionnels bretons.

Enfin, les tendances observables au niveau national sont, en général, exacerbées en Lorraine qui apparaît actuellement particulièrement vulnérable.

Dans les chiffres, ceci se traduit par une baisse spectaculaire du nombre d'entreprises et du personnel, attachés à cette activité.

Dans les années précédant la dernière guerre mondiale, pour la seule vallée du Rabodeau, 1 500 personnes travaillaient soit à l'extraction, soit au façonnage du granite de Senones. Aujourd'hui, à notre connaissance, deux à trois carrières sont exploitées régulièrement par moins de 10 personnes.

Il en est de même pour le Massif de la Bresse où la récession est très marquée en ce qui concerne l'extraction, le façonnage étant moins affecté et localisé essentiellement dans la vallée de la Moselotte.

* Prix du granite Vosgien

La mercuriale, donnée par la Fédération du Granite, concernant les blocs marchands est pourtant relativement favorable aux produits Vosgiens : prix au m³, hors taxes en 1977

- feuille morte des Vosges	1 200 F
- rouge corail des Vosges	1 700 F
- gris-bleu des Vosges	1 500 F
- gris-noir des Vosges	1 800 F

Le prix moyen des granites de Bretagne et du Tarn étant respectivement de 1 325 F et 1 090 F.

Les difficultés du marché local sont vraisemblablement liées à des facteurs extérieurs, comme les goûts de la clientèle mais aussi au très faible rendement pierre 5% environ, le reste étant considéré comme du stérile.

L'analyse de cette situation a conduit le Conseil Général des Vosges à rechercher les modalités suivant lesquelles une relance de l'industrie extractive des richesses naturelles Vosgiennes était possible. Pour ce faire, une double étude s'est avérée nécessaire :

- une étude économique effectuée par le Syndicat des Granitiers des Vosges, articulée sur les axes suivants :
 - . étude diagnostic sur la situation du granite Vosgien,
 - . étude du marché funéraire,
 - . étude du marché du bâtiment et des travaux publics,
 - . étude des possibilités d'exportation vers la R. F. A. ;
- une étude technique à caractère géologique confiée au Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B. r. g. m.).

Cette dernière s'est déroulée en trois phases distinctes, chacune faisant l'objet d'une synthèse annuelle.

1.2. Historique

En 1977, le programme des travaux à réaliser comportait essentiellement un inventaire détaillé des carrières existantes ou abandonnées en vue de la sélection de quelques zones ou de types de granite.

Cet inventaire, basé sur une visite systématique des carrières ouvertes a permis l'élaboration d'une carte au 1/50 000 situant les carrières dans leur contexte géologique et la sélection de quatre gisements méritant une attention particulière (*).

(*) Rapport 77 SGN 488 LOR. Document B. r. g. m.

Le programme de l'année 1978 (*) a été spécifiquement orienté sur les gisements sélectionnés en première phase, à savoir :

- le granite des Crêtes,
- le granite de Senones,
- le granite du Tholy,
- le granite de Barbey-Seroux.

Pour chacun de ces granites, trois grands volets ont été analysés :

- l'aspect géologique "sensu stricto" débouchant sur une délimitation précise des affleurements et des massifs sélectionnés, à l'échelle du 1/25 000 ;
- l'étude de la fracturation à partir d'observations relevées dans les carrières ;
- une étude sommaire concernant les hétérogénéités pétrographiques comme les filons, inclusions et anomalies diverses.

La troisième phase et dernière étape de cette étude préalable à une éventuelle exploitation fait l'objet de ce rapport et s'est déroulée, pour l'essentiel, en 1979.

Les premiers résultats ont permis au groupe de travail, réuni à la Préfecture des Vosges le 27.02.1979 sous la présidence de Monsieur le Secrétaire Général des Vosges, de choisir en fonction de critères socio-économiques deux granites a priori plus favorables.

(*) Rapport 78 SGN 546 LOR. Document B. r. g. m.

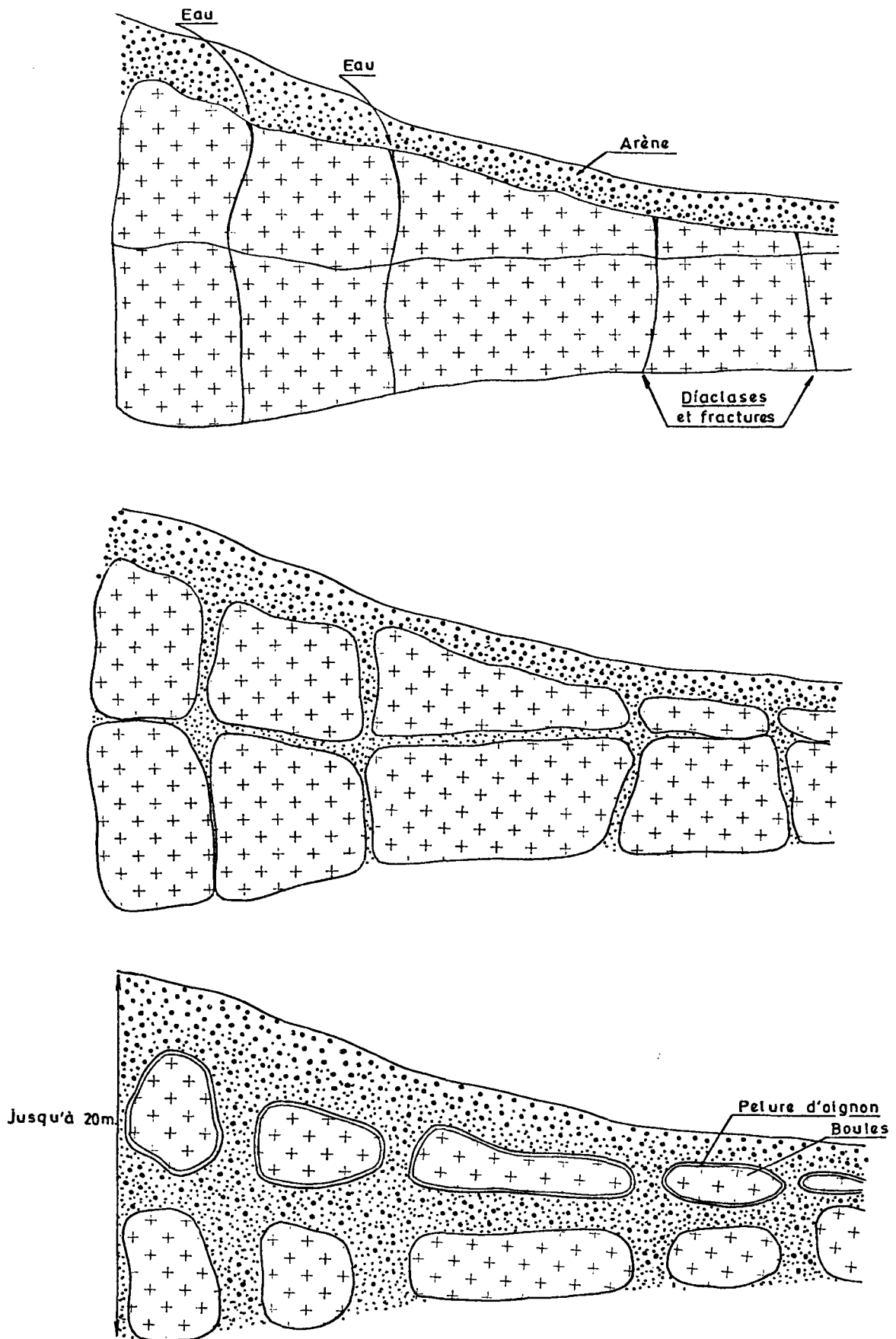
Pour chaque massif granitique, une méthodologie a été définie (cf. paragraphe 3) basée sur l'utilisation des techniques suivantes :

- analyse de la fracturation,
- prospection géophysique,
- exécution de sondages mécaniques,
- analyses en laboratoire,
- synthèse géologique.

Chacun de ces points fera l'objet d'un développement particulier où sera présenté l'essentiel des résultats alors que l'intégralité des investigations et remarques est présentée en annexe.

Ainsi donc, partant du Massif Vosgien, l'étude s'est peu à peu localisée sur deux secteurs géographiquement restreints, choisis en raison de critères géologiques mais aussi socio-économiques, les aspects liés à l'environnement, sens large, ayant été envisagés en fin de deuxième phase.

Fig. 1.1 Progression de l'altération par le système fissural aboutissant à une arène à boules résiduelles.



2 - GENERALITES SUR L'ALTERATION DES GRANITES -

En raison de l'importance quantitative des formes d'altération du granite, rencontrée en particulier au sein du Massif de Senones, il nous a semblé utile de faire quelques rappels concernant l'altération et son développement, notre but étant simplement d'exposer les principes généraux qui ont guidé notre recherche.

2.1. L'altération hydrothermale

Elle se manifeste aux contacts de discontinuités, failles en fissures, sous l'effet de circulations ascendantes de fluides qui altèrent la roche encaissante en désagrégeant tout particulièrement les feldspaths.

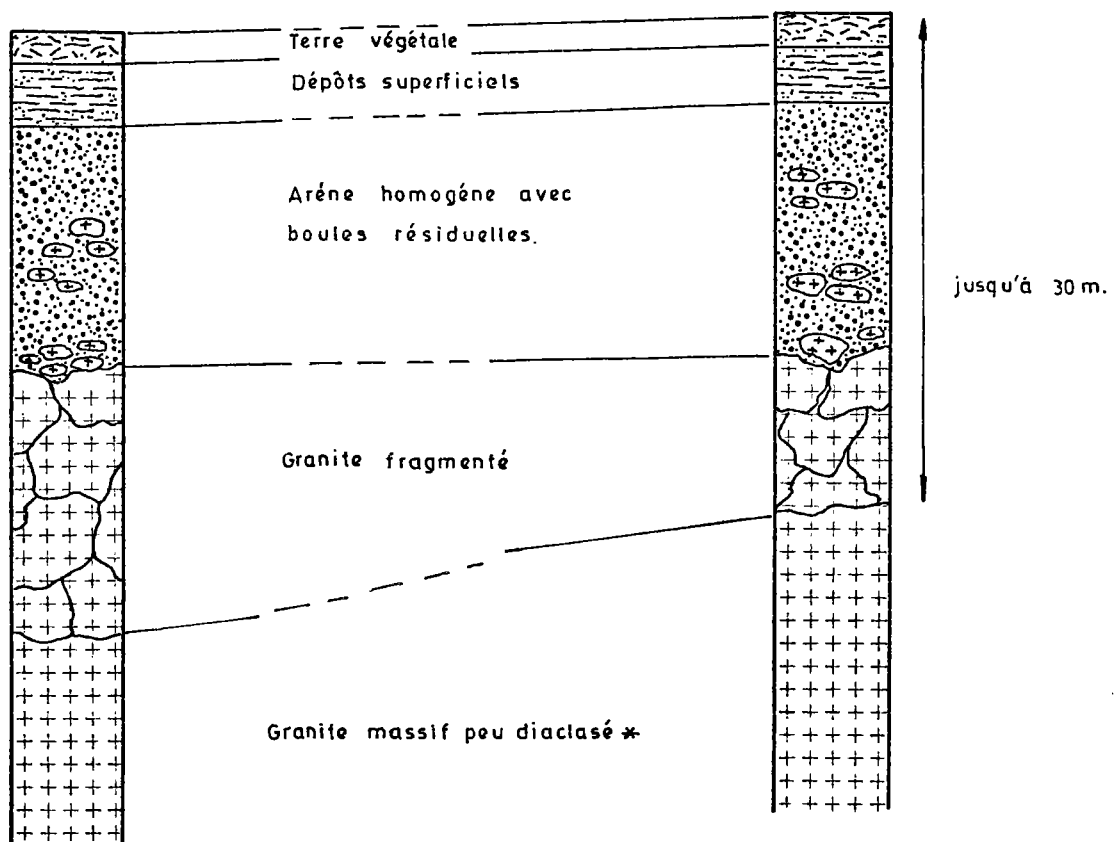
Dans la pratique, cette forme d'altération est localisée mais peut constituer un handicap sérieux pour l'exploitant, car elle peut être développée intensément en profondeur, sur une largeur de quelques centimètres à quelques mètres.

2.2. L'altération superficielle ou météorique

Les minéraux les plus sensibles aux agents atmosphériques tels les feldspaths et les minéraux ferro-magnésiens (micas noirs, ...) se désagrègent et s'altèrent progressivement en argile. Le phénomène principal étant l'hydrolyse des minéraux.

Le terme ultime de ce processus est l'arène granitique bien connue des carrières de Senones, qui se présente comme un matériau sableux, argileux contenant des minéraux résiduels du granite d'origine comme le quartz ou certains micas.

Fig. 1.2 — Coupe type montrant l'évolution de l'altération météorique
d'après G. Chevassu.



— * Altération hydro-thermale ascendante possible.

Suivant que cette formation contient ou non des boules résiduelles de granite, on parle d'arène homogène ou d'arène à boules.

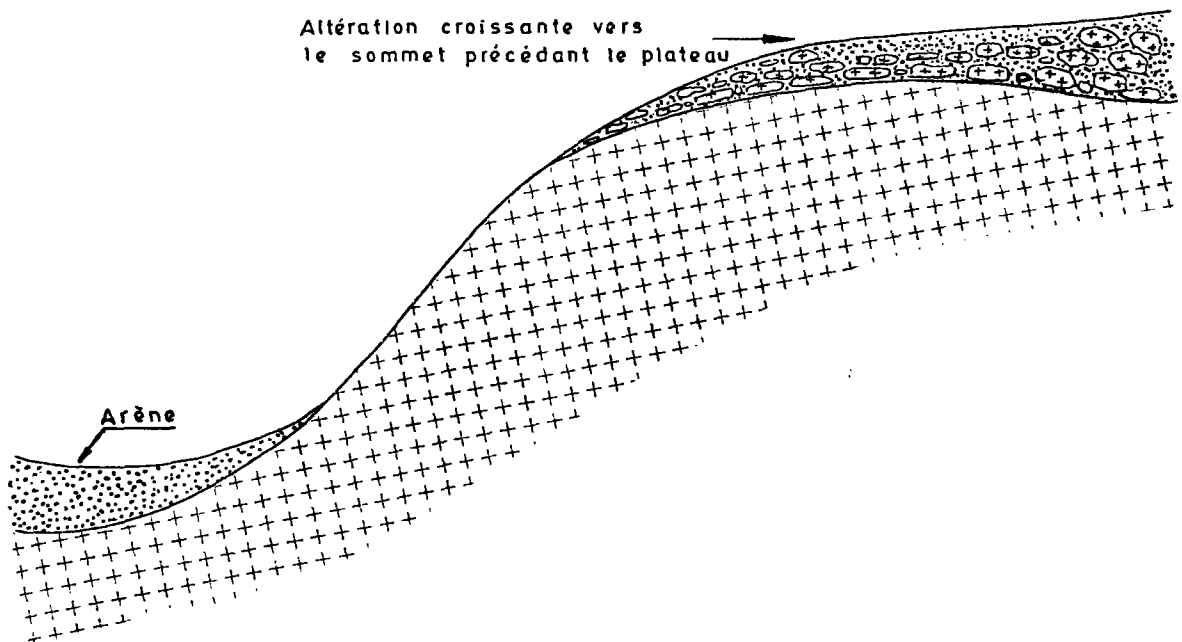
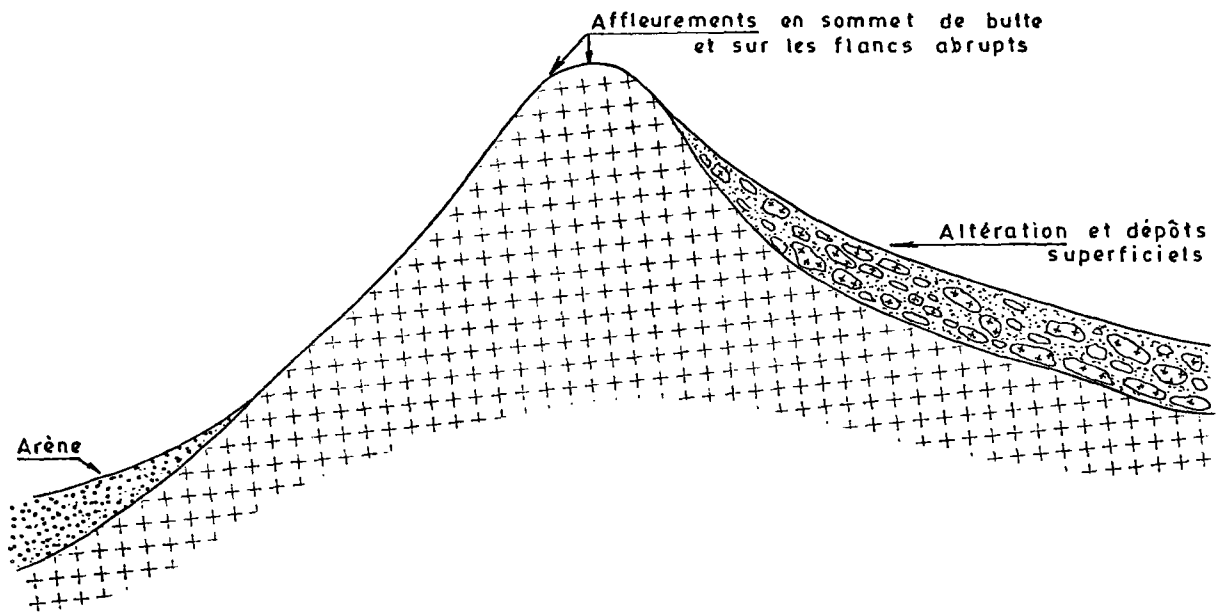
Dans ce dernier type, l'arénisation progresse à partir du réseau de diaclases, le phénomène d'altération s'accroissant tout particulièrement aux intersections des discontinuités, provoquant un arrondi (figure 1.1). Le résultat final est la boule de granite dont les dimensions sont en rapport avec le bloc unitaire de la fracturation, enrobée par un ensemble sablo-argileux. Curieusement, hormis la partie la plus superficielle qui s'écaille en "pelures d'oignons", le coeur des boules ainsi formées constitue un matériau de premier choix, très largement exploité à Senones en raison de ses facilités d'extraction.

Au sein du Massif des Crêtes, cette forme d'altération est peu répandue.

Sous la tranche résiduelle contenant ou non des boules, le granite passe progressivement à un matériau sain, la zone de transition étant plus ou moins développée. L'influence de la tectonique, du contexte morphologique, du régime hydraulique est déterminante et conditionne l'extension d'une tranche simplement altérée et fragmentée.

Les schémas de la figure 1.2 inspirés d'une étude de G. CHEVASSU montrent l'évolution de l'altération de ces formations.

Fig. 1.3 Différentes formes de répartition de l'altération sur les buttes granitiques d'après G. Chevassu.



2.3. Quelques remarques concernant la géomorphologie

La topographie influe largement sur la répartition spatiale de l'altération.

globalement, il est fréquent que les buttes soient dépourvues de dépôts d'altération.

En revanche, à flanc de côteaux, dans les vallées voire sur les plateaux, on rencontre souvent des surépaisseurs de formations, d'altération et de dépôts superficiels (figure 1.3).

Ces éléments sont importants du point de vue de la prospection. En effet, la simple étude des photographies aériennes permet la localisation des zones à priori les plus favorables.

En revanche, sur les plateaux, il est très difficile de relier la distribution de l'altération au modèle de surface.

3 - METHODOLOGIE DEPLOYEE -

Les résultats de la deuxième phase, intitulée "reconnaissance des sites" ont mis en évidence quatre gisements "a priori" favorables au sein des granites :

- de Senones,
- des Crêtes,
- du Tholy,
- de Barbey-Seroux.

Le groupe de travail a choisi de localiser les recherches sur le granite de Senones et celui des Crêtes, ce qui permet de diversifier les ressources d'un point de vue économique.

Dans un premier temps, le B. r. g. m. a recherché quelles étaient les contraintes s'exercant sur ces secteurs et susceptibles de compromettre une éventuelle exploitation.

La deuxième étape, basée sur la photointerprétation des photographies aériennes a permis d'éliminer les secteurs les plus affectés par la fracturation. Un certain nombre de cibles de dimensions restreintes (échelle kilométrique) ont été définies (moins d'une dizaine pour les Crêtes, deux pour Senones).

La troisième étape, basée sur des levés de terrains, a cherché d'une part à vérifier les hypothèses émises à la suite de la photointerprétation, d'autre part à définir succinctement la qualité du matériau d'un point de vue pétrographique. Pour chaque gisement, nous avons alors cerné une cible.

La reconnaissance proprement dite constitue un pas supplémentaire au sein de la cible précédemment reconnue. Elle est basée sur la conjugaison de deux techniques particulières : la sismique réfraction et le sondage mécanique.

En dernier lieu, nous avons analysé en laboratoire les échantillons prélevés, d'un triple point de vue : pétrographique, chimique et mécanique, en procédant a posteriori lorsque cela était nécessaire à des compléments d'investigation sur le site concerné. A cette occasion ont été développés deux outils : l'auscultation ultrasonique qui permet la qualification et parfois la quantification de la microfissuration et la mesure de la radioactivité naturelle in situ qui permettra peut être, dans l'avenir, de détecter à moindre frais les zones de litages magmatiques ou les faciès particulièrement riches en enclaves ferromagnésiennes.

Remarque concernant le déroulement des reconnaissances successives.

Le changement d'échelle d'investigation suppose des outils adaptés. Au stade 4, il y a interférence entre les sondages mécaniques et la sismique réfraction. Deux possibilités s'offrent au projeteur :

- 1° Reconnaissance par géophysique précédant les sondages mécaniques. Les profils sismique réfraction, obtenus par des dispositifs de surface, renseignent sur les composants du sous-sol caractérisé par leur vitesse de propagation des ondes élastiques, sous réserve que la vitesse augmente avec la profondeur. Cette technique permet d'implanter les sondages mécaniques de façon optimum en recherchant les zones où la tranche altérée est moindre.

2° Sondages effectués avant les mesures sismiques. On peut mettre à profit les trous de sondages effectués en installant des dispositifs en fond de trou. Les mesures sismiques de transmission donnent alors accès à une meilleure connaissance des faciès de profondeur et permettent notamment la définition de la vitesse des ondes longitudinales (V_p) et des ondes transversales (V_s) bien que la mesure de cette dernière soit délicate. Or le rapport V_s/V_p est particulièrement important dans l'étude de la fracturation.

Nous avons opté pour cette deuxième solution en combinant toutefois sismique réfraction et sismique de transmission. Ceci a été rendu possible du fait de l'interférence dans le temps des sondages et de la reconnaissance géophysique.

CHAPITRE 2

LE GRANITE DES CRETES

1 - Généralités

- 1.1. Définition, localisation
- 1.2. Contraintes
- 1.3. Choix de la cible

2 - Etude des discontinuités à différentes échelles

- 2.1. Principes méthodologiques
- 2.2. Echelle du massif
 - 2.2.1. Analyse globale
 - 2.2.2. Analyse de site
- 2.3. Echelle de la cible
 - 2.3.1. Remarque préliminaire
 - 2.3.2. Analyse structurale détaillée
 - 2.3.3. Lever structural
- 2.4. Prospection géophysique
 - 2.4.1. Introduction
 - 2.4.2. Résultats essentiels
- 2.5. A l'échelle du parement et du bloc marchand
 - 2.5.1. But de l'auscultation
 - 2.5.2. Principe

3 - Remarques concernant la pétrographie du granite de la Roche des Bioquets

- 3.1. Remarque préliminaire
- 3.2. Qu'est-ce qu'une hétérogénéité ?
- 3.3. La fluidalité
- 3.4. Densité des accidents magmatiques
- 3.5. Evolution avec la profondeur

4 - Conclusion concernant le granite des Crêtes

CHAPITRE 2

1 - GENERALITES -

1.1. Définition, localisation

Le granite des Crêtes est un granite porphyroïde, gris sombre, à biotite et amphibole.

Le Massif de la Bresse qui fait l'objet de la présente étude s'étire sur plus de 25 km de Retourner à Vecoux et représente une superficie de 90 km².

Monsieur Cl. GAGNY y distingue deux variétés principales "le granite bleu" et "le granite noir", toutes les variétés intermédiaires étant possibles.

Ces différentes teintes correspondent aux variations minéralogiques suivantes :

		FELDSPATH		MICA NOIR	AMPHIBOLE VERTE
FACIES du GRANITE	QUARTZ	ORTHOSE	PLAGIO.	BIOTITE	ACTINOTE
:Bleu	: 24 %	: 24 %	: 20 %	: 19 %	: 11 %
:Bleu-noir	: 15 %	: 40 %	: 13 %	: 20 %	: 11 %
:Noir	: 13 %	: 36 %	: 10 %	: 24 %	: 14 %
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:

Et dans la couleur des plagioclases :

FACIES du GRANITE	COULEUR du PLAGIOCLASE
Bleu	gris-bleu
Bleu-noir	vert-olive
Noir	saumon

Par ailleurs, le granite des Crêtes renferme des enclaves de taille et de fréquence variables. Leur taille est généralement inférieure à 10 cm mais peut atteindre 20 à 25 cm.

Le pourcentage des minéraux ferro-magnésiens (mica noir surtout) y est toujours important. Ces inclusions appelées "crapauds" par les carriers constituent un handicap sérieux pour l'exploitation.

A une autre échelle, Monsieur Cl. GAGNY distingue des phénomènes de différenciation par gravité mis en évidence par des litages magmatiques. Les paragraphes 5 et 6 et l'annexe 5 présentent les principaux résultats des investigations effectuées.

Enfin, le massif est parcouru par des filons de microgranite, d'aplite, de lamprophyre (*) dont les distributions sont encore mal connues.

Dès la première phase de l'étude dite de l'inventaire, les aspects tectoniques ont pris une importance primordiale et expliquent les développements entrepris paragraphe 2.

(*) Roches à grain fin, clair et quasi sans mica pour les aplices alors que les lamprophyres de couleur sombre sont riches en mica.

1.2. Les contraintes

Après consultation des différents organismes concernés (OREAM Lorraine, GEP, ONF, etc...), il apparaît que les diverses contraintes concernant ce massif sont relatives aux aspects touristiques et paysagers liés en particulier aux sports d'hiver, aux sentiers de grande randonnée, mais également à certains sites classés comme les tourbières.

Sur le plan agricole et forestier, ce granite correspond en général à des zones de pâture ou à des forêts domaniales réparties sur les communes de Gérardmer (P. O. S. en cours de publication), Rochesson (pas de P. O. S.), La Bresse (P. O. S. en cours de publication), Cornimont (idem), Saulxures-sur-Moselotte (idem).

Seule la partie du gisement située sur la commune de Gérardmer, qui correspond à une forêt domaniale parcourue par quelques pistes skiables, supporte des contraintes notables.

D'une façon générale, les aspects liés au réaménagement, notamment la gestion des déchets, devront être pris en compte dès le début de la mise en exploitation afin de faciliter la réinsertion du site dans son environnement.

Il paraît souhaitable de n'exploiter que des zones invisibles de La Bresse.

1.3. Choix de la cible

L'étude de la fracturation par photo-interprétation a permis la localisation de trois secteurs a priori favorables :

- le secteur de la Brayotte,
- le Pré de Froide Fontaine,
- la Roche des Bioquets.

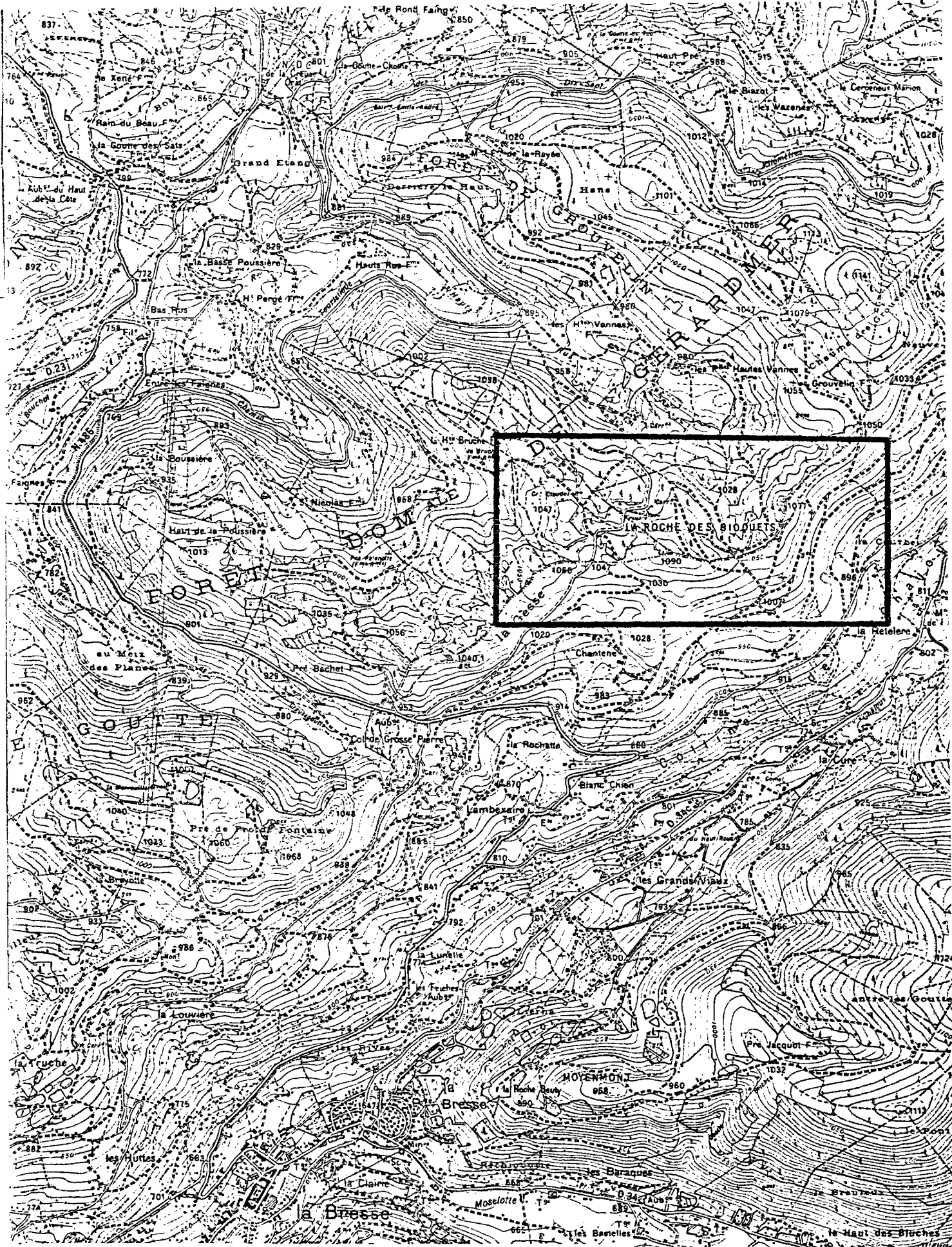
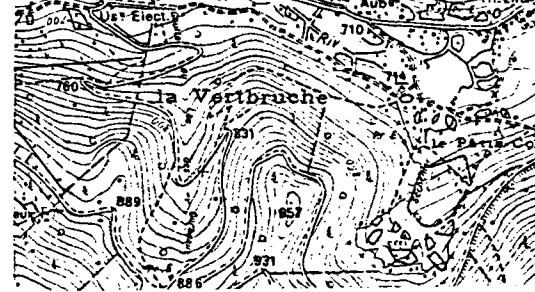


Fig. 2.1 GRANITES VOSGIENS

Site de la Roche des Bioquets

Extrait de la carte IGN MUNSTER N° 1-2

Ech.: 1/25 000



Les deux premiers ont été abandonnés dès les premières visites sur le terrain.

Le secteur de la Brayotte correspond en effet à une zone de contact entre le granite des Crêtes et le granite clair de Noire-Goutte. Deux belles carrières ont été ouvertes dans la partie Ouest mais contiennent soit des filons de granite clair, soit des litages magmatiques. En outre, l'extension du gisement exploitable est insuffisante pour envisager la mise en place d'une grande unité d'extraction.

Le secteur du Pré de Froide Fontaine est très affecté par la micro-fissuration. En outre, de nombreux filonnets de quartz s'y entrecroisent et compromettent irrémédiablement une exploitation dont l'essentiel du marché serait le funéraire.

La Roche des Bioquets a été autrefois exploitée, dans le domaine superficiel, et présente à l'affleurement des faciès intéressants. Par ailleurs, tout en étant relativement proche du Col de Grosse-Pierre, ce massif est invisible à partir des principaux sites touristiques.

Rappelons que les principales directions structurales, mises en évidence lors de la deuxième phase, étaient les suivantes :

- Roche des Bioquets N10 à 50 N90 à 120 N160 à 170
- Col de Grosse-Pierre N0 à 20 N90 à 110 N120 à 130 N160.

2 - ETUDE DES DISCONTINUITES A DIFFERENTES ECHELLES -

2.1. Principes méthodologiques

La nature rocheuse est discontinue à différentes échelles et ceci constitue une de ses principales caractéristiques. Du point de vue du granitier, le facteur important est la discontinuité métrique qui affecte la carrière et influe directement sur :

- les dimensions des blocs extraits,
- le rendement pierre.

La présence d'une faille même très importante, située au sein ou à proximité de la carrière, n'a d'importance que si cet accident est en relation avec un réseau fractural et/ou fissural, à une échelle inférieure, susceptible de compromettre la rentabilité de l'exploitation.

Avant de préciser d'avantage la méthodologie, nous définirons quelques termes :

- la discontinuité est un terme très général employé à diverses échelles et synonyme d'une rupture de la matière rocheuse ;
- la faille désigne une discontinuité de grande envergure se traduisant par un déplacement entre blocs, induisant fréquemment une trace topographique nette ;
- fracture et diaclase seront employés indifféremment pour qualifier des discontinuités affectant le front de taille mais insuffisante pour générer une trace topographique ;
- la fissure est une discontinuité affectant le massif à l'échelle métrique ;
- la microfissure ne peut être repérée qu'à l'aide de dispositif optique grossissant ou par utilisation d'une technique indirecte appropriée.

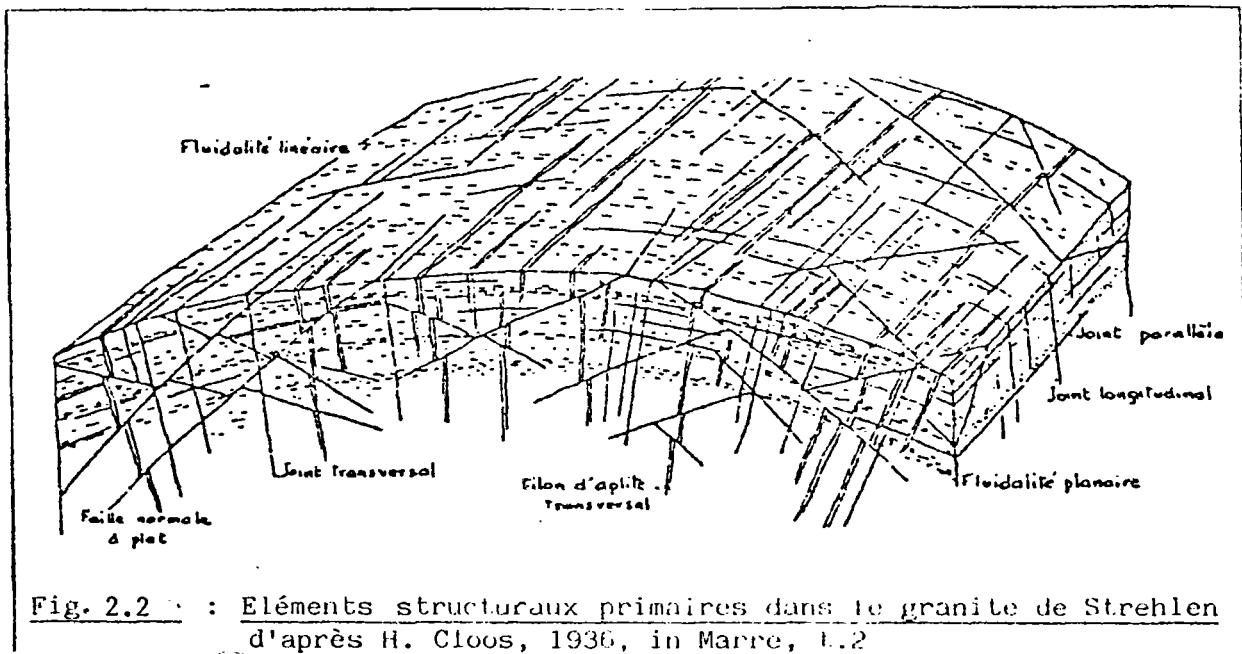


Fig. 2.2 : Eléments structuraux primaires dans le granite de Strehlen d'après H. Cloos, 1936, in Marre, t.2

Dès la mise en place progressive du granite sous la forme d'un magma plus ou moins visqueux, le refroidissement commence et par là même, la contraction thermique qui génère des ouvertures, des fractures, selon un système comportant en général trois plans sub-perpendiculaires.

En effet, les joints de fin de cristallisation ne sont pas orientés de manière aléatoire. Ils sont induits par le gradient thermique et par les singularités pétrographiques du granite, telles les fluidités planaire et linéaire.

Les éléments structuraux représentés figure 2.2 schématisent bien quel peut être l'état de la fracturation primaire pour un magma qui se refroidit à grande profondeur. La roche ainsi débitée en parallélépipèdes peut être, en outre, affectée par des phénomènes tectoniques ultérieures.

Il est intéressant de remarquer que les ouvertures ainsi créées peuvent rester ouvertes ou bien être remplies par des quartz, aplite et autres roches filoniennes de nature variée.

Monsieur Cl. GAGNY montre, à propos d'un secteur étudié au Sud du Col de Grosse Pierre, combien les observations des systèmes de joints sont riches d'enseignements (annexe 5).

Moyens et techniques d'étude des discontinuités :

A l'échelle du massif, c'est-à-dire au 1/20 000, l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes permet de repérer les zones a priori les plus accidentées :

- grands axes linéaires,
- faisceaux denses.

A l'échelle des cibles sélectionnées, on analyse l'organisation et l'intensité locale de la fracturation. L'observation des carrières et falaises naturelles peut permettre une ébauche d'interprétation génétique. La sismique réfraction de surface et la sismique par transmission précisent la zonéographie des différents faciès classés du point de vue de leur vitesse sismique.

A l'échelle du parement ou du bloc marchand, on recherche soit par observations fines soit par auscultation ultrasonique à qualifier et, si possible, quantifier la fissuration et la microfissuration.

2.2. Echelle du massif

2.2.1. Analyse globale

Les photographies aériennes, effectuées par l'I. G. N. (au 1/20 000), ont été examinées par Monsieur A. THOMAS (cf. annexe 1) avec une lunette stéréoscopique. L'ensemble des linéaments topographiques (dépression, etc...) a été reporté systematiquement sans interprétation sur un support transparent superposé aux photographies.

On peut ainsi détecter des linéaments d'une largeur comprise entre 10 et 50 m, sans connaître la nature de la trace. Aussi est-il nécessaire dans un deuxième temps d'effectuer un étalonnage sur le terrain pour tenter de préciser la nature des éléments repérés. Une prospection systématique n'est pas envisageable aussi la vérification a-t-elle été effectuée le long d'un certain nombre d'itinéraires. Il apparaît que les traces les plus marquées à la photographie aérienne correspondent sur le terrain à des dépressions topographiques évidentes, particulièrement sensibles à l'érosion.

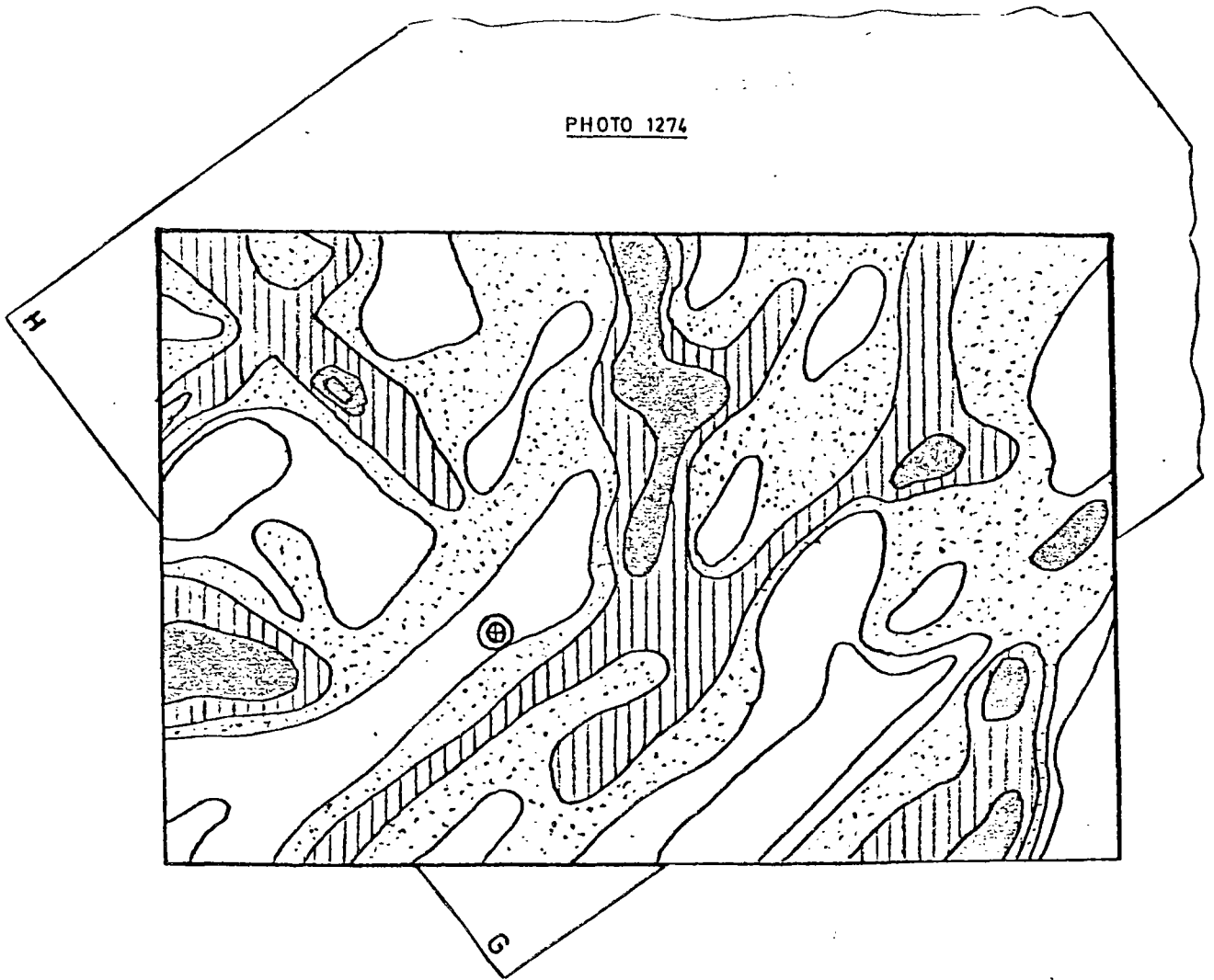


Fig. 2.3 - Analyse de densité dans la zone-échantillon

Ces traces dites de netteté équivoque sont, d'après Monsieur A. THOMAS, repérables dans plus de 50 % des cas sous forme d'une zone broyée de quelques mètres, ou sous forme d'un réseau de fractures, voire d'une falaise rectiligne.

Très généralement, il semble que l'incidence topographique des couloirs denses soit plus importante que celle d'un accident majeur bien exprimé. La progression de l'altération météorique par circulation des eaux étant facilitée dans le premier cas, cette remarque est corroborée par l'existence de très nombreuses exploitations anciennes ouvertes qui partent perpendiculairement à un plan de faille.

Si la majorité des linéaments repérés correspond bien à des discontinuités dont on peut retrouver l'existence sur le terrain, en revanche toutes les discontinuités ne sont pas nécessairement visibles par analyse stéréoscopique.

En effet, les structures peuvent être masquées par des dépôts de pentes, des éboulis, des dépôts glaciaires ou tout simplement par certaines cultures ou parties boisées.

On trouvera dans l'annexe 1 les principales hypothèses émises et les résultats des analyses stéréoscopiques. L'annexe 7 positionne les linéaments repérés dans le voisinage immédiat de la cible retenue, la Roche des Bioquets. Il apparaît que les résultats sont homogènes et la densité de linéaments très constante. En moyenne, on a détecté un linéament tous les 40 m quelle que soit la direction étudiée. Ce résultat peut paraître considérable, a priori, mais il est en parfait accord avec les données et observations de terrain.

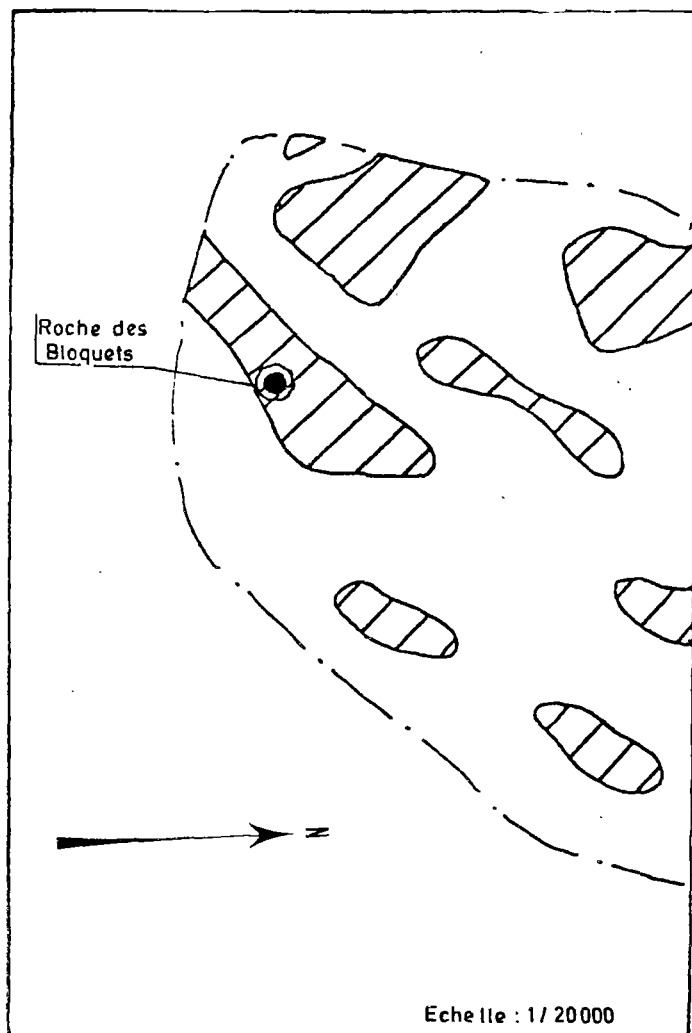


Fig. 2.4 - Secteurs favorables non fracturés à la coupure 3 m/m^2 sur photos aériennes au 1/20 000

2.2.2. Analyse de site

Les résultats de l'analyse stéréoscopique des photographies aériennes sont essentiellement qualitatifs. Il convient de tester les aspects quantitatifs de la méthode sur le site choisi. Pour ce faire, il a été procédé à un calcul de densité défini par Monsieur A. THOMAS comme :

$$\frac{\text{longueur de fracture}}{\text{surface d'investigation}}$$

ou, d'une manière plus pragmatique, par l'élimination des secteurs où existent des failles distantes de moins de 120 m.

Ainsi on met en évidence les secteurs non fracturés a priori, d'une surface supérieure à 1,7 ha, ce qui correspond à une valeur de la densité 3 m/m² (sur photo aérienne au 1/20 000).

Les principaux résultats concernant la zone des Bioquets sont présentés figures 2.3. et 2.4.

La cible finale déterminée à l'aide des seuls critères tectoniques a une surface de 4 ha environ, elle est cernée par une zone dite admissible de 15 ha. Les études présentées par la suite relatives à la pétrologie structurale ou la fracturation ne concernent que cet ensemble.

2.3. Echelle de la cible

2.3.1. Remarque préliminaire

Une fois sélectionnée une cible (et le secteur d'admissibilité la caractérisant), les études de fracturation dont il est fait mention dans ce chapitre sont effectuées conjointement aux recherches pétrographiques, présentées paragraphe 3.

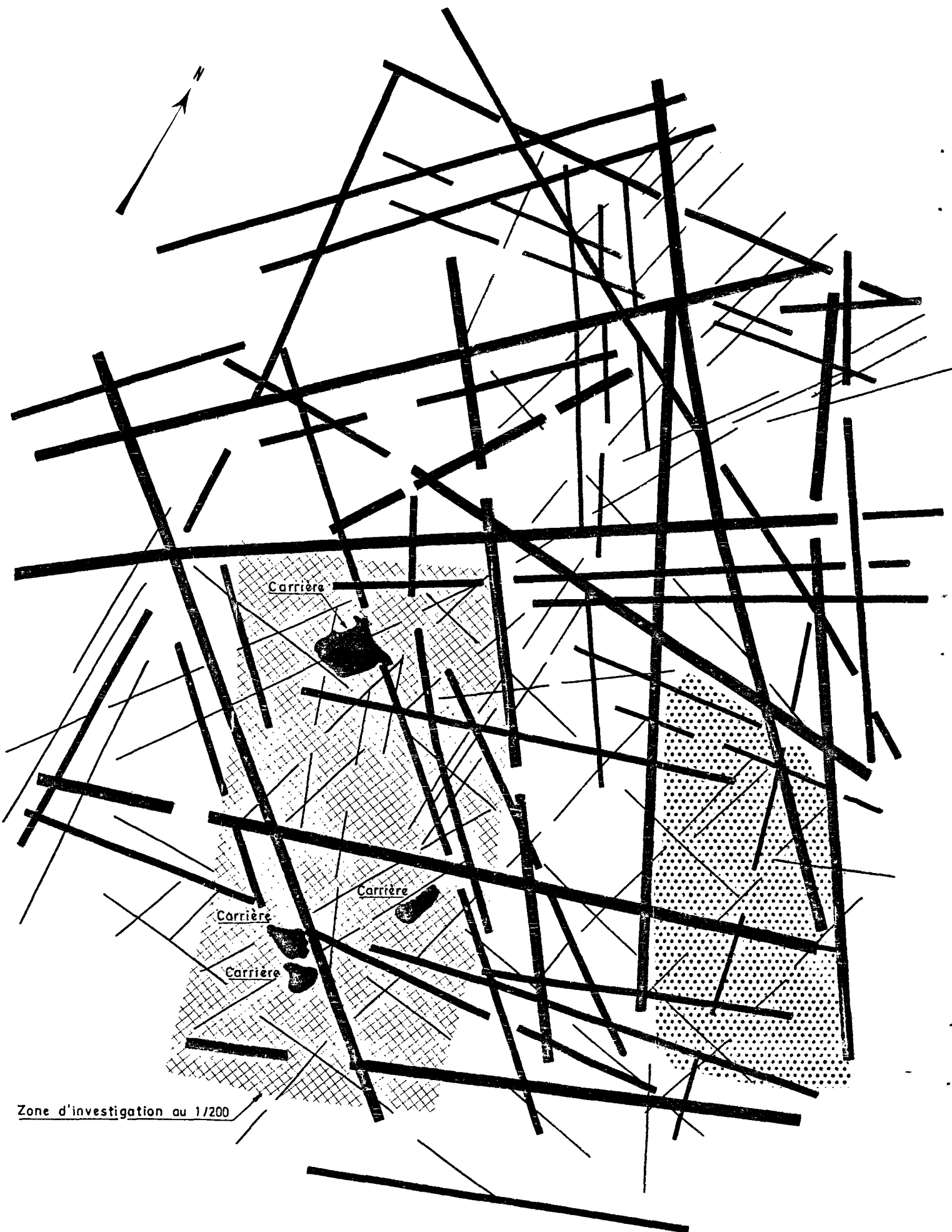


Fig.2.5 Epure structurale au 1/2500 du secteur des Bioquets.

2.3.2. Analyse structurale détaillée

Dans un premier temps, les investigations menées à l'échelle du 1/2 500 doivent permettre de confirmer ou d'infirmer les hypothèses avancées en première phase.

Une épure structurale, présentée figure 2.5, schématise les données acquises en essayant de les hiérarchiser :

- les traces épaisses correspondent à des dépressions topographiques nettes, bordées par un réseau de fractures denses ;
- les traces plus minces sont des accidents localisés, visibles à l'affleurement, pas toujours discernables à la photographie aérienne.

2.3.3. Lever structural

Les observations effectuées sur le terrain ont permis l'élaboration d'une cartographie fine au 1/200 localisée au voisinage de la Roche dite des Bioquets "sensu stricto". L'interprétation structurale présentée ci-après découle :

- des mesures de :
 - . plans de discontinuités,
 - . directions de stries ;
- des relations chronologiques entre les différentes familles de discontinuités ;
- de l'analyse des déplacements relatifs ;
- d'une tentative de corrélation des observations affectées aux événements tectoniques régionaux.

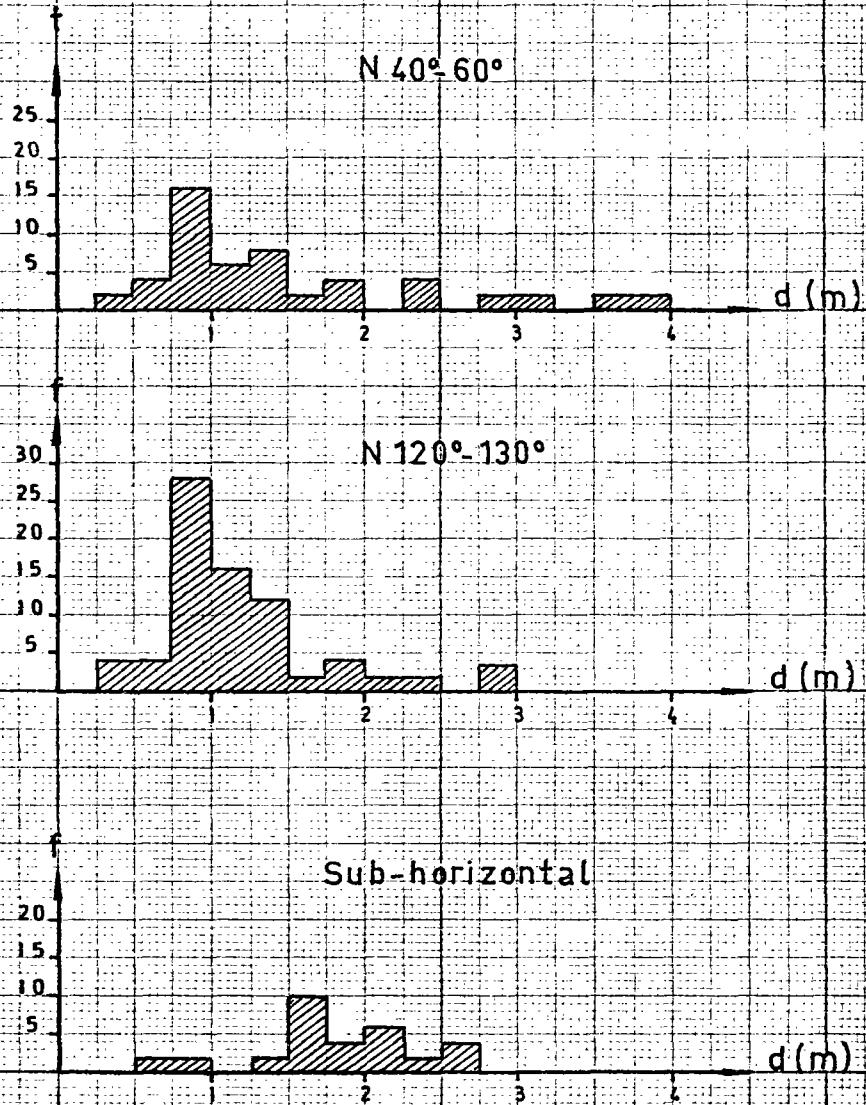


Fig. 2.6 Histogrammes de fréquence des systèmes précoces.

Les résultats détaillés sont présentés en détail annexe 7. Pour l'essentiel, on peut distinguer un réseau précoce et un réseau tardif.

Les réseaux précoces sont liés à la mise en place du magma et aux phénomènes intervenant immédiatement après.

L'influence du refroidissement et des efforts engendrés est prépondérante et se manifeste, en général, par trois systèmes de discontinuités, approximativement orthogonaux, comprenant un ensemble de plans horizontaux et deux ensembles de plans verticaux.

Dans le cas du granite des Crêtes, ces mécanismes relativement simples sont oblitérés par des mouvements cisailants contemporains, fruits de sollicitations liées au rejeu de l'accident majeur de Retournemer.

Quoiqu'il en soit, nous distinguerons pour le réseau précoce lié au refroidissement trois familles :

- une famille N30 à N60° d'espacement 0,50 à 5 m, ayant un pendage de 50 à 80° Est ou Ouest ;
- une famille N120 à N130°, subverticale, d'espacement de 0,50 à 3 m ;
- une famille subhorizontale ayant une périodicité de 2 à 3 m.

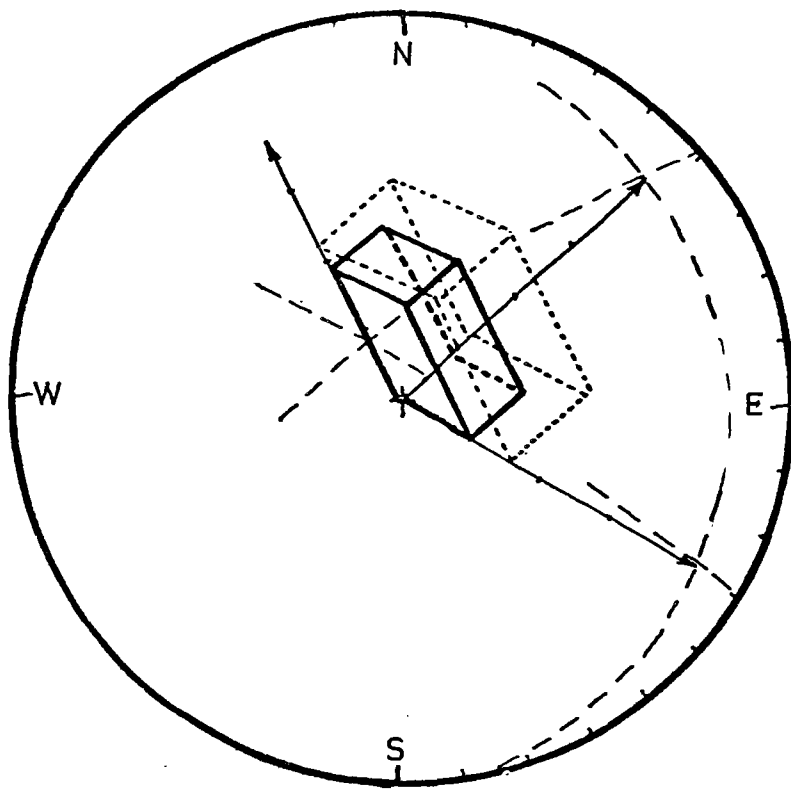


Fig. 2.7a - Blocs unitaires statistiques des systèmes précoces.

Ces familles précoces ont subi des rejeux plus ou moins importants, générant des cisaillements. Il importe de remarquer que les deux familles dites verticales se localisent préférentiellement au sein de "couloirs" ayant eux-mêmes une certaine distribution.

Monsieur A. THOMAS remarque que la loi de distribution est difficile à préciser rigoureusement mais peut être du type log. normal d'après les histogrammes de la figure 2.6. En outre, la distribution log. normale est, en effet, relativement courante pour ce genre de phénomène.

Les applications pratiques de cette remarque sont fondamentales, on peut reconstituer un bloc unitaire "courant" (*) ayant un volume de 1,7 ou 4,4 m³ suivant que l'on prend les dimensions les plus fréquentes ou les moyennes (figures 2.7a); en supposant que les lois soient également du type log. normal et que les moyennes approximatives des deux familles subverticales soient $d'_1 = d/2$ et $d'_2 = d/2$, on détermine un volume unitaire pour les blocs représentés figure 2.7b).

Il existe cependant un réseau précoce dit pénétratif constitué de deux familles sub-verticales d'orientation N15 - 40° et N85 - 100°, comprenant des traces de cisaillement et des fractures remplies de filonnets de quartz ou d'aplite. Leur fréquence est faible et supérieure dans tous les cas à 25 m, aussi ces réseaux ne constituent-ils pas un handicap majeur du point de vue de l'exploitation.

(*) Ce qui repose sur une grande part de subjectivité, compte-tenu du nombre relativement faible de certaines observations.

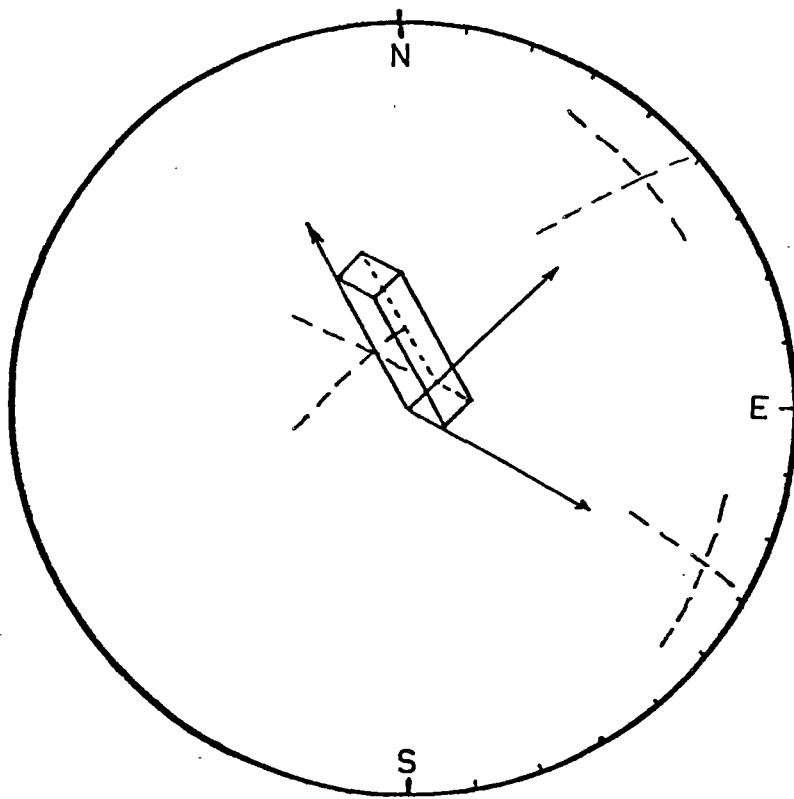


Fig. 2.7b - Bloc unitaire supposé dans les couloirs.

Le réseau tardif en revanche est un peu plus développé et comporte trois familles :

- une famille N60 - 75° comportant des accidents relativement isolés, broyants, d'espacement compris entre 4 et 40 m (espacement moyen de 15 m) ;
- une famille approximativement Nord-Sud se manifeste par des couloirs métriques d'espacement moyen de 10 m ;
- une famille N150° très peu développée.

Conclusion :

Les réseaux précoces pénétratifs et tardifs ne diminuent pas fondamentalement le volume moyen du bloc unitaire si l'on prend la précaution d'éviter les couloirs majeurs, facilement repérables à la photographie aérienne.

Il est certain que le réseau structural, conditionnant le débit unitaire, est le réseau précoce :

N40 - 60

N120 - 130

Système subhorizontal.

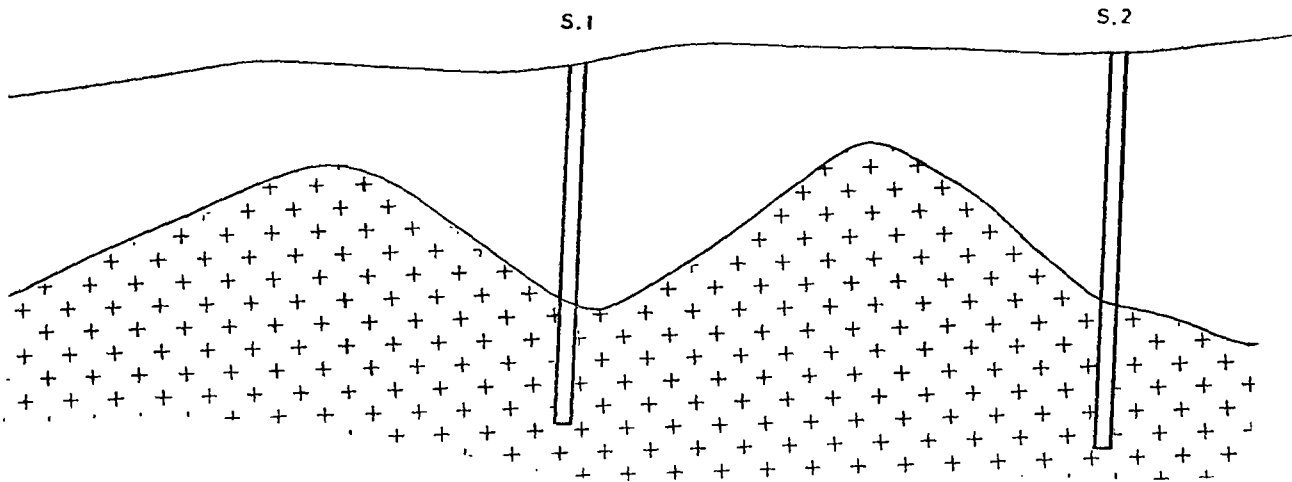
Le bloc unitaire hors couloir a un volume supérieur à 2 m³ au seuil de 40 %, seuil que l'on peut juger satisfaisant. Ceci dit, les zones de couloirs, ou affectées par les deux autres systèmes, doivent être considérées comme stériles (pour le marché funéraire).

Monsieur A. THOMAS estime que ces couloirs stérilisent 50 % du volume. Il suffit donc d'orienter l'exploitation hors couloirs.

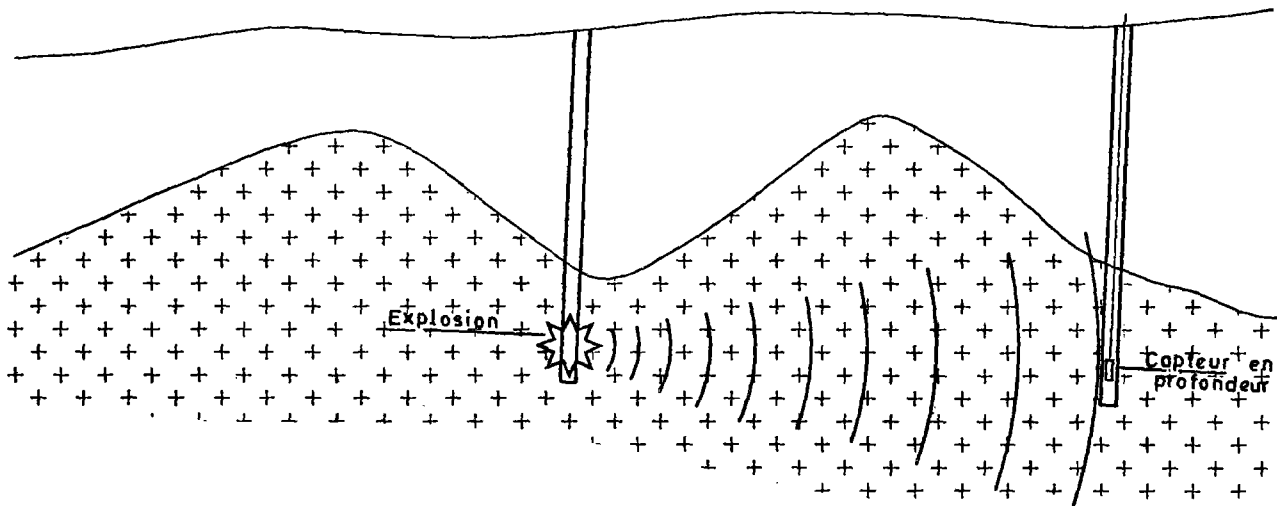
Les données quantitatives fournies en annexe 1 indiquent un pourcentage de récupération utile de 8 % pour une exploitation de 20 m de haut.

Fig. 2.8

— Implantation des sondages.



— Sismique en profondeur.



— La sismique réfraction de transmission permet une meilleure connaissance du milieu en profondeur mais les sondages sont implantés de façon aléatoire.

Le réseau précocce tend à s'estomper en profondeur, or ce réseau est le plus néfaste. Il apparait donc clairement, à la seule lumière des données structurales, qu'il n'est pas envisageable d'espérer exploiter le granite des Crêtes, d'une manière industrielle sans approfondissement de l'exploitation.

Deux voies s'imposent donc :

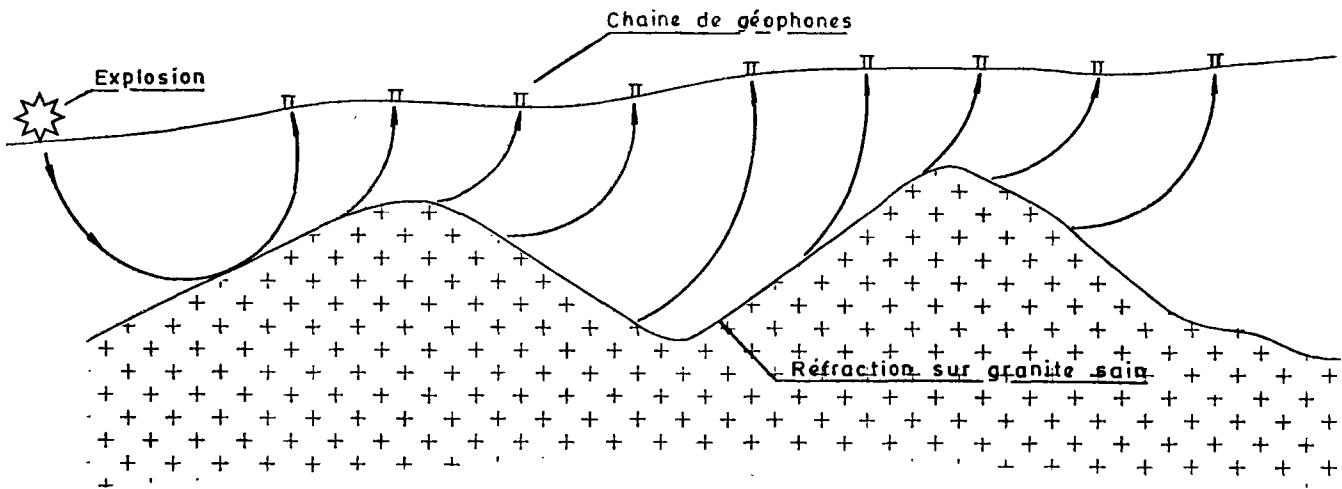
- une sélection rigoureuse des panneaux exploitables, en rejetant les "couloirs" mis en évidence, ce qui permet un gain très important ;
- un approfondissement substantiel des zones d'extraction. Des profondeurs de 40 à 50 m, voire d'avantage ne sont pas à exclure, à l'instar de ce qui est pratiqué de manière courante dans d'autres régions de production. Ceci suppose une technologie, et donc, des moyens adaptés et, par voie de conséquence, un changement radical de la méthode d'abattage mais aussi des outils d'extraction.

2.4. Prospection géophysique

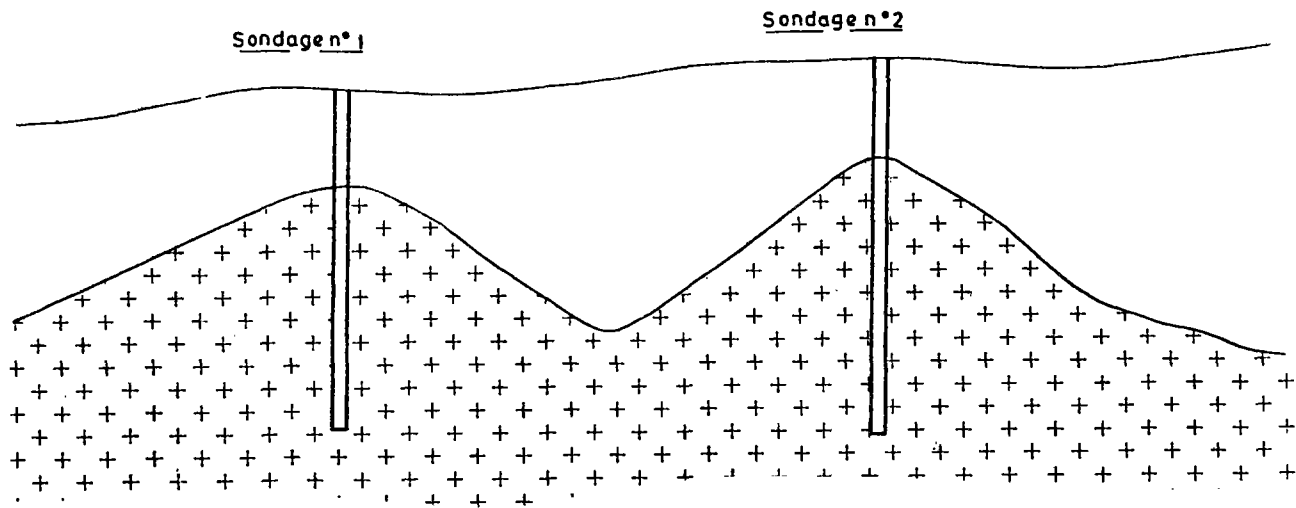
2.4.1. Introduction

La campagne de prospection sismique a été effectuée par le Département Géophysique du B. r. g. m. qui a utilisé deux techniques : la méthode de sismique réfraction (dispositifs de surface) et la méthode sismique de transmission, effectuées au sein du granite, rendue possible du fait de l'existence des sondages.

Fig. 2.9



— La sismique réfraction de surface permet l'implantation optimum du sondage après interprétation.



La méthode de sismique réfraction, à partir de la surface, renseigne sur la succession des formations du sous-sol que l'on caractérise par leur aptitude à transmettre un choc

Un milieu est d'autant plus rapide (vitesse sismique élevée) qu'il est sain. On peut ainsi distinguer des granites sains, en profondeur, caractérisés par des vitesses sismiques de l'ordre de 5 000 m/s et des milieux lents (granite altéré, arène, sable) où la vitesse peut varier de quelques centaines de mètres par seconde, à 2 000 ou 3 000 m/s.

Les mesures sismiques de transmission, effectuées au sein des sondages, ont le grand avantage de permettre une investigation en profondeur, dans le granite sain où l'on détermine les ondes longitudinales (Vp) et les ondes transversales (Vs) (*). En général, on interprétera le rapport Vs/Vp de la façon suivante :

$Vs/Vp < 0,6$ roche peu ou pas fissurée
 $0,6 < Vs/Vp < 0,7$ roche fissurée
 $Vs/Vp < 0,7$ roche très fissurée

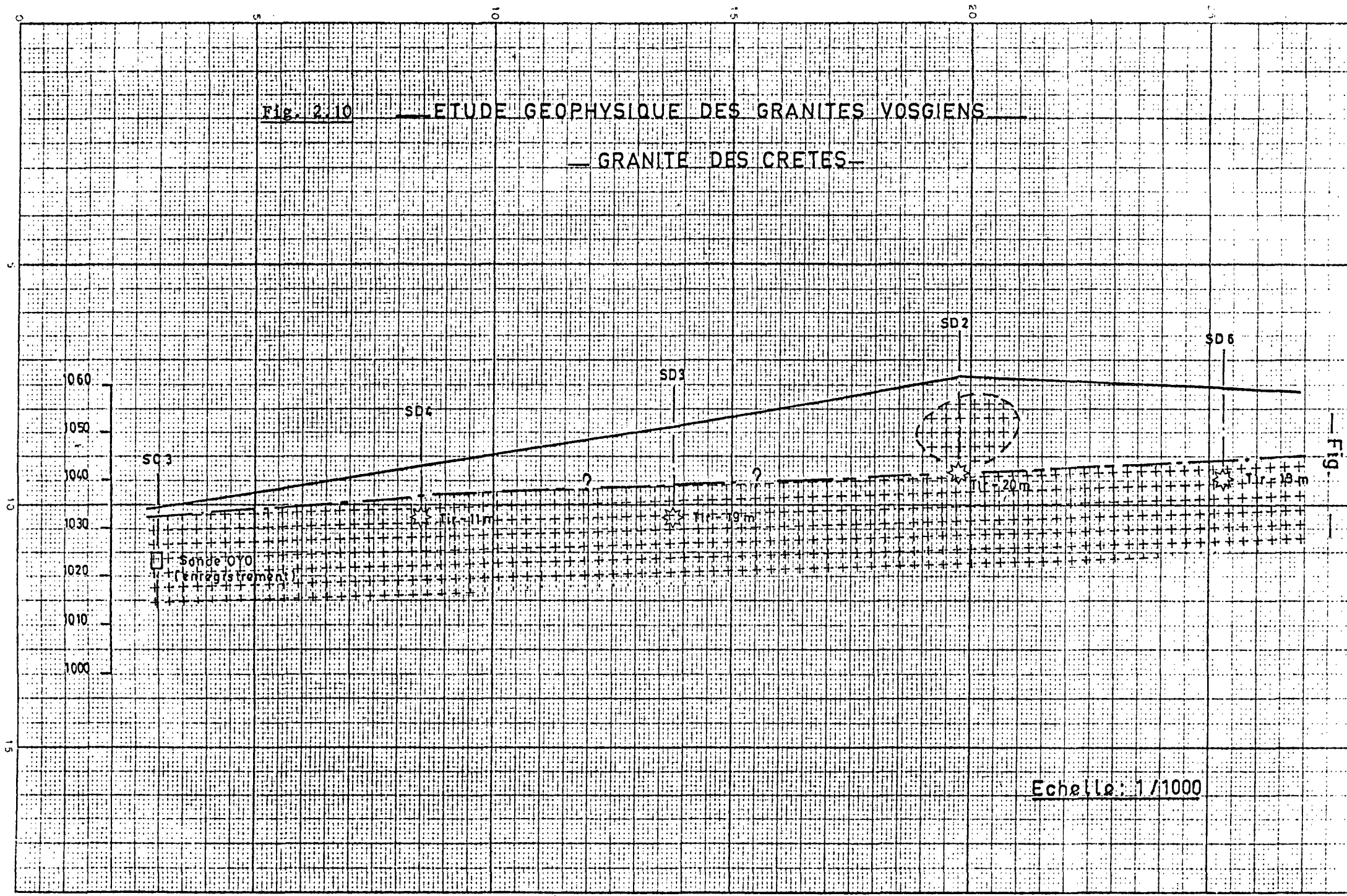
Les modalités pratiques relatives au déroulement de la campagne et les travaux réalisés sont mentionnés annexe 2.

(*) Une explosion génère différents types d'ondes parmi lesquels les ondes longitudinales, dites de compression, et les ondes transversales ou ondes de cisaillement sont les plus importantes et surtout les plus significatives du point de vue envisagé ici. Les premières sont les plus rapides et le rapport Vs/Vp est significatif du degré de fracturation du massif.

Fig. 2.10

ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

— GRANITE DES CRETES —



— Fig. —

Echelle: 1/1000

2.4.2. Résultats essentiels

2.4.2.1. Les marqueurs sismiques et leur signification

La vitesse sismique du substratum est élevée et de l'ordre de 3 600 à 5 500 m/s suivant les emplacements et la profondeur d'investigation. Ces vitesses correspondent à un granite d'autant plus sain que V_p est élevé.

Les niveaux intermédiaires correspondant aux zones fissurées ont une vitesse comprise entre 1 200 et 2 200 m/s mais n'existent pas systématiquement suivant le développement relatif de l'altération et de la déconsolidation.

Le recouvrement est mince et a une vitesse faible (300 à 700 m/s) et représente des formations superficielles comme la terre végétale ou les formations de pente.

2.4.2.2. La tranche altérée superficielle

Elle n'existe pas systématiquement, le granite pouvant affleurer à l'état sain, par ailleurs elle peut être très développée comme le montrent les résultats du dispositif D5 et atteindre localement 40 m d'épaisseur.

Il est intéressant de constater que la topographie du toit du granite sain est mouvementée, l'interface présentant des "chenaux" où l'altération a d'avantage progressée.

Fig. 2.11

GRANITE DES CRETES D.5

SW

NE

Alt. en m

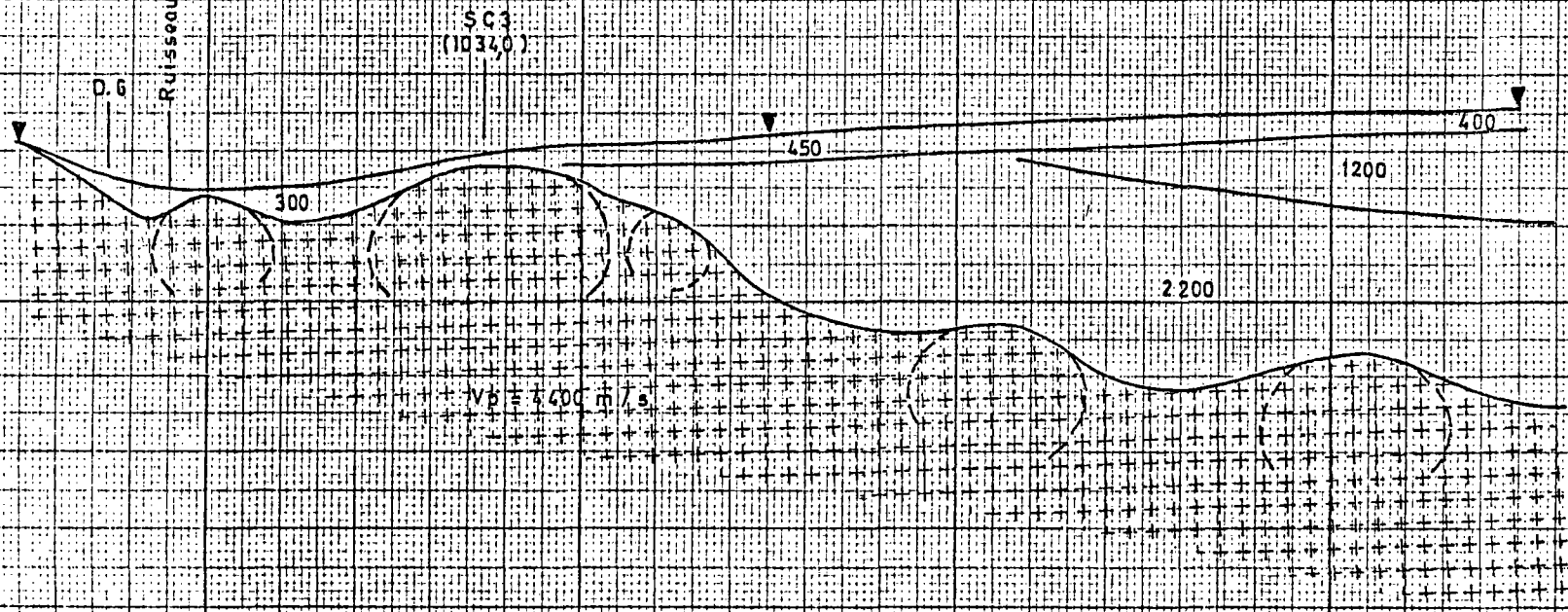


FIG.

Echelle : 1/1000

2.4.2.3. Le granite sain : sa qualification

Les vitesses longitudinales V_p et transversales V_s ont été déterminées par les dispositifs :

- surface - surface,
- sondage - surface,
- sondage - sondage.

L'ensemble des résultats est synthétisé sur les cartes des fig.2.10 à 2.11 que nous commenterons rapidement, le lecteur pouvant se référer pour de plus amples renseignements à l'annexe 2.

Nous rappelons que la vitesse théorique des ondes longitudinales V_p , déterminée dans des conditions de laboratoire d'une part et sur des blocs marchands (métriques) d'autre part, est

$$\begin{aligned} V_p &= 5\,545 \text{ m/s} \\ \sigma^* &= 147 \text{ m/s} \quad (\text{écart type}). \end{aligned}$$

* Le sismosondage (figure 2.12)

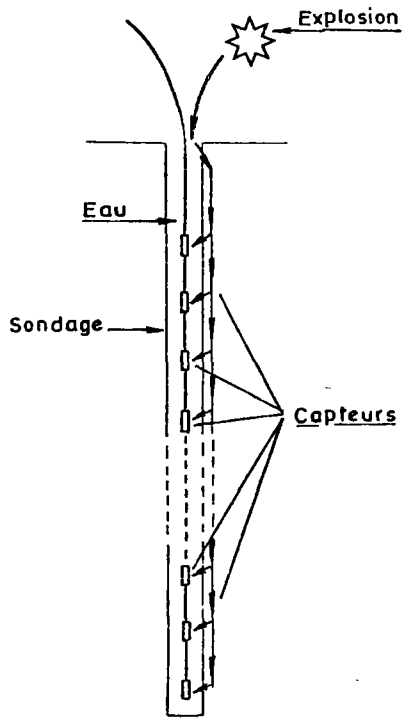
Le tir est effectué en tête de trou, on mesure le temps de propagation des ondes verticales à l'aide de douze capteurs. Les vitesses mesurées au sein de SC1, SC2, SC3 et SC6 sont toujours très élevées et ne traduisent pas de fracturation significative. En revanche, les mesures d'atténuation de l'amplitude de l'onde, montrent un indice de fracturation plus grand pour SC1.

* Transmission sondage - surface (figure 2.12)

Le tableau suivant donné à titre indicatif montre clairement des résultats excellents, le milieu est rapide, peu fissuré, hormis les deux dernières valeurs, l'émission étant effectuée à partir de SC1 (fond).

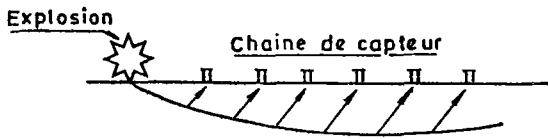
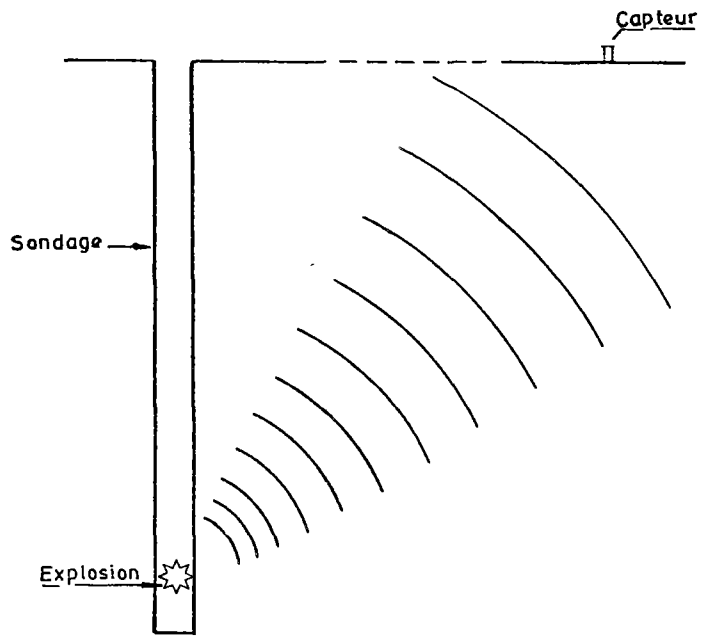
A) Sismo-sondage Schéma de principe

mesure V_p verticale



B) Dispositif - Sondage - surface

Les capteurs sont des géophones très directionnels



C) Dispositif Surface - surface

D) Dispositif Sondage - sondage

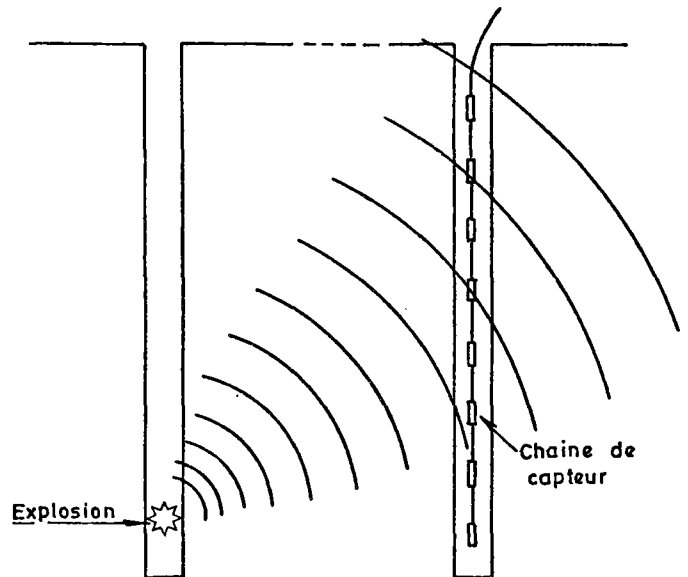


Fig.2.12 Schémas des principaux dispositifs utilisés.

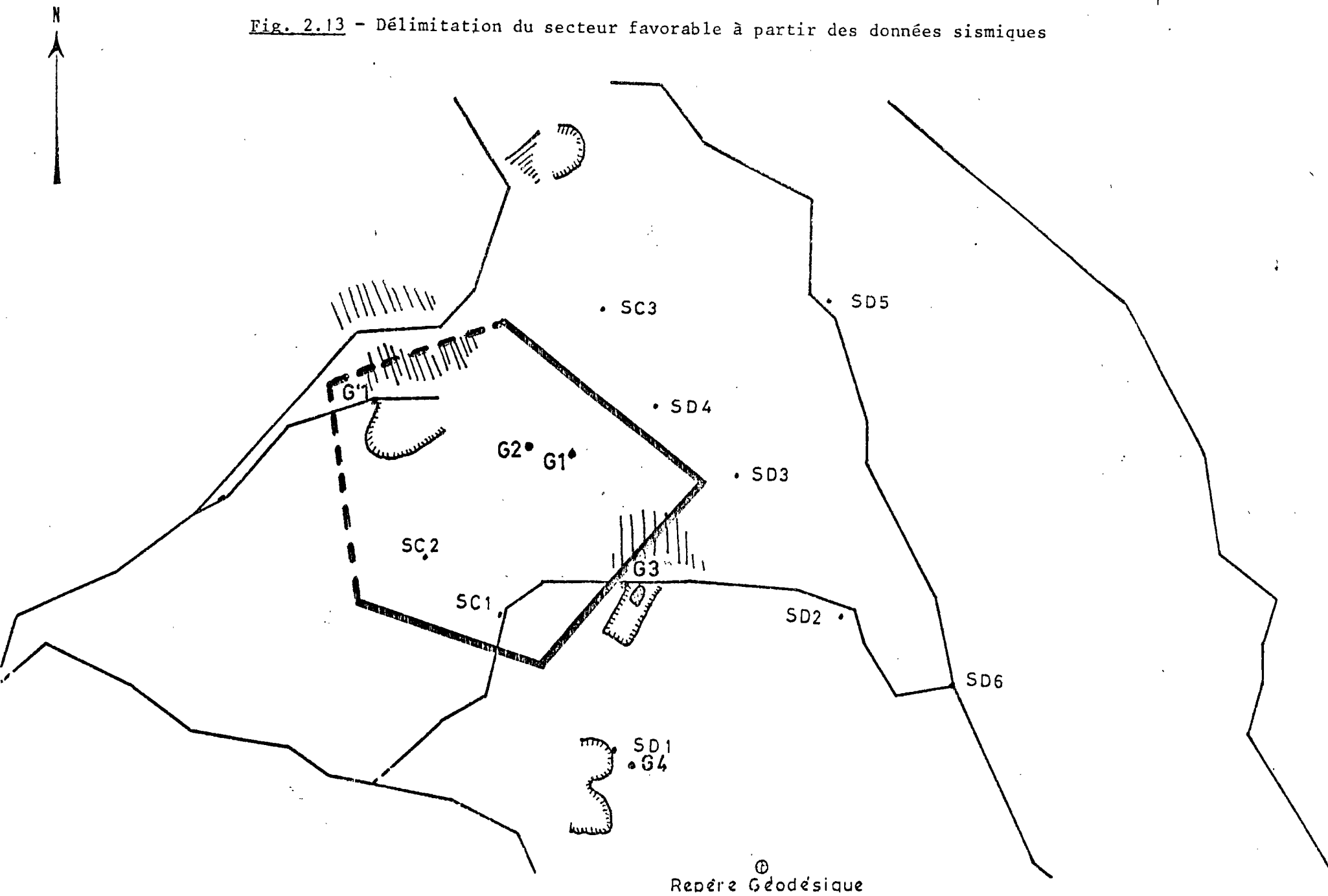
Emission	Réception	Arrivées (directes)	V_P	V_S	V_S/V_P	V_P/V_S	σ_d
SC2 cote 1053.7	G1 cote 1046.7	15.5	5680				
"	G2 cote 1046.6	15	5000				
SC2 cote 1041.7	G'1	16 - 33	5200	2500	0.48	2.08	0.35
	G2 cote 1046.6	14 - 32	5360	2340	0.44	2.29	0.38
	G3	22 - 43	4640	2370	0.51	1.96	0.32
	G4	28	4640				
SC1 cote 1040	G'1	21	5860				
	G2 cote 1046.6	16 - 33	5100	2480	0.49	2.06	0.35
	G3	16 - 33	4060	1970	0.49	2.06	0.35
	G4	21	3900				

* Transmission sondage - sondage (figure 2.12)

Le tableau ci-dessous présente l'essentiel des résultats.

Emission	Réception	Temps (ms)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	V_S/V_P	V_P/V_S	σ_d
SC3 cote 1022	SC1 cote 1038	29	5500				
SD2 " 1052	SC1 "	36	4780				
SD3 " 1030	SC1 "	26 - 43	5350	3230	0.60	1.66	0.21
SD4 " 1024	SC1 "	25	5100				
SC2 " 1046	SC3 " 1023	32 - 52	4720	2900	0.61	1.63	0.20
SD2 " 1041	SC3 "	40 - 72					
SD3 " 1032	SC3 "	25 - 45	voir	figure 19			
SD4 " 1032	SC3 "	11 - 21					
SD5 " 1028	SC3 "	33	3450				
SD6 " 1040	SC3 "	52 - 92	voir	figure 19			

Fig. 2.13 - Délimitation du secteur favorable à partir des données sismiques



On remarquera les fortes valeurs de V_p de la première série de mesures (réception en SC1). Le rapport $V_s/V_p \neq 0,60$ traduit une roche peu ou pas fissurée.

La zone de granite située entre SC1 et SC2 a été plus particulièrement étudiée en procédant à des mesures à des profondeurs croissantes. La V_p déterminée a toujours été élevée, comprise entre 4 900 et 5 600 m/s avec une moyenne se situant vers 5 220 m/s. Par ailleurs, le rapport V_s/V_p est compris entre 0,50 et 0,56 et traduit l'absence de fissuration.

Conclusion :

Il est possible de délimiter un secteur où le granite est sub-affleurant et où :

- les ondes de compression (ondes P) ont une vitesse V_p supérieure à 5 000 m/s ;
- le rapport V_s/V_p est inférieur à 0,55 ce qui traduit l'existence d'une roche peu ou pas fissurée si l'on applique les critères communément admis.

Ce secteur, représenté grossièrement fig. 2.13 , a une superficie d'environ 2 ha et correspond "grosso modo" à une butte dans la topographie.

Ceci étant, les dispositifs utilisés ne permettent certainement pas la discrimination de n'importe quel type de fracturation.

Les discontinuités métriques fermées par serrage ne doivent pas induire de chute dans les vitesses. Les résultats précédents signifient toutefois qu'il n'y a pas de discontinuité majeure du type faille, susceptible de générer une fissuration associée importante et par conséquent d'altération en profondeur.

Il convient d'analyser finement les levers structuraux effectués au sein du secteur délimité ainsi que les données pétrographiques.

On remarquera que SC2 est situé au coeur de la cible et que les zones de broyage détectées à 19 et à 27 m n'influencent pas les vitesses mesurées, et qu'elles ont donc sans doute une extension limitée.

Le sondage SC1 a montré un granite cataclasé, broyé, notamment entre 13 et 18 m, probablement en liaison avec un accident relativement important situé au Sud. De ce point de vue SC1 est à la limite du secteur sélectionné.

2.5. A l'échelle du parement et du bloc marchand (cf. annexe 6)

Les discontinuités métriques influent peu sur les vitesses sismiques mesurées (paragraphe 2.3.). Leur étude a nécessité l'utilisation d'une technique plus appropriée, l'auscultation ultrasonique dont les fondements et la méthodologie sont explicités en détail en annexe. Cette technique relativement nouvelle est probablement riche de possibilités pour une recherche de sites, mais aussi et surtout en cours d'extraction afin d'orienter au mieux les schémas d'exploitation.

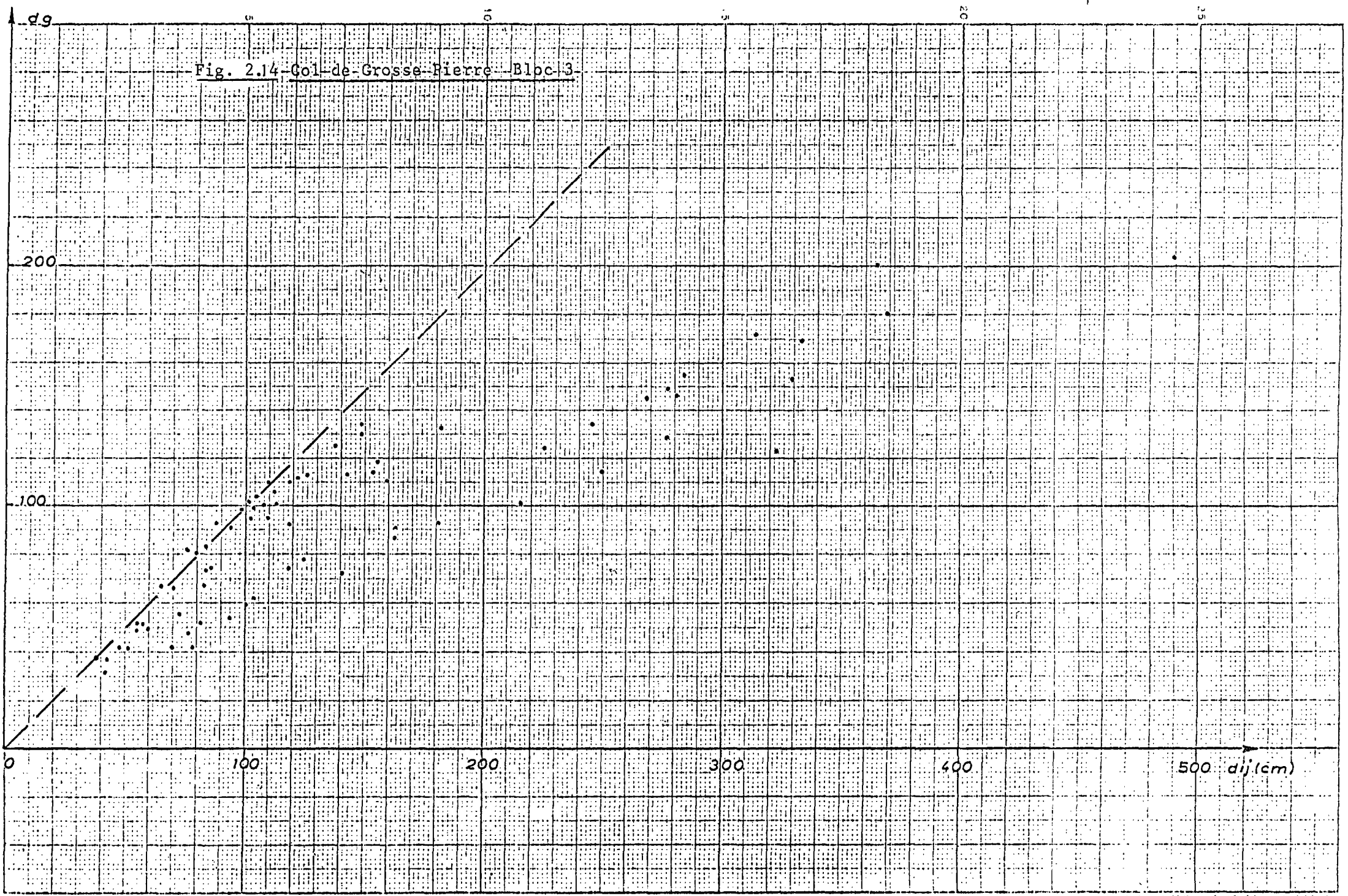
Nous présenterons brièvement les résultats essentiels.

2.5.1. But de l'auscultation

Il arrive fréquemment que des fissures non visibles à l'affleurement apparaissent dès l'extraction par le jeu de la simple détente.

En outre, certains blocs apparemment non fissurés sont parcourus en profondeur par des discontinuités de faible extension, mais suffisantes pour faire chuter la valeur marchande du produit.

Fig. 2.14 - Col-de-Grosse-Pierre - Bloc 3



La technique d'auscultation ultrasonique est non destructive et permet d'élaborer un cliché des caractéristiques intrinsèques du matériau.

2.5.2. Principe

On mesure le temps de transit d'une onde de fréquence appropriée, ultrasonique entre deux transducteurs piézoélectriques. Toute hétérogénéité altère la vitesse de propagation. On peut comparer la vitesse expérimentale à la vitesse théorique sachant que cette dernière est :

$$\begin{aligned} v_p &= 5\,545 \text{ m/s} \\ \sigma &= 147 \text{ m/s écart type (*)} \end{aligned}$$

ou en admettant les concepts explicités en annexe, utiliser une variable fictive : la distance parcourue d_{ij} par l'onde que l'on compare à la distance géométrique d_g séparant les deux transducteurs.

Les schémas des figures 2.14/2.15 sont relatifs à des expérimentations effectuées à la Roche des Bioquets, montrant les possibilités de cette méthode qui permet en outre la détection des fissures en profondeur et éventuellement celle de leur orientation.

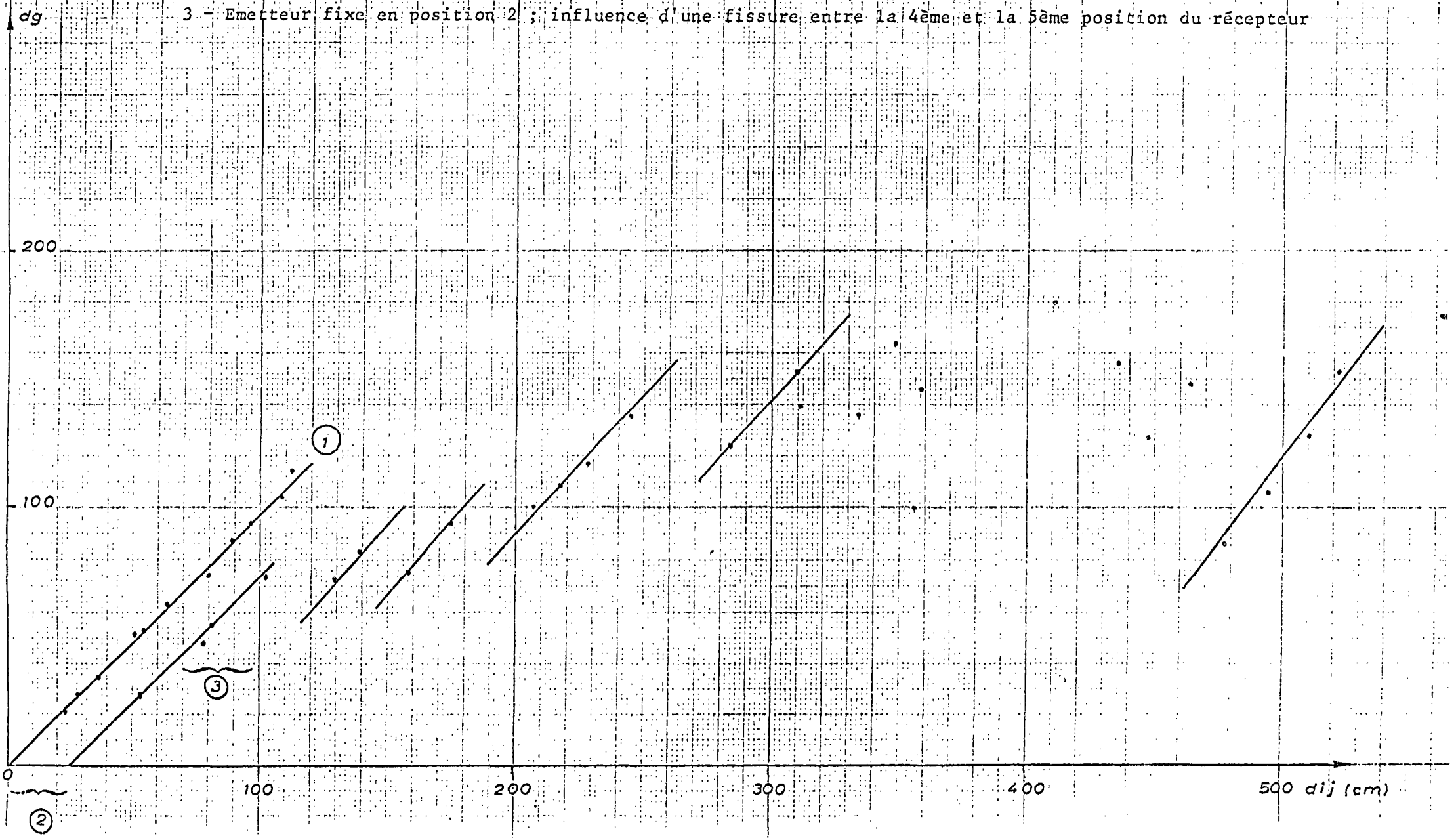
(*) Résultats de 20 mesures effectuées en laboratoire sur éprouvette de 12,5 cm de haut à la fréquence de 150 KHz.

Fig. 2.15 - Influence des fractures

1 - Emetteur fixe, 11 positions du récepteur, absence de fissure

2 - 2ème position de l'émetteur, retard environ $30\text{cm} \approx 55\ \mu\text{s}$ \Rightarrow effet de fissure entre les deux positions

3 - Emetteur fixe en position 2 ; influence d'une fissure entre la 4ème et la 5ème position du récepteur



3 - REMARQUES CONCERNANT LA PETROGRAPHIE DU GRANITE DE LA ROCHE DES BIOQUETS -

3.1. Remarque préliminaire

La Roche des Bioquets a été largement exploitée dans les temps anciens et jusqu'à la dernière guerre. Elle donnait donc satisfaction.

Les hétérogénéités pétrographiques telles les enclaves, les flammes ou encore les filons voire les litages magmatiques y sont pourtant présents, de ce point de vue la Roche des Bioquets ne fait pas exception aux caractères généraux qui singularisent malheureusement le granite des Crêtes.

C'est ainsi que la grande carrière située à l'Ouest du secteur renferme plusieurs litages magmatiques plus ou moins développés et un filon de lamprophyre, de même la carrière dite "Rocher des Bioquets" est traversée dans sa partie médiane par un filon de microgranite.

Deux questions se posent donc au géologue :

- la fréquence des hétérogénéités dans ce secteur est-elle comparable, moindre ou au contraire plus élevée que la fréquence moyenne appréciée au sein du massif, dans l'état actuel de nos connaissances ?
- comment évolue la fréquence des anomalies avec la profondeur, en d'autres termes peut-on espérer la voir décroître en approfondissant la zone d'extraction ?

La réponse à la première question nécessite non seulement un diagnostic mais encore la connaissance des paramètres mentionnés ci-dessus pour la totalité du gisement.

La réponse à la deuxième question suppose des sondages et une bonne observation.

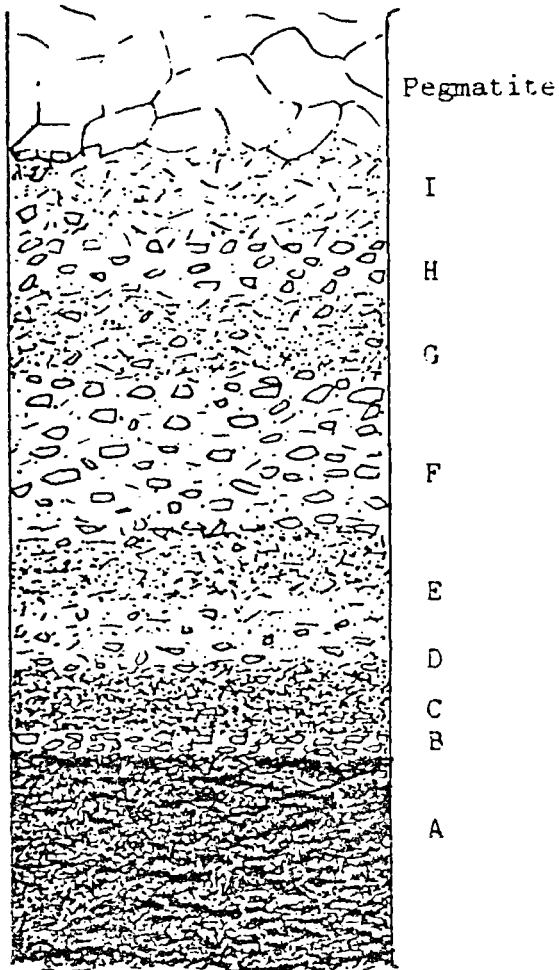


Fig. 2.16.

Horizon lité dans la carrière abandonnée près de l'ancienne ferme Chanténé, environs du col de Grosse Pierre.
(x = 939,950 ; y = 346,150)
(une étude détaillée a été réalisée pour en comprendre le mécanisme de formation).

(cf. N'SIFA)

Avant d'aborder ces deux points, nous définirons sommairement ce que nous appelons "hétérogénéité", l'intégralité des observations faisant l'objet de l'annexe 5.

3.2. Qu'est-ce qu'une hétérogénéité ?

Le pétrologue qui étudie l'organisation magmatique s'intéresse en premier lieu à la cinématique générale du magma, mais aussi à ce qu'il appelle "accident magmatique".

Une notion récente particulièrement étudiée par le Laboratoire de Pétrologie Structurale de Nancy 1 est la différenciation par gravité que nous simplifierons volontairement en la décrivant comme un phénomène de décantation où l'ordonnement des séquences observables est induite par l'ordre de cristallisation des minéraux et par leur densité relative par rapport à celle du magma, liquide au départ.

La figure 2,16 empruntée à NSIFA montre le résultat de cette différenciation gravitaire qui peut se traduire par deux phénomènes :

- une variation continue dans la séquence, les minéraux les plus denses étant de plus en plus abondants dans le bas ;
- l'acquisition d'un litage en de véritables "figures sédimentaires" se développant et se figant. Bien entendu, le litage magmatique est particulièrement néfaste pour l'exploitant.

En ce qui concerne le granite des Crêtes, Monsieur Cl. GAGNY attribue au phénomène de différenciation par gravité l'existence des différentes variétés de granite :

- granite bleu,
- granite bleu-noir,
- granite noir,

ainsi que l'apparition de certains faciès dits de cumulats, comme les Vaugnérites.

Conclusion :

La différenciation par gravité, c'est-à-dire l'apparition de litages magmatiques est malheureusement une organisation normale, souvent présente dans le granite des Crêtes et se manifestant avec une fréquence de l'ordre de la dizaine de mètres.

Mais les litages ne constituent pas, loin s'en faut, le seul type d'hétérogénéités. Sous cette rubrique, on distingue également les enclaves de taille ou de forme variées qui ont deux origines possibles :

- les enclaves étrangères au granite arrachées à l'encaissant lors de la mise en place du massif ;
- les enclaves formées à partir du magma originel.

Dans l'état actuel des connaissances, leur nature et leur répartition n'est pas connue ; "a fortiori" les "lois" qui peuvent gouverner leur présence

Enfin, les filons, de microgranite, de lamprophyre, d'aplite, de quartz, etc... sont présents partout mais leur relation avec l'encaissant sont un peu mieux connues comme cela est exposé en annexe 5.

L'hétérogénéité préjudiciable pour le carrier est, dans l'état actuel du marché Vosgien, celle qui perturbe sous quelque forme que ce soit la régularité du bloc marchand destiné au funéraire.

Il est évident que pour d'autres types de marchés (pierres ornementales, pavés, etc...) cette notion diffère. Nous dirons donc qu'elle est évolutive avec le marché.

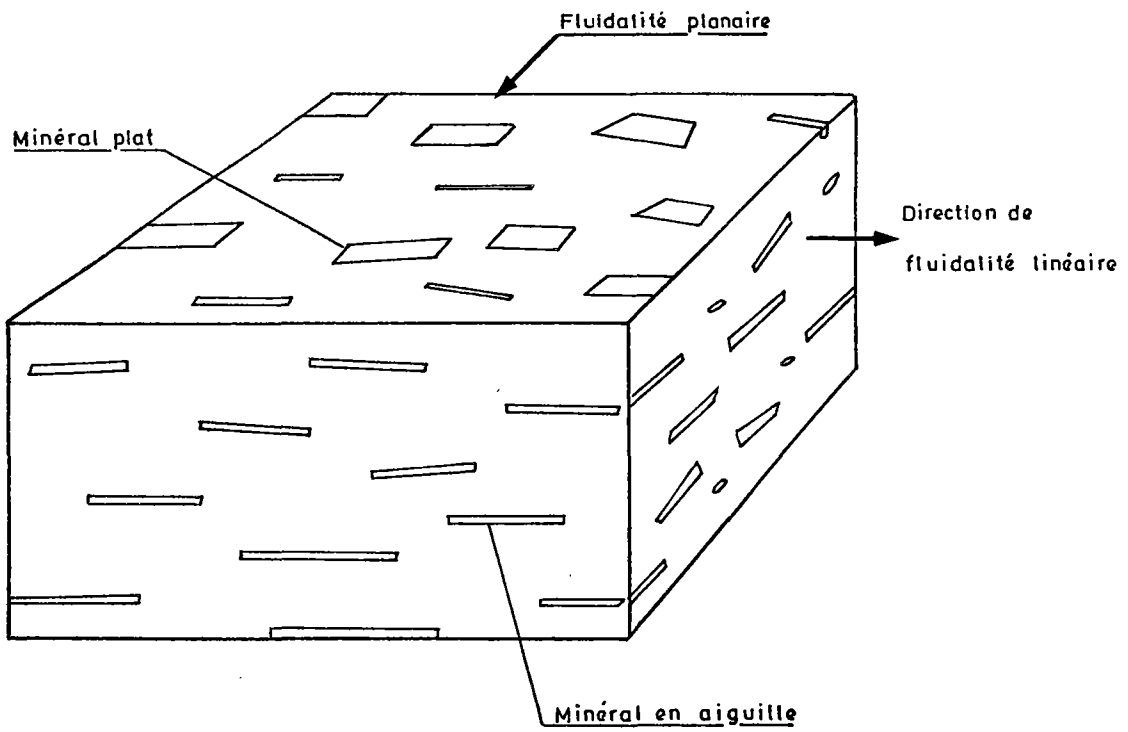


Fig. 2.17 - Fluidalité

3.3. La fluidalité

Lors de la mise en place du magma, les cristaux ne s'agencent pas d'une façon aléatoire. L'ordonnancement général obéit à des lois gouvernées par la différenciation par gravité et par le sens de l'écoulement, obéissant lui-même aux sollicitations internes et externes s'exerçant sur le magma.

Il en résulte ce que le pétrologue appelle la fluidalité, représentée schématiquement figure 2.17 où l'on distingue la fluidalité planaire et la fluidalité linéaire.

Cette orientation préférentielle de l'organisation interne du granite génère des plans de faiblesse, des joints mécaniques. Le plan de fluidalité planaire correspond en général au fil du carrier.

Une découverte de la présente étude est relative aux fluidalités imbriquées qui viennent perturber localement la régularité (relative) de la fluidalité originelle par action de contraintes diverses où la tectonique régionale joue un grand rôle. A l'échelle du massif étudié, la fluidalité imbriquée est peu marquée et ne gêne nullement le carrier.

La notion de fluidalité est importante car la détermination de son orientation permet, dans une certaine mesure, de prévoir l'apparition des litages magmatiques dans la direction perpendiculaire, de filons divers dans les directions parallèles.

Néanmoins, ces notions relativement nouvelles sont encore bien théoriques et la modélisation au sens prévisionnel nous semble être une étape encore difficile à atteindre.

3.4. Densité des accidents magmatiques

La première question du paragraphe 3.1. concerne trois grands types d'accidents : les litages, les enclaves (et assimilés) et les filons.

Il importe de préciser que l'étude de ces anomalies est chose récente. En 1978 - 1979, quelques litages seulement étaient connus des spécialistes, localisés dans les zones d'observations traditionnelles (*). De ce point de vue, l'étude présente contribue largement à une meilleure connaissance de la "fabrique magmatique".

Il semble que les litages magmatiques aient une fréquence déca métrique au sein du secteur des Bioquets et que cette fréquence ne soit pas fondamentalement différente de celle observable au Col de Grosse Pierre, seule zone connue avec suffisamment de précision.

Ces litages ne sont pas continus et s'estompent progressivement parallèlement à la fluidalité planaire, d'autant que les litages peuvent être désorganisés ou désagrégés et entraînés par plissement. Ils découlent de l'organisation normale du magma et des phénomènes de différenciation qui l'affectent.

En effet, les trois sondages exclusivement carottés ont recoupé ces structures à plusieurs reprises :

- SC1 = zone possible de litage de 0,50 m, située à 11 m de profondeur mais non identifiée avec certitude ;
- SC2 = entre 9, 10 et 11 m - entre 22 et 23,30 m et entre 25,50 et 26,00 m ;
- SC3 : entre 16,70 et 17,30 m.

(*) Col de Grosse Pierre notamment.

Soit 4 (ou 5) litages pour une longueur cumulée de 85 m de sondages. La fréquence observée est donc de 1 litage tous les 17 m maximum, leur épaisseur moyenne étant légèrement inférieure au mètre.

Ceci dit, trois autres structures litées ont été repérées en affleurement sur les fronts de taille ainsi qu'une "queue" de litage.

A la lumière de ces observations, on peut donc dire que les litages sont présents probablement avec une fréquence et une intensité semblables à celles de Grosse Pierre.

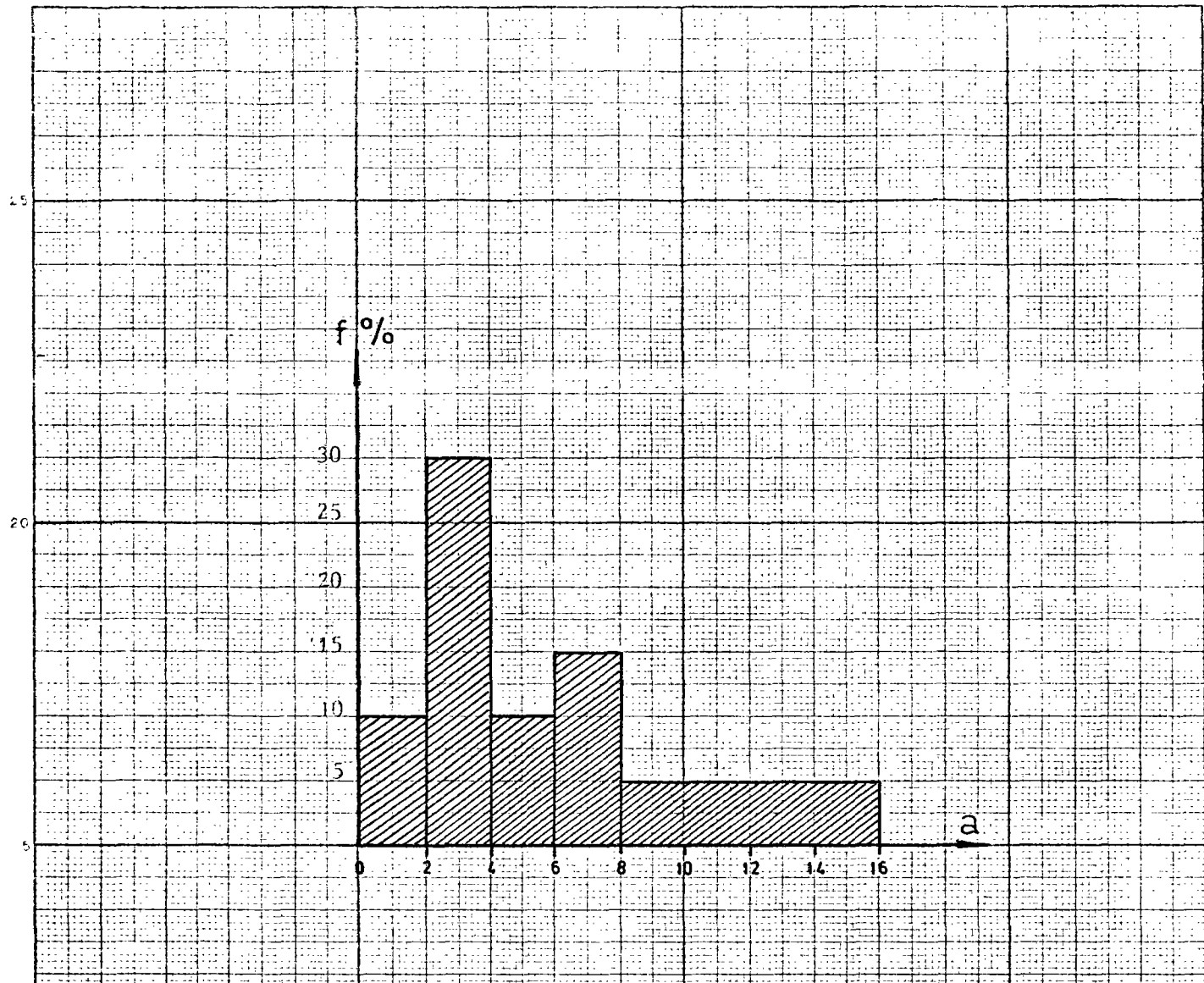
Le problème des enclaves, bien que légèrement mieux connu à l'échelle régionale, n'est pas pour autant résolu. La loi d'apparition et les facteurs gouvernant leurs développements ne sont pas déterminés. Des grosses enclaves hétérogènes (*) et des lits de petites enclaves ont été décrits à maintes reprises soit à l'affleurement, soit en sondages.

Les grosses enclaves ont été recoupées cinq fois sur 85 m de sondage. Les petites enclaves sont nombreuses, 66 ont été décrites au sein des mêmes sondages. Là encore, il n'apparaît pas de différence fondamentale entre ces observations et les données régionales.

Cette abondance, d'après Monsieur Cl. GAGNY, est normale car elle est liée en ce qui concerne les enclaves homogènes, souvent obtenues par désagrégation de litages, à la fréquence de ces derniers.

Les filons, en revanche, obéissent à des mécanismes plus souvent décrits, notamment en liaison avec les joints thermiques et les ouvertures qui s'ensuivent. Les fractures pénétratives, remplies de quartz, de lampophyre, etc... ont été recoupées notamment dans les zones les plus proches d'une fracturation intense, comme le sondage SC1 par exemple. Il convient, à la lumière des données structurales (leviers de terrain, sismique, etc...), d'éliminer ces secteurs "a priori" générateurs d'une grande masse stérile.

(*) De même nature que le magma originel.



a = nombre d'enclaves par tranche de 5 mètres.
f = fréquence absolue.

Fig. 2.18 Distribution log normale de la distribution des enclaves.

3.5. Evolution avec la profondeur

L'intensité et la densité de la fracturation, horizontale notamment, diminuent avec la profondeur, ce qui constitue un fait favorable pour l'exploitant ; en revanche, il n'y a aucune raison particulière pour que les accidents magmatiques soient plus rares.

En effet, au sein d'un môle granitique, le point de départ du sondage à l'affleurement est fonction de la topographie et donc de l'érosion, ce qui explique les difficultés de corrélation d'un point à un autre, d'autant que "les écoulements" ne sont pas homogènes, ce qui se traduit par des variations brutales de la fluidalité planaire.

Les sondages carottés, examinés en détail, renferment quelques 86 enclaves. Aucune loi particulière n'a pu être dégagée :

- il n'y a pas de variation significative avec la profondeur,
- il n'y a pas de corrélation possible avec la proximité des litages magmatiques, par exemple.

Ceci étant, si l'on fait un comptage par tranche de 5 m (linéaire), l'histogramme des fréquences d'apparition représenté figure 2.18 semble traduire une loi log. normale.

Si l'échantillonnage est représentatif, cela signifie que la distribution est plus favorable qu'une distribution purement aléatoire. En effet, le mode et la moyenne sont significativement différents. Il ne semble pas que les litages magmatiques influent sur la loi de distribution des enclaves.

Conclusion :

A priori, il est raisonnable de prendre en compte une densité constante d'enclaves, quelle que soit la profondeur.

Concernant les litages, une fréquence moyenne décimétrique est probablement pessimiste (1 tous les 17 m pour 85 m de sondages carottés).

Les zones de litages magmatiques peuvent se déceler au sein des sondages destructifs par mesure de la radioactivité naturelle.

On donne en annexe 3 quelques diagraphies de la radioactivité naturelle qui montre clairement que les zones riches en minéraux ferromagnésiens sont plus radioactives. Il y a là un moyen indirect de déceler ces structures à moindres frais.

4 - CONCLUSION CONCERNANT LE GRANITE DES CRETES -

Le secteur de la Roche des Bioquets a été étudié suivant deux axes principaux :

- la fracturation à différentes échelles,
- les anomalies pétrographiques.

Au terme des vérifications entreprises par sondages carottés et destructifs, un secteur subaffleurant de 2 ha environ a été déterminé.

Au Nord-Est, le granite sain s'approfondit progressivement, la couverture altérée pouvant atteindre plus de 30 m d'épaisseur ; au Nord-Ouest et à l'Ouest, on s'approche dangereusement d'une zone perturbée d'un point de vue pétrographique, caractérisée par la présence d'une "cheminée d'émission".

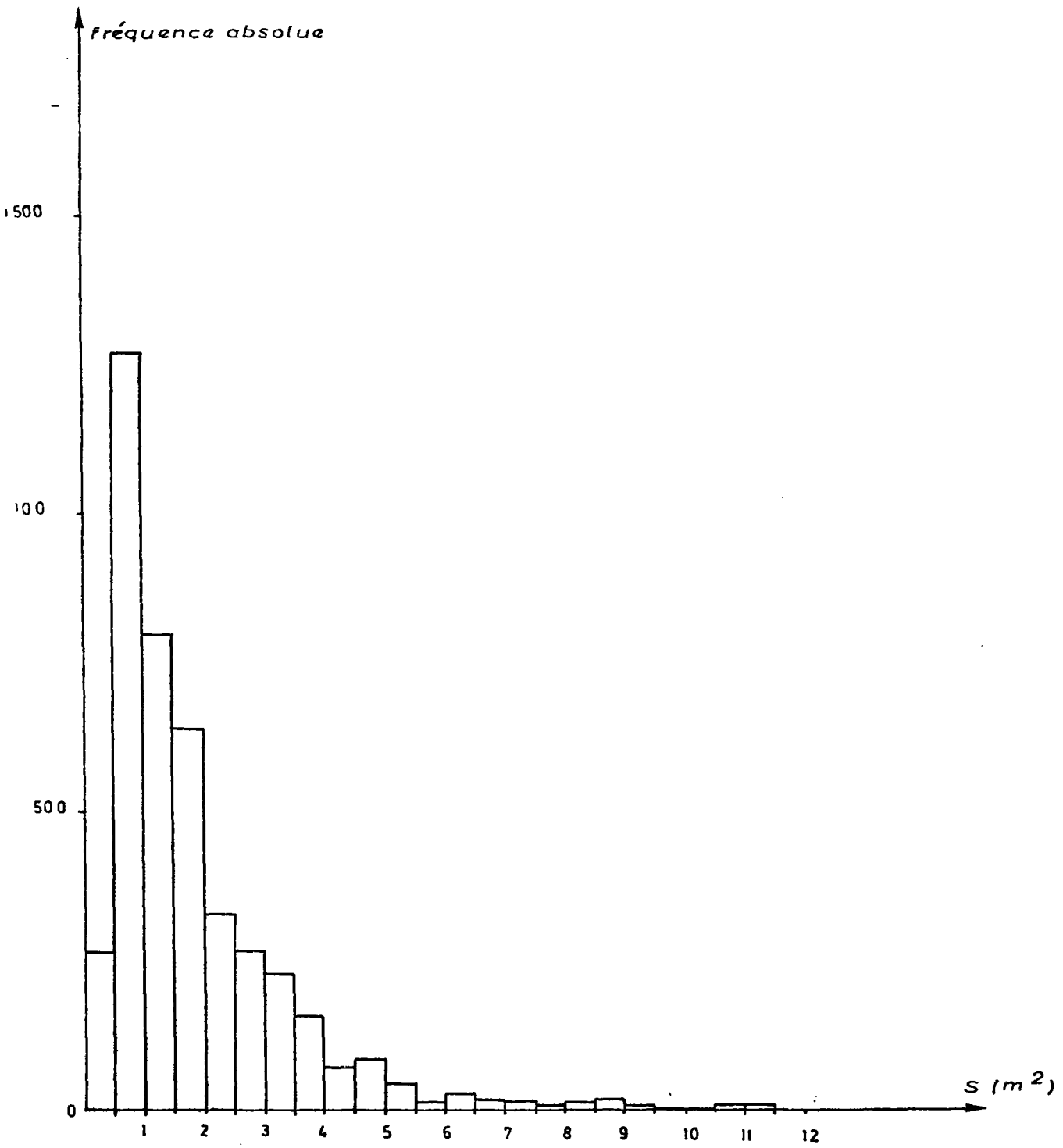
La fracturation comporte trois réseaux principaux :

- un réseau précoce non pénétratif, le plus marqué et le plus néfaste pour l'exploitant ;
- un réseau précoce pénétratif ;
- un réseau tardif.

Ces deux dernières familles ne constituent pas à notre sens un handicap majeur.

Il convient donc d'implanter ces sites d'exploitation hors des couloirs principaux facilement détectables à la photographie aérienne.

Fig. 2.19 - Distribution de la fracturation verticale



La distribution des deux systèmes de fracturation subverticale du réseau précoce est du type log. normal. Le produit de ces deux variables aléatoires a également une distribution log. normale comme l'indique l'histogramme de la figure 2.19.

Nous avons supposé constante l'apparition des discontinuités horizontales et pris la valeur moyenne (1,8 m) mesurée dans le domaine superficiel.

Par analyse du produit, il est ainsi possible de calculer la probabilité d'obtention du bloc de granite lors de l'extraction (figure 2.20).

Ce graphique nécessite quelques remarques :

- il est admis que la zone d'extraction est située hors couloirs tectoniques majeurs, c'est-à-dire que les réseaux tardifs et pénétratifs ne sont pas pris en compte ;
- nous faisons abstraction dans un premier temps des anomalies pétrographiques telles que les litages magmatiques et les enclaves.

Ceci dit, il est clair que la probabilité d'extraire un bloc d'un certain volume chute très vite lorsque celui-ci croît. Elle est de 50 % pour un bloc de 2 m^3 mais proche de 10 % pour un bloc de 5 m^3 .

Cette probabilité diffère cependant quelque peu du pourcentage de récupération effectif dans la mesure où les litages magmatiques et les enclaves perturbent l'homogénéité de la roche.

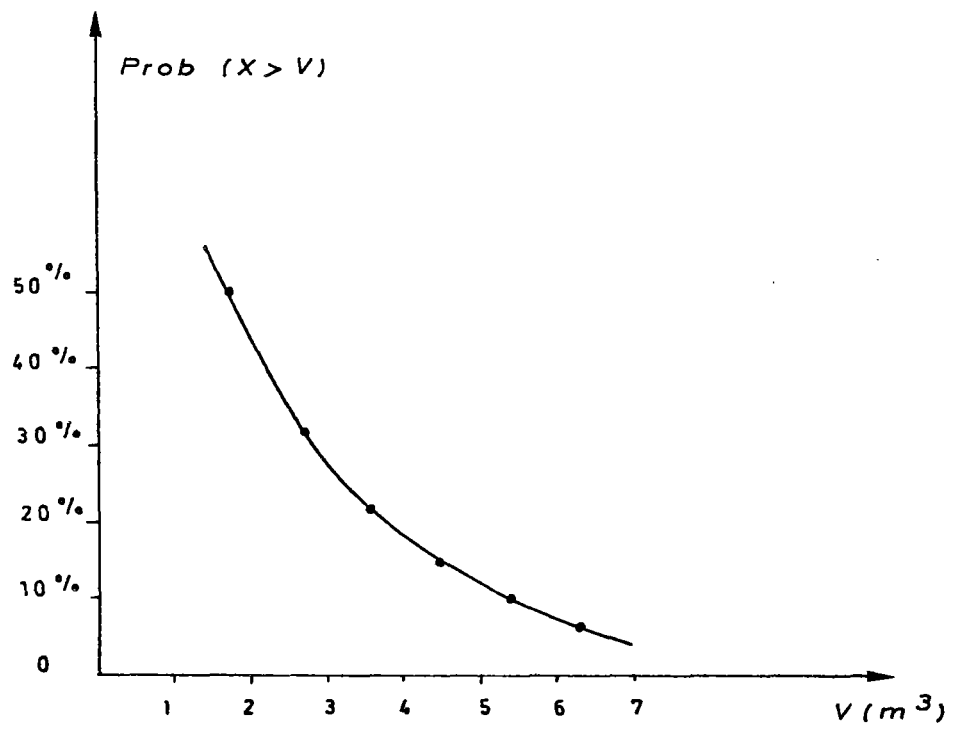


Fig. 2.20 - Probabilité d'apparition d'un bloc de $V (m^3)$

En effet, les anomalies pétrographiques sont fréquentes. Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut dire que les fréquences relatives d'apparition des litages magmatiques, des enclaves ou des filons ne sont pas fondamentalement différentes de celles usuellement rencontrées dans le secteur du Col de Grosse Pierre.

Des progrès importants sont à faire afin d'acquérir une meilleure connaissance de ces distributions, extrêmement complexes. A titre d'exemple, il est significatif de remarquer que les spécialistes ne connaissaient que deux ou trois litages magmatiques, tous situés au Col de Grosse Pierre, avant de commencer cette étude.

Les observations fines effectuées en ont détecté cinq en sondages et quatre à l'affleurement !

Cette notion est donc toute récente et évolutive et l'on peut espérer que des progrès notables seront faits dans les prochaines années. La présence d'un litage de 1 m d'épaisseur tous les 17 m stérilise 6 % du volume.

Une autre découverte fondamentale de la présente étude est l'apparition de faciès de granite "rouge" caractérisé par des feldspaths saumonés pas nécessairement en liaison avec les phénomènes d'altération. Cette coloration est apparemment indépendante de la profondeur et pourrait être liée à la tectonique locale. Ce changement de faciès n'est pas nécessairement un handicap pour l'exploitant si les volumes intéressés dépassent le bloc marchand recherché.

Conséquences pour une exploitation future :

* Les anomalies pétrographiques sont du même type et ont la même fréquence d'apparition que celles du Col de Grosse Pierre. Il serait apparamment illusoire d'espérer voir leur fréquence décroître en approfondissant l'exploitation.

* La fracturation subverticale est globalement moins marquée que pour l'ensemble du massif mais il est nécessaire d'implanter les sites hors des couloirs tectoniques mis en évidence.

* L'approfondissement des zones d'extraction, à 30 voire 40 ou 50 m, est certainement la condition "sine qua non" de la rentabilité de l'exploitation.

En effet, la fracturation horizontale est de plus en plus lâche avec la profondeur, elle s'estompe progressivement ce qui diminue par ailleurs l'influence néfaste de l'altération météorique.

La nature du gisement est vraisemblablement incompatible avec une exploitation artisanale compte-tenu des spécificités du marché actuel, trop centré sur le funéraire.

Le schéma de la figure 2.20 montre clairement les limites d'une exploitation dont le débouché essentiel serait le funéraire. En revanche, si le carrier recherche des blocs d'un volume unitaire de l'ordre de 2 m^3 , le pourcentage de récupération pourrait être de 50 %.

C H A P I T R E 3

GRANITE DE SENONES

1 - le granite de Senones - Généralités

1.1. Définition, localisation

1.2. Contraintes

1.3. Choix de la cible

1.3.1. Le secteur de la Guiche de Vimont

1.3.2. Le secteur des Gouttes - Roche Margot

1.4. Caractéristiques du Massif de Senones

2 - Etude du gisement

2.1. Analyse structurale

2.2. Modèle géomorphologique

2.3. Prospection géophysique

2.3.1. Consistance de l'expérimentation

2.3.2. L'altération superficielle

2.3.3. Caractérisation du granite homogène

2.3.4. Conclusion sur la caractérisation géophysique

2.4. Principaux résultats des sondages mécaniques

3 - Remarques concernant la pétrographie du granite de Senones

3.1. La couleur du granite

3.2. Les anomalies au sein du massif

3.2.1. Les enclaves

3.2.2. Les filons

4 - Conclusion concernant le Massif de Senones

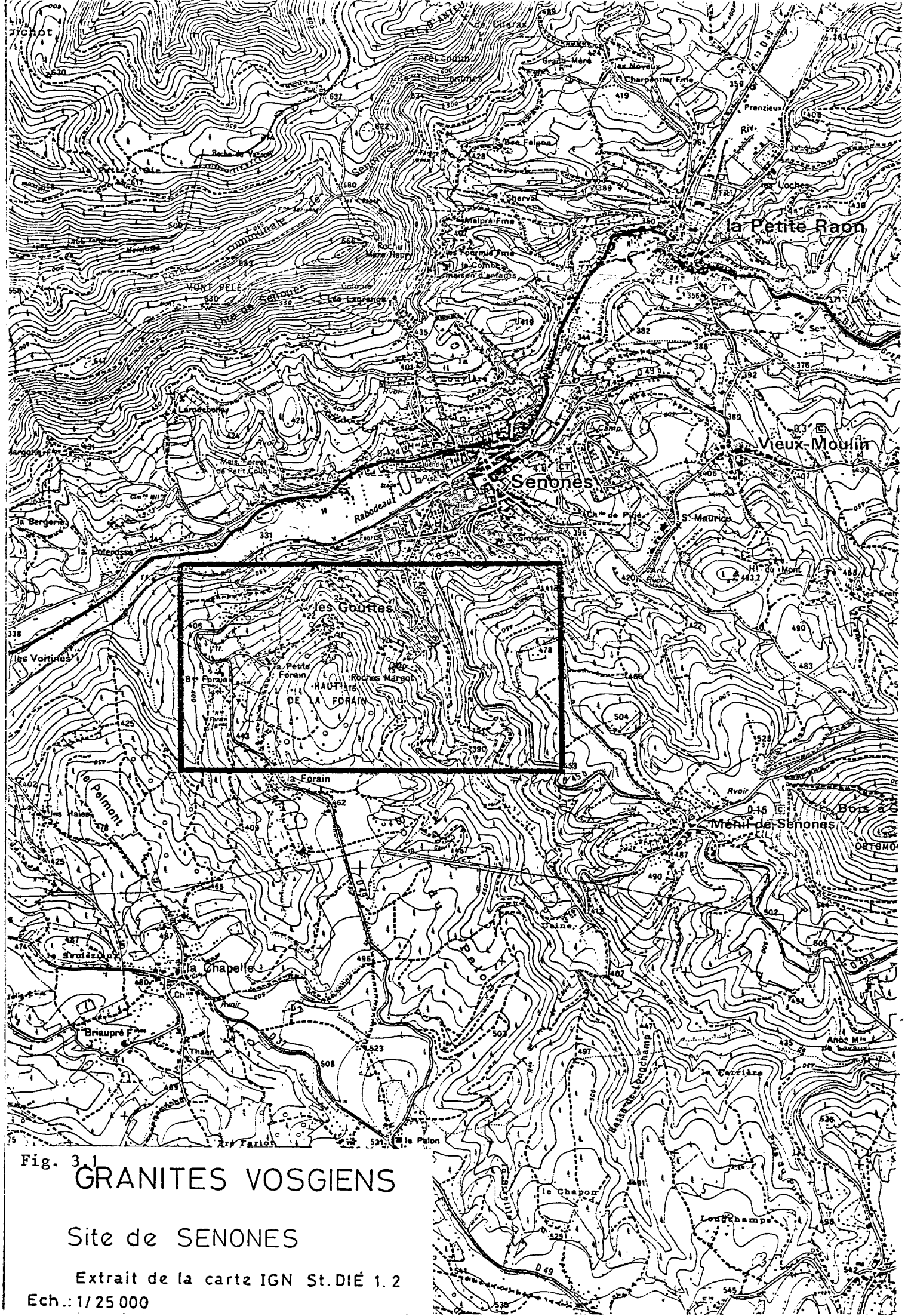


Fig. 3.1
GRANITES VOSGIENS
Site de SENONES
Extrait de la carte IGN St. DIÉ 1.2
Ech.: 1/25 000

CHAPITRE 3

1 - LE GRANITE DE SENONES : GENERALITES -

1.1. Définition, localisation

Le Massif de Senones est situé dans la partie septentrionale des Vosges cristallines au Sud de la Vallée du Rabodeau, selon une bande Est-Ouest de quelques 10 km de long par 3 km de large s'étendant de la Forain à Saulxures.

Ce granite a été largement exploité comme pierre ornementale, les carriers y distinguent trois faciès principaux dont la variété rouge corail la plus recherchée.

La variété rouge corail est une roche caractérisée par :

- un feldspath alcalin, rose, de taille centimétrique,
- un plagioclase rouge brique, de 5 x 2 mm,
- de la biotite en paillettes et amphiboles en prismes trapus,
- le quartz en phase intersticielle.

La variété "feuille morte" est plus grise et caractérisée par :

- un feldspath alcalin de taille centimétrique, légèrement grisé,
- un plagioclase en baguette, blanc, pouvant représenter 40 % de l'ensemble,
- de la biotite brune et de l'amphibole.

La différence de faciès entre ces deux variétés a jusqu'à présent été attribuée à des phénomènes d'altération affectant sélectivement la variété "feuille morte", intervenant dès la fin de la cristallisation.

Entre ces deux extrémités, on peut trouver :

- la variété "rosé", mal définie, car les changements de faciès semblent être tout à fait progressifs.

Le granite, dans son ensemble, est réputé homogène ; les anomalies pétrographiques sont beaucoup moins fréquentes qu'au sein du Massif des Crêtes.

Cependant, Monsieur A. NICOLAS a signalé des filons, notamment de quartz et de kersantite* dans les zones d'exploitation anciennes.

Les secteurs étudiés :

Les études antérieures ont permis de cerner deux secteurs favorables :

- la région de Guiche de Vimont (Sud de Saint-Rail),
- le secteur des "Gouttes - Roche Margot".

Les autres cibles avaient soit une superficie trop peu importante, soit supportaient des contraintes majeures.

1.2. Contraintes

Les gisements de granite de Senones correspondent en général à des forêts privées, situées en zones NC (*) du Plan d'Occupation des Sols de la commune. Aucune interdiction ne pèse sur ces secteurs du point de vue de l'ouverture des carrières. Néanmoins, du fait de la situation historique de Senones (Principauté de Salmes), l'extraction de granite en carrière devra tenir compte des contraintes paysagères, en d'autres termes les modalités du réaménagement devront être définies précisément.

(*) NC : protection de l'agriculture (ou sylviculture).

* Kersantite : roche sombre lamprophyrique à biotite et plagioclase.

1.3. Choix de la cible

1.3.1. Le secteur de la Guiche de Vimont

La photointerprétation a permis la détection des principaux accidents tectoniques qui présentent une grande hétérogénéité directionnelle, une seule famille de fracture se détachant nettement de l'ensemble est orientée N140°. Deux familles N80 à N110 et N30 à N60 sont également visibles quoique plus floues.

Ces éléments ont été corroborés par les données de terrain qui ont mis en évidence l'abondance de la fracturation à l'intérieur des carrières anciennement exploitées d'où la difficulté d'extraire des blocs unitaires marchands en quantité suffisante.

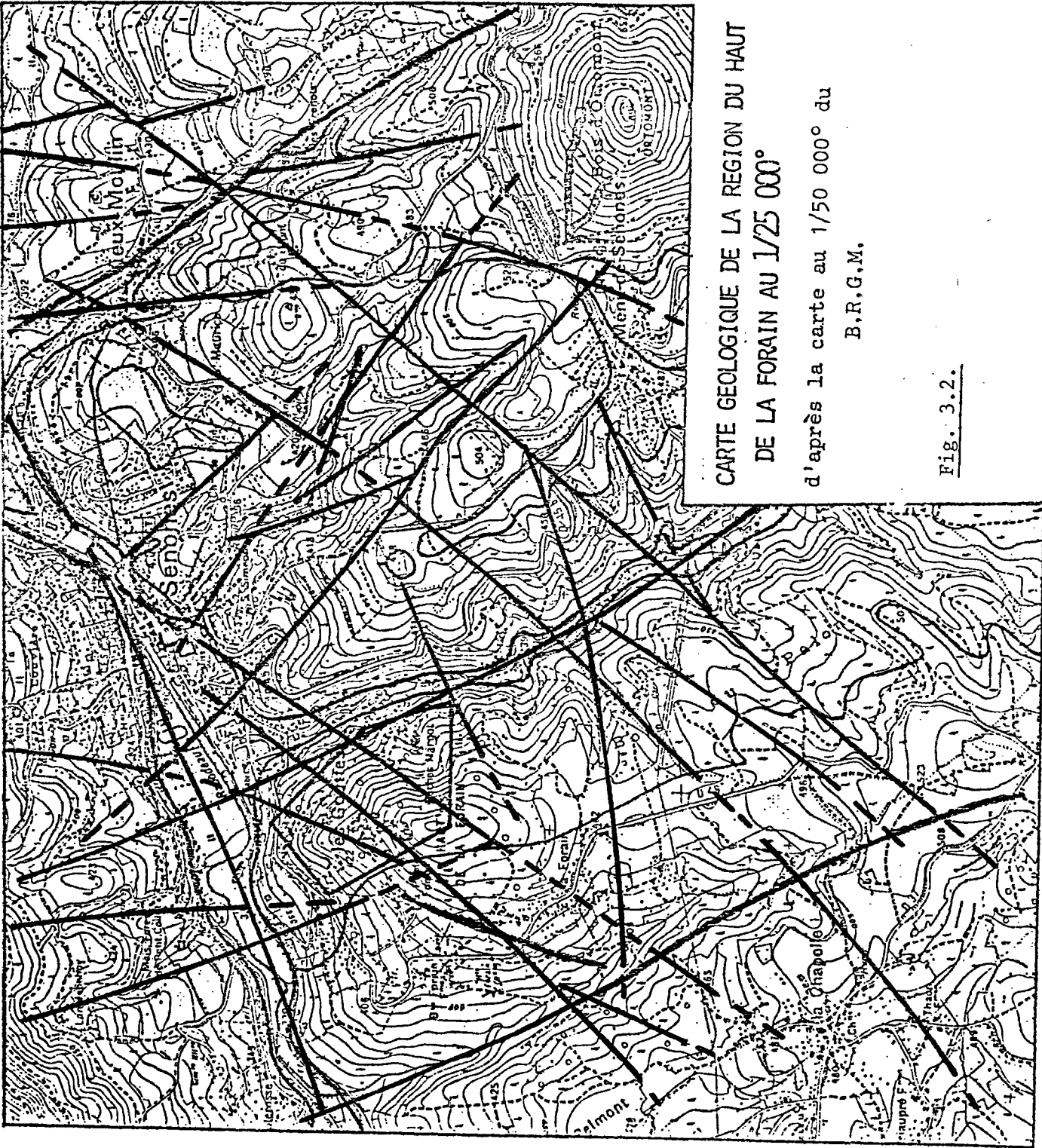
Ces éléments, conjugués à des problèmes d'environnement, voire sociologiques, nous ont conduit à abandonner ce secteur, d'autant que la superficie exploitable semble difficilement compatible avec une exploitation de type industriel.

1.3.2. Le secteur des Gouttes - Roche Margot

La photointerprétation a mis en évidence deux familles de discontinuités principales orientées N30 et N140°.

Le site a fait l'objet dans le passé d'extractions artisanales nombreuses et la seule exploitation permanente, actuellement poursuivie, se localise dans ce secteur (figure 3.1).

Les blocs supérieurs au m³ sont abondants, la fracturation est lâche aussi la qualité des affleurements et l'organisation de la fracturation nous ont-ils conduits à choisir ce secteur pour une étude plus approfondie, d'autant que la zone "a priori" exploitable est importante.



CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DU HAUT
DE LA FORAIN AU 1/25 000°

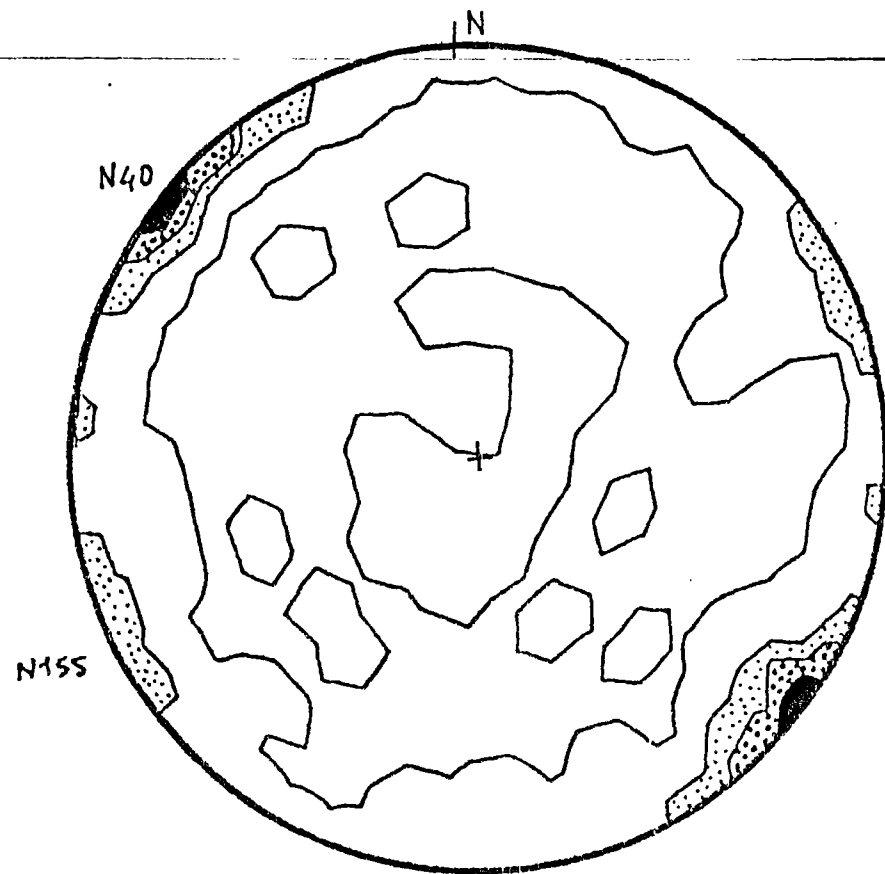
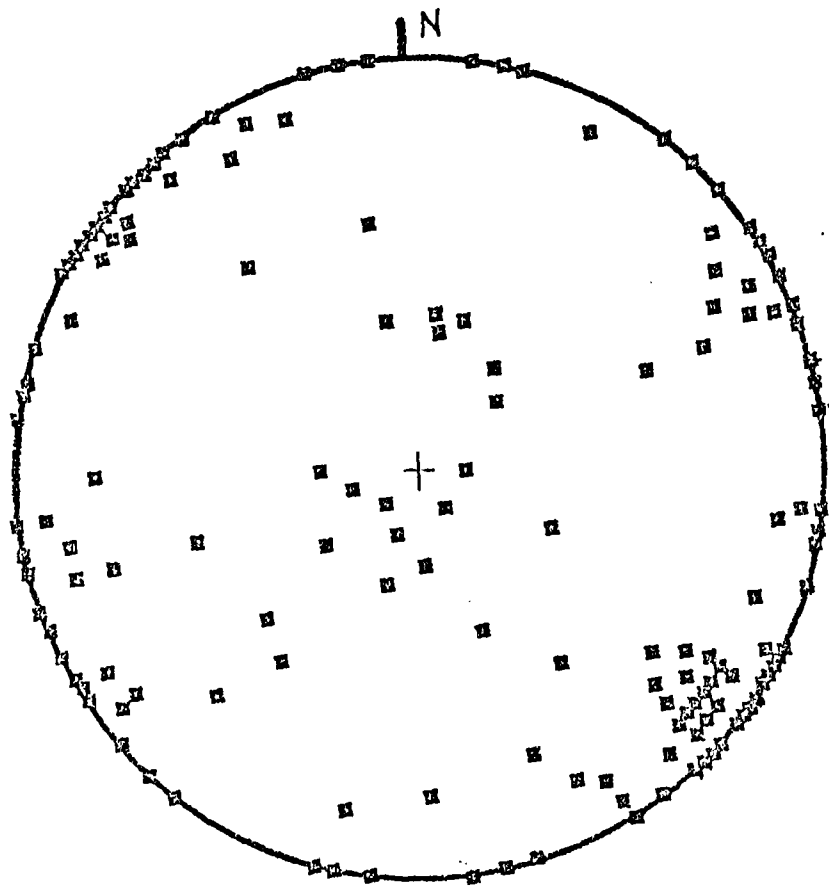
d'après la carte au 1/50 000° du
B.R.G.M.

Fig. 3.2.

1.4. Caractéristiques du Massif de Senones

Le granite de Senones est particulièrement sensible aux phénomènes d'altération superficielle, liés aux agents atmosphériques. L'arénisation en boule peut atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur ; la roche devient meuble, sableuse, elle est parfois appelée "crassin". Les boules de granite sain qu'elle renferme font l'objet d'une exploitation intensive, d'autant que certaines atteignent parfois des dimensions considérables (8 m de diamètre) et qu'elles sont faciles à extraire. Ce crassin peut faire l'objet d'une utilisation secondaire comme tout-venant (remblai, chemin de terre).

Sur les pentes, on peut rencontrer des boules rapportées provenant des zones supérieures et masquant les affleurements en place, ce qui constitue un handicap sérieux pour la cartographie.



0% 10%

5% 15%

Fig. 3.3 - Fracturation dans le secteur "Les Gouttes - Roches Margot"
Hémisphère inférieur 128 mesures

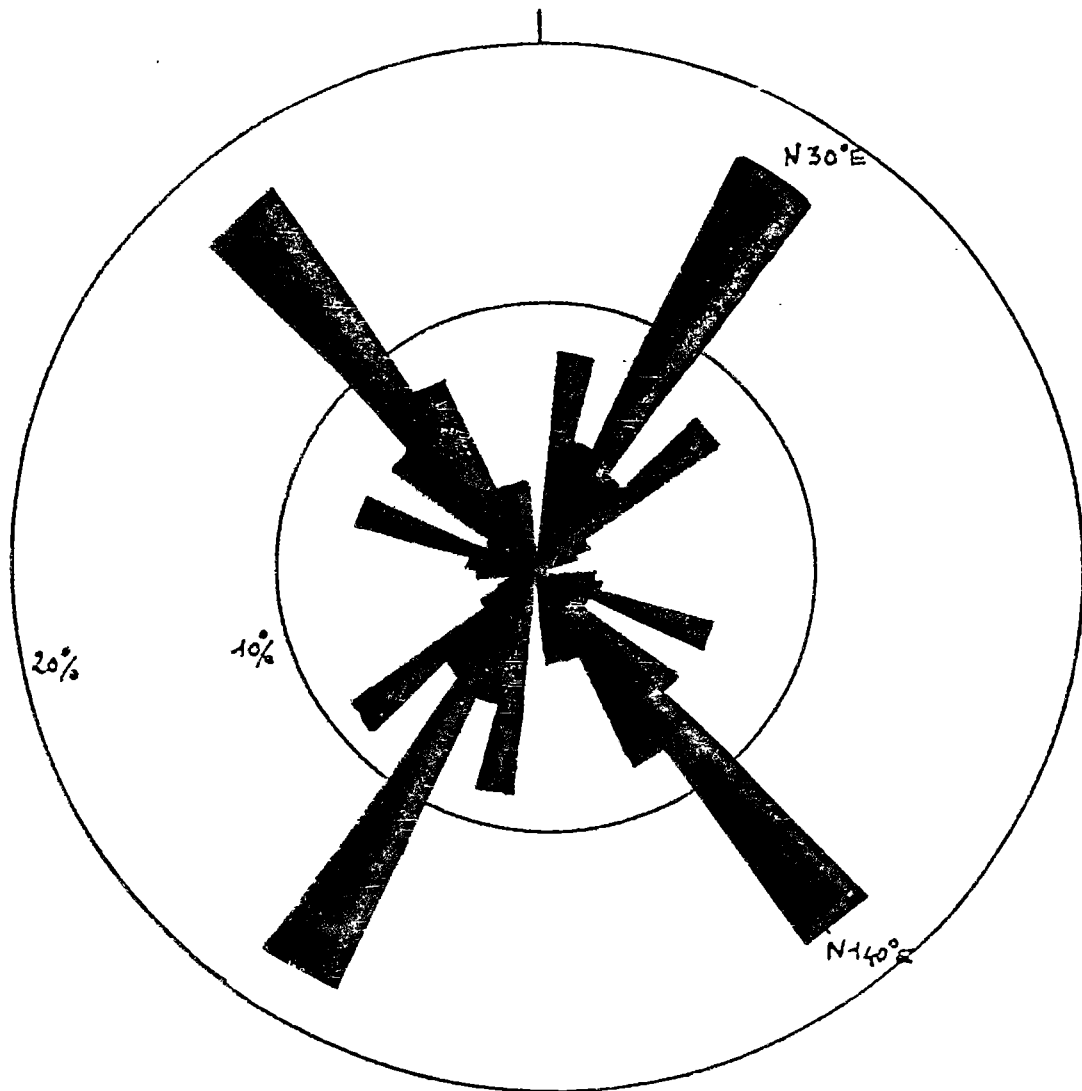


Fig. 3.4. - Analyse directionnelle de l'interprétation photo-aérienne par la méthode des longueurs cumulées. Secteur des "Gouttes Roches Margot".

2 - ETUDE DU GISEMENT -

2.1. Analyse structurale

Les manifestations tectoniques sont moindres qu'au sein du Massif des Crêtes, aussi l'analyse structurale proprement dite fut-elle relativement limitée.

Les principales discontinuités sont représentées figure 3.2 telles que Monsieur Ph. BLANCHARD les a relevées à la photographie aérienne, l'analyse directionnelle schématisée figure 3.3 montre les familles principales orientées N30 et N140°.

Le lever détaillé des principales discontinuités à l'échelle du gisement a été fait dans la limite des affleurements observables. L'ensemble représenté sur la carte synthétique de l'annexe 7 montre clairement que la densité des fractures ne constitue pas un handicap majeur pour l'exploitant.

On remarque, en moyenne, une faille tous les 50 à 100 m suivant les deux directions précédemment mentionnées.

Ceci étant leur influence est généralement plus importante qu'au sein du Massif des Crêtes. Elles ne constituent pas une simple discontinuité mais favorisent surtout la progression de l'altération météorique, notamment dans certaines configurations géomorphologiques particulières, conformément au modèle suivant.

Modèle géomorphologique :

Un certain nombre de fronts de carrière (petites carrières du Nord-Ouest des Gouttes, carrière Alexandre) sont recoupés par des zones broyées. L'observation de ces zones broyées, de la répartition et de la grosseur des boules, de la progression de l'altération est schématisée sur la figure 3.4 et comporte trois stades :

1er stade : les contraintes régionales fracturent le massif provoquant l'apparition de zones broyées et de diaclases, il y a individualisation de compartiments limités par des discontinuités majeures.

2ème stade : l'altération par circulation d'eau météorique progresse par les diaclases et les roches broyées, amenant la formation de boules et d'arènes. Plus en profondeur, les circulations d'eau deviennent moins importantes et le granite est moins altéré, plus massif. Il faut remarquer, de plus, que s'il y a une pente morphologique, la zone broyée arénisée va servir de drain permettant la progression de l'eau beaucoup plus en profondeur dans le compartiment inférieur et donc augmenter d'autant l'altération.

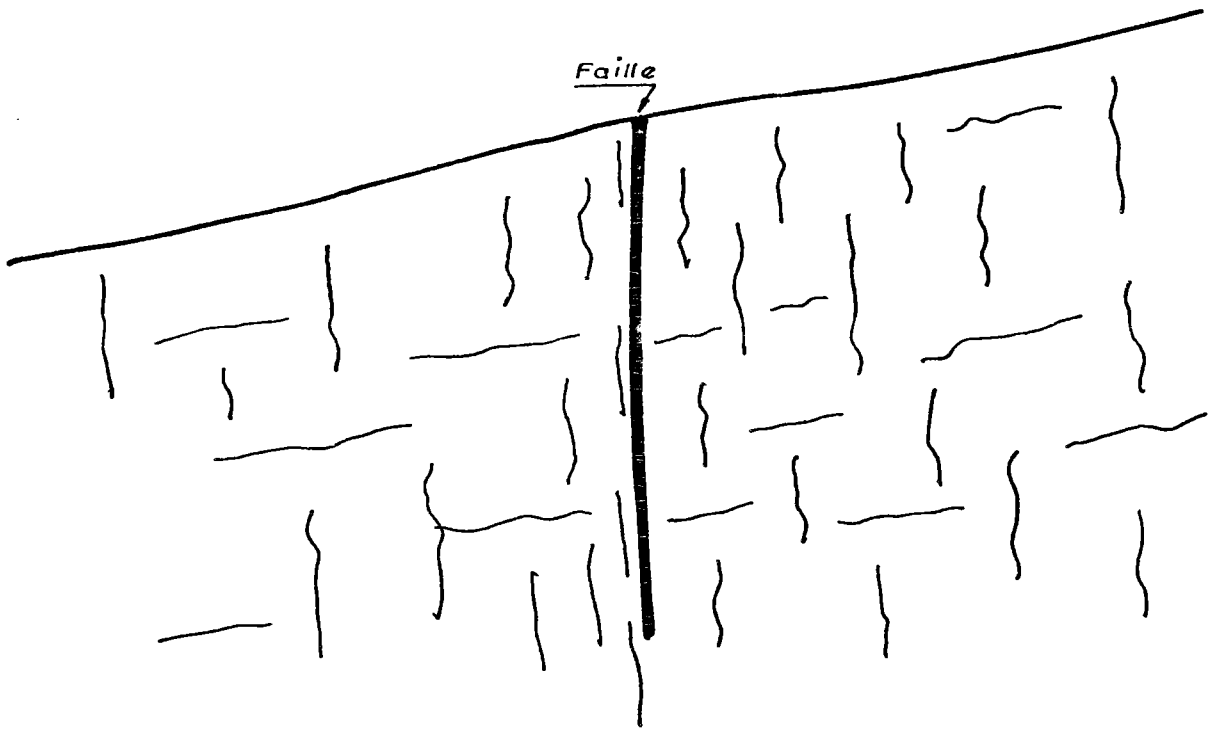
3ème stade : les problèmes apparus au cours des sondages nous amènent à modifier les modèles précédemment émis. Il semble qu'il puisse y avoir des glissements de la partie partiellement arénisée du compartiment supérieur sur la zone broyée et sur le compartiment inférieur. Dans ce cas, il devient très difficile sinon impossible de voir les zones broyées.

Sans pouvoir tenir compte de ce dernier phénomène, nous avons établi une cartographie morphologique du secteur "Les Gouttes - Roche Margot" au 1/25 000ème.

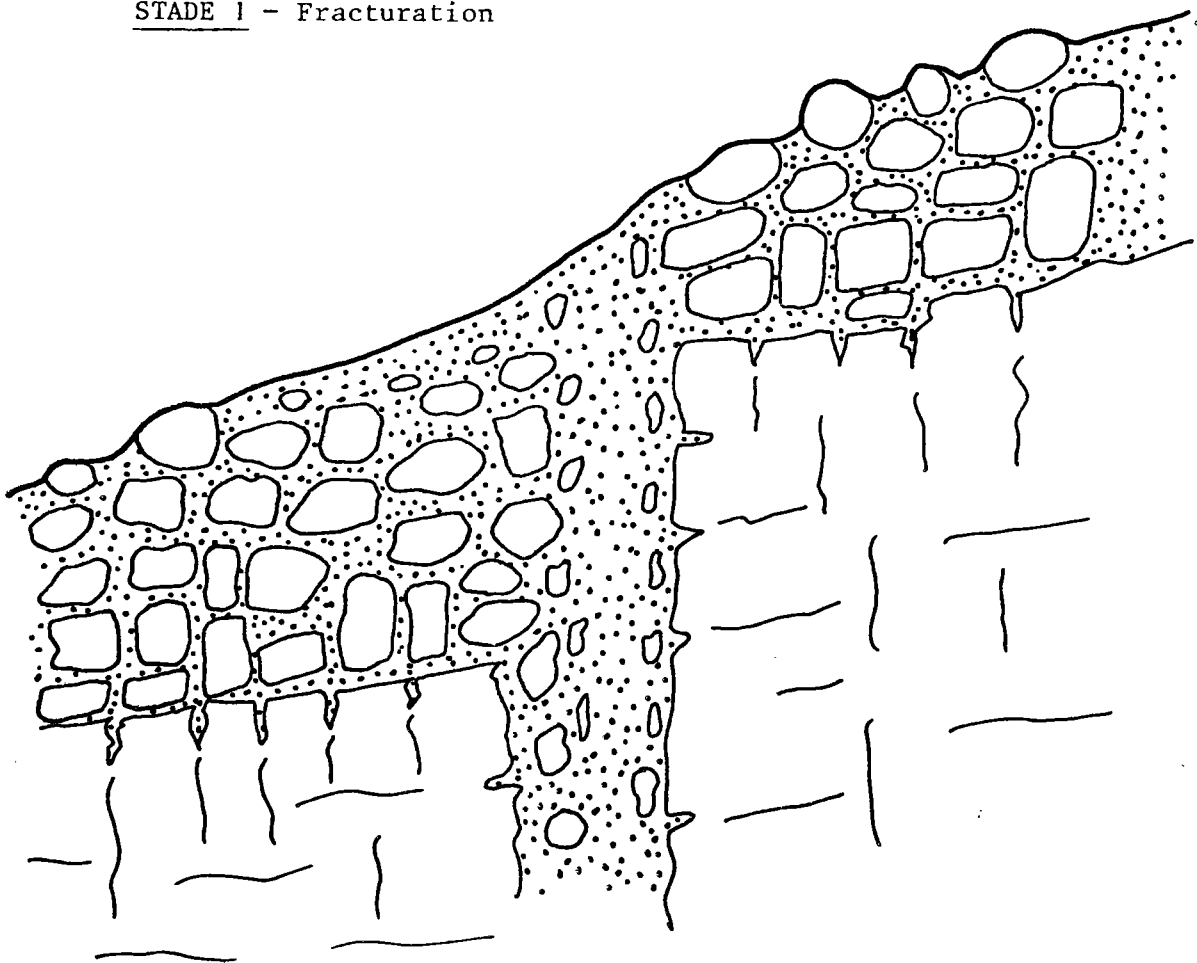
2.2. Cartographie géomorphologique

Nous avons distingué deux secteurs :

- les "Gouttes" : situé au Nord de la carrière actuellement en exploitation, il comprend en outre la carrière Alexandre ;
- "Roches Margot" : ce secteur comprend l'actuelle exploitation et la carrière des "Roches Margot".



STADE 1 - Fracturation



STADE 2 - Arénisation et formation des boules résiduelles plus abondantes à l'aval

Fig. 3.5.

Le secteur des "Gouttes" présente une forte arénisation. Les zones à boules affleurantes sont de faible dimension. Les boules sont de diamètre réduit (de l'ordre du mètre) ; de plus, la pente est généralement assez faible, et il faut noter la présence de tranchées et d'ouvrages fortifiés datant de la première Guerre Mondiale qui ont perturbé les conditions naturelles d'affleurement.

Le secteur des "Roches Margot" a été délimité en deux sous-secteurs : le secteur du Sud du ruisseau et celui au Nord comprenant l'exploitation actuelle.

Le secteur Sud, comprenant la carrière des "Roches Margot" est assez restreint, d'une part à cause de la zone broyée N40E empruntée par le ruisseau, d'autre part à cause de la faille N150E passant à une centaine de mètres à l'Ouest du front de la carrière.

Le secteur Nord présente deux zones d'assez grande extension, riches en boules, pouvant atteindre plusieurs dizaines de m³. C'est à cet endroit que nous avons vu les plus grosses de la région. De plus, la majorité de ces boules est de couleur "rouge corail", nuance qui est la plus recherchée par les granitiers. Une faille N150E sépare ces deux zones favorables.

Plus au Nord, les compartiments sont beaucoup plus petits et probablement plus broyés comme le montre le front de la carrière actuellement exploitée.

L'ensemble de ces critères nous a amené à définir un secteur favorable pour l'exploration géophysique, situé au Sud-Ouest de la carrière exploitée.

2.3. Prospection géophysique

2.3.1. Consistance de l'expérimentation

L'expérimentation menée par le Département Géophysique du B. r. g. m. a comporté :

- un lever topographique détaillé au topofil et à la boussole sur les cheminements étudiés ;
- trois dispositifs paramétriques avec enregistrement des composantes verticales et horizontales ;
- six dispositifs de 200 m de long ;
- un dispositif de 120 m de long.

En outre, la vitesse théorique a été déterminée sur bloc marchand et les dispositifs habituels, entre surface - sondage et sondage - sondage, déjà décrits dans le deuxième chapitre, fig. 2.12, ont été utilisés dans certains cas.

2.3.2. L'altération superficielle

La chute de la vitesse sismique est imputable en premier lieu au développement de l'altération superficielle, les phénomènes tectoniques originaux comme les failles et autres discontinuités jouent de ce point de vue un rôle secondaire.

Ceci explique l'existence quasi générale de trois marqueurs sismiques caractérisés par les vitesses suivantes :

- le recouvrement = 300 à 600 m/s,
- la zone intermédiaire, de 1 000 à 2 000 m/s, plus ou moins développée suivant l'arénisation ; elle contient les boules actuellement exploitées,
- la zone saine, profonde, où la vitesse sismique dépasse 4 600 m/s.

On constate, d'une façon générale, que le granite sain n'est jamais rencontré avant 20 m de profondeur et parfois 40 m, ce qui est tout à fait considérable.

Ceci dit, la zone Nord, présumée favorable à la lumière du modèle géomorphologique, a un recouvrement "minimum" propice à l'exploitation.

2.3.3. Caractérisation du granite homogène profond

La carrière actuellement exploitée par l'Entreprise Migliarini a fait l'objet d'une étude approfondie en raison de sa position topographique favorable et du degré d'avancement des travaux favorisant l'observation.

Le sondage destructif incliné, effectué en fond de carrière, présente l'avantage de commencer dès le premier mètre dans du granite sain, sous un recouvrement plus ou moins arénisé de quelques trente mètres.

Au sein de ce sondage, nous avons trouvé :

$$V_p = 5\ 000\ \text{m/s}$$

$$V_s = 2\ 300\ \text{m/s}$$

soit un rapport $V_s/V_p = 0,46$ ce qui traduit l'existence d'une roche tout à fait saine.

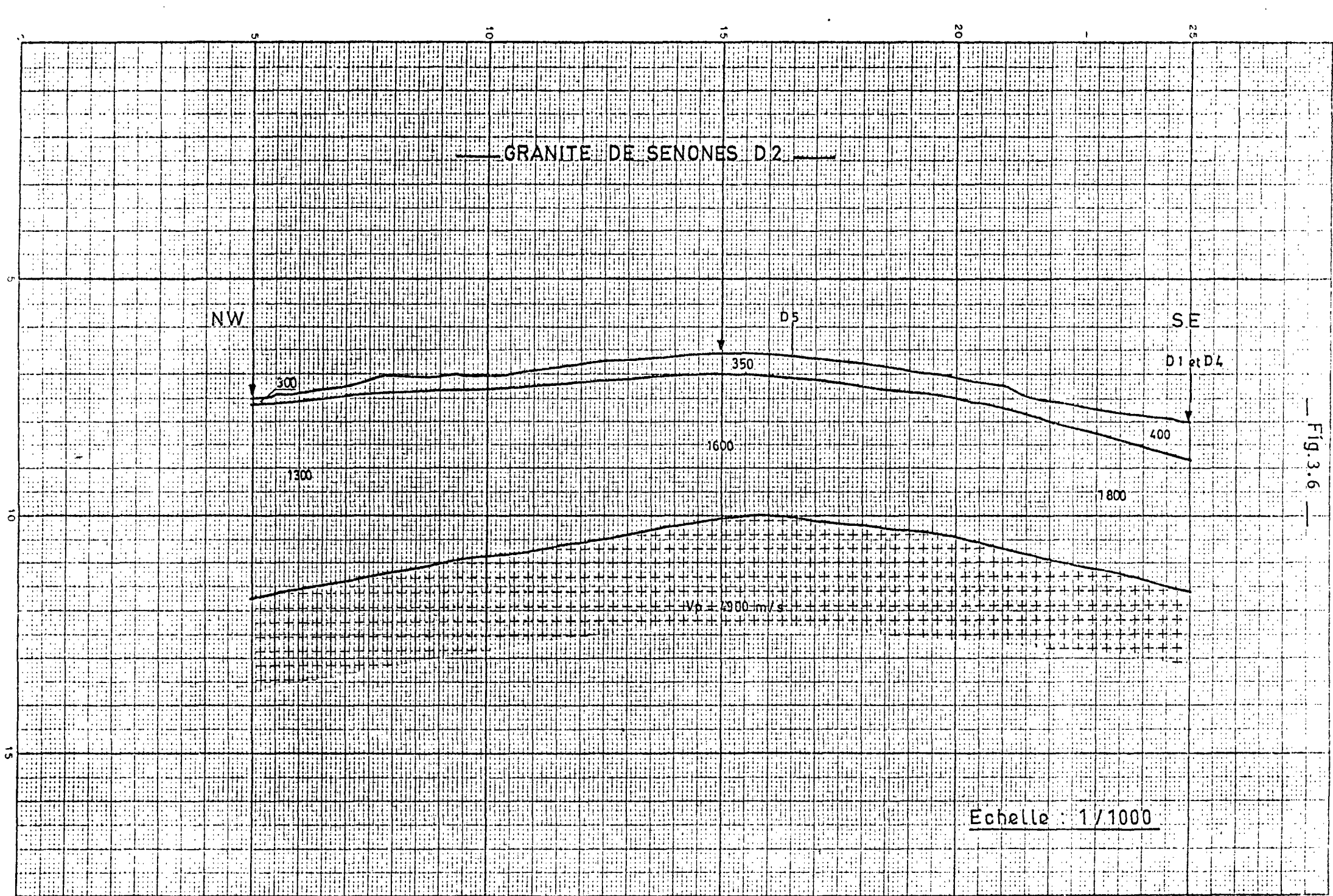


Fig. 3.6

Par ailleurs, des mesures inter-sondages ont permis d'estimer les vitesses des ondes longitudinales à $5\ 000\ \text{m/s} \pm 500\ \text{m/s}$ entre S2 et S3 avec un rapport $V_s/V_p = 0,50 \pm 0,05$.

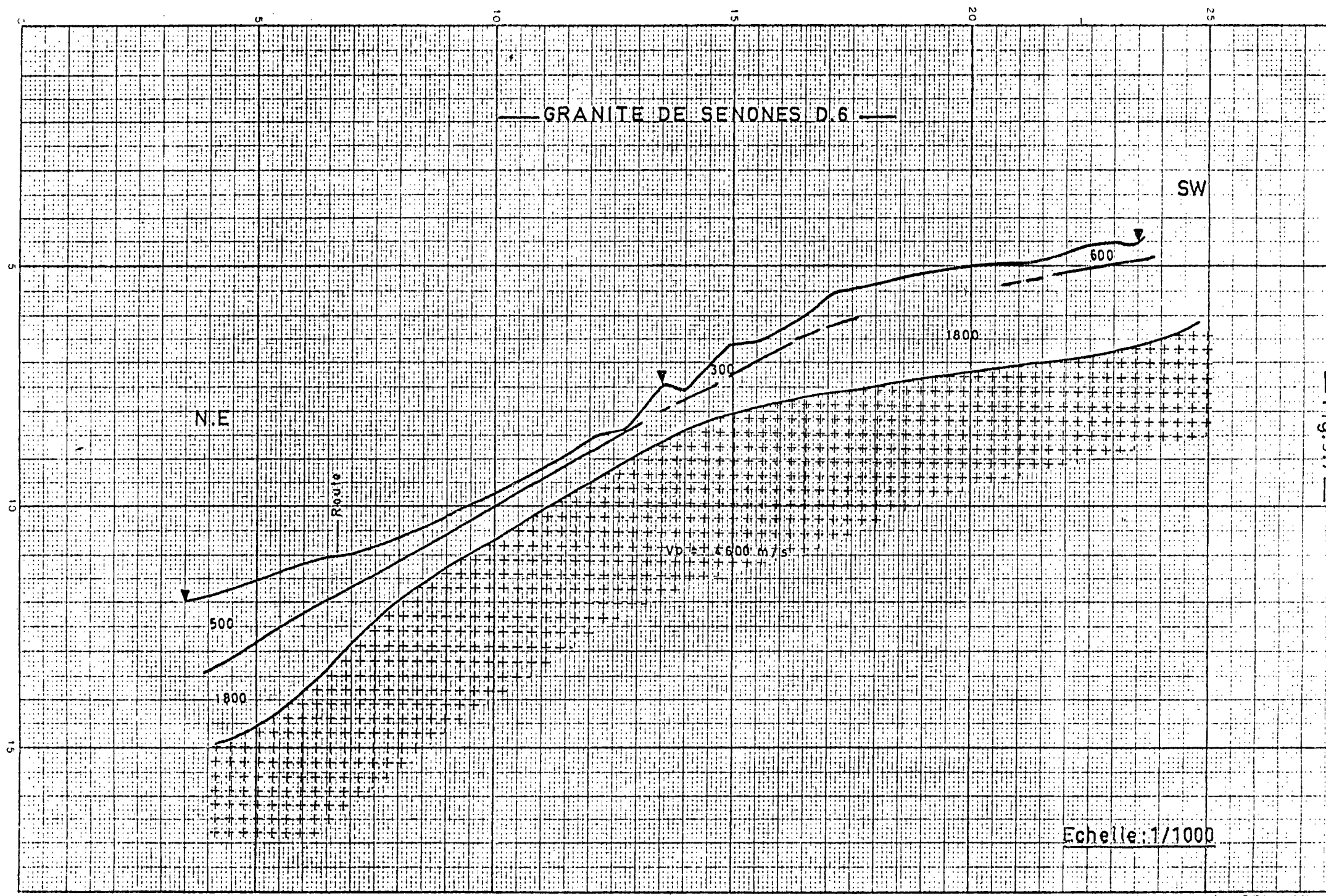
Ces valeurs sont comparables à celles de l'étalonnage sur le bloc de granite marchand prêt à la livraison et sont propices à l'exploitation, du point de vue sismique. Il faut noter cependant que ce seul critère ne permet pas de distinguer les faciès granitiques des anomalies pétrographiques comme la Kersantite.

2.3.4. Conclusion sur la caractérisation géophysique

Il s'avère que les formations superficielles arénisées ont un développement peu commun sur le site de Senones. Cette disposition est liée d'une part à la susceptibilité de ce type de granite vis-à-vis de l'altération, d'autre part à une situation géomorphologique particulière, conformément au schéma théorique de la fig. 1.3 chapitre 1 (où nous avons explicité l'abondance des formations de pentes, au bas de celles-ci). Les profils sismiques, obtenus à partir des dispositifs D2 et D6, représentés fig. 3.6/3.7 prouvent la validité de ce modèle : lorsque le substratum est subhorizontal ou peu penté, les formations superficielles sont abondantes.

Aussi convient-il d'orienter la future exploitation vers les sommets de pentes où l'épaisseur des arènes et du crassin diminue graduellement, sans toutefois aller sur le plateau.

Les formations stériles ne sont pas un handicap dans le cadre d'une exploitation industrielle, mécanisée, car l'absence de cohésion facilite les terrassements.



— Fig. 3.7 —

2.5. Principaux résultats des sondages mécaniques

Les sondages confirment les hypothèses précédentes, à savoir :

- surépaisseur des formations arénisées renfermant des boules de granite sain ;
- présence sous ce recouvrement d'un granite homogène et sain c'est-à-dire sous 20 à 30 m.

Les coupes géologiques détaillées sont données intégralement en annexe 3.

Une anomalie importante a été détectée en sondages carottés (SC1 et SC2) sous la forme d'un filon de Kersantite très développé. Ce filon invisible à l'affleurement fait plusieurs mètres d'épaisseur, mais nous n'avons pas d'éléments concernant sa direction. Cette roche, dite "pierre de route", constitue un handicap majeur pour une exploitation artisanale, non mécanisée ; mais son degré de fissuration marqué la rend propice à un déroctage sans explosif.

3 - REMARQUES CONCERNANT LA PETROGRAPHIE DU GRANITE DE SENONES -

3.1. La couleur du granite

Le granite de Senones a été défini comme un granite à biotite et amphibole, grenu à structure équanté(*). On distingue classiquement :

- la variété "rouge corail", la plus foncée,
- la variété "feuille morte", la plus claire,
- la variété "rosé", intermédiaire.

Nous nous sommes intéressés à l'origine de la couleur des différentes variétés de cette roche. D'après Monsieur Cl. GAGNY, trois facteurs contribuent à cette différenciation :

- les compositions minéralogiques diffèrent quelque peu, les minéraux ferro-magnésiens sont d'autant plus présents que le granite est sombre ;
- de même, les minéraux opaques, moins riches en fer, sont plus représentés dans le "rouge corail" ;
- enfin, les phénomènes d'altération, précoces, intervenant peu après la mise en place du magma, sont prédominants.

Ainsi les plagioclases, les feldspaths potassiques mais aussi le quartz voient leur couleur légèrement modifiée du fait d'une altération à haute température survenue en fin de cristallisation.

Les études géochimiques présentées en annexe 5 et basées sur une dizaine d'analyses chimiques prouvent l'influence du fer et de la forme minérale sans laquelle il cristallise (FeO , Fe_2O_3). La variété "rouge corail" est plus riche en Fe_2O_3 que la "feuille morte".

(*) Homogène, isotrope.

On peut supposer que cette dernière représente un faciès moins "basique" que le rouge corail qui occuperait ainsi une position "basse" dans le massif.

Malheureusement, aucune règle décisionnelle n'a pu être élaborée et à l'heure actuelle rien ne permet la zonéographie de ces différents faciès à l'intérieur du massif.

3.2. Les anomalies au sein du massif

3.2.1. Les enclaves

Les enclaves extérieures au magma, incorporées ou digérées par celui-ci lors de sa mise en place, sont exceptionnelles. Les enclaves dites "micro-grenues" provenant du magma lui-même sont plus fréquentes mais de petites tailles (3 à 4 cm) et ont été rarement observées.

Les anomalies, peu nombreuses, ne constituent pas vraiment un handicap sérieux pour le carrier. En l'état actuel de nos connaissances du granite de Senones, il est impossible de prévoir en-dehors des régions bordurières du massif les zones présentant soit beaucoup, soit peu d'enclaves.

3.2.2. Les filons

Des anomalies filoniennes, essentiellement de Kersantite (*) ont été découvertes.

Monsieur A. NICOLAS a mentionné sur la carte géologique éditée par le B. r. g. m., trois filons de Kersantite dans la région des Gouttes - Roche Margot". Malheureusement, aucune trace n'a été retrouvée à l'affleurement ni par Monsieur J. Ph. BLANCHARD du Laboratoire de Pétrologie, ni par le B. r. g. m. Par contre, quelques pierres volantes, de fréquence variable, constituent des indices mais rendent impossible la cartographie.

(*) les Kersantites sont des roches brun-sombre, parfois rouge ou verdâtre, massives, à grain fin, contenant de grosses paillettes de biotite (micas noir). Le fond de la roche est constitué de plagioclases, de feldspath alcalin et de fines paillettes de biotite avec du calcite en phase intersticielle.

Il semble que deux zones pourraient être particulièrement riches en filons de cette roche :

- la première, une vingtaine de mètres à l'Ouest de l'entrée du chemin d'accès aux carrières, c'est-à-dire très largement en-dehors du secteur retenu ;
- une deuxième au-dessus de la carrière des Roches Margot.

Les sondages SC1 et SC3 ont recoupé un important filon. Malgré une cartographie fine de surface, aucune trace affleurante n'a été détectée, ce qui peut signifier :

- soit que le filon est subparallèle à la pente (mais il n'apparaît pas sur les fronts de taille actuels) ;
- soit, plus vraisemblablement, que la partie superficielle est recouverte par des formations de pente.

4 - CONCLUSION CONCERNANT LE MASSIF DE SENONES -

Le Massif de Senones est de dimensions réduites, du point de vue de l'exploitabilité. Compte-tenu des résultats des phases précédentes de l'étude et, notamment, du deuxième inventaire, complétés par les observations nouvelles relatives à l'état de fracturation, il apparaît qu'un seul secteur dit de "La Forain" (les Gouttes - Roche Margot) est susceptible d'être exploité industriellement.

Les réserves supposées sont importantes mais les difficultés liées au développement spectaculaire de l'arénisation en boules supposent la mise en oeuvre de moyens mécanisés adaptés.

Dans l'état actuel des exploitations, il apparaît que seule la tranche superficielle, dite du "crassin", et renfermant quelques grosses boules de granite sain, est utilisée.

Une amélioration substantielle du rendement pierre nécessite impérativement l'approfondissement des zones d'extraction, entre 30 et 50 m par exemple, où le granite apparaît sain, homogène, non arénisé ($V_p > 5\ 000$ m/s).

Ceci suppose la mise en oeuvre de moyens modernes autorisant dans une première phase le terrassement (engins traditionnels de travaux publics) et dans une seconde phase, au sein du massif sain, le déroctage et un minage rationnel.

La gestion des stériles doit être clairement définie (vente de tout-venants, voire de granulats, mais aussi réaménagement des excavations) et les exploitations menées parallèlement par gradins superposés, les stériles des exploitations supérieures pouvant servir au réaménagement des carrières sous-jacentes.

Les anomalies pétrographiques décelées en sondages (Kersantite) sont inquiétantes et sont un handicap quasi insurmontable pour un artisan. Par contre, dans le cadre d'une exploitation moderne cet aléa peut être rapidement franchi. Rien ne permet de supposer que leur fréquence soit élevée. Au contraire, le fait qu'aucun affleurement n'apparaisse ni sur le terrain naturel, ni sur les fronts de taille semble indiquer que ces filons ne constituent qu'un épisode malchanceux dans la reconnaissance effectuée, épisode imprévisible du fait du recouvrement superficiel de pente masquant les structures.

CHAPITRE 4

CONCLUSION GENERALE

- 1 - Remarque préliminaire
- 2 - Concernant le granite des Crêtes
- 3 - Concernant le granite de Senones
- 4 - Aspects communs aux deux gisements
 - 4.1. Problèmes d'exploitation
 - 4.2. Problèmes d'abattage
 - 4.3. Problèmes liés aux débouchés
 - 4.4. Perspectives

CHAPITRE 4

CONCLUSION GENERALE

1 - REMARQUE PRELIMINAIRE -

Les éléments recueillis au cours de cette étude constituent un ensemble abondant, parfois volumineux, au sein duquel il peut être difficile au non spécialiste de retrouver les données nécessaires pour lui permettre d'établir son diagnostic.

Nous nous proposons dans les pages suivantes d'extraire l'essentiel, non pas des données purement techniques, mais plutôt de l'esprit dans lequel le problème de l'exploitation des granites pourrait être actuellement abordé.

Il est certain que la complexité des massifs structuraux étudiés, tant du point de vue pétrographique que tectonique, rendent les conditions de réalisation d'une telle simplification difficiles, surtout si l'on veut comparer les deux granites qui présentent peu de points communs.

2 - CONCERNANT LE GRANITE DES CRETES -

L'étude a mis en évidence une zone d'environ 2 ha où le granite est subaffleurant et qui correspond à une butte dans la topographie, au lieu-dit "La Roche des Bioquets", à proximité du Col de Grosse Pierre.

Du point de vue de la fracturation, cette zone est moins affectée que le reste du massif mais des "couloirs" tectoniques sont individualisés suivant des directions privilégiées. Ces couloirs sont aisément détectables et ne constituent pas un obstacle majeur. Il s'avère que la proximité immédiate d'une faille, même de grande importance, ne gêne en rien l'exploitation dans la mesure où elle n'induit pas nécessairement une micro-fissuration à sa périphérie.

Au contraire, l'essentiel de la déformation a dû être "encaissé" par cette discontinuité majeure, préservant son environnement. Bon nombre d'anciennes exploitations ont été ouvertes perpendiculairement aux plans de failles, ce qui permettait par ailleurs aux granitiers d'être dans le "droit fil".

Au sein de la zone "a priori" favorable, il s'avère que les vitesses sismiques sont élevées :

$$\begin{aligned} V_p &> 5\,000 \text{ m/s} \\ V_s/V_p &< 0,6. \end{aligned}$$

Ce qui traduit l'existence en profondeur d'un granite sain, peu fracturé. Toutefois, il faut noter que les dispositifs sismiques utilisés, s'ils permettent d'affirmer l'absence de grandes fractures, n'autorisent pas en revanche à porter un jugement sur la micro-fissuration se développant à l'échelle métrique.

A la lumière des relevés superficiels et si ceux-ci sont représentatifs du massif, on estime que la distribution du bloc unitaire naturel est du type log. normal d'où la possibilité de calculer la probabilité d'extraction d'un bloc ayant un certain volume, d'après le graphique de la figure 2.20.

Les résultats sont encourageants et certainement supérieurs à la moyenne habituellement rencontrée dans les zones d'extraction habituelles.

Il est clair que l'approfondissement de l'exploitation est favorable et même impératif :

- la fréquence de la fracturation horizontale décroît d'où augmentation du bloc moyen ;
- l'influence de l'altération météorique est de moins en moins sensible.

D'un point de vue pétrographique, les progrès à caractères méthodologiques sont notables :

- mise en évidence des litages magmatiques,
- meilleure connaissance des différents faciès, en particulier de faciès "rouge".

En sondage, cinq litages ont été détectés pour 85 m de carottes, ce qui correspond à une anomalie tous les 17 m, chacune ayant en moyenne une épaisseur métrique. La notion de litage est toute récente et évolutive.

Ces perturbations constituent un handicap sérieux pour un artisan :

- le rendement pierre chute,
- il se pose de gros problèmes d'extraction.

Les enclaves et autres anomalies sont importantes. Ces accidents. constituent à notre sens le problème le plus préoccupant du granite des Crêtes. Leur fréquence d'apparition dans la zone des Bioquets est du même ordre que celle usuellement rencontrée au Col de Grosse Pierre.

A priori, il semble illusoire d'espérer trouver des secteurs plus favorables de ce point de vue.

L'environnement immédiat du secteur déterminé est peu favorable et n'est pas susceptible d'une extension.

Le gisement, de 2 ha, s'enfonce au Nord-Est sous une épaisse couverture superficielle, altérée, de quelques 30, voire 40 m d'épaisseur, alors que le Nord-Ouest est une zone dite d'"émission", c'est-à-dire particulièrement tourmentée dans sa composition pétrographique.

En revanche, le secteur est invisible des principales voies de communication et de La Bresse, les problèmes d'environnement sont donc minimes.

D'un point de vue général, il est clair que seule une exploitation intensive, hautement mécanisée, peut être rentable. Ceci signifie :

- un approfondissement des zones d'extraction en gradins successifs, jusqu'à 50 m environ,
- une technique d'abattage nouvelle pouvant s'inspirer de l'exemple de certains granitiers bretons,
- en outre, il convient de gérer les stériles rationnellement c'est-à-dire en intégrant aux plans d'exploitation le souci du réaménagement à l'avancement et surtout en recherchant à les valoriser.

3 - CONCERNANT LE GRANITE DE SENONES -

Le Massif de Senones a fait l'objet d'une extraction abondante dans le passé. Les carrières les plus nombreuses et les plus importantes ont précisément été ouvertes au sein du secteur que nous recommandons (8 carrières sur 25).

Ceci s'explique probablement par la proximité de Senones mais aussi par la qualité du granite et par une fracturation relativement lâche par rapport à d'autres emplacements, la Guiche de Vimont par exemple.

Les réserves sont très importantes mais souvent inaccessibles, ce qui nécessitera la création d'un réseau d'infrastructures cependant limitées.

Du point de vue de la fracturation, le secteur est favorable ; les failles majeures existent mais sont peu fréquentes. Il nous semble que cet aspect est relativement mineur.

Du point de vue pétrographique, les anomalies du type crapaud, enclave, ne constituent pas un obstacle notable.

En revanche, les sondages ont rencontré par deux fois un important filon de Kersantite (pierre de route). Cette anomalie peut caractériser un faciès granitique de bordure mais est considérée comme un épisode malchanceux. En effet, à l'affleurement, hormis quelques pierres volantes, nous n'avons jamais décelé d'autres filons de ce type.

Par ailleurs, les fronts d'exploitation actuels et anciens, au nombre de 8, ne présentent pas d'anomalies majeures.

L'altération est la principale caractéristique du Massif de Senones. L'arénisation, c'est-à-dire la déstructuration progressive de la roche qui perd sa cohésion et se transforme en sable (crassin) contenant quelques boules résiduelles, peut concerner une tranche de 10 à 30 m d'épaisseur. Jusqu'à présent les carrières exploitaient largement ces boules en raison de leur qualité et des facilités d'extraction. Les volumes des stériles concernés sont tout à fait considérables. L'augmentation du rendement pierre nécessite là encore un approfondissement des zones d'extraction qui devront se localiser au sein de la roche massive, caractérisée par des fortes vitesses sismiques (5 000 m/s et d'avantage) par rapport aux zones de crassin (2 000 m/s).

D'un point de vue général, les conditions sont propices à une exploitation industrielle mais :

- aucun site ne nécessite autant de moyens mécanisés, en raison de l'importance des stériles ;
- la rentabilisation des investissements suppose la valorisation de ces stériles, déchets et petits blocs, soit comme tout-venants, soit comme granulats.

4 - ASPECTS COMMUNS AUX DEUX GRANITES -

4.1. Problèmes d'exploitation

Les problèmes liés à l'exploitation du granite des Crêtes sont relatifs :

- à la fracturation,
- aux anomalies pétrographiques.

Les phénomènes d'altération étant minimes.

Au contraire, le granite de Senones est surtout caractérisé par l'arénisation du massif, ce qui accroît le pourcentage de stériles.

A priori, les deux gisements posent donc des problèmes bien distincts, cependant il apparaît une solution commune, basée sur la mécanisation, autorisant un approfondissement important.

En effet, l'approfondissement permet dans les deux cas d'augmenter le rendement pierre :

- au sein du Massif des Crêtes, on quitte la tranche superficielle pour atteindre la roche "saine" où la fracturation subhorizontale s'estompe graduellement ;
- au sein du Massif de Senones, on quitte le domaine de l'arénisation.

Cependant, l'approfondissement n'a "a priori" aucune incidence sur les aspects pétrographiques.

4.2. Problèmes d'abattage

Il est clair que les carriers actuels utilisent des techniques d'extraction conventionnelles, caractérisées par :

- l'emploi d'un explosif déflagrant,
- parfois, l'emploi de coins mécaniques.

En outre, la fracturation existante conditionne le schéma d'exploitation, toujours défini à court terme, ce qui rend la géométrie du front d'exploitation tourmentée et qui laisse subsister des blocs résiduels, gênant le chantier.

L'extraction sens strict se traduit par la mise en place d'échafaudage, de tirs complémentaires dangereux, de poutres de retour, etc...

Il importe d'élaborer une technique d'abattage permettant l'obtention de plans réguliers permettant le travail des engins, avec gradins superposés où plusieurs chantiers simultanés puissent se développer.

La gestion des stériles doit être définie à long terme. Trop de carrières sont tributaires d'anciens stocks de déchets qui gênent, voire gèlent totalement l'exploitation et surtout empêchent l'approfondissement.

Les techniques traditionnelles ont pour conséquence une diminution du rendement et rendent le travail fastidieux, pénible pour les carriers.

Des techniques modernes d'extraction sont en cours d'étude dans certaines régions françaises, par l'emploi judicieux d'explosifs détonnants elles permettent des tirs de masses importantes (10 000 T) tout en assurant un décollage de la masse du front granitique. Il convient de faire un effort spectaculaire dans cette voie. Cette amélioration, en rendant le travail moins pénible, est susceptible de rajeunir la profession.

4.3. Problèmes liés aux débouchés

Il a été montré que la probabilité d'obtention d'un bloc d'un certain volume (*) diminue de façon exponentielle lorsque celui-ci augmente.

Le marché actuel, tributaire à 85 % du funéraire, impose des normes sévères. L'accroissement du rendement pierre serait spectaculaire (x 5) si le marché du bâtiment et des travaux publics s'ouvrait à ce produit. Le granite Vosgien serait alors très compétitif d'autant que l'influence des anomalies pétrographiques serait moins contraignante*.

4.4. Perspectives

Le Massif Vosgien est relativement défavorisé par rapport aux autres gisements français et surtout étrangers. Les conditions naturelles sont vraisemblablement moins bonnes, ceci étant aggravé par l'action d'un climat relativement sévère.

A l'heure où le coût du transport risque de remettre en question les équilibres commerciaux, les carriers vosgiens peuvent assister à un renouveau de leurs activités traditionnelles mais ceci suppose un effort important à deux niveaux :

(*) Granite des Crêtes.

* Il pourrait même être utilisé à des fins décoratives : litages magmatiques par exemple.

- en premier lieu, la recherche de techniques d'extraction nouvelles, autorisant la mécanisation au sein d'exploitations rationnelles, doit être entreprise ; ceci est la condition nécessaire à un approfondissement qui permettra un accroissement du rendement pierre ;

- en deuxième lieu, les sous-produits actuels doivent être valorisés. Les marchés existent et certains devraient se développer dans l'avenir, notamment celui des granulats. La commercialisation des petits blocs doit également faire l'objet d'une promotion commerciale de la part de la profession.

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

- BONVALLET J.
1979 Etude de la fissuration par auscultation ultrasonique. B. r. g. m. - SGR/LOR 79/122.
- CHEVASSU G.
1976 Altération des granites. L. C. P. C. N° spécial.
- COUBES L.
A. PRAX Le marché français de la pierre ornementale et de construction (1979). B. r. g. m. 79 SGN 383 MTX.
- GAGNY Cl.
1959 Contribution à l'étude des granites de l'Association des Crêtes dans le bassin de la Haute Moselle (Vosges méridionales). Thèse 3e cycle (pétrographie). Univ. Paris, 83 p.
- GAGNY Cl.
1968 Pétrogenèse du Granite des Crêtes. Vosges méridionales. Thèse d'état. Univ. Nantes, 546 p.
- HAMEURT J.
1967 Les terrains cristallins et cristallophylliens du versant occidental des Vosges moyennes. Thèse d'état. Mèm. Serv. Carte Géol. Als. Lor. 26, 402 p.
- HAMEURT J.
1967 Carte géologique des terrains cristallins et cristallophylliens des Vosges moyennes Lorraines au 1/1 000 000. Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lor. 20-2, p 117 -129.
- NICOLAS A.
1960 Etude pétrographique de la région de Raon l'Etape - Senones (Vosges). Thèse 3e cycle, Paris.
- N'SIFA E. N.
1978 Pétrologie structurale du Granite des Crêtes dans la région du Col de Grosse Pierre. Thèse 3e cycle (géologie). Univ. Nancy 1, 210 p.
- THOMAS A.
1978 Relance de l'industrie d'extraction des granites dans le département des Vosges. Recherche de pierres ornementales. Sélection des sites. B. r. g. m. 78 SGN 546 LOR.
- VINCENT P. L.
1977 Relance de l'industrie d'extraction des granites dans le département des Vosges. Recherches de pierres ornementales. 1er inventaire. Département des Vosges. B. r. g. m. rapport inédit 77 SGN 488 LOR.

GRANITE DES CRETES

*Etude du champ de fractures
Crête Ouest bordant la Vallée du Chajoux
au voisinage de LA BRESSE*

A. THOMAS

C. N. R. S. - E. N. S. G.

GRANITE DES CRÊTES

Etude du champ de fractures sur la Crête Ouest
bordant la vallée du Chajoux au voisinage de La Bresse

RESUME

Ce rapport rend compte d'un travail de recherche effectué sur le granite des Crêtes (Vosges Méridionales environs de La Bresse) en vue de caractériser à différentes échelles, la distribution des fractures naturelles dans une zone où l'administration départementale désire patronner l'ouverture d'une exploitation du granite à échelle industrielle.

Ce travail, en partie fondamental, a été mené avec la collaboration et l'aide du Bureau de Recherches Géologiques et Minières qui coordonne les divers aspects géologiques et environnementaux des recherches qui conduiront au choix d'un site exploitable.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>RESUME</u>	
<u>CHAPITRE I</u> - CARACTERES GENERAUX DE L'ETUDE : OBJECTIFS, CADRE, METHODOLOGIE	1
I.1 - Introduction - Objectifs de l'étude	2
I.2 - Situation géographique et géologique	2
I.3 - Méthodologie d'étude du champ de fracture	4
. Eléments directeurs de l'analyse	
. Déroulement de l'analyse	
<u>CHAPITRE II</u> - ANALYSE STEREOSCOPIQUE - CONTROLE - PREMIERE SELECTION	9
II.1 - Analyse stéréoscopique	10
. Principe de l'analyse	
. Problèmes d'interprétation - Contrôle	
II.2 - Résultats - Première sélection des sites	14
<u>CHAPITRE III</u> - ANALYSE STRUCTURALE DETAILLEE DU SECTEUR DES BIOQUETS	16
III.1 - Lever structural semi-détaillé	17
III.2 - Lever structural détaillé	18
III.3 - Interprétation structurale	19
<u>CHAPITRE IV</u> - CONCLUSIONS	27

C H A P I T R E I

CARACTERES GENERAUX DE L'ETUDE :
OBJECTIFS, CADRE, METHODOLOGIE

I.1 - INTRODUCTION - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude réalisée en collaboration avec le Service Géologique Régional de Lorraine du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, est focalisée sur l'analyse à différentes échelles du champ de fractures dans une partie du massif des Crêtes.

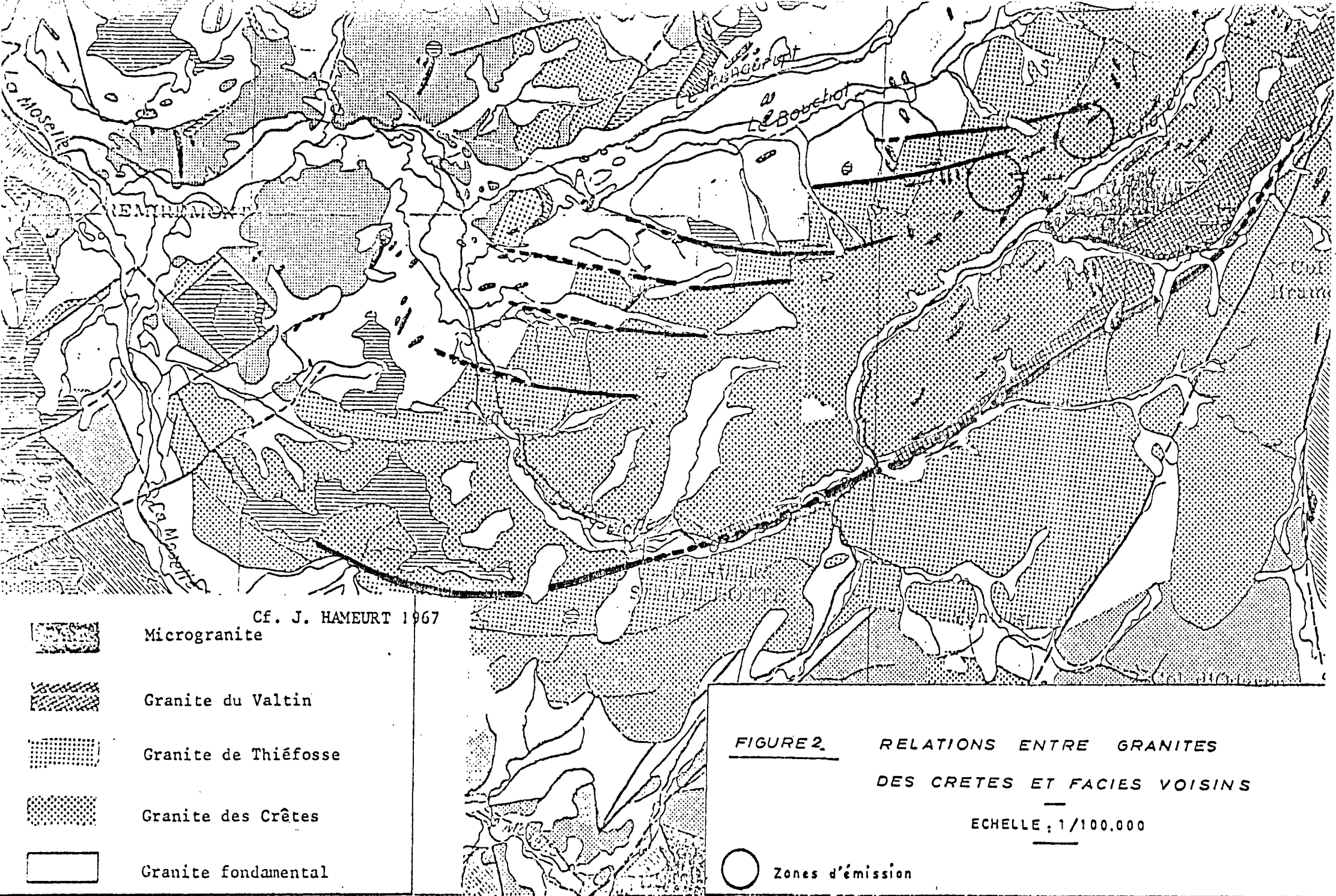
Sur le plan scientifique son objectif est de voir s'il existe et si l'on peut mettre en évidence, une logique dans la distribution des fractures dans le champ étudié. Il est également, de tester certaines méthodologies d'approche de cette distribution aux différentes échelles.

Sur le plan économique cette étude s'intègre dans la sélection d'un site exploitable à l'échelle industrielle réalisée par le B.R.G.M. dans le cadre du 3ème inventaire pour la "relance de l'industrie d'extraction des granites vosgiens" financé par le Département des Vosges. Cette étude propose au B.R.G.M. des éléments structuraux pour la sélection d'un site, sélection qui prendra en compte par ailleurs les éléments pétrologiques étudiés par l'équipe du Professeur GAGNY (NANCY I) les investigations in situ (sondages, géophysique) effectuées par le B.R.G.M. et divers éléments environnementaux étudiés par le Département des Vosges.

Ce rapport est donc strictement limité aux problèmes de discontinuités qui ne constituent qu'un aspect, important il est vrai, des critères de sélection d'un site exploitable. On supposera exacte la cartographie du granite issue des inventaires précédents et il ne sera pas tenu compte de la qualité pétrographique et esthétique de la roche ou de ses hétérogénéités.

I.2 - SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

La carte au 1/25 000e, du deuxième inventaire, montre l'extension de la zone d'investigation qui est constituée par la ligne de crêtes bordant du côté Est la vallée du Chajoux au voisinage de la commune de LA BRESSE.



Cette localisation résulte d'une première sélection effectuée par le B.R.G.M. lors du 2ème inventaire. Notons que cette première sélection avait été effectuée essentiellement en fonction de critères structuraux étudiés sur l'ensemble du massif à l'échelle du 1/25 000è.

Cette étude avait pris en compte :

- les travaux de HAMEURT sur l'ensemble du massif,
- les travaux de GAGNY et N'SIFFA sur le granite des Crêtes dans la zone du Col de Grosse-Pierre,
- les travaux de terrains de VINCENT et THOMAS sur l'ensemble du granite des Crêtes.

Nous rappellerons ici les grands traits structuraux dégagés par ce 2ème inventaire (Cf. Fig. 2) :

- . le massif des crêtes a la forme d'une lame courbe d'orientation EW à SW - NE. Il est bordé vers l'Est par le grand accident de Retournemer, décrochement senestre (HAMEURT - N'SIFFA) ayant joué plusieurs fois, probablement avant, pendant et après la mise en place du granite des Crêtes. Il est bordé vers l'Ouest, par le granite de Noire-Goutte au contact duquel ont été observés de grands décrochements dextres.
- . la vallée du Chajoux correspond probablement à un décrochement senestre parallèle à l'accident de Retournemer.
- . le granite est très fracturé et inexploitable sur l'ensemble de la crête Est bordant la vallée du Chajoux. On peut supposer (THOMAS) que cette zone a été fortement sollicitée en cisaillement au voisinage de l'accident de Retournemer par les mouvements tardifs de ce dernier.

Il est logique d'admettre que l'accident du Chajoux a désolidarisé les parties Est et Ouest du Massif minimisant sur la crête Ouest les contre-coups de ce jeu tardif de l'accident de Retournemer.

Rappelons, parce que nous aurons à nous y référer ci-après, les directions majeures des fractures relevées lors du 2ème inventaire sur le flanc Ouest dans les zones sélectionnées (Fig. 3, 4 et 5).

Ces directions sont les suivantes :

Zone des Bioquets :	N 10° à 50°	N 90° à 120°	N 160° à 170°
Zone de Grosse-Pierre :	N 0° à 20°	N 90° à 110°	N 120° à 130° N 160°
Zone de la Truche :	N 30° à 60°	N 90° à 110°	N 120° à 160°

Aucune distinction génétique n'intervient dans les mesures précédentes, l'étude de l'origine des fractures n'ayant été abordée que sommairement dans le 2^e inventaire.

Notons enfin que ces mesures ne constituaient pas réellement une estimation de densité, mais un guide pour l'étude de la distribution des orientations majeures.

Nous allons dans ce qui suit, exposer les méthodes spécifiques choisies pour l'approche de la densité.

I.3 - METHODOLOGIE D'ETUDE DU CHAMP DE FRACTURES

Eléments directeurs de l'analyse

1 - Comme dans tout massif il existe des systèmes de discontinuités à toutes les échelles (depuis les grands décrochements kilométriques évoqués précédemment à la microfissure).

2 - Vocabulaire utilisé :

discontinuité : désigne tout élément structural marquant quelle que soit l'échelle d'investigation, une solution de continuité dans la matière rocheuse.

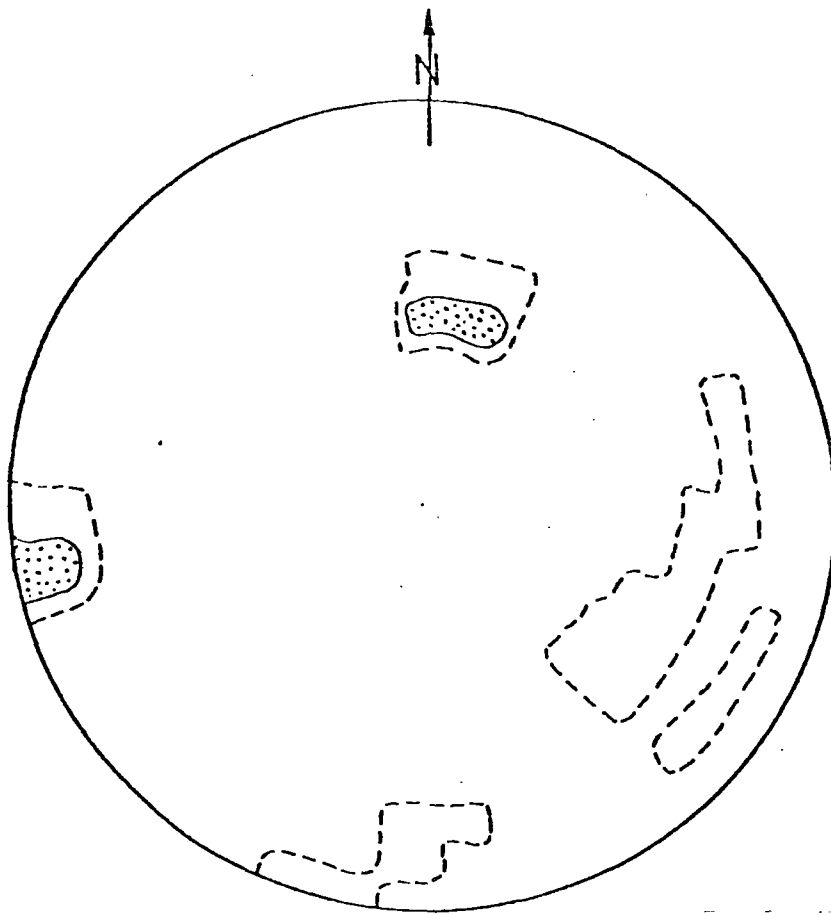
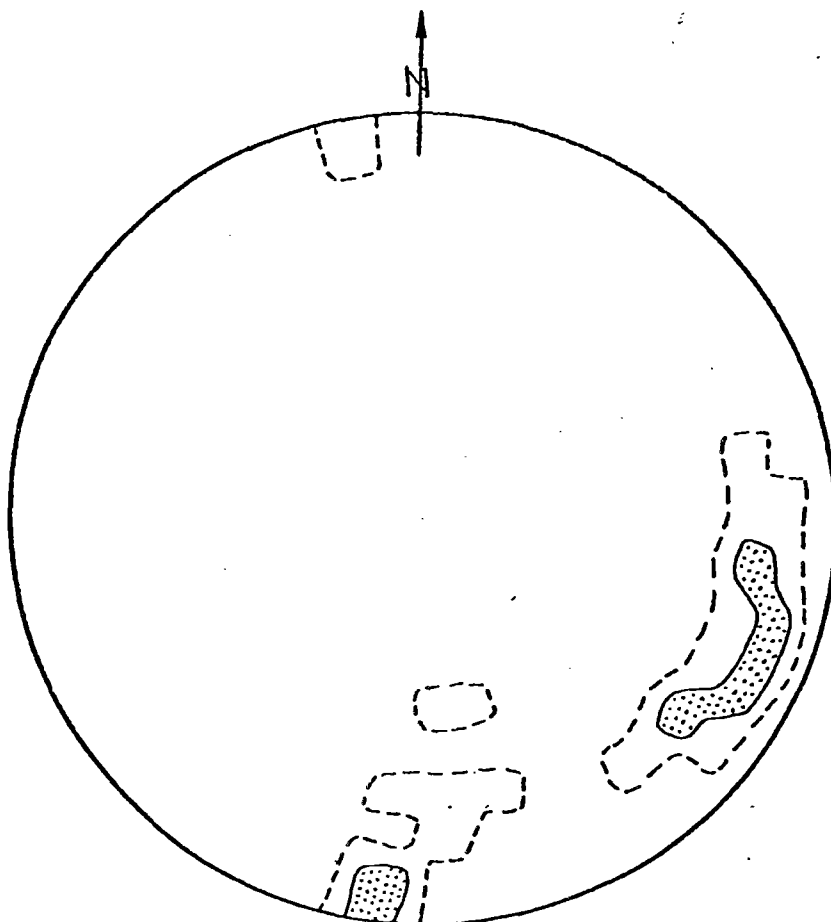


Fig. 3 - Stéréogramme de densité de la zone des Bioquets.
(diaclasses et paraclases)



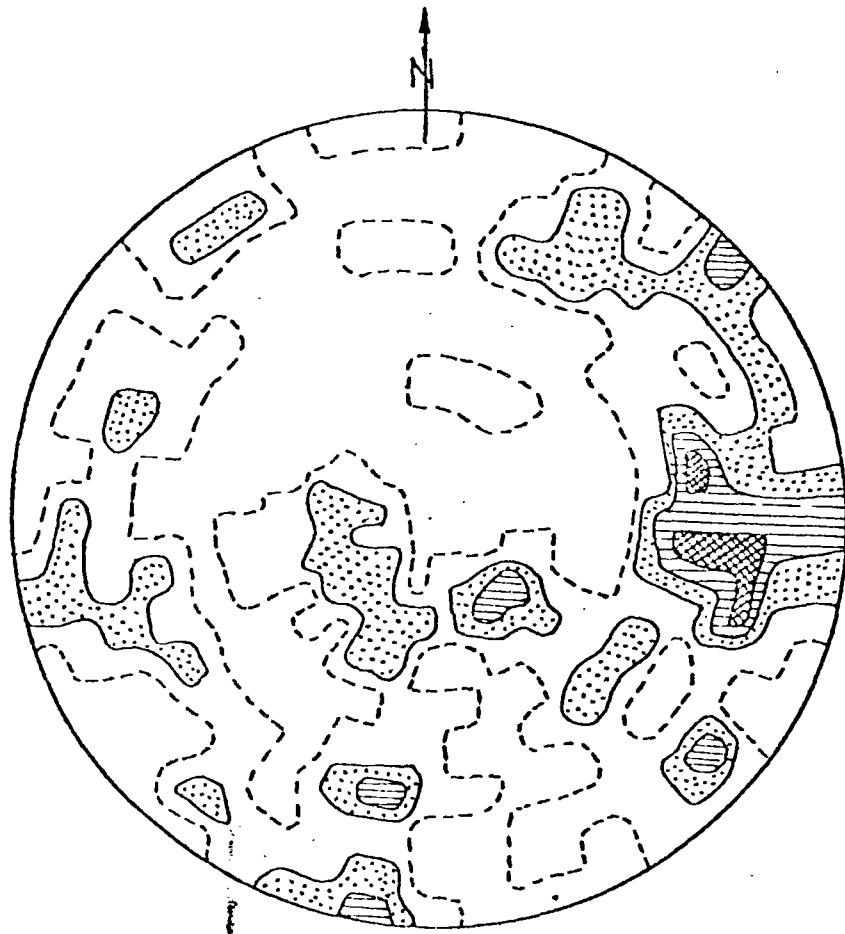
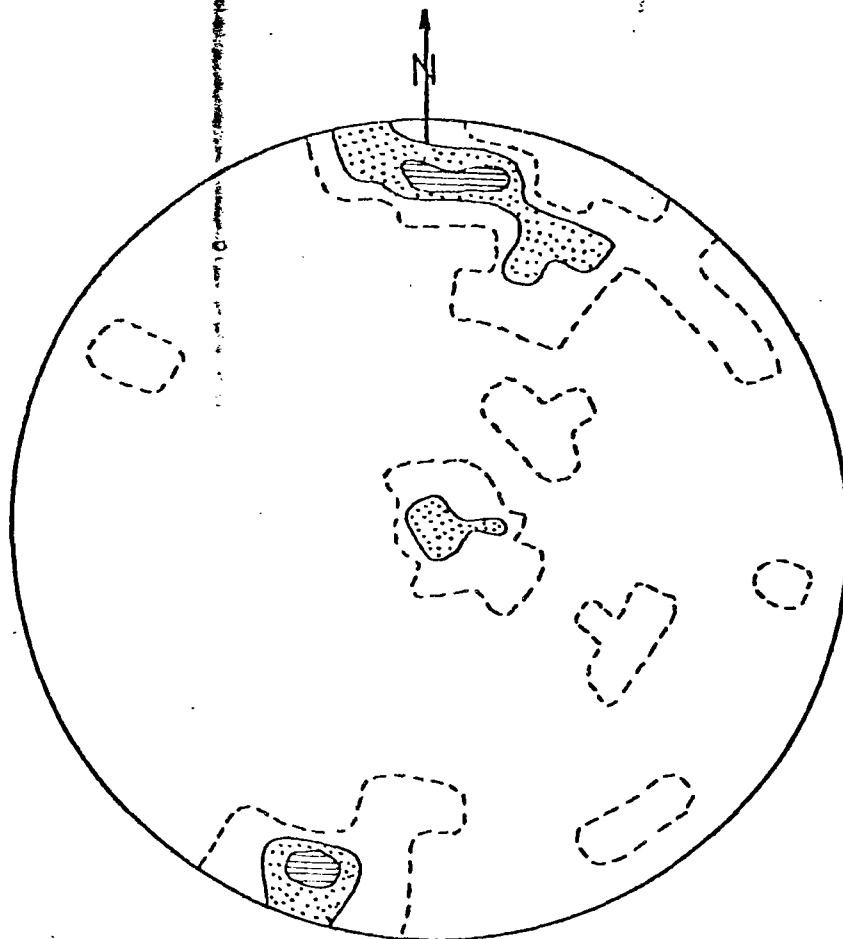


Fig. 4 - Stéréogramme de densité de la zone de Grossc-Pierre.
(diaclasses et paraclases)



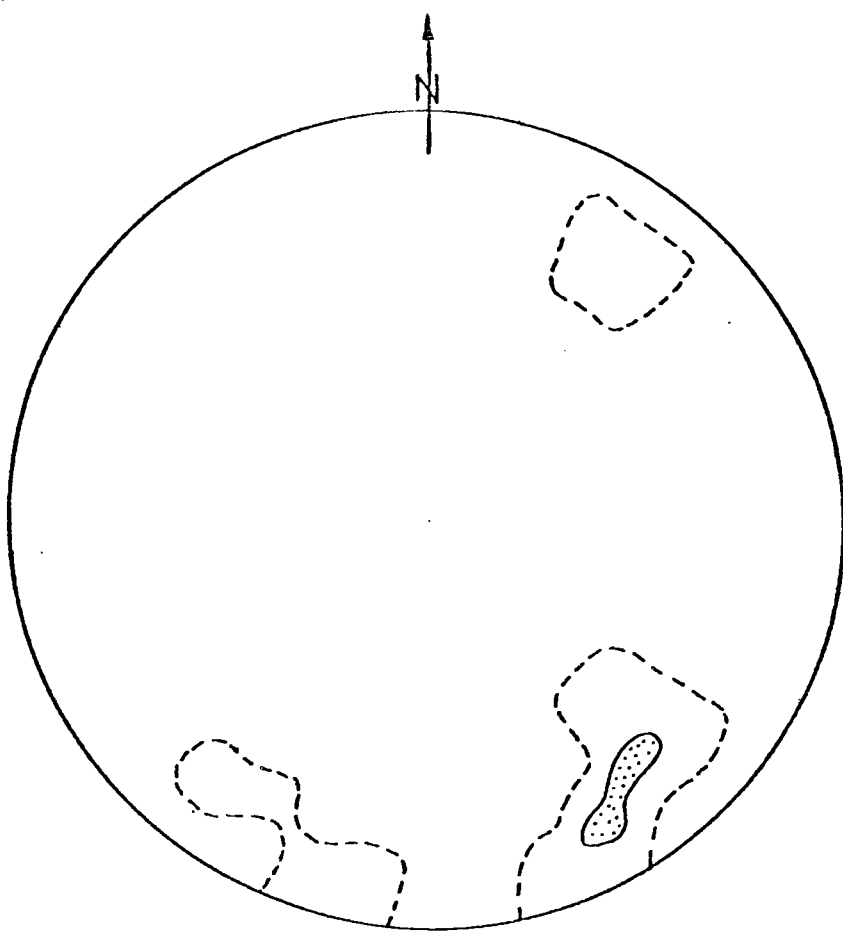
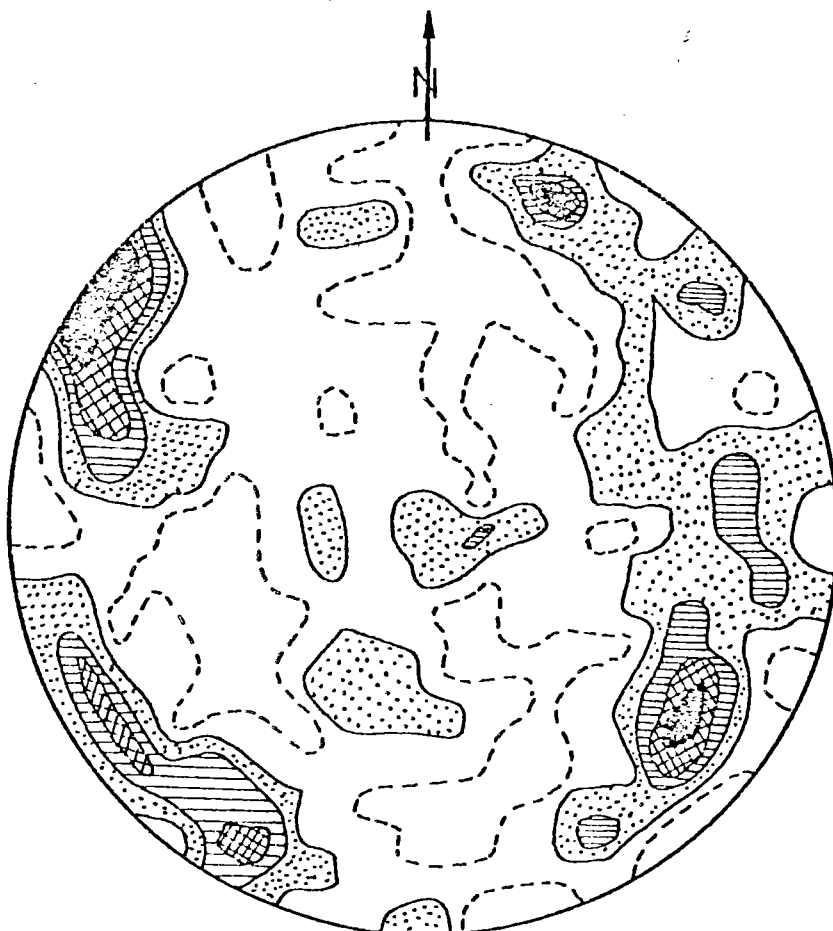


Fig. 5 - Stéréogramme de densité de la zone de La Truche.
(diaclasses et paraclases)



faille : désigne soit une discontinuité unique d'épaisseur suffisante pour générer une trace topographique nette, soit un ensemble de discontinuités parallèles suffisamment dense pour créer également une trace topographique.

fracture : désigne une discontinuité assez importante pour être visible sur un front de taille sans examen rapproché (à plusieurs mètres de distance) mais insuffisante pour générer une trace topographique.

Nous y distinguerons :

diaclyse : fracture sans trace de mouvement dans son plan

paraclase : fracture présentant des traces de mouvement

fissure : désigne une discontinuité visible seulement par examen rapproché (moins de 1 m) mais sans recours à un système optique, ce qui correspond à peu près au "fil" du carrier (Cf. ci-après).

microfissure : désigne une discontinuité accessible seulement au moyen d'un instrument optique grossissant.

densité : rigoureusement, la densité est le rapport de la surface des discontinuités dans un volume à ce volume. Nous verrons que l'extension des surfaces est très difficile à mesurer dans le granite, aussi la densité δ sera-t-elle estimée de façon directionnelle par l'approximation suivante

$$\frac{1}{\delta_S} = d_S = \text{distance moyenne des traces des plans de discontinuité sur la normale à chaque système S.}$$

A chaque système S on associera donc 3 paramètres :

- A_S azimut du plan directeur
- P_S pendage du plan directeur
- δ_S densité normale

3 - Pour les objectifs économiques de l'étude, les plus petites discontinuités dont il importe d'estimer la distribution, sont les "fils" du carrier, fissures d'épaisseur parfois inférieure au millimètre, d'extension variable (quelques mètres à quelques dizaines de mètres), de fréquence de l'ordre du mètre.

4 - Toute fissure de ce type ou plus importante est préjudiciable au carrier quelle que soit sa nature (diaclyse ou paraclase). Seule la distribution des fissures, quelle que soit leur origine intéresse donc l'exploitant.

La nature des discontinuités ne sera donc évoquée dans ce qui suit que dans la mesure où elle apporte des éléments d'analyses de la distribution. Nous verrons d'ailleurs qu'à certaines échelles, la nature des discontinuités n'est pas accessible.

5 - Les possibilités de saisie des réseaux de discontinuités sont aux différentes échelles, les suivantes :

- . à l'échelle du massif (1/25 000^e à 1/20 000^e) saisie des failles majeures par leurs traces topographiques à la photo aérienne. Cette saisie ne permet pas, en pratique, d'estimer la densité spatiale des failles mais permet de repérer les zones "à priori" à éviter :
 - grands axes linéaires
 - faisceaux denses
 - "noeuds" de failles.

L'avantage de cette échelle est de permettre une saisie "quasi-continue" (exception faite des zones de dépôts glaciaires), faculté que nous n'avons à aucune autre échelle.

Notons qu'en utilisant les diverses possibilités des appareils d'examen stéréoscopique on peut accéder à des réseaux de période variant entre 200 m et 50 m.

Il est important toutefois de remarquer que la photo aérienne ne met en évidence que des linéaments : structures topographiques linéaires présentant une forte probabilité d'être associées à une faille et dont la continuité est d'autant moins certaine que le réseau est plus dense (il sera tenu compte de cette incertitude dans l'interprétation).

- à l'échelle de carrière ou des falaises naturelles (1/500è à 1/100è)

Il est possible à cette échelle d'effectuer un bon relevé spatial de fractures (orientation, densité, nature).

C'est par excellence, l'échelle où l'on peut faire les meilleures analyses géométriques, c'est-à-dire analyser l'organisation et l'intensité locale de la fracturation, ainsi qu'effectuer une ébauche d'interprétation génétique.

Mais cette saisie est discontinue, localisée à quelques sites. Elle n'est donc utilisable au niveau prévisionnel que s'il est possible d'établir un lien entre cette organisation localisée et la distribution des failles observées ou probables à la photo aérienne.

A moins de disposer de missions photographiques à grande échelle (1/5 000è, par exemple) il n'existe donc pas d'intermédiaire dans l'échelle de saisie.

- à l'échelle du parement ou de l'affleurement (Echelle métrique)

C'est l'échelle d'examen des critères microtectoniques qui permet de constituer un modèle de déformation, et donc de classer et de dénombrer les discontinuités jusqu'à l'échelle du "fil" de carrier.

Déroulement de l'analyse

1 - Analyse stéréoscopique à la photo aérienne

Cette analyse a été effectuée sur la dernière mission photographique au 1/20 000è de l'I.G.N. sur les Vosges (photothèque B.R.G.M.). Elle a consisté à relever systématiquement à faible grossissement, les linéaments accessibles à cette échelle.

2 - Vérification sur le terrain sur des itinéraires - échantillons de la nature des observations linéamentaires, cette opération consistant à repérer sur des itinéraires sécants sur les réseaux, les éléments géologiques susceptibles de corroborer l'hypothèse : un linéament représente une faille (au sens défini précédemment).

3 - Sélection en plan des zones où les polygones ménagés par le réseau de failles sont de taille maximale. Ces polygones ont déterminé les sites préférentiels.

4 - Analyse au grossissement maximal des linéaments dans les polygones sélectionnés précédemment, pour préciser les caractères structuraux locaux majeurs.

5 - Sélection de sites acceptables en fonction de tous les critères de choix (pétrographie, accès, environnement, structure générale).

Cette partie de l'étude a été effectuée essentiellement par le B.R.G.M. parmi les zones proposées dans la sélection (3) en fonction de tous les critères évoqués ci-dessus.

A la suite de cette sélection, le B.R.G.M. a implanté des sondages dans l'unique zone retenue.

6 - Cette zone a fait l'objet d'un lever structural semi-détaillé (1/3 000^e) effectué conjointement avec le B.R.G.M., qui, compte-tenu des résultats de sondages, nous a amené à focaliser l'analyse sur un secteur de 10 hectares environ, couronnant la Roche des Bioquets.

7 - Enfin, sur ce secteur, a été entrepris :

A - une cartographie systématique au 1/200^e des affleurements, falaises, fronts de taille avec report des fractures (traces planes - azimut - pendage).

B - une analyse microtectonique dans les 4 carrières actuellement existantes sur le secteur.

C - une restitution d'un modèle géométrique de fracturation sur l'ensemble du secteur.

Les chapitres qui suivent rendent compte des résultats de ces travaux dans chacune des phases d'analyse définies précédemment.

C H A P I T R E . I I

ANALYSE STEREOSCOPIQUE
CONTROLE - PREMIERE SELECTION

II.1 - ANALYSE STEREOSCOPIQUE

II.1.1 - Principe de l'analyse

Une photographie aérienne peut être examinée à l'oeil nu et l'on peut y dégager des directions linéaires. Ce genre d'examen est toutefois sujet à de nombreuses erreurs d'interprétation liées à des artefacts humains (lignes électriques, layons forestiers, fossés d'irrigations, limites de cultures ou d'exploitations etc...).

Un bon moyen de contrôle de la réalité topographique des traces linéaires est l'examen stéréoscopique qui donne une restitution (exagérée) du relief à partir de couples de photos.

L'ensemble de la zone d'étude a été analysé méthodiquement par cette méthode à partir d'une couverture aérienne récente au 1/20 000^e de l'IGN, fournie par le B.R.G.M., au petit grossissement d'une lunette SOM (type C3).

* Ce type d'analyse restitue sous forme linéaire (épaisseur du trait au 1/20 000^e) des linéaments topographiques de largeur minimum comprise entre 10 m en terrain nu à 50 m en terrain boisé.

* Le report a été effectué directement (sans correction de distorsion) sur support kronaflex superposé aux photographies.

* On a fait l'hypothèse de la continuité d'un linéament lorsque les parties masquées de la trace n'étaient pas supérieures à 0,5cm (100 m sur le terrain).

* La figure 6 montre l'assemblage au 1/25 000^e des épures représentées sur les figures 7 - 8 - 9 et 10.

II.1.2 - Problèmes d'interprétation - contrôle

L'interprétation du réseau tracé soulève des problèmes au niveau :

- de la direction des traces
- de leur nature
- de leur continuité
- de leur densité

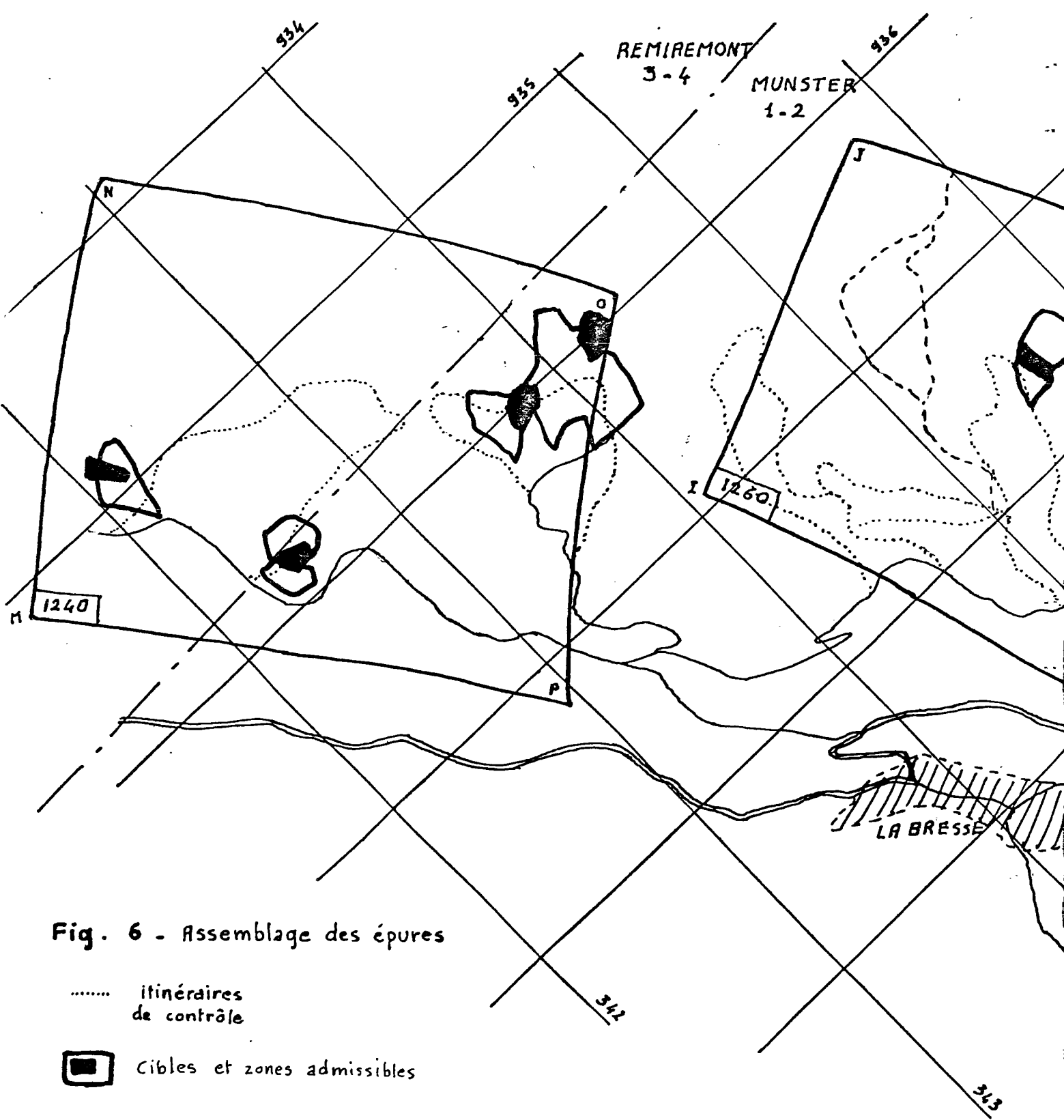
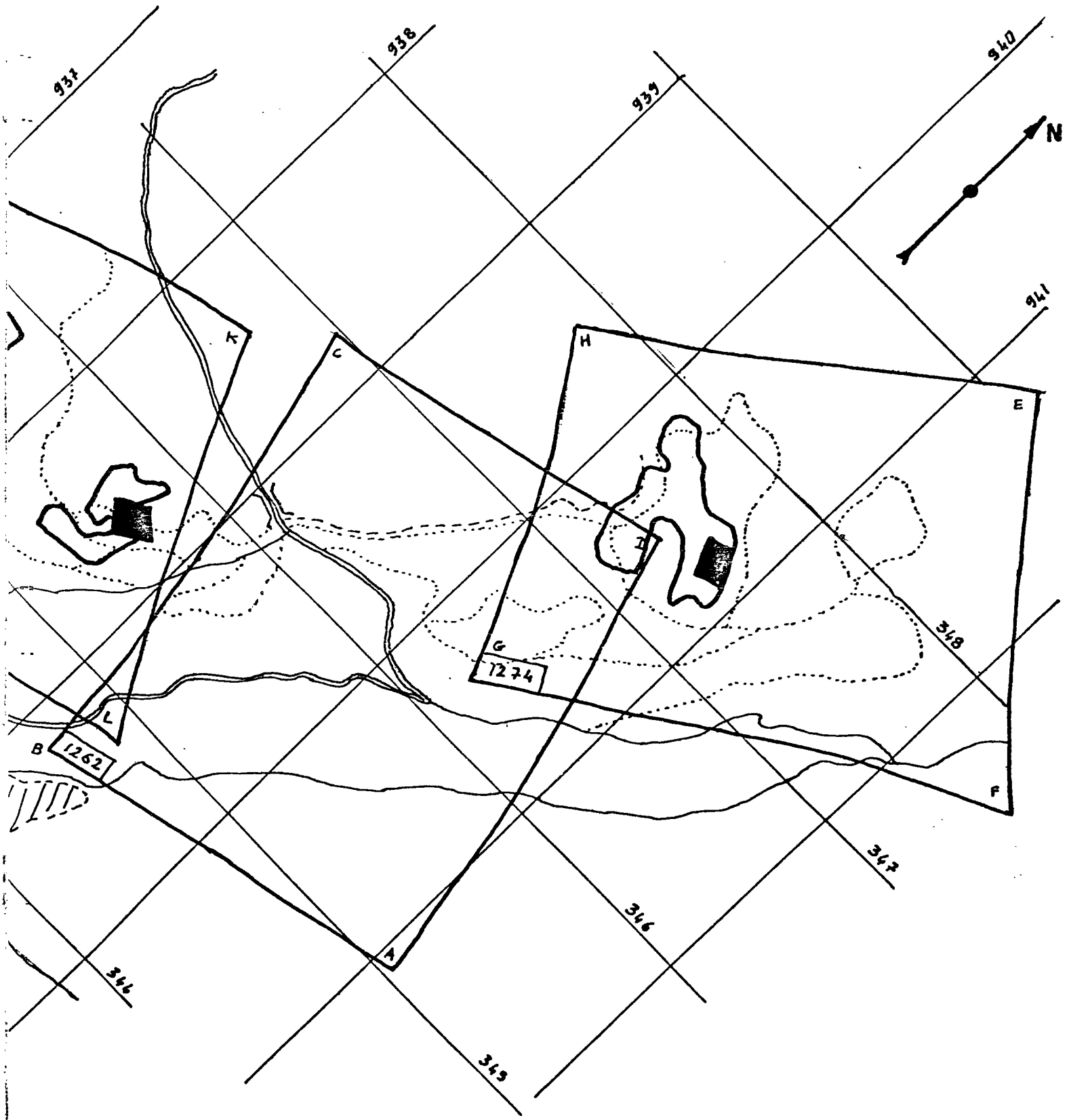


Fig. 6 - Assemblage des épures

- itinéraires de contrôle
- ▣ cibles et zones admissibles



Problèmes directionnels

Le plan d'assemblage de la figure 6 montre clairement les distorsions inhérentes à la photo aérienne, chaque élément de l'assemblage étant apparemment rectangulaire sur les photos (fig. 7, 8, 9 et 10).

Cette distorsion est maximale sur les bords des photos et varie avec chaque photo.

Une correction de cette distorsion eût été un travail considérable, aussi avons-nous admis que les estimations de direction et de densité étaient valables seulement dans la partie centrale des épures.

Nature des traces

Si l'association à une faille ne fait aucun doute pour un certain nombre de traces, un doute pouvait subsister pour une part d'entre elles. Il convenait donc d'effectuer un étalonnage sur le terrain pour tenter de préciser la nature des linéaments et tester la proportion d'artefacts optiques.

Cet étalonnage a été effectué à partir d'un certain nombre d'itinéraires échantillons reportés sur la figure 6.

De cet étalonnage on peut tirer les conclusions suivantes :

* Très généralement les traces les plus marquées de la photo aérienne interprétables avec une forte probabilité comme des failles de par leur rectitude et leur continuité, sont nettement marquées topographiquement sur le terrain mais montrent très peu de caractères géologiques affleurants permettant de confirmer le diagnostic aérien.

Cependant on peut légitimement considérer que l'absence même d'affleurement est, dans une zone en moyenne riche en roche affleurante, l'indice d'une vulnérabilité particulière à l'érosion très probablement imputable soit à une grande faille, soit à un réseau dense de diaclases, le milieu étant sensiblement homogène à l'exception des zones anisotropes (layering) qui, d'après nos observations, ne sont pas des zones d'érosion préférentielle.

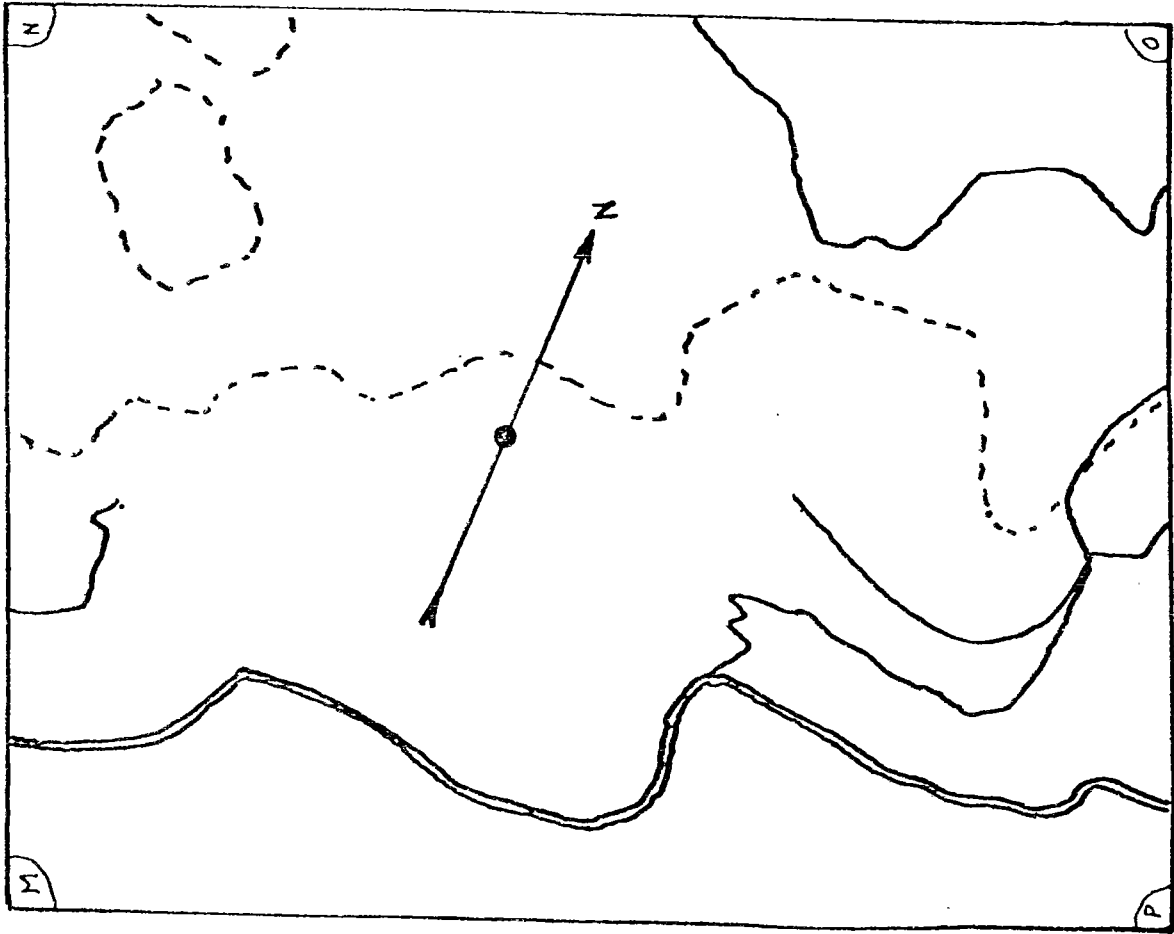
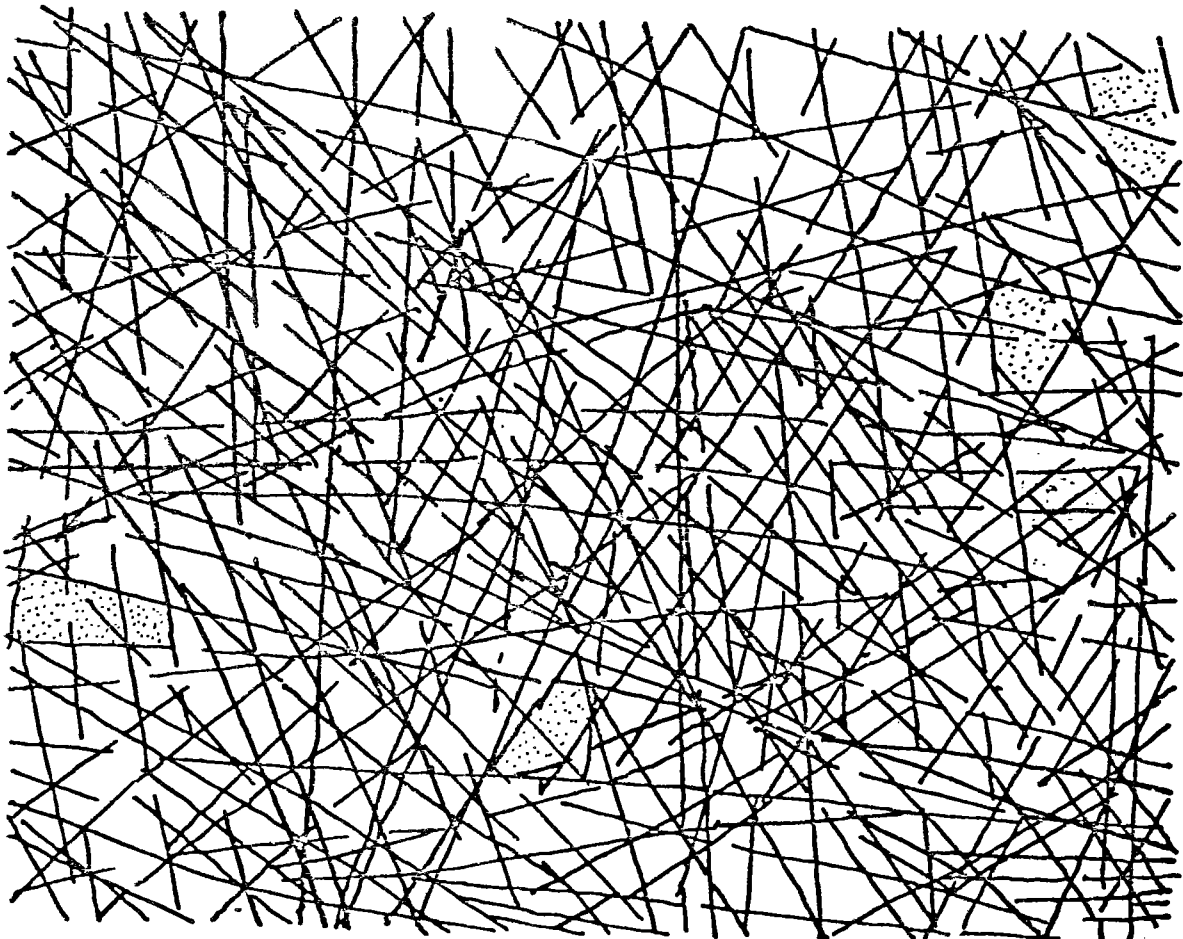


Fig 7 - PHOTO 1240



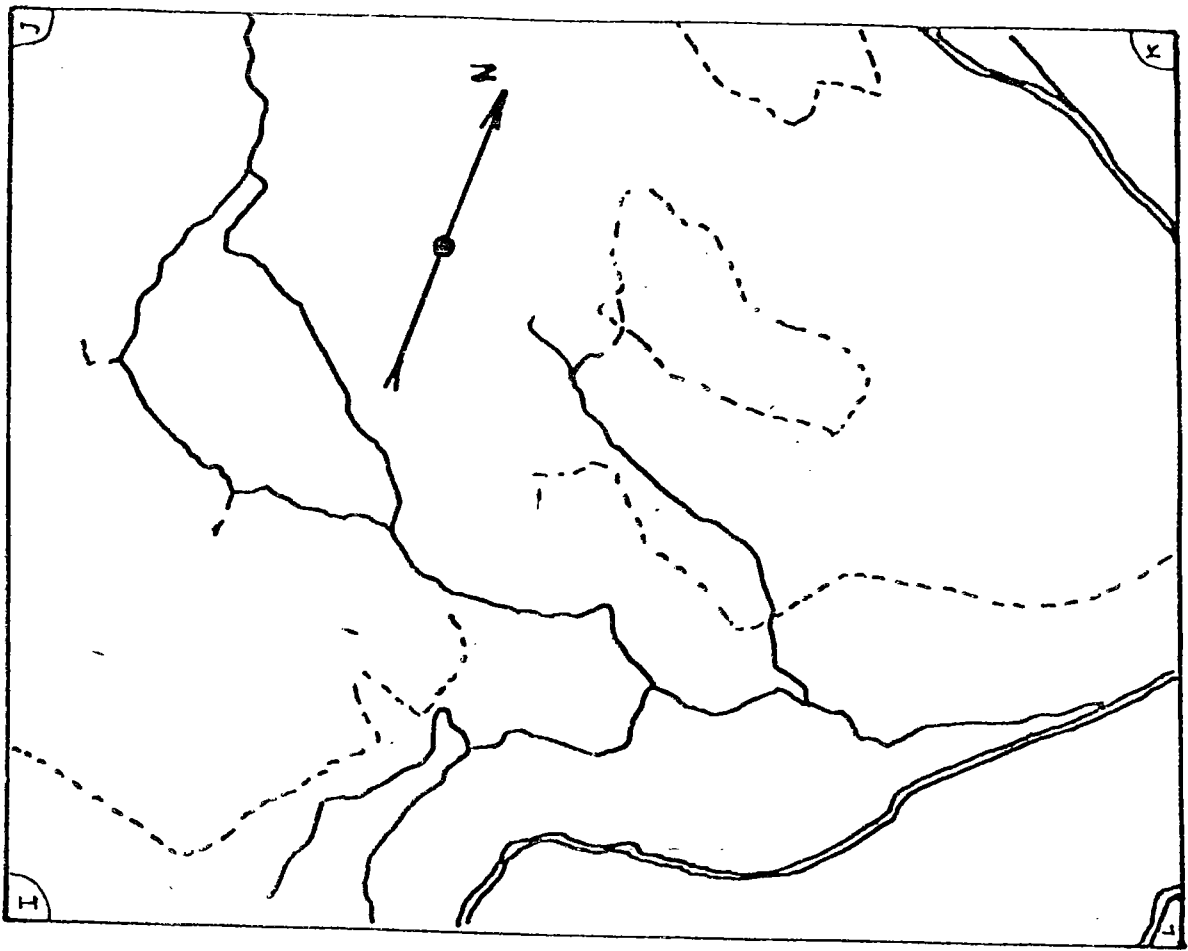
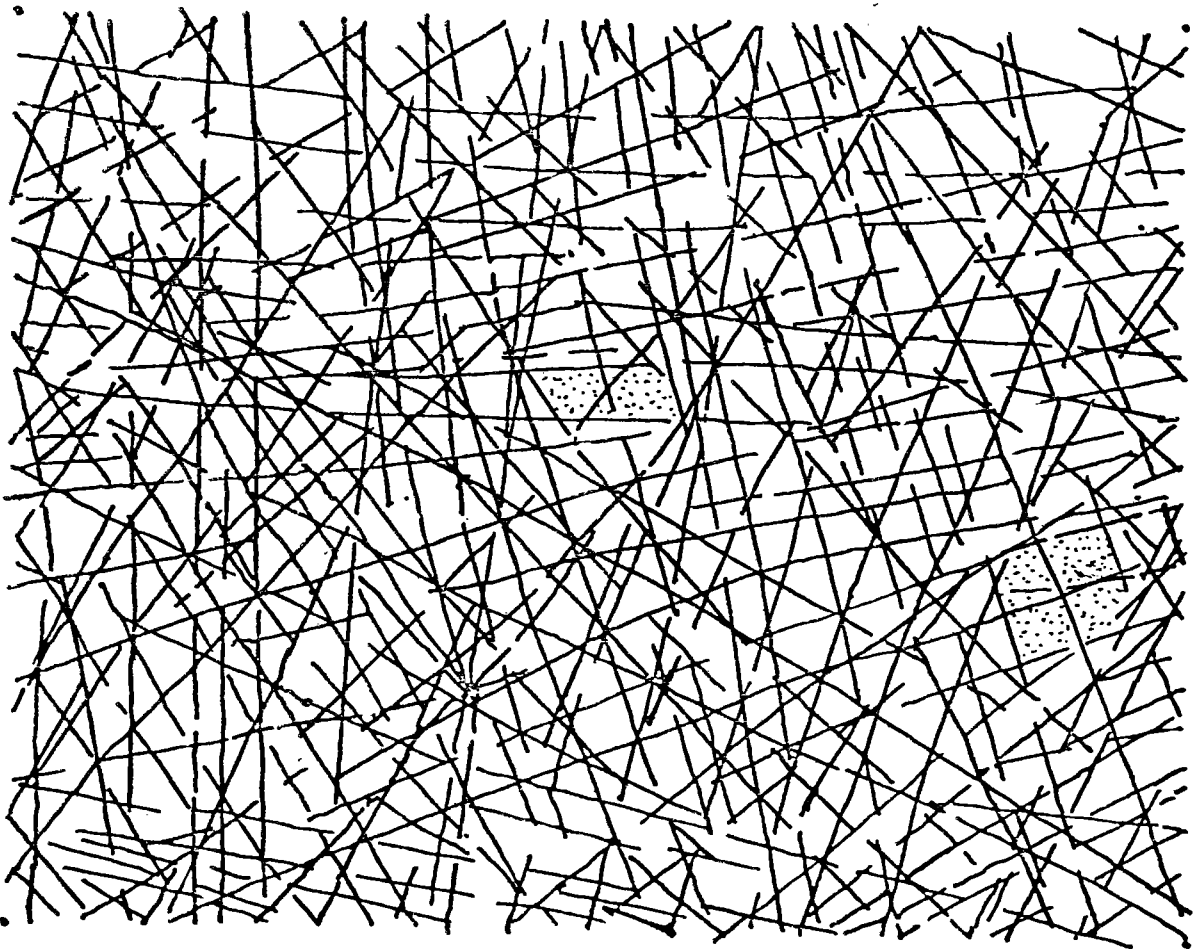


Fig. 8 . PHOTO 1260



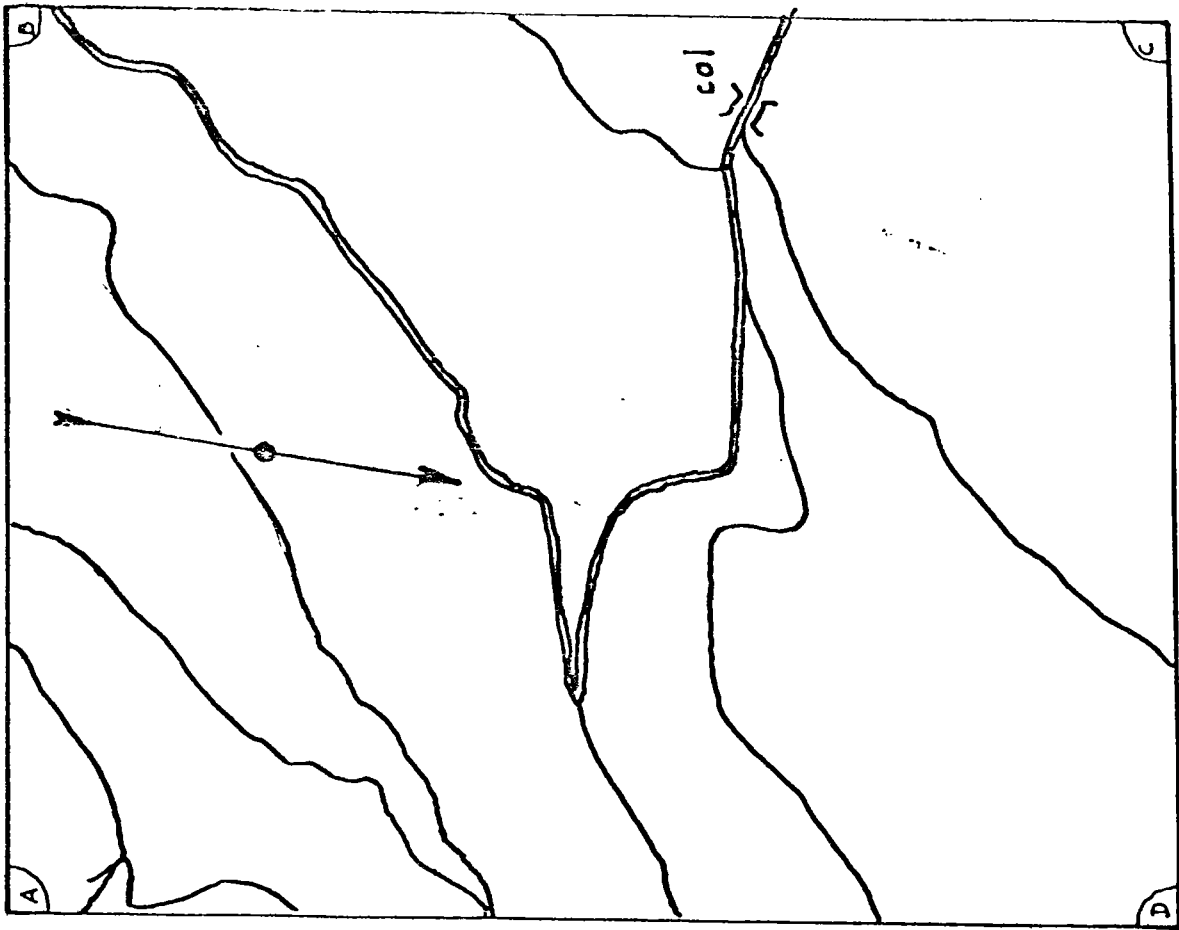
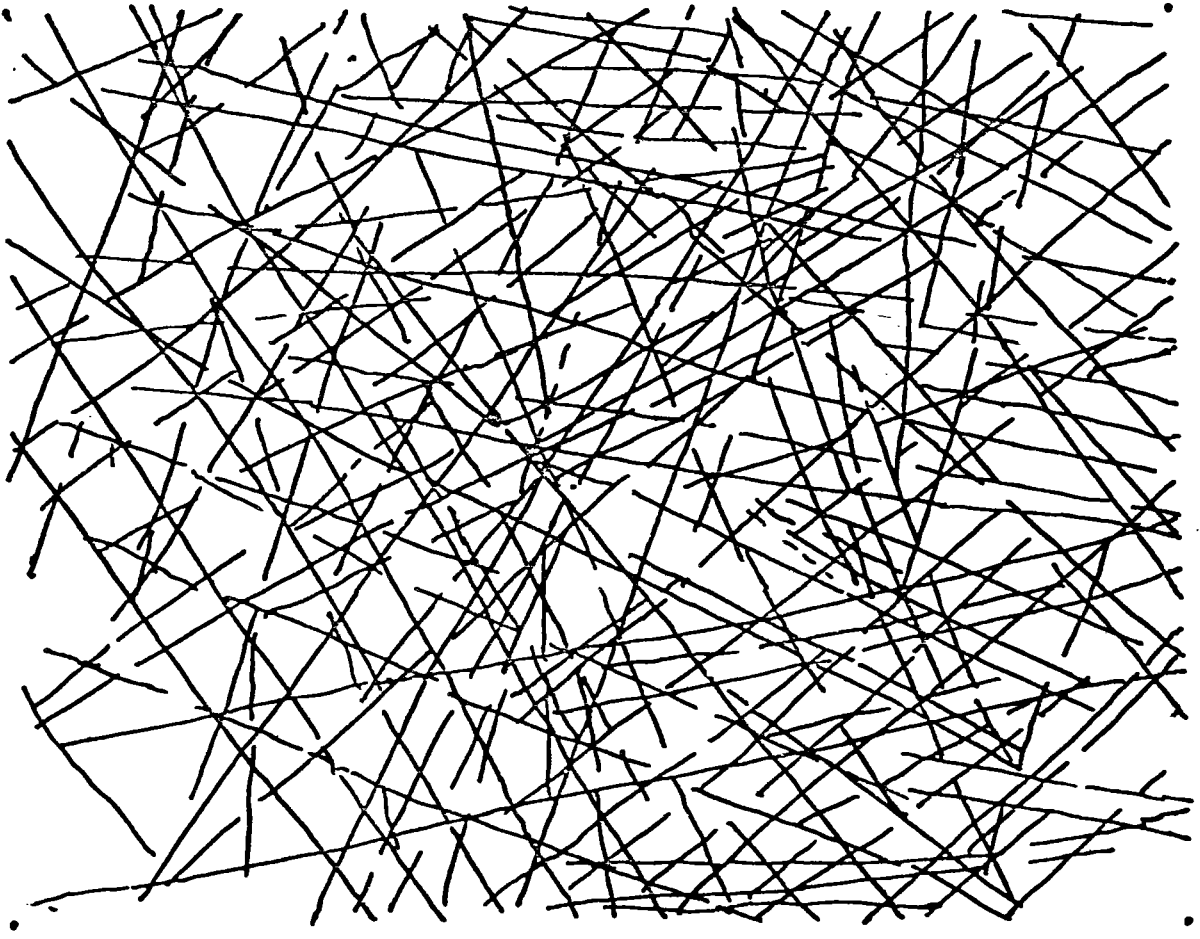


fig. 9 - PHOTO 1262



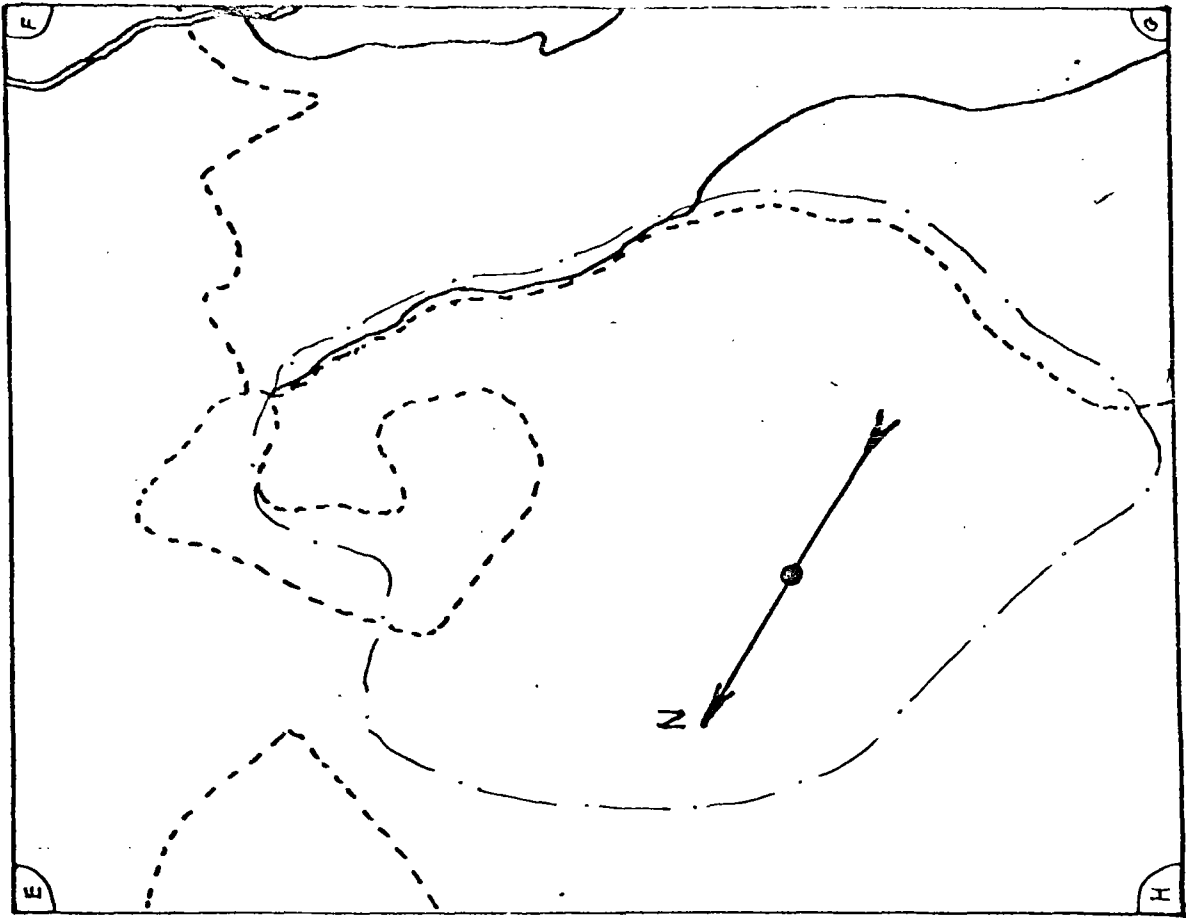
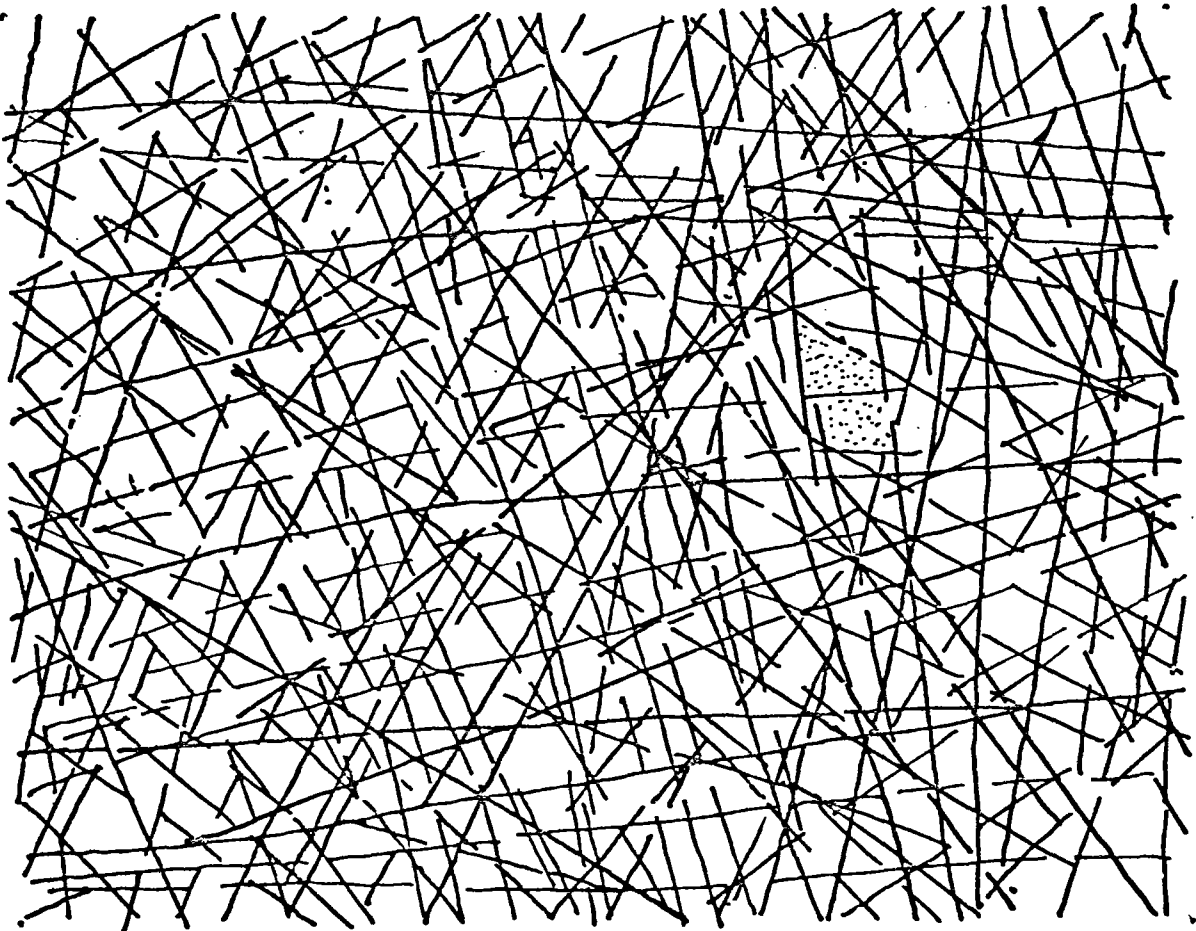


Fig. 10 - PHOTO 1274



* Pour les traces de netteté équivoque, on peut toujours suspecter la subjectivité de l'observateur. Aussi avons-nous apporté un soin particulier à leur examen sur le terrain. Il s'avère :

- que plus de 50 % des traces sont repérables à l'affleurement soit sous forme d'une zone broyée de quelques mètres (fig. 11), soit sous forme d'un réseau dense de fractures (fig. 12) ou d'une falaise rectiligne,
- que dans la plupart des cas où le contrôle n'est pas formellement possible sur affleurement, il existe au moins une dépression topographique qui constitue, nous l'avons vu, une forte présomption de faille ou un alignement de sources difficilement imputable au hasard,
- dans moins de 5 % des cas, il n'existe aucun élément géologique ou topographique confirmant l'origine tectonique d'une trace. Nous estimons que ce fait est lié soit à un repérage imprécis de l'accident, soit à un abus de l'hypothèse de continuité.

Il importe de faire une remarque morphologique importante : il semble que d'une façon générale, l'incidence topographique des couloirs de fractures fines mais denses (plusieurs par mètre) soit plus importante que celle des failles exprimées (zones broyées d'épaisseur limitée).

A ce fait, on peut trouver une explication logique (qui n'est toutefois qu'une hypothèse).

L'érosion différentielle responsable des traces topographiques est liée au degré d'altération de la masse rocheuse ; cette altération, qu'elle soit chimique ou mécanique (influence du gel) est fondamentalement liée aux possibilités de circulation de l'eau.

Une zone broyée est une zone fortement contrastée sur le plan mécanique et hydraulique par rapport à la masse rocheuse, en général d'épaisseur limitée, qui concentre donc les écoulements et provoque une chute de potentiel rapide jusqu'à une grande profondeur mais simultanément semble induire un colmatage rapide. Un couloir de fractures denses est également une zone drainante, mais éventuellement de large extension (plusieurs dizaines de mètres) beaucoup moins contrastée et à ce titre ne permettant pas de chute de potentiel rapide sinon à proximité immédiate de la surface, ce qui favorise une altération et une érosion régulière sur une zone assez large.

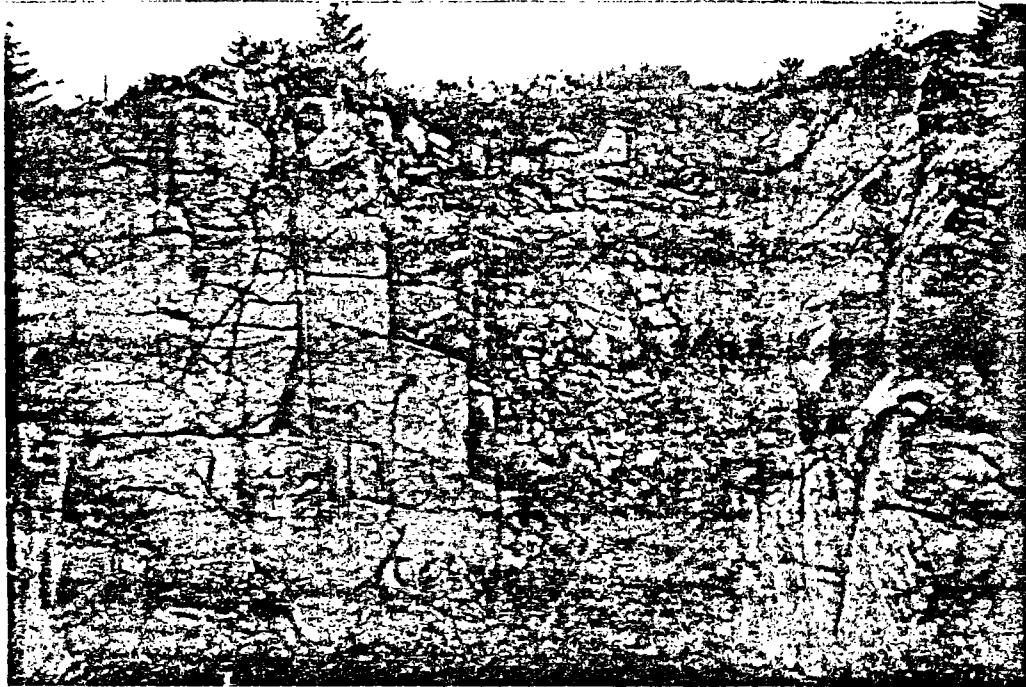


Fig. 11 Zone broyée d'une grande faille pénétrative. (La Truche.)
Ech. : 1m

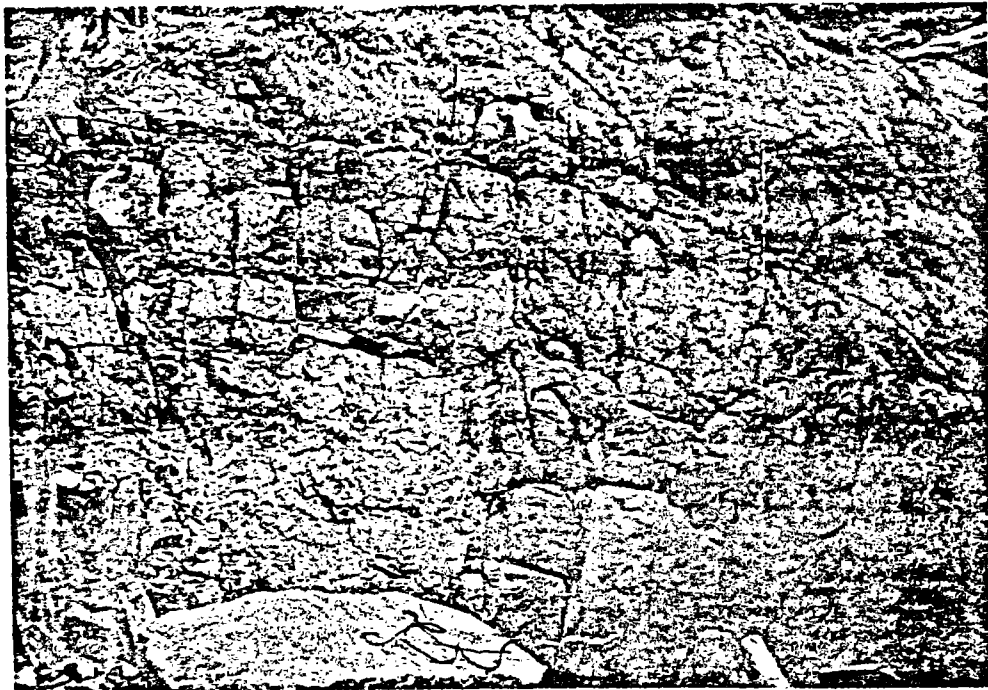


Fig. 12 Réseau dense dans un couloir de fractures. (La Brayotte.)
Ech. : 0.50 m

* L'importance pratique de cette remarque repose sur le fait qu'une grosse discontinuité de quelques mètres d'épaisseur peut être beaucoup moins préjudiciable au rendement d'une exploitation qu'un couloir large de fractures millimétriques denses - comme les couloirs de fractures paraissent avoir une meilleure expression topographique, il en résulte que l'analyse stéréoscopique aérienne est probablement un outil globalement très précieux de sélection des sites que nous avons largement utilisés avec toutefois les restrictions suivantes (liées aux problèmes de continuité et de densité) :

Problèmes de continuité et de densité

Nous traiterons simultanément ces deux problèmes liés par la notion d'échelle.

Nous avons fait, au 1/20 000è, une convention relative à la continuité qui est évidemment non significative à grande échelle (échelle de l'exploitation).

Il est clair que la densité de discontinuité évaluée à l'échelle de la photographie aérienne est étroitement liée dans sa définition générale (rapport des longueurs de traces à la surface d'investigation) d'une part, à la possibilité de discrimination des traces topographiques à cette échelle, d'autre part aux hypothèses de continuité. On ne peut, sur ce point, que faire l'hypothèse d'une compensation statistique des erreurs sauf dans les zones où l'estimation de densité (et de continuité) est manifestement biaisée :

- . grandes dépressions dont l'analyse est difficile en zone boisée en raison de la végétation et en zone nue en raison de la sédimentation récente,
- . zones de dépôts glaciaires qui masquent les structures,
- . zones d'éboulis de pente et certaines zones cultivées qui introduisent des artefacts optiques.

* Notons que l'analyse stéréoscopique reportée sur les figures 7, 8, 9 et 10 a été effectuée globalement et déborde parfois largement les contours précis des zones retenues par le 2ème inventaire et les sélections précédentes, ceci afin de connaître la texture des grands accidents qui restent visibles en dépit de la couverture et de la complexité des accidents secondaires.

II.2 - RESULTAT - SELECTION DES SITES

Compte-tenu de l'analyse qualitative précédente et des difficultés d'interprétation qu'elle mettait en évidence, il nous a paru indispensable de tester la validité d'une évaluation quantitative de la densité de failles à cette échelle.

* Le premier test a été effectué sur 4 km² de la zone des Bioquets, zone sur laquelle a été calculée la densité selon la procédure classique :

$$\delta = \frac{\Sigma (\text{longueur de fracture})}{\text{Surface d'investigation}}$$

Les résultats sont reportés sur la figure 13. Sur cette figure, en sélectionnant successivement :

- les zones d'affleurement cartographiées lors du 2ème inventaire,
- les zones où l'estimation n'est pas biaisée (selon les critères précédemment définis).

on obtient des "secteurs" que l'on peut estimer "préférables à priori pour l'exploitation" (fig. 14). Nous avons admis une coupure à 3 m/m².

* Sur cette même zone, nous avons testé une méthode plus simple et plus naturaliste en ce sens qu'elle tient compte des tracés réels des discontinuités majeures : directement issue de l'étude qualitative, elle repose sur les critères de sélection suivants :

- dans les zones d'affleurement, où l'estimation est jugée non biaisée :
 - on élimine les secteurs où existent des faisceaux de failles parallèles ou concourantes distantes de moins de 120 m (cette opération revient à éliminer les zones où les polygones déterminés par les réseaux sont de surface inférieure à 1,7 hectares, ce qui correspond à la coupure de densité de 3 m/m² adoptée plus haut.

Cette seconde méthode donne des résultats analogues à la précédente (fig. 15). Objectivement moins rigoureuse que la précédente, elle conserve en revanche l'information géométrique sur les polygones.

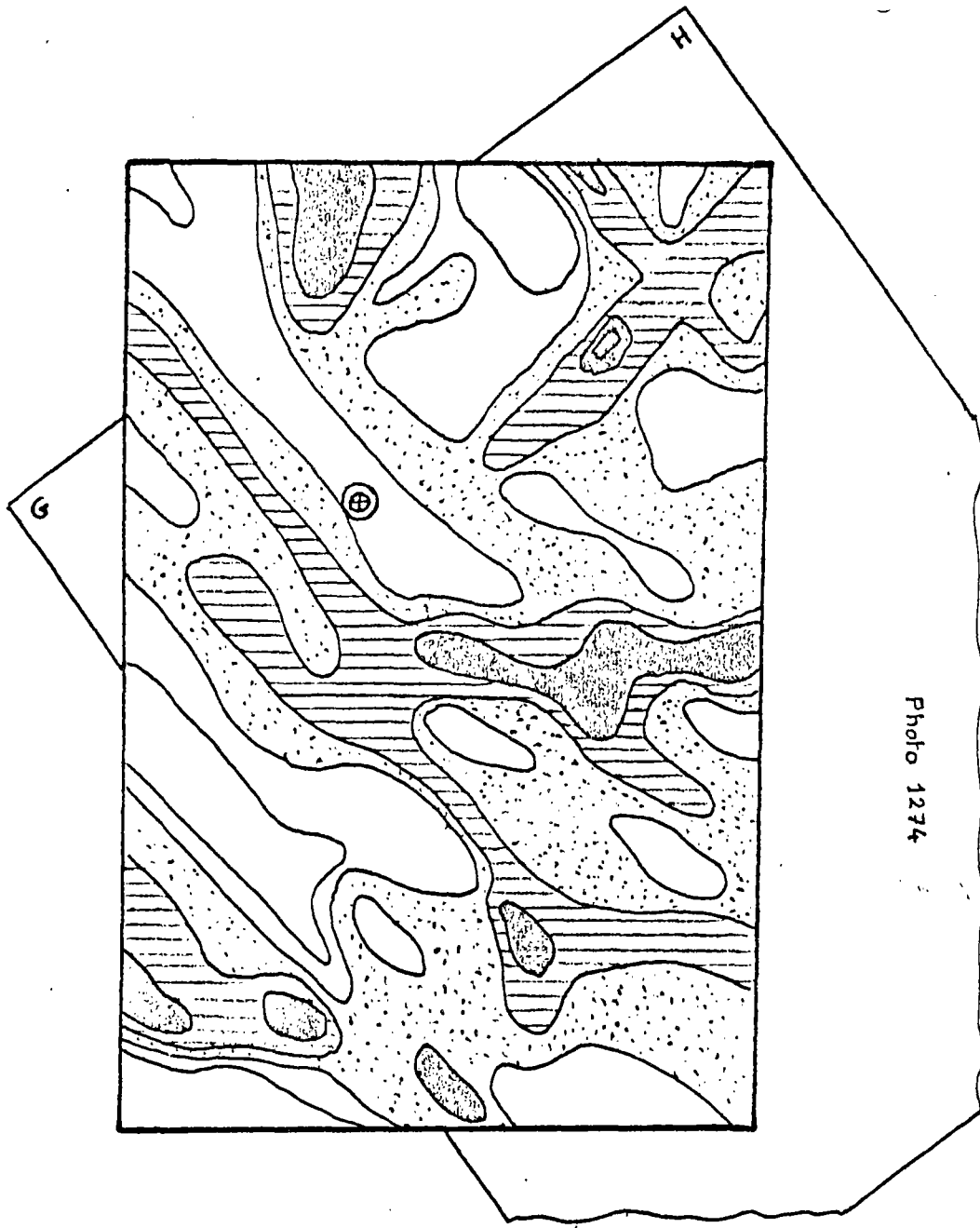


Fig. 13 - Analyse de densité dans la zone-échantillon

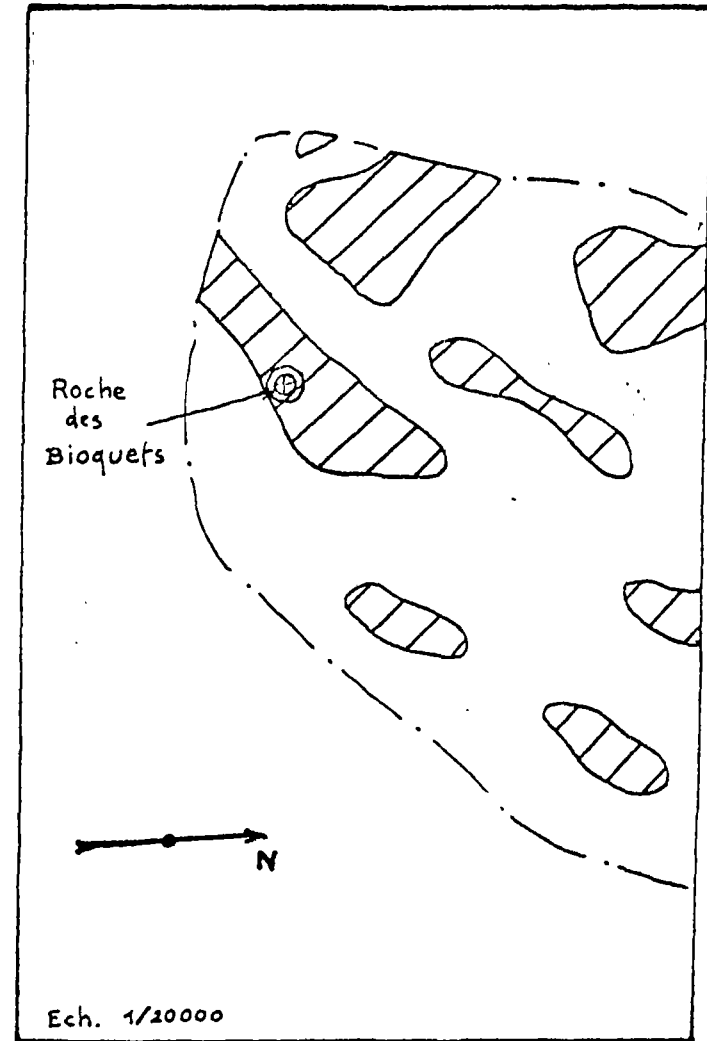


Fig. 14 - Secteurs favorables à la coupure 3 m/m^2

C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser cette méthode d'estimation rapide à mettre en oeuvre. La figure 6 donne les résultats sur l'ensemble de la zone d'étude. Sur cette figure nous avons en outre fait ressortir les polygones de surface estimée à plus de 4 hectares qui à priori, devrait constituer les "cibles"préférentielles. Ces cibles figurent également sur les figures 7, 8, 9 et 10.

Toutefois à propos de ces "cibles" nous avons admis qu'il subsistait une possibilité d'erreurs dans le cas de "noeuds de failles secondaires" définis comme points de rencontre de faisceaux d'orientation dispersée de façon quasi-isotrope, susceptibles d'apparaître comme des zones non tectonisées.

Notons alors que seules des investigations précises de terrain permettent de se prononcer sur ces zones et que de telles structures peuvent donc apparaître après la 1ère sélection des sites effectuée selon les conventions précédentes : nous verrons un exemple de cette particularité dans la zone des Bioquets.

* La figure 6 se présente donc sous forme de "cibles" d'environ 4 hectares entourées de zones de 10 à 15 hectares représentant des secteurs "admissibles", choisis uniquement dans les zones bien affleurantes.

C'est parmi ces cibles que les services du B.R.G.M. ont choisi un site d'investigation détaillé, après élimination effectuée en fonction des observations pétrographiques du Professeur GAGNY et des impératifs environnementaux édictés par les services du Département des Vosges.

Le site retenu est le secteur des Bioquets. Les sondages y ont été implantés par les soins du B.R.G.M. La fig. 16 représente, au 1/25 000e, l'ensemble du site choisi pour les investigations détaillées.

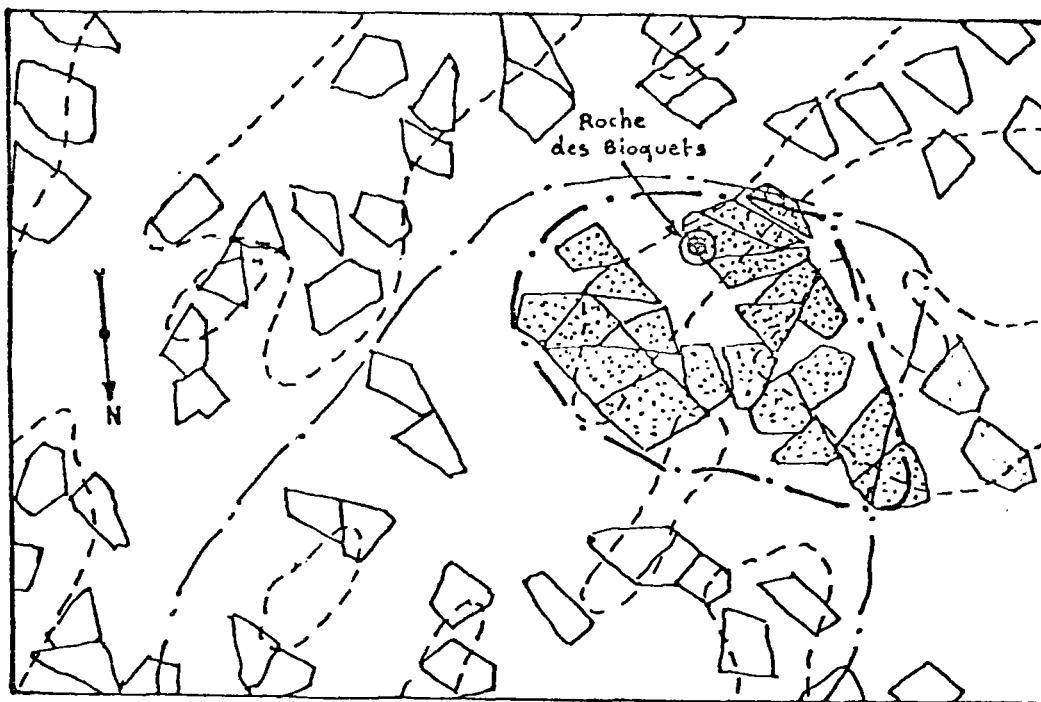


Fig. 15 - Cible et secteur admissible obtenus par analyse semi-quantitative sur la zone-échantillon.

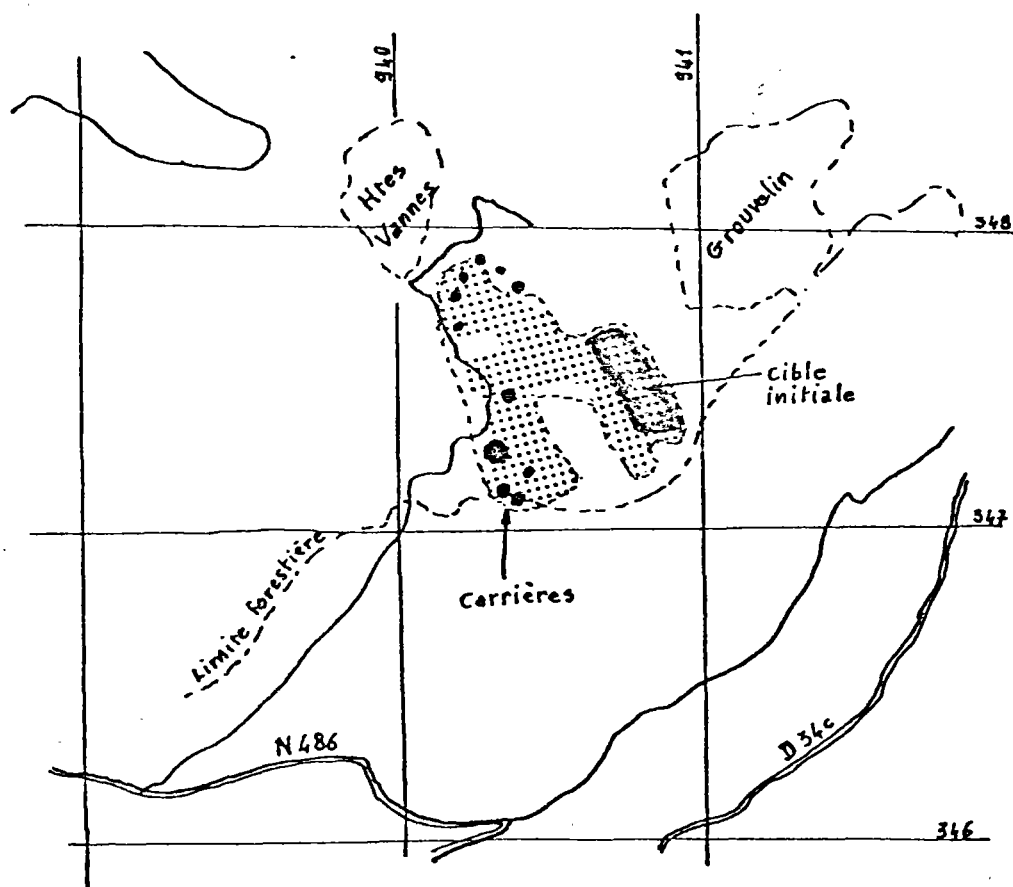


Fig. 16 - Localisation au 1/25 000^e du secteur admissible des Bioquets.

CHAPITRE III

ANALYSE STRUCTURALE DETAILLEE
DU SECTEUR DES BIOQUETS

III.1 - LEVER STRUCTURAL SEMI-DETAILLE

Ce premier lever effectué à l'échelle du 1/2 500e avait pour but essentiel de vérifier la qualité des observations faites à la photo aérienne.

Il a été mené comme suit :

- examen stéréoscopique complémentaire au fort grossissement,
- contrôle de situation des accidents principaux.

Examen stéréoscopique détaillé - contrôle

Le pouvoir séparateur plus important conféré par le grossissement permet :

- de relever un nombre de traces linéamentaires plus important,
- de discriminer plusieurs ordres de grandeur de linéaments - nous avons admis d'en distinguer deux que nous allons définir physiquement.

Les restrictions dans l'interprétation restent les mêmes que précédemment, mais sur ce secteur limité, nous avons pu effectuer des vérifications systématiques et éliminer ainsi de l'épure toutes les traces ne correspondant sur le terrain à aucun indice géologique ou topographique d'accident tectonique.

La figure 17 donne l'épure obtenue au 1/2 500e.

Sur cette épure :

* Les traces épaisses correspondent sur le terrain à des dépressions topographiques relativement nettes bordées par des couloirs de plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres de large

- . de diaclases
- . de paraclases non pénétratives

avec une densité de 1 à 3 par mètre.

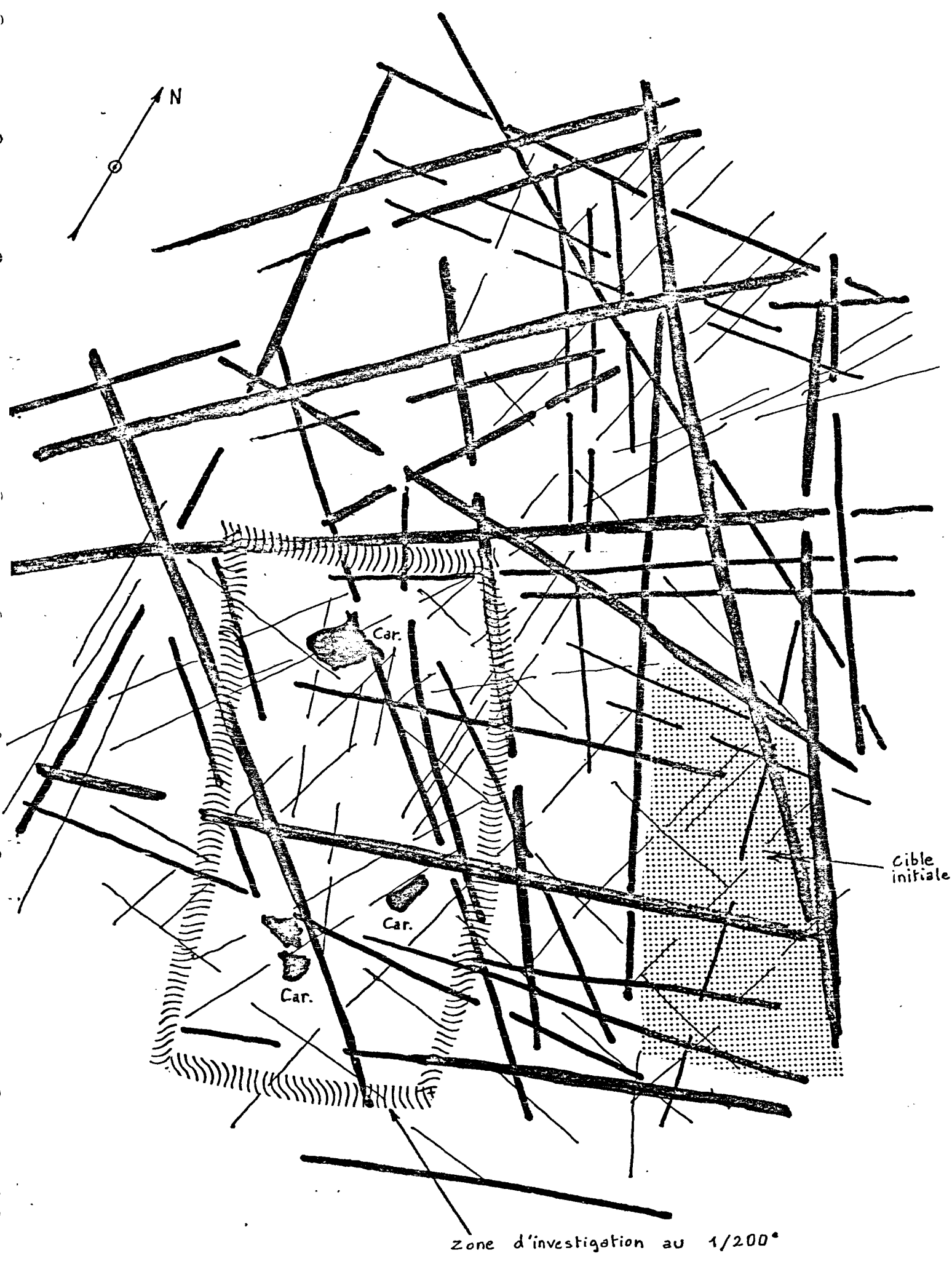


Fig. 17 - Epure structurale au 1/2500^e du secteur des Bioquets.

Ces traces ont été hiérarchisées sur la figure en fonction de leur importance. On notera que les plus importantes reproduisent le réseau majeur du 1/20 000e.

Nous n'avons pas trouvé sur ces linéaments de traces de zones broyées.

* Les traces minces en revanche semblent en majorité correspondre à des accidents pénétratifs, localisés (épaisseur inférieure ou de l'ordre du mètre) ressortant en raison de leur fort contraste.

Ils apparaissent bien sur affleurement, le plus souvent sous forme de zones broyées ou au moins fortement cataclasées. Ils sont discernables topographiquement dans les zones sub-affleurantes, indiscernables ailleurs.

* Notons que ces observations rejoignent la remarque importante faite plus haut sur l'ensemble du massif impliquant que ces deux types d'accidents ont une incidence pratique très différente en effet :

- les traces larges représentent des couloirs très larges en regard d'une exploitation, stérilisant en moyenne d'importants tonnages de matériaux bien qu'il n'y apparaisse pas de failles majeures exprimées.
- les traces étroites sont des failles exprimées importantes mais assimilables à des "filons" stériles représentant à priori un faible tonnage par rapport à une grande exploitation, si leur densité n'est pas trop importante.

Il était donc nécessaire d'analyser avec le maximum de précision d'une part, l'extension des couloirs de fracture du premier type, d'autre part, la densité des failles exprimées du deuxième type.

III.2 - LEVER STRUCTURAL DETAILLE

Ce lever a été effectué au 1/200e. Nous avons limité ce lever à environ 2 km² correspondant à la crête entourant la "Roche des Bioquets".

Les parties Nord et Ouest de la figure 17 ont été éliminées de l'analyse en raison de la densité manifeste des couloirs de type 1. Les sondages effectués dans la zone Nord nous ont donné raison, à posteriori.

La zone "cible" déterminée à petite échelle a également été éliminée en raison de l'absence d'affleurement. On notera à ce propos que si l'on fait l'hypothèse (parfaitement légitime, nous le verrons) de continuité des linéaments secondaires à N 120 et 50 relevés autour de cette zone, on est conduit à considérer cette zone comme un carroyage serré et homogène de couloirs secondaires de fractures, ce qui explique l'absence à la fois d'affleurements et de grandes traces topographiques, qui au 1/20 000e pouvait laisser présumer une zone saine. Nous avons évoqué précédemment cette possibilité d'interprétation biaisée et la nécessité d'un changement d'échelle d'analyse pour détecter l'erreur.

La figure 17 montre la zone finalement retenue pour l'investigation au 1/200e.

Les résultats de ce lever sont portés sur le grand plan de la figure 18 où figurent :

- le contour des affleurements,
- les traces des failles et diaclases matérialisées par l'horizontale de leur plan (la plupart des pendages se situe entre 60° et 85° .

On a superposé à ce tracé les éléments interprétatifs exposés dans ce qui suit.

III.3 - INTERPRETATION STRUCTURALE

* L'argumentation qui va être donnée ci-après ne représente que les conclusions de l'analyse structurale.

Cette analyse a comporté en fait :

- . plus de 500 mesures
 - de plans de discontinuités
 - de directions de stries
- . une étude précise des relations chronologiques entre les différents systèmes de fractures et de stries ;
- . une analyse des déplacements relatifs ;
- . une tentative de reconstitution de l'histoire des déformations en fonction de la tectonique générale du massif.

Le détail de cette analyse sort du cadre pragmatique de ce rapport.

* S'il est vrai que dans un massif géométriquement simple, de type batholite, on peut s'attendre, et on trouve, 3 systèmes approximativement orthogonaux (un système sub-horizontale et deux systèmes verticaux), les conditions admises de mise en place du massif des Crêtes le long de l'accident de Retournemer laissent prévoir une géométrie de fractures plus complexe.

* Ce réseau est néanmoins relativement régulier, assez dense, non pénétratif et, puisqu'il est constitué de fractures d'extensions, en principe initialement dépourvu de traces de mouvement. Ce dernier critère ne peut être pris en compte dans le massif des Crêtes qui a manifestement subi des sollicitations cisailantes contemporaines et tardives liées au rejeu de l'accident de Retournemer et indépendantes de cet accident.

Ainsi avons-nous observé que pratiquement tous les réseaux comportaient des traces de 2 à 3 mouvements successifs.

En revanche, les critères de régularité, de densité et non-pénétrativité ont permis de mettre en évidence un réseau bien individualisé de 3 familles précoces

- une famille d'orientation variant entre N 30° à l'ouest et N 60° à l'est, d'espacement variant entre 0,50 et 5 m, les densités de l'ordre de 0,50 m correspondant à des couloirs matérialisés sur le plan de la figure 18.

On observe pour cette famille des pendages conjugués de 50 à 80° Est ou Ouest.

- une famille d'orientation variant entre N 120° et N 130°, de pendage variant entre 90° et 70° Est ou Ouest, d'espacement variant entre 0,50 et 3 m, les fortes densités correspondant également à des couloirs matérialisés sur la figure 18.

- une famille proche de l'horizontale, d'orientation N 160° à 170° de pendage faible, de l'ordre de 10-15° S.E., de période régulière entre 2 et 3 m.

Ce réseau, constituant à priori l'élément directeur du "débit" de la roche, sera analysé plus précisément dans ce qui suit.

* Dans ces réseaux denses, existant dans tout massif indépendamment de sollicitations cisailantes, il est certain qu'une déformation déviatoire contemporaine

au refroidissement, va induire un rejeu des discontinuités existantes (d'autant plus important qu'il y a concordance d'orientation).

- . Il est important de noter que ce rejeu n'est pas, en général, régulier mais semble se disposer suivant des harmoniques dont la période n'est pas toujours interprétable. L'origine est toutefois souvent pétrographique (il conviendra de confronter sur ce point nos résultats avec ceux du professeur GAGNY concernant la périodicité d'anisotropie pétrographique).

L'analyse de distribution de ces harmoniques est fondamentale puisqu'elles représentent les zones à priori à exclure d'une exploitation.

Nous n'avons pu, faute de temps et de moyen, inclure une analyse harmonique rigoureuse au programme de cette étude. Nous nous sommes donc contentés d'une approche naturaliste semi-quantitative du problème consistant :

- à positionner des couloirs en fonction de critères topographiques et géologiques,
- à évaluer la distribution "courante" des trois familles principales du réseau précoce, hors des "couloirs",
- à évaluer les distributions correspondantes dans les couloirs.

* Position des couloirs

A - Position des couloirs N 40° à N 60°

Un couloir majeur coupe la zone d'étude à environ N 50°. Il correspond au seul grand linéament traversant le secteur dans cette direction, observé à la photo aérienne. Nous estimons sa largeur à au moins trente mètres.

Trois couloirs secondaires ont été relevés (Fig. 18)*. C'est totalement insuffisant pour établir une loi.

On peut cependant dire que l'ordre de grandeur :

- de l'espacement est de 50 mètres,
- de la largeur est de 5 à 15 mètres.

* Cf. Plan annexe 7.

B - Position des couloirs à N 120° - N 130°

Quatre couloirs ont été relevés. Leur largeur varie entre 3 à 6 m, leur espacement moyen est de l'ordre de 25 m.

* Distributions courantes (Fig. 19 A)

A - Direction N 40° - 60°

L'histogramme des espacements donne :

$$\bar{d}_1 \simeq 1,25 \text{ m} \quad \sigma_1 \simeq 0,40 \text{ m}$$

Valeur la plus fréquente : $\bar{D}_1 \simeq 0,90 \text{ m}$.

B - Direction N 120 - 130°

L'histogramme donne :

$$\bar{d}_2 \simeq 1,60 \text{ m} \quad \sigma_2 \simeq 0,95 \text{ m}$$

Valeur la plus fréquente : $\bar{D}_2 \simeq 1,00 \text{ m}$.

C - Direction sub-horizontale

L'histogramme donne :

$$\bar{d}_3 \simeq 2,20 \text{ m} \quad \sigma_3 \simeq 0,50 \text{ m}$$

Valeur la plus fréquente : $\bar{D}_3 \simeq 1,90 \text{ m}$.

* Ces trois distributions de type log-normal permettent de reconstituer un bloc unitaire "courant" de $1,7 \text{ à } 4,4 \text{ m}^3$ représenté sur le stéréogramme de la figure 19 B, construit à partir de la moyenne d'une part, de la valeur la plus fréquente d'autre part.

Il importe de faire des réserves sur ces histogrammes. En effet, bien que la loi log-normale soit effectivement le cas général dans les distributions des intervalles dans une famille de discontinuités (ce qui correspond à une loi poissonnienne de la fréquence de ces fractures), il faut retenir la part de subjectivité que supposent :

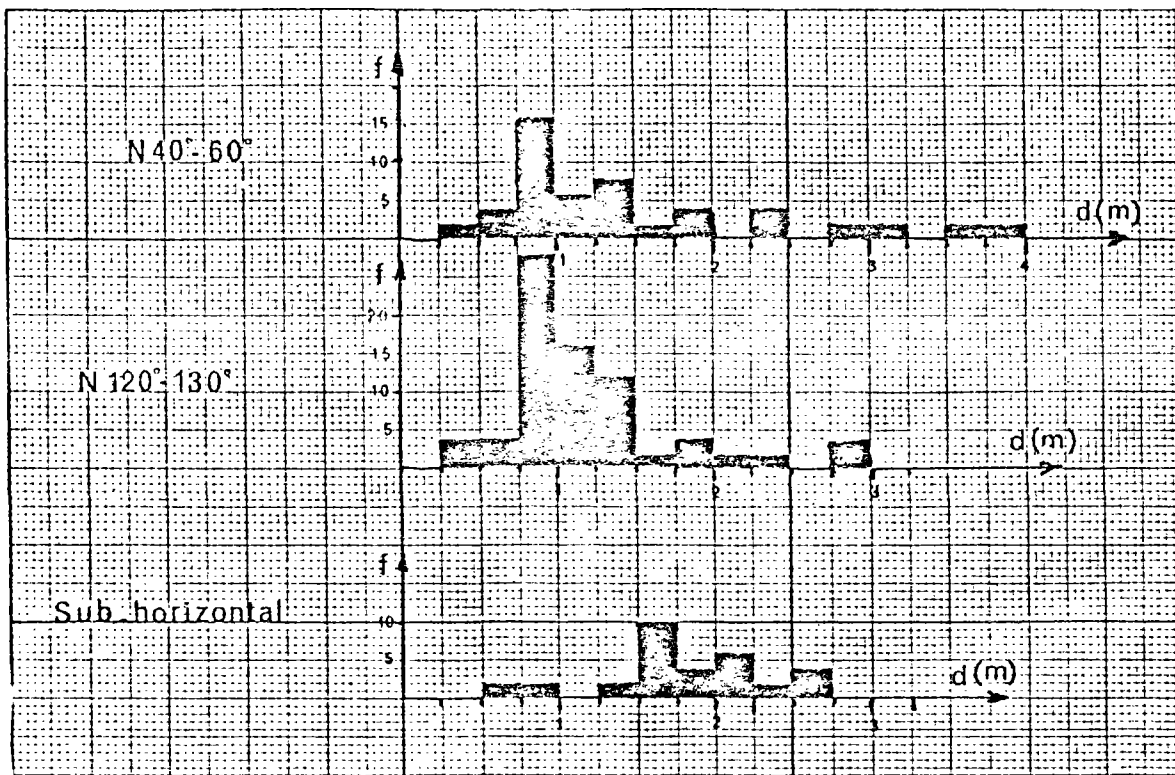


Fig. 19a- Histogrammes de fréquence des systèmes précoces.

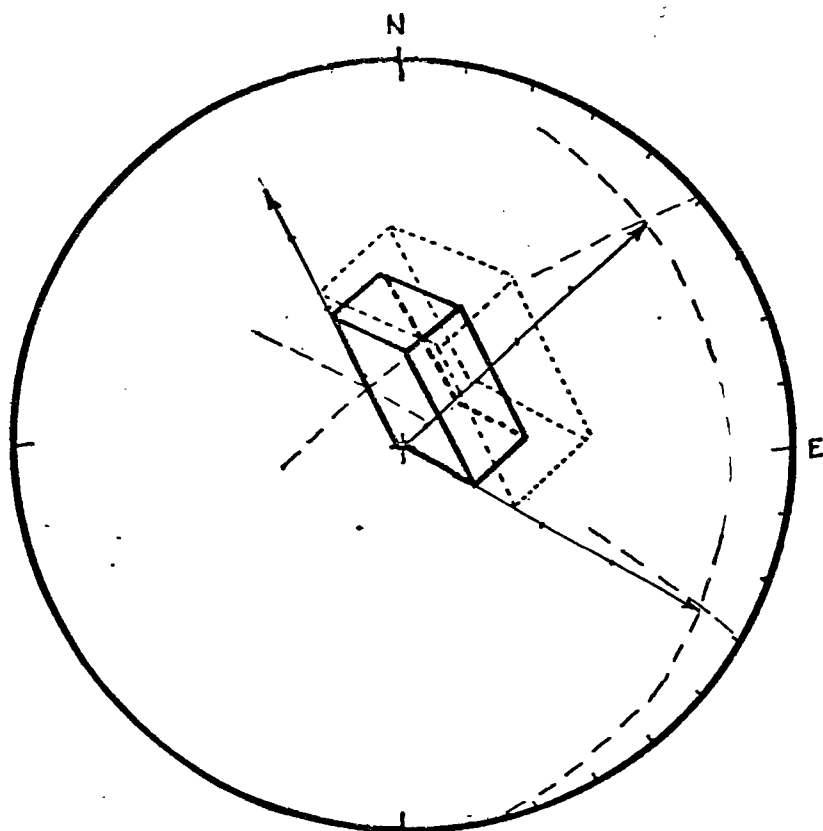


Fig. 19b- Blocs unitaires statistiques des systèmes précoces.

- le classement génétique de certaines fractures,
- le choix des zones de mesures,
- la délimitation des couloirs,
- le nombre assez faible de mesures.

* Distributions dans les couloirs (Fig. 20 A)

Ceux-ci n'étant apparents qu'en carrière, en nombre restreint, il est difficile de parler de "statistiques". On peut tout au plus supposer :

- des lois de même type (log-normal)
- des moyennes approximatives de :

$$(A) \quad d'_1 = d_1/2 \qquad (B) \quad d'_2 = d_2/2$$

$$(C) \quad d'_3 = d_3$$

D'où un bloc unitaire supposé représenté sur le stéréogramme de la figure 20 B.

III.3.1.2 - Le réseau précoce pénétratif

Nous avons répertorié deux familles de fractures isolées respectivement d'orientation N 15-40° et N 85-100° subverticales présentant les caractères spécifiques suivants :

- fractures pénétratives minces ou couloirs denses et étroits (2 à 3 m)
- en général, avec traces de cisaillement,
- souvent remplies de minces filonnets d'aplite ou de quartz,
- recoupées par endroit par les réseaux précoces à N 40-60° et N 120-130°.

Il s'agit vraisemblablement d'accidents cisailants peut-être conjugués (au sens de Riedel) associés aux mouvements dextres contemporains du refroidissement du granite, naissant dans les zones où les réseaux précoces ne suffisaient pas à encaisser la déformation (ce n'est toutefois qu'une hypothèse).

Retenons que leur fréquence est faible et ne peut être estimée qu'approximativement par un intervalle :

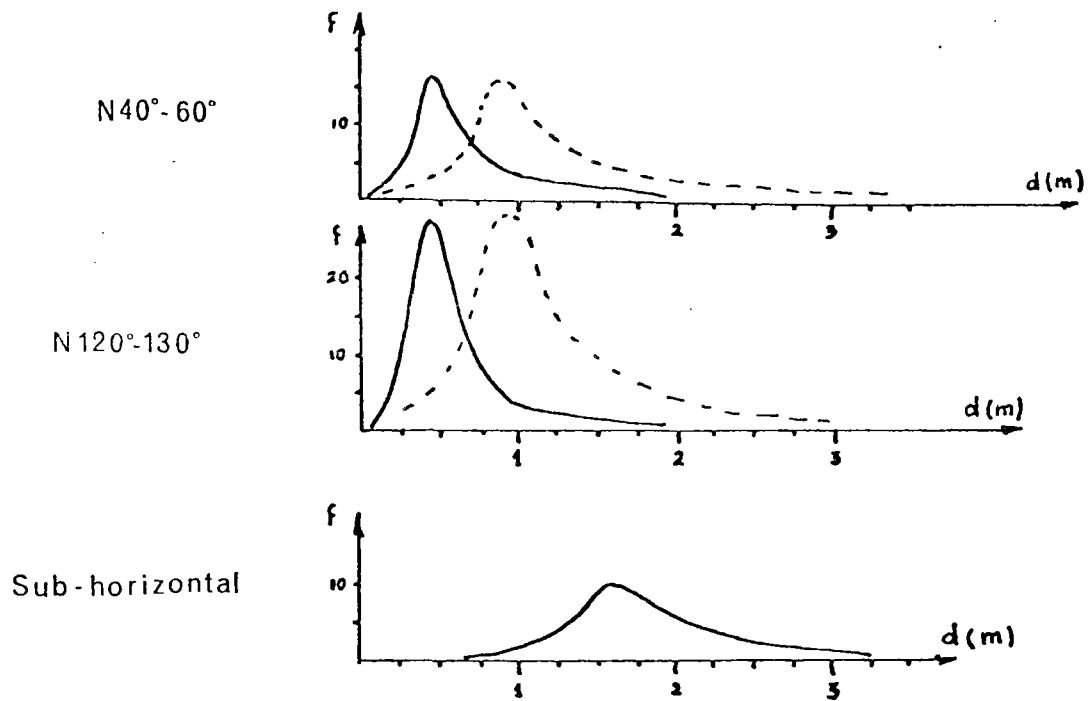


Fig. 2Ca- Structure statistique supposée des fractures dans les couloirs.

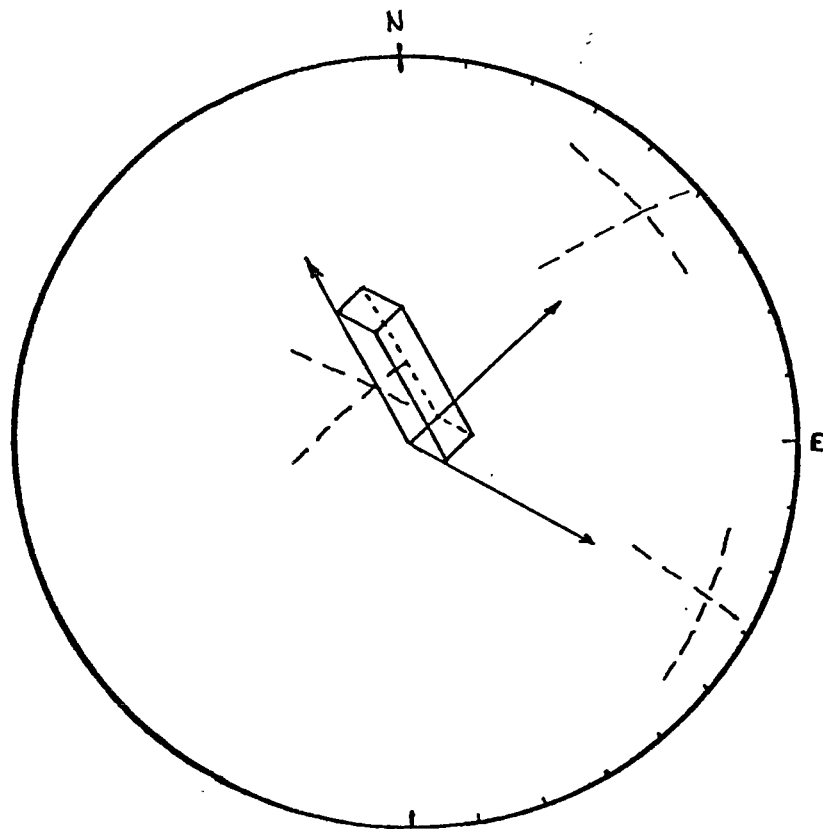


Fig. 2Cb- Bloc unitaire supposé dans les couloirs.

30 m pour l'orientation N 25-40°
{ 25 m dans le Sud |
100 m dans le Nord | pour l'orientation N 85-100°

III.3.1.3 - Le réseau tardif

Ce réseau comporte 3 familles :

- famille à N 60 à 75° constituée d'accidents isolés broyants d'environ 1 m de large recoupant tout le secteur. Espacement compris entre 4 m et 40 m (espacement moyen : 15 m) ;
- famille à N 0 à 15°, constituée d'accidents en général plus minces mais nettement cisailants et pénétratifs, se disposant souvent en petits faisceaux de 2 ou 3 constituant un couloir métrique (espacement : 5 à 15 m ; moyenne : 10 m).
Dans la partie centrale toutefois semble exister un faisceau beaucoup plus important, de 20 m de large environ, d'espacement métrique, recoupant le grand couloir central à N 50° (espacement : 1,5 m à 3 m) ;
- famille à N 150°, limitée à 2 couloirs de quelques mètres comportant des fractures d'espacement métrique, très minces mais paraissant traverser tout le secteur d'étude (espacement de 40 m entre les deux couloirs).

Nous n'avons pas d'interprétation cohérente de la genèse de ces systèmes ni de leurs rapports. Tout au plus peut-on présumer qu'ils sont liés au jeu tardif de l'accident de Retournemer.

Mais nous retiendrons leur grande continuité et le fait qu'ils soient en général détectables à la photo aérienne (quoique de manière discontinue).

III.3.1.4 - Le réseau aléatoire

Signalons pour mémoire la présence d'un certain nombre de fractures difficiles à classer dans les familles précédentes, dont l'orientation semble dépourvue de logique.

Ces fractures sont peu nombreuses et toujours d'extension limitée. Il paraissait illusoire de leur chercher une loi de distribution, aussi avons-nous admis qu'elles constituaient un des aléas irréductibles mais peu contraignants des prévisions d'exploitation.

CHAPITRE IV

CONCLUSIONS

On peut ainsi tirer les conclusions suivantes des observations précédentes :

* L'élément directeur fondamental du débit est constitué par le réseau précoce

- N 40°-60°
- N 120°-130°
- Systeme subhorizontal

Nous avons donné précédemment les blocs unitaires moyens correspondant à ce réseau dans l'ensemble du secteur et dans les couloirs.

Le bloc unitaire hors des couloirs a un volume $V \geq 2 \text{ m}^3$, au seuil de 40%, que l'on considère comme satisfaisant pour l'exploitation. On se souviendra néanmoins que pour la famille N 40°-60°, on peut trouver simultanément dans une même zone des pendages inverses (quasiment symétriques par rapport à la verticale).

Bien que les pendages Nord de cette famille soient peu nombreux, ils introduiront un déchet non chiffrable mais probablement inférieur à 50 % des blocs débités par le réseau "normal".

Les zones de couloir sont à compter comme zones stériles.

* Tous les autres types d'accidents ont une densité nettement inférieure, un espacement en moyenne supérieur à 10 m, sauf la famille à N 0°-15° dans la zone centrale.

A l'exception de cette zone que l'on peut éliminer ou réserver à la production de sous-produits, on peut admettre que ces réseaux sont des aléas qui stériliseront périodiquement une faible épaisseur de roche.

Essayons de faire une estimation de tonnage stérilisé par ces réseaux :

* Supposons un territoire, sans couloirs précoces, de 1 hectare. D'après les densités estimées, on peut "espérer" y rencontrer :

- 330 m de la famille N 15°-40°
- 160 m de la famille N 85°-100°
- 660 m " " N 60°-75°

1 000 m de la famille N 0°-15°

250 m " " N 150°

Total : 2 400 m

Nous admettrons une épaisseur moyenne de 2 m, un pendage sub-vertical.

Pour une exploitation sur 20 m de hauteur, d'un tonnage total de $2 \times 10^5 \text{ m}^3$, on peut attendre, pour ces grandes fractures :

$$2\,400 \times 20 \times 2 = 96\,000 \text{ m}^3$$

env. $100\,000 \text{ m}^3$ de déchets,

soit une proportion de 50 % environ.

* Si l'on tient compte des couloirs précoces à 40° et 120°, on obtient une espérance de :

200 m à N 40°-60°

400 m à N 120°-130°

Ce qui, compte-tenu des largeurs estimées, respectivement 10 m et 4,5 m, donne un volume total de :

$$20\,000 \text{ m}^3$$

soit une proportion de 20 % du volume résiduel, de 10 % du volume total.

* Si enfin on tient compte d'une proportion de 60 % de blocs de dimension inférieure à 2 m^3 ($1 \times 1 \times 2 \text{ m}$) dans les zones "saines", on obtient un déchet supplémentaire de $48\,000 \text{ m}^3$.

* On aboutit ainsi à un volume exploitable de $32\,000 \text{ m}^3$, soit 16 % du total abattable sur 1 hectare (sur 20 m de haut), ou de $16\,000 \text{ m}^3$ soit 8 % du volume si l'on tient compte du déchet dû aux pendages Nord de la famille N 40-60°.

Les chiffres précédents ne sont que des ordres de grandeur dans la mesure où leur calcul a fait appel en partie à des estimations de densité et d'épaisseur statistiquement non rigoureuses (en raison d'un échantillonnage insuffisant).

Ils permettent néanmoins de tirer les conclusions scientifiques et techniques suivantes :

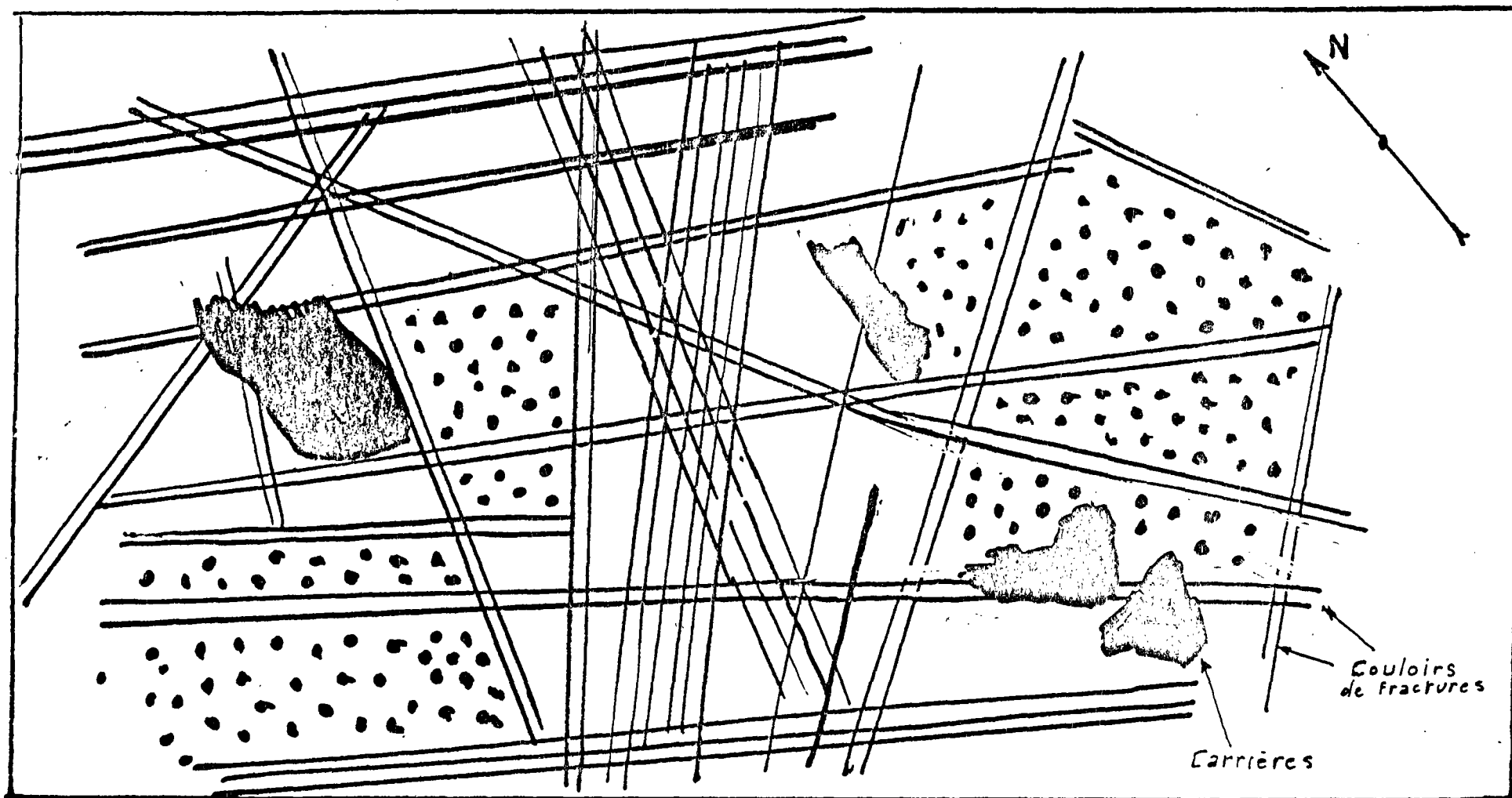


Fig. 21 - Périimètres jugés exploitables dans la zone des Bioquets (gros pointillés)

. on peut réaliser une estimation, pas nécessairement précise, mais mathématiquement plus rigoureuse en procédant à une analyse au 1/200e telle que la précédente sur une surface de dimension minimale égale à 20 fois la maille des accidents secondaires, c'est-à-dire de l'ordre de 1 km².

. indépendamment du crédit que l'on peut accorder à l'estimation précédente, il est certain que l'on augmentera les rendements :

- 1 - en sélectionnant au départ les "panneaux" découpés par les couloirs précoces (Fig. 21) ;
- 2 - en approfondissant au maximum l'exploitation (compte-tenu du maillage plus large des fractures sub-horizontales).

. l'expérience acquise dans l'examen de cette zone nous permet de penser qu'il est possible de faire de la prévision à relativement court terme (échéance annuelle ou bisannuelle) sur le développement d'une exploitation, à partir de levés de terrain à grande échelle (1/50e ou 1/100e) et de contrôles judicieux à base de géophysique "légère". Après expérimentation et étalonnage, nous pensons être en mesure de présenter un projet à cet effet.

B. r. g. m. - SGR/LOR
1, rue du Parc de Brabois
54500 - VANDOEUVRE

ANNEXE 2

DEPARTEMENT des VOSGES

*Relance de l'industrie extractive
des granites dans le département des Vosges*

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

S.G.R. LORRAINE

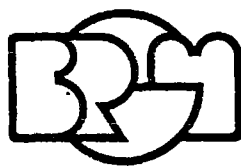
Evaluation "in situ" par méthode sismique
de l'altération et de la fracturation de
granites en vue de leur utilisation ornementale
sites de SENONES et de GERARDMER (Vosges)

par

J. PERAGALLO

79 GPH 059

Nov. 79



Département géophysique

B.P. 6009 - 45018 Orléans Cédex - Tél.: (38) 63.80.01

Evaluation "in situ" par méthode sismique
de l'altération et de la fracturation de
granites en vue de leur utilisation ornementale

SITES DE SENONES et de GERARDMER (Vosges)

par

79 GPH 059

J. PERAGALLO

Nov 79

Confidentiel

RESUME

Dans le cadre de l'étude des granites vosgiens en vue de leur utilisation comme roche ornementale, le Service Géologique Régional Lorraine a sollicité une intervention du Département Géophysique du B. r. g. m.

Les méthodes sismiques ont été utilisées, en dispositifs de surface, entre surface et sondage, et entre sondages afin de déterminer la profondeur du granite non altéré d'une part et son état de fracturation d'autre part.

L'intervention a porté sur 2 sites, à SENONES et à GERARDMER qui a permis de connaître l'épaisseur d'altération superficielle du granite ; les mesures sismiques de transmission "in situ", à partir de forages dans le granite sain, ont, par l'analyse des critères de vitesse de propagation V_P et V_S , ainsi que du rapport V_S/V_P , fourni une estimation de l'état de fracturation.

Ce rapport contient : 19 pages de texte
20 figures dans le texte

SOMMAIRE

Page

RESUME

INTRODUCTION

1

1. DEROULEMENT DE L'INTERVENTION GEOPHYSIQUE

2

1.1. Moyens mis en oeuvre

2

1.2. Travaux réalisés

3

1.2.1. Site de SENONES

3

1.2.2. Site de GERARDMER (La Roche des BIOQUETS)

3

1.3. Exploitation des données sismiques

5

2. SITE DE SENONES

5

2.1. Données sismiques sur l'altération superficielle

5

2.1.1. Marqueurs sismiques reconnus

5

2.1.2. Formations altérées

5

2.1.3. Epaisseur d'altération

6

2.2. Données sismiques sur l'état de fracturation du granite de SENONES

6

2.2.1. Mesures de vitesse

6

2.2.2. Evaluation de la fracturation

10

3. SITE DE GERARDMER (La Roche des BIOQUETS)

11

3.1. Données sur l'altération superficielle

11

3.1.1. Marqueurs sismiques reconnus

11

3.1.2. Critères d'altération du granite en fonction de la vitesse sismique V_p

12

3.1.3. Géométrie de la zone altérée superficielle

12

3.2. Données sismiques sur l'état de fracturation du granite des crêtes

13

3.2.1. Mesures sismiques

13

3.2.2. Conclusions sur la fracturation du granite

17

CONCLUSION

19

INTRODUCTION

Le S.G.R./Lorraine a demandé au département Géophysique une intervention dans le cadre de l'étude des granites localisés dans le département des Vosges → , il s'agit de déterminer les sites les plus favorables à une exploitation des granites comme roche ornementale.

Parmi les critères de sélection, l'état de fracturation du matériau revêt une importance primordiale, de même que l'épaisseur des formations altérées pour atteindre le granite à l'état sain : ces deux objectifs ont justifié le recours à l'emploi de méthodes géophysiques, particulièrement la sismique, utilisée à la fois en dispositifs de surface et à partir de sondages. La sismique réfraction de surface fournit une information sur la puissance de l'altération superficielle du granite, tandis que la sismique dans et entre les sondages réalise des mesures "in situ" des caractéristiques de transmission du granite, principalement les vitesses V_P et V_S qui sont fonction de son état de fracturation.

Rappelons que la méthode de sismique réfraction (dispositifs de surface) renseigne sur la succession de formations du sous-sol caractérisées par leur vitesse de propagation des ondes élastiques sous réserve que la valeur de ces vitesses successives augmente avec la profondeur : appliquée à la reconnaissance de massifs granitiques, la méthode permet de distinguer le granite sain sous-jacent, de vitesse sismique élevée, et les formations de recouvrement de vitesse inférieure qui peut englober des terrains de nature géologique variable (granite très altéré ou très fissuré, zone arénisée ...) y compris des résidus de granite sain (altération en boule).

Quant aux mesures sismiques de transmission, effectuées au sein du granite non altéré, grâce aux forages, elles donnent accès aux vitesses de propagation des ondes longitudinales (V_P) et des ondes transversales (V_S) ; la mesure de la vitesse transversale V_S est cependant très délicate

à obtenir, car les arrivées S sont toujours postérieures aux arrivées P sur l'enregistrement sismique non traité, d'où leur identification difficile. Lorsque ces deux mesures peuvent être effectuées, et uniquement dans ce cas, on dispose du paramètre V_S/V_P qui fournit une estimation des discontinuités du matériau* :

$$\begin{array}{ll} V_S/V_P < 0,6 & \text{roches peu ou pas fissurées ;} \\ 0,6 < V_S/V_P < 0,7 & \text{roches fissurées} \\ V_S/V_P \geq 0,7 & \text{roches très fissurées.} \end{array}$$

Le calcul du coefficient dynamique de POISSON σ_d , dont la valeur peut s'écarter notablement de celle du coefficient statique, donne également une information sur la résistance mécanique de la roche.

Ce sont en définitive ces deux critères -épaisseur de couverture altérée la plus réduite possible et matériau le moins fissuré possible- qui conditionnent l'exploitation éventuelle du granite. Ce sont eux que l'intervention géophysique s'est attachée à évaluer.

1. DEROULEMENT DE L'INTERVENTION GEOPHYSIQUE

La prospection sismique sur les deux sites des granites vosgiens s'est déroulée du 30.07 au 18.08.79.

1.1. Moyens mis en oeuvre

Personnel

- 1 ingénieur : J. PERAGALLO ;
- 1 prospecteur : P. CHARBONNEYRE ;
- 4 stagiaires.

* TOURENQ C., FOURMAINTRAUX D., DENIS A. Propagation des ondes et discontinuités des roches (Symposium Soc. Internat. Mécanique des Roches, NANCY 1971).

Matériel sismique

- 1 enregistreur ABEM 24 traces ;
- 1 enregistreur NIMBUS 12 traces à sommation ;
- 24 géophones verticaux 14 Hz longues pointes ;
- 12 géophones horizontaux 30 Hz ;
- 4 géophones tridirectionnels ;
- 1 flûte de 12 capteurs piézoélectriques pour sismosondage ;
- 1 sonde de forage tridirectionnelle OYO ;
- 1 sonde de forage tridirectionnelle MARK PRODUCTS ;
- 2 sources sismiques (explosif et marteau).

Véhicules

- 1 véhicule tout-terrain FORD-TRANSIT, camion labo ;
- 1 R 12 RENAULT spécialement aménagée (dépôt mobile d'explosifs) ;
- 1 estafette RENAULT, véhicule de liaison.

1.2. Travaux réalisés

1.2.1. Site de SENONES

. levé d'un plan (topofil et boussole) et topographie sommaire (clisimètre) de la zone prospectée.

. dispositifs sismiques surface-surface :

- 3 dispositifs paramétriques avec enregistrement des composantes verticale et horizontale (P1-2-3) ;
- 6 dispositifs de 200 m de long à 24 géophones verticaux (D1-2-3-4-5-6) ;
- 1 dispositif de 120 m de long à 12 géophones horizontaux (milieu D1) ;
- mesures de vitesses sur bloc granitique.

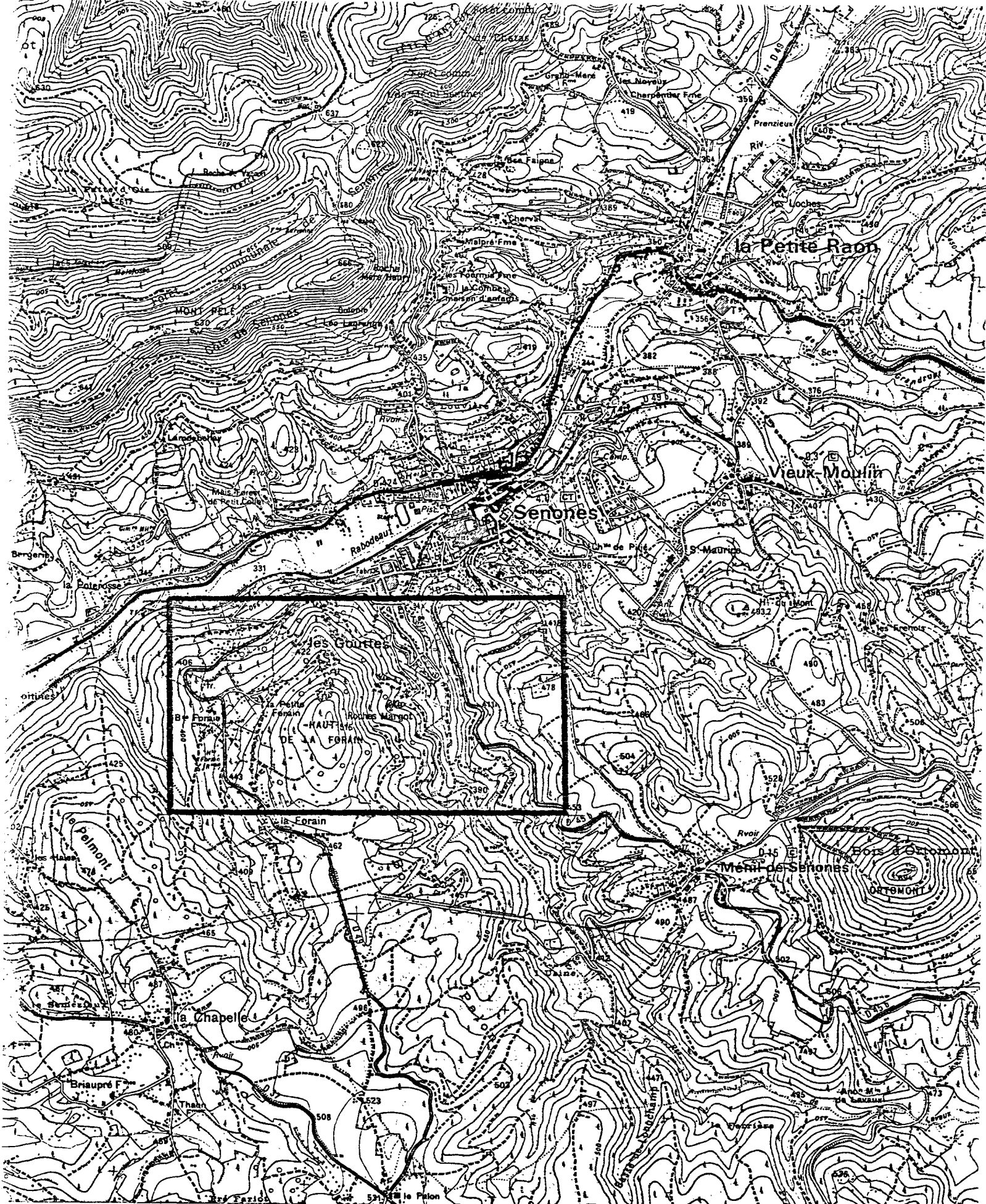
- . dispositifs sismiques surface-forage :
 - 3 sismosondages (flûte de 12 capteurs piézoélectriques forages 1, 2, 3) ;
 - mesures en fond de trou (sondes tridirectionnelles) dans le forage 1.

- . dispositifs sismiques forage-forage :
 - mesures de transmission entre les forages 2 et 3.

1.2.2. Site de GERARDMER (La Roche des BIOQUETS)

- . topographie :
 - levé d'un plan à la boussole et au topofil ;
 - topographie sommaire des dispositifs sismiques de surface au clisimètre ;
 - topographie des sondages au niveau.
- . dispositifs sismiques surface-surface :
 - 1 dispositif paramétrique (géophones verticaux) ;
 - 7 dispositifs à 24 géophones verticaux (D1 à 7) ;
 - 3 dispositifs à 12 géophones horizontaux (D1-2-3).
- . dispositifs sismiques surface-forage :
 - 4 sismosondages dans SC1, SC2, SC3 et SD6 ;
 - mesures de transmission entre forage et surface (géophones tridirectionnels scellés au rocher, tirs en forage SC1 et SC2).
- . dispositifs sismiques forage-forage :
 - mesures de transmission entre SC1-SC2 à différents niveaux ;
 - mesures de transmission en fond de trou entre sondages éloignés :

SC1 - SC3	SC3 - SC2
SC1 - SD2	SC3 - SD2
SC1 - SD3	SC3 - SD3
SC1 - SD4	SC3 - SD4
	SC3 - SD5
	SC3 - SD6.



GRANITES VOSGIENS

Fig. 1. Site de SENONES

Extrait de la carte IGN St. DIÉ 1.2

Ech.: 1/25 000

1.3. Exploitation des données sismiques

Plusieurs paramètres des enregistrements sismiques ont été exploités :

- analyse des temps (arrivées premières et postérieures) ;
- analyse des amplitudes de l'arrivée P ;
- analyse des fréquences de l'arrivée P.

2. SITE DE SENONES

La figure 1 ci-jointe donne la localisation de la zone étudiée (carte I.G.N. 1/25.000).

2.1. Données sismiques sur l'altération superficielle

Les dispositifs sismiques de surface, renseignent de façon classique, sur l'épaisseur de terrain déconsolidé qui recouvre le marqueur rapide.

2.1.1. Marqueurs sismiques reconnus

Les coupes sismiques représentées (figures 2, 3, 4, 5, 6 et 7) montrent la succession suivante :

- un marqueur profond de vitesse sismique V_p variant de 4600 à 5100 m/s ;
- un horizon intermédiaire de 1000 à 2000 m/s ;
- un terrain de recouvrement lent superficiel de 300 à 600 m/s.

2.1.2. Formations altérées

Le substratum rapide de vitesse sismique voisine de 5000 m/s correspond à un matériau consolidé, non altéré à l'échelle de la dimension du dispositif sismique (la vitesse donnée est une moyenne sur 200 m de long), qui est attribuable au granite à l'état sain.

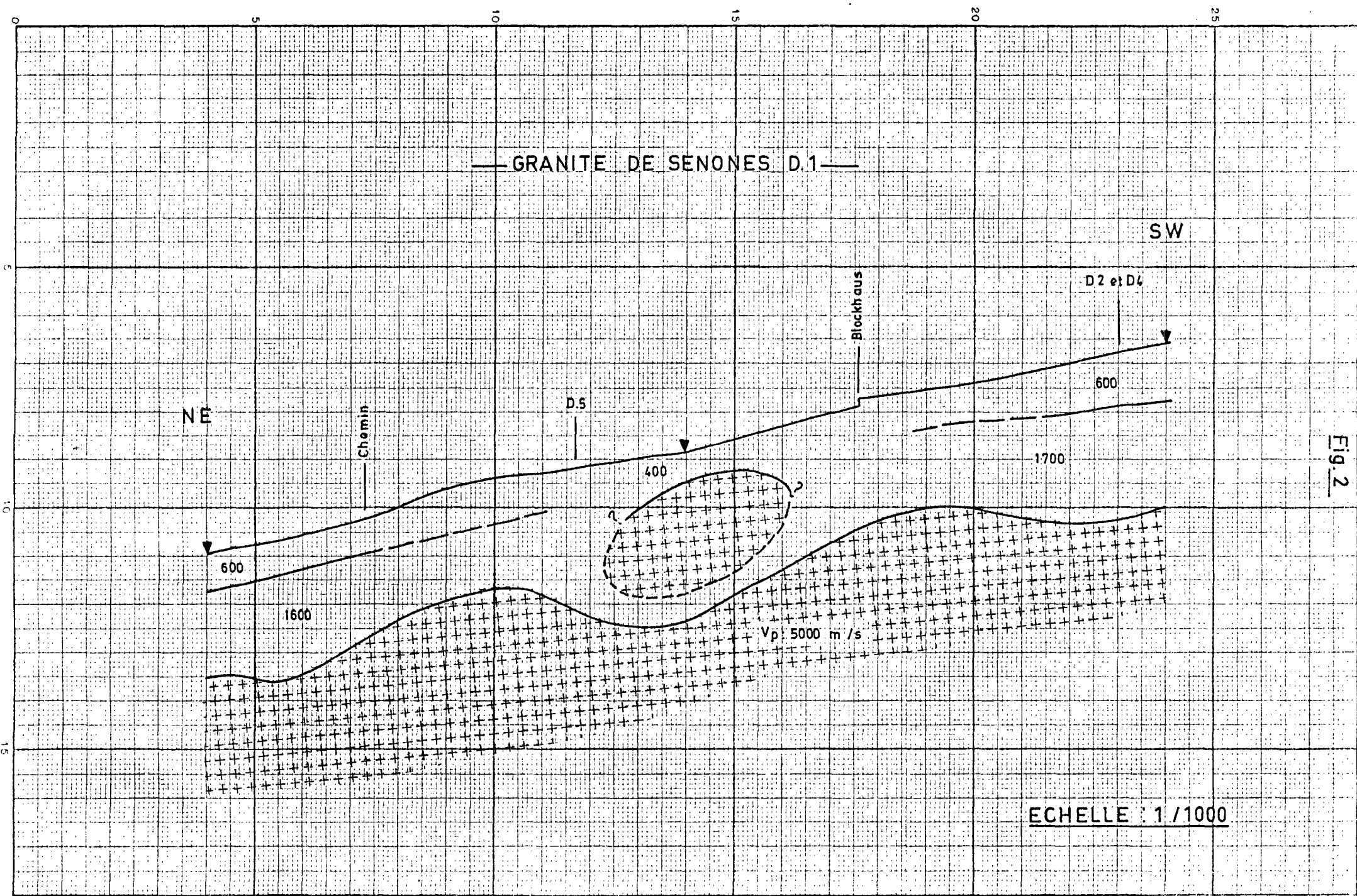


Fig. 2

ECHELLE : 1 / 1000

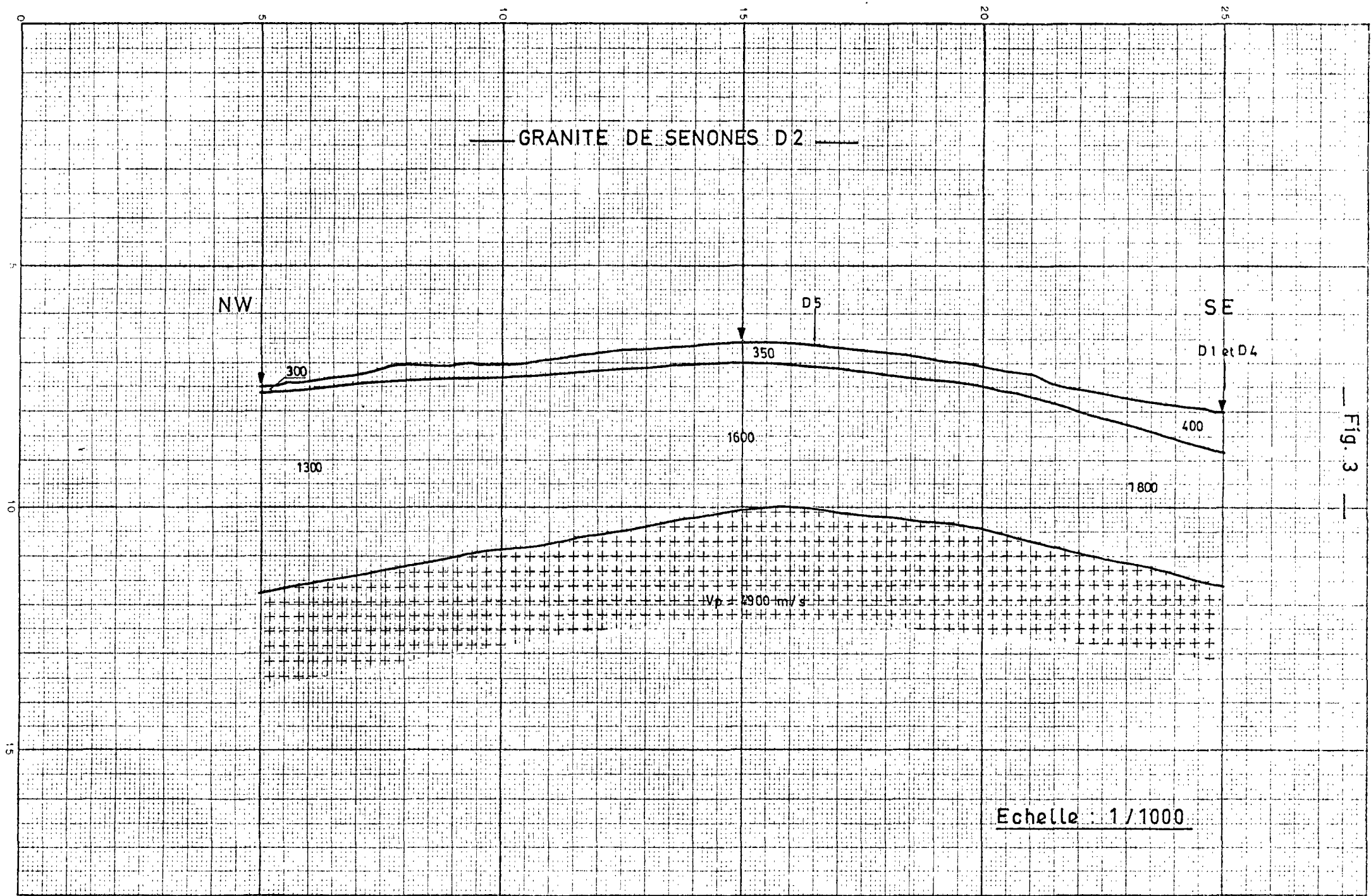


Fig. 3

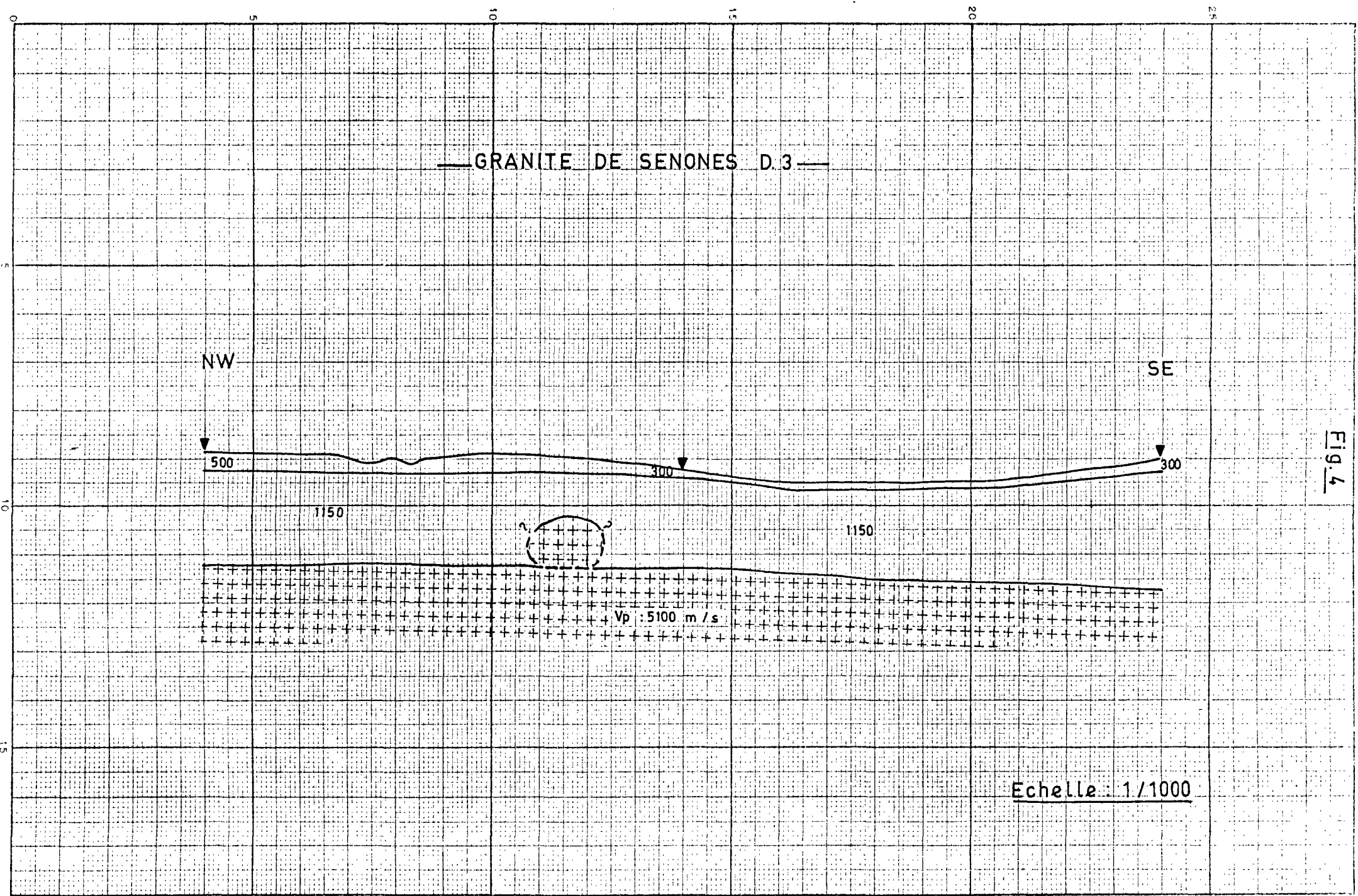


Fig. 4

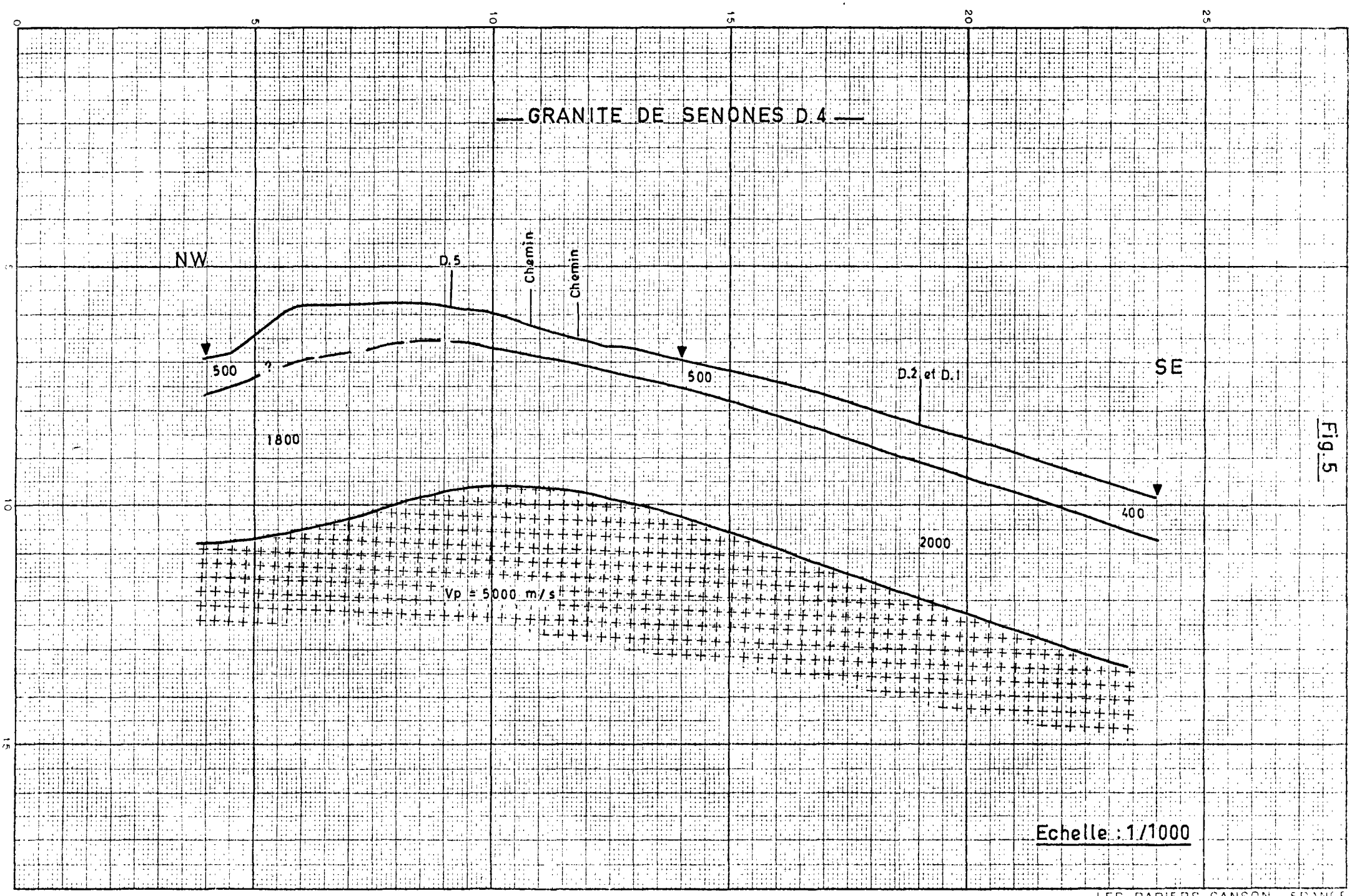


Fig. 5

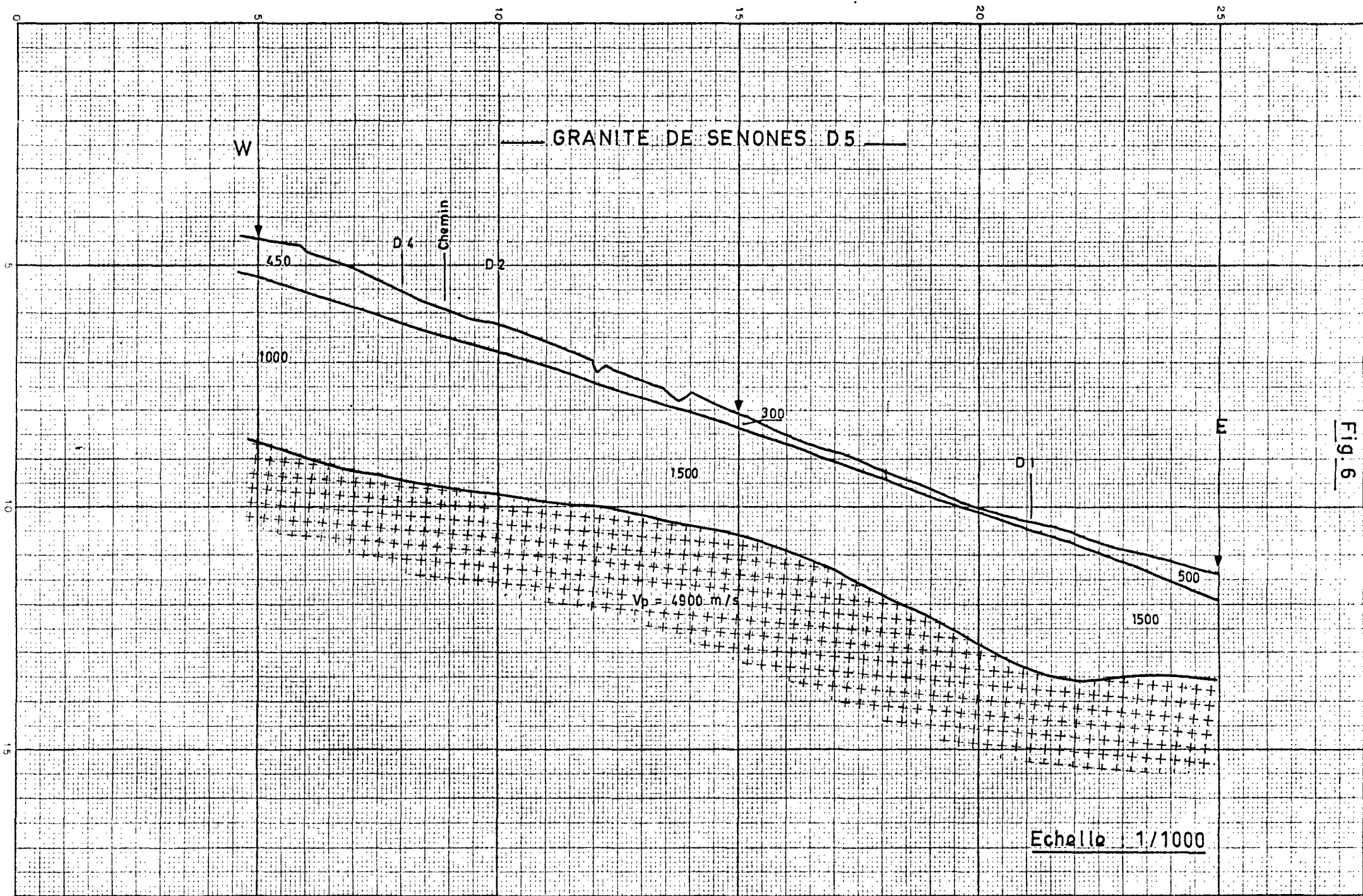
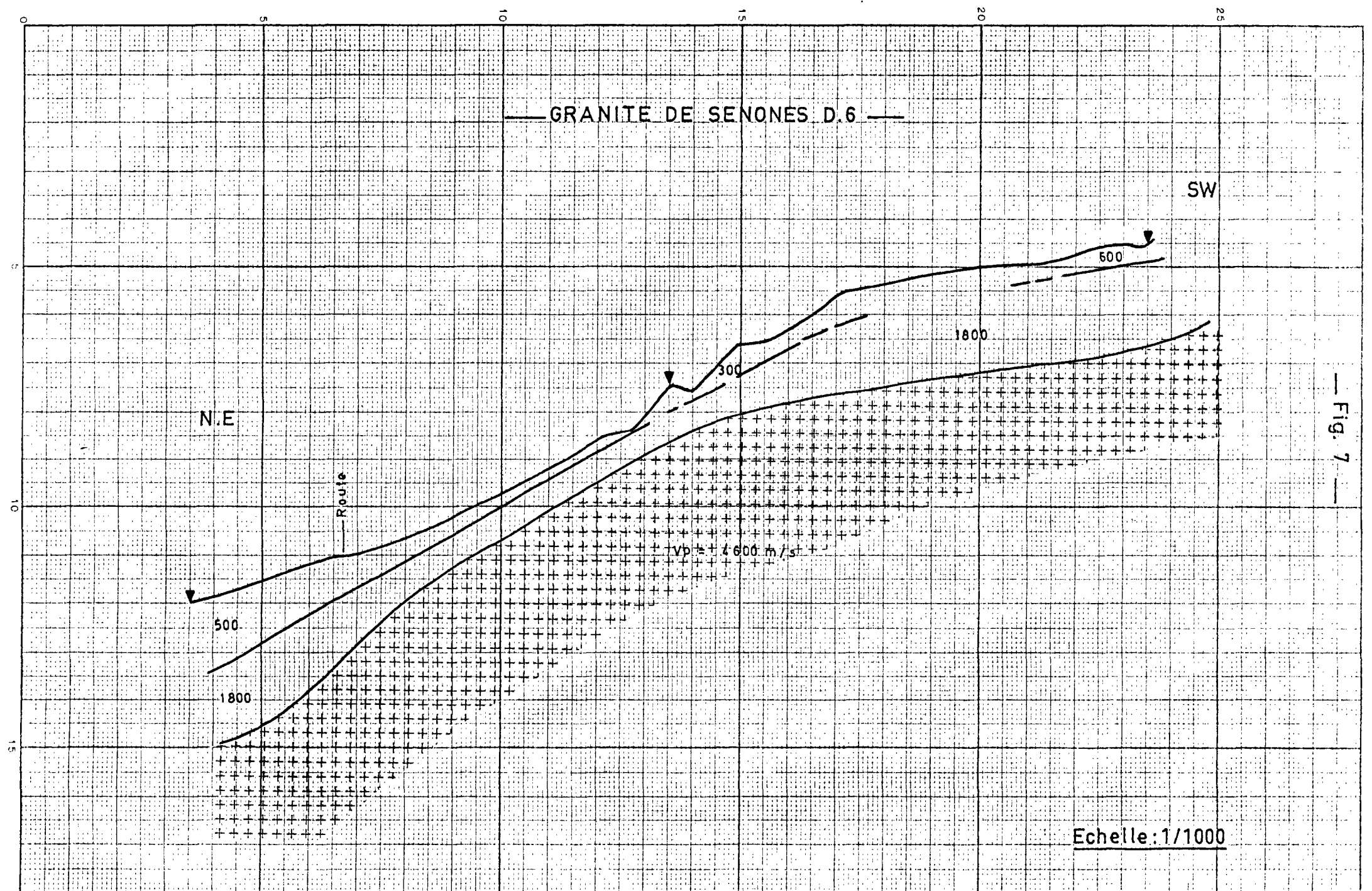


Fig. 6



— Fig. 7 —

Les formations qui le recouvrent, dont la vitesse ne dépasse pas 2000 m/s sont incontestablement représentatives d'un matériau déconsolidé, sans doute une altération du granite. Quant au niveau plus lent de surface, il s'agit de terrains meubles (éboulis, terre végétale).

Précisons que la zone altérée du granite ainsi définie est susceptible de contenir localement des boules de granite sain, non décelables qui n'affectent que peu la vitesse sismique sauf si elles sont de dimensions suffisantes (dispositif D1, par exemple).

2.1.3. Épaisseur d'altération

On constate, sur les figures 2 à 7 que le granite sain de 5000 m/s se situe généralement à 20 m de profondeur au moins, l'épaisseur de l'altération superficielle pouvant parfois dépasser 40 m.

Toutefois, cette épaisseur est plus réduite au Nord de la carrière actuellement exploitée (dispositif D6 au-dessus du chemin d'accès aux carrières). Notons également la possibilité d'exploiter des boules de granite sain contenues dans les formations altérées, mais dont l'existence et la qualité reste aléatoire.

2.2. Données sismiques sur l'état de fracturation du granite de SENONES

2.2.1. Mesures de vitesse

Plusieurs valeurs des vitesses des ondes de compression et des ondes de cisaillement ont été obtenues pour le granite, à partir des mesures en surface, dans les forages, entre forage et même sur un bloc de granite.

Parallélépipède de granite (3 x 1 x 1 m environ)

Un capteur tridirectionnel scellé sur un bloc de granite prêt à la livraison (issu de la seule carrière exploitée au moment de l'intervention géophysique) a fourni les valeurs :

$$\begin{aligned} V_P &= 5300 \text{ m/s} & V_S/V_P &= 0.55 \text{ ou } V_P/V_S = 1.83 \\ V_S &= 2900 \text{ m/s} \\ \sigma_d &= 0.29 \end{aligned}$$

Cette valeur voisine de 0.3 du coefficient de POISSON dynamique peut être considérée comme un étalonnage d'un granite non fissuré à l'échelle macroscopique.

Mesures surface-surface

Le tableau ci-après montre les vitesses obtenues avec les dispositifs paramétriques P1-2-3 dans une carrière abandonnée (voir figure 9).

Dispositif	V_P (m/s)
P1	1900
P2	1750
P3	2250

Il est évident que de telles valeurs ne peuvent correspondre à un granite sain, du type de celui exploité : une vitesse V_P voisine de 2000 m/s indique un matériau beaucoup moins compacté que 5000 m/s, donc un granite altéré (les dispositifs paramétriques de 30 m de long n'ont pas atteint le marqueur rapide, malgré leur position dans une zone décapée).

Par contre, les dispositifs de sismique réfraction classique (voir § 2.1.), avec tirs de recouvrement donnent des vitesses V_P de l'ordre de 5000 m/s pour le substratum rapide attribué au granite sain ; cependant, aucune donnée relative à la vitesse V_S n'a pu être obtenue malgré l'emploi systématique de géophones verticaux à longues pointes ou même de géophones horizontaux au dispositif D1.

Mesures surface-forage

En sismosondage, on mesure une vitesse verticale moyenne (flûte dans le forage, tir en tête du trou) :

Sondage	V_P (m/s)	V_S (m/s)	V_S/V_P	V_P/V_S	σ_d
S1 incliné, carroté, et non tubé	5000	2300	0.46	2.17	0.37
S2 tubé	1500				
S3 tubé	2300				

Seule la mesure en forage non tubé S1 est représentative du granite : les vitesses des arrivées P enregistrées dans les forages tubés sont soit celles de l'eau (S2), soit celles du tubage P.V.C. (S3) ; on pense que cet échec est dû à un couplage inexistant avec le terrain naturel (tubage non adhérent à la paroi).

Les mesures avec sonde tridirectionnelle (MARK PRODUCTS) en fond de trou et tir en tête, donnent des valeurs similaires, plus précises, au sondage S1 (entièrement dans le granite sain) :

$$V_P = 4900 \text{ m/s}$$

$$V_S = 2400 \text{ m/s}$$

$$\sigma_d = 0.34$$

$$V_S/V_P = 0.49 \text{ ou } V_P/V_S = 2.04$$

La comparaison des vitesses obtenues par deux moyens différents au sondage incliné S1 donne une idée de la précision des mesures. Il faut souligner, dans les deux cas, que les valeurs fournies intègrent l'état du granite tout le long du forage (25 m), c'est-à-dire que le granite est considéré comme homogène à cette échelle : le log géologique montre que tel est le cas (granite non fissuré sur 25 m).

ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

GRANITE DE SENONES

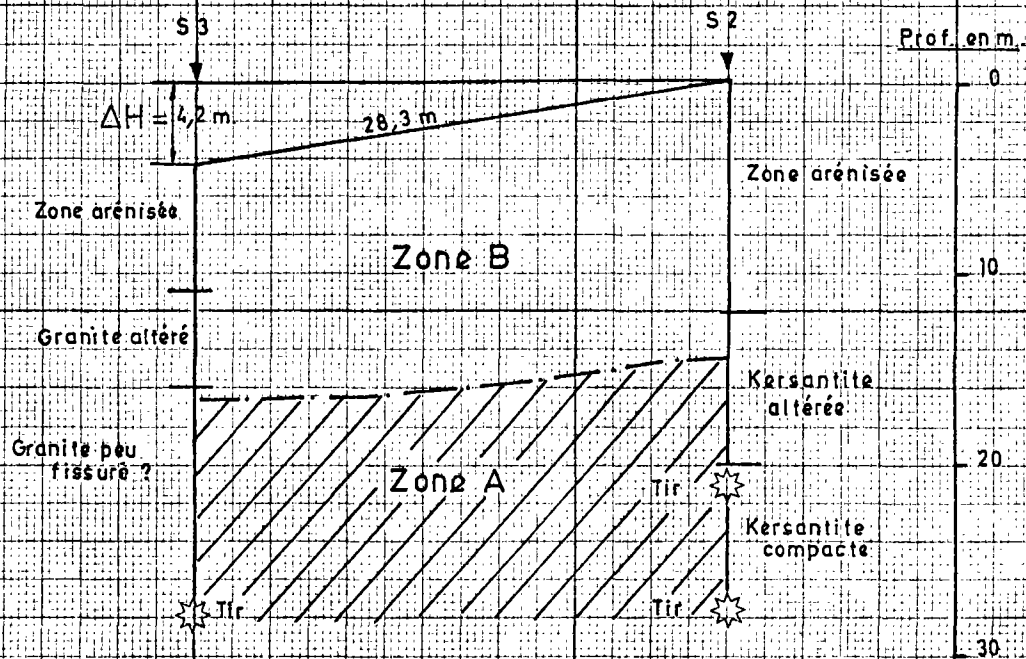


Fig. 8

Mesures de transmission entre forages S2 et S3 (voir figure 8)

Des tirs ont été effectués successivement dans les deux forages, avec enregistrement (flûte de 12 capteurs piézoélectriques) dans l'autre.

Forage de tir	Profondeur du tir (en m)	Temps d'arrivées directes (ms)	V _P (m/s)	V _S (m/s)
S2	28	6 - 11.5	4700	2400
S2	27.5	6 - 11.5	4700	2400
S2	21	5.5	5100	
S3	25	5.5	5100	

La précision du pointé est de 0.5 ms, c'est pourquoi les valeurs de 4700 et de 5100 m/s sont à considérer comme équivalentes.

Par ailleurs, les enregistrements obtenus indiquent des caractéristiques de transmission très différentes entre la partie inférieure (zone A) et la partie supérieure (zone B) des sondages.

Zone A

- Départs quasi synchrones ;
- signaux de haute fréquence (jusqu'à 500 Hz de fréquence apparente) ;
- durée des oscillations ne dépassant pas 80 à 100 ms.

Zone B

- départs retardés en fonction de la distance ;
- signaux de fréquence apparente inférieure à 100 Hz ;
- durée des oscillations très supérieure à 100 ms (dispersion des fréquences ?).

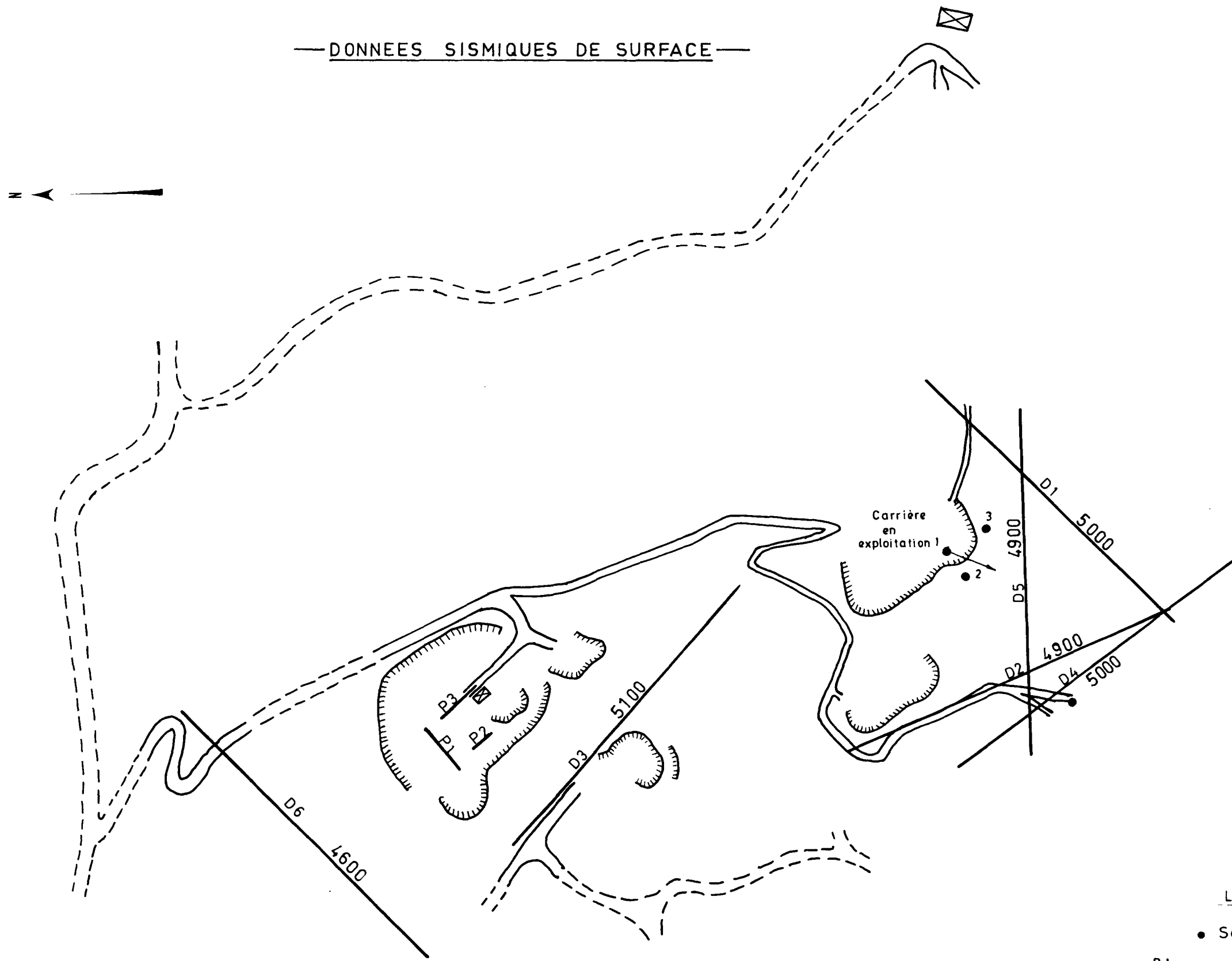
Cette distinction très nette permet de distinguer une zone où le filtrage des ondes sismiques est intense (zone B), et une zone où le signal sismique est peu altéré (zone A).

Fig. 9

ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

Granite de Senones

— DONNEES SISMIQUES DE SURFACE —



LEGENDE

● Sondage

D1 — Dispositif sismique.
D1 5000 — Vitesse sismique moyenne du dispositif.

Ech.: 1/2500

La zone B correspond à un milieu décompacté (granite altéré, zone arénisée) ; la zone A à un milieu consolidé caractérisé par les constantes suivantes :

$$\begin{aligned} V_P &= 4700 \text{ m/s} & V_S/V_P &= 0.51 \text{ ou } V_P/V_S = 1.96 \\ V_S &= 2400 \text{ m/s} \\ \sigma_d &= 0.32 \end{aligned}$$

2.2.2. Evaluation de la fracturation

L'investigation géophysique du site du granite de SENONES fournit des données sur la fracturation, à proximité de la carrière en cours d'exploitation, grâce aux mesures effectuées en forage.

Les formations granitiques compactes (granite, kersantite) rencontrées dans les sondages 1, 2 et 3 sont caractérisées par :

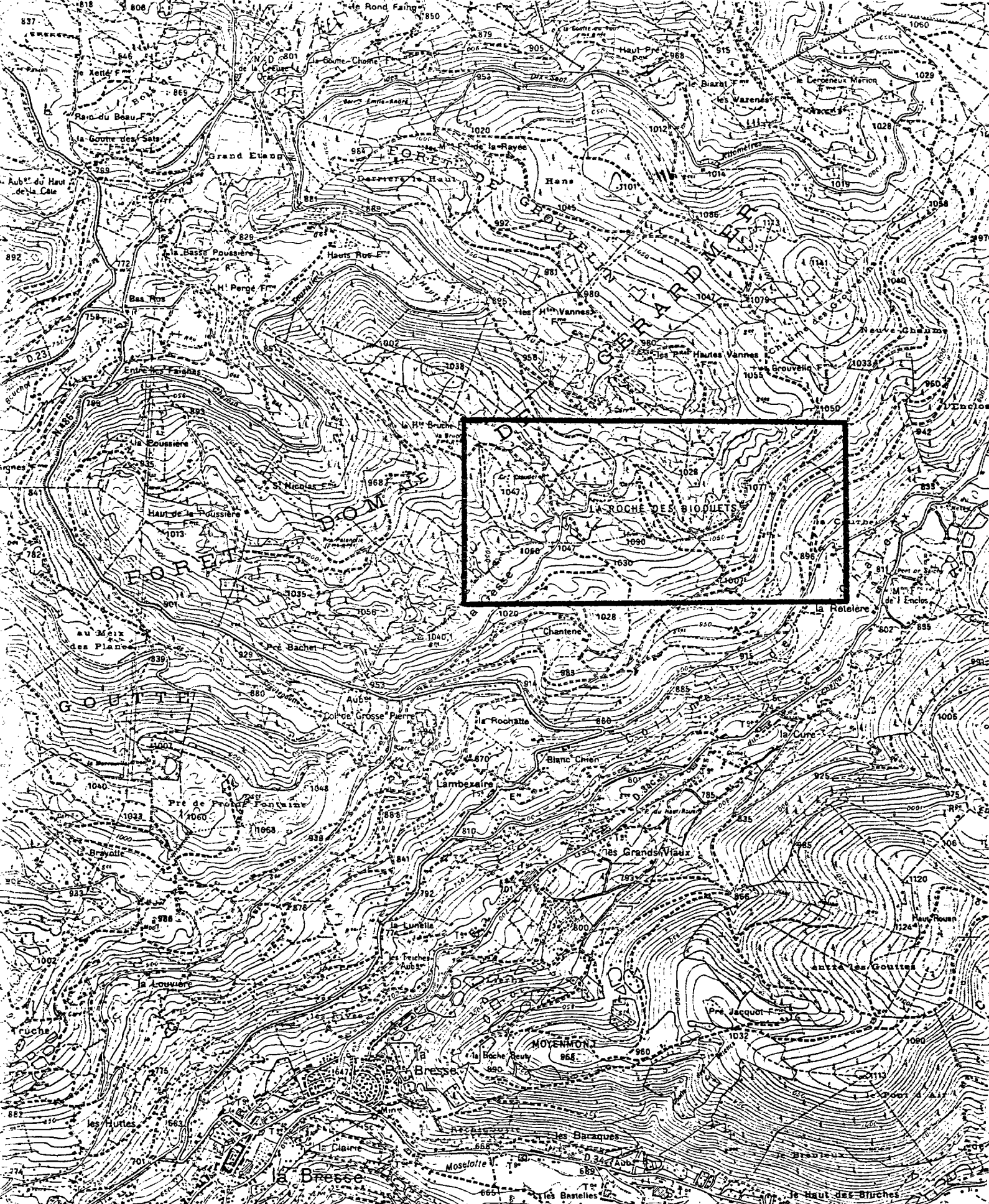
$$\begin{aligned} V_P &= 5000 \pm 500 \text{ m/s} \\ V_S/V_P &= 0.50 \pm 0.05 \end{aligned}$$

avec un coefficient de POISSON de l'ordre de 0.3.

Ces valeurs sont comparables à celles de l'étalonnage sur le bloc de granite prêt à la livraison ; en outre, on admet couramment qu'un rapport $V_S/V_P < 0.6$ caractérise des roches peu ou pas fissurées.

Ces matériaux rencontrés par forage, nous paraissent donc propices à l'exploitation, au seul regard des données sismiques, c'est-à-dire en fait de leur état de résistance mécanique. On notera en particulier que le granite et la kersantite ne peuvent être distingués par sismique.

En ce qui concerne le reste de la zone étudiée, seules les données sur la vitesse V_P obtenues par les dispositifs sismiques de surface fournissent une indication (voir figure 9) : la valeur de $5000 \pm 500 \text{ m/s}$

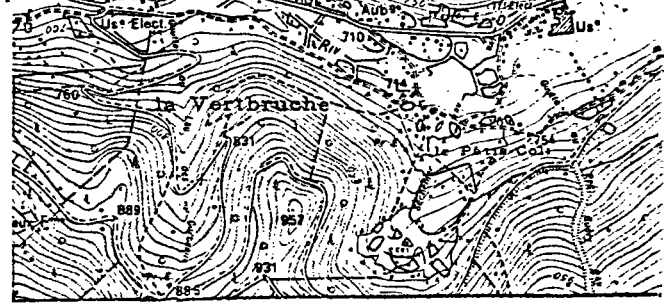


GRANITES VOSGIENS

Fig. 10 Site de la Roche des Bioquets

Extrait de la carte IGN MUNSTER N° 1-2

éch.: 1/25 000



n'étant pas diminuée de façon significative, on en déduit, du moins à l'aplomb des dispositifs, qu'il n'y a pas de zone de fracturation notable dont l'extension dépasse la centaine de mètres (une zone de fissuration intense à cette échelle affecterait de toute façon la vitesse V_p). Ce point de vue ne préjuge en rien de la fracturation à l'échelle décimétrique ou métrique, que seules les mesures entre forages pourraient préciser.

3. SITE DE GERARDMER (La Roche des BIOQUETS)

Le deuxième site étudié concerne le granite des crêtes, au lieu-dit "La Roche des Bioquets", près du col de GROSSE PIERRE dans la commune de GERARDMER (voir figure 10).

3.1. Données sur l'altération superficielle

7 dispositifs de sismique réfraction en surface ont été effectués, avec géophones verticaux, qui fournissent les résultats ci-après ; pour 3 de ces dispositifs (D1-2-3), des géophones horizontaux ont été utilisés qui n'ont pas donné de résultat satisfaisant sauf exception (tir Ouest - Dispositif D3).

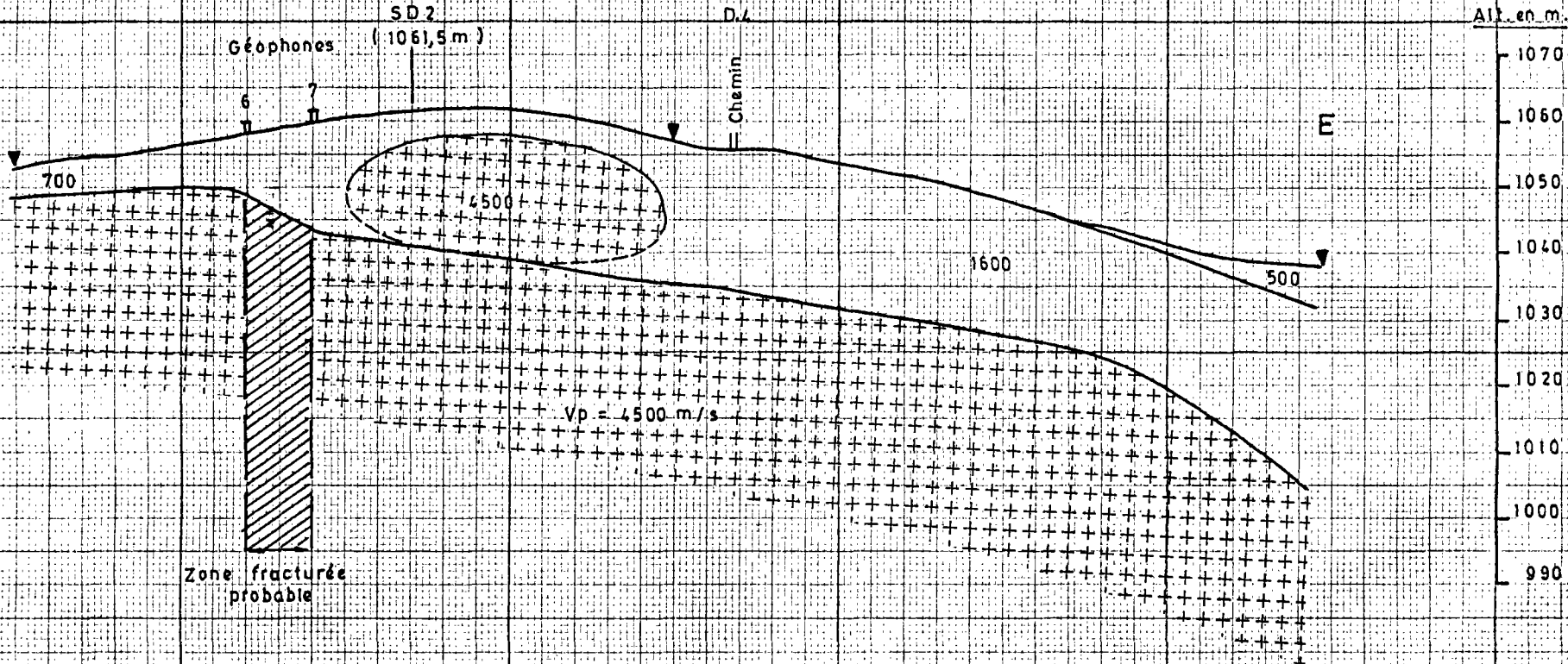
3.1.1. Marqueurs sismiques reconnus

- un substratum de vitesse sismique élevée (3600 à 4800 m/s) et de profondeur très variable (affleurant à 40 m) ;
- des niveaux sismiques intermédiaires, de vitesse comprise entre 1200 et 2200 m/s, parfois non représentés sur les coupes sismiques ;
- un recouvrement mince et lent (300 à 700 m/s) en surface (terre végétale).

— GRANITE DES CRETES D.1 —

W

All. en m.



Modifications de l'arrivée P aux géophones 6 et 7 : atténuation de 50% de l'amplitude
Fréquences apparentes de 62 et 55 Hz
(au lieu de 70-80 Hz)

Echelle 1/1000

Fig. 11

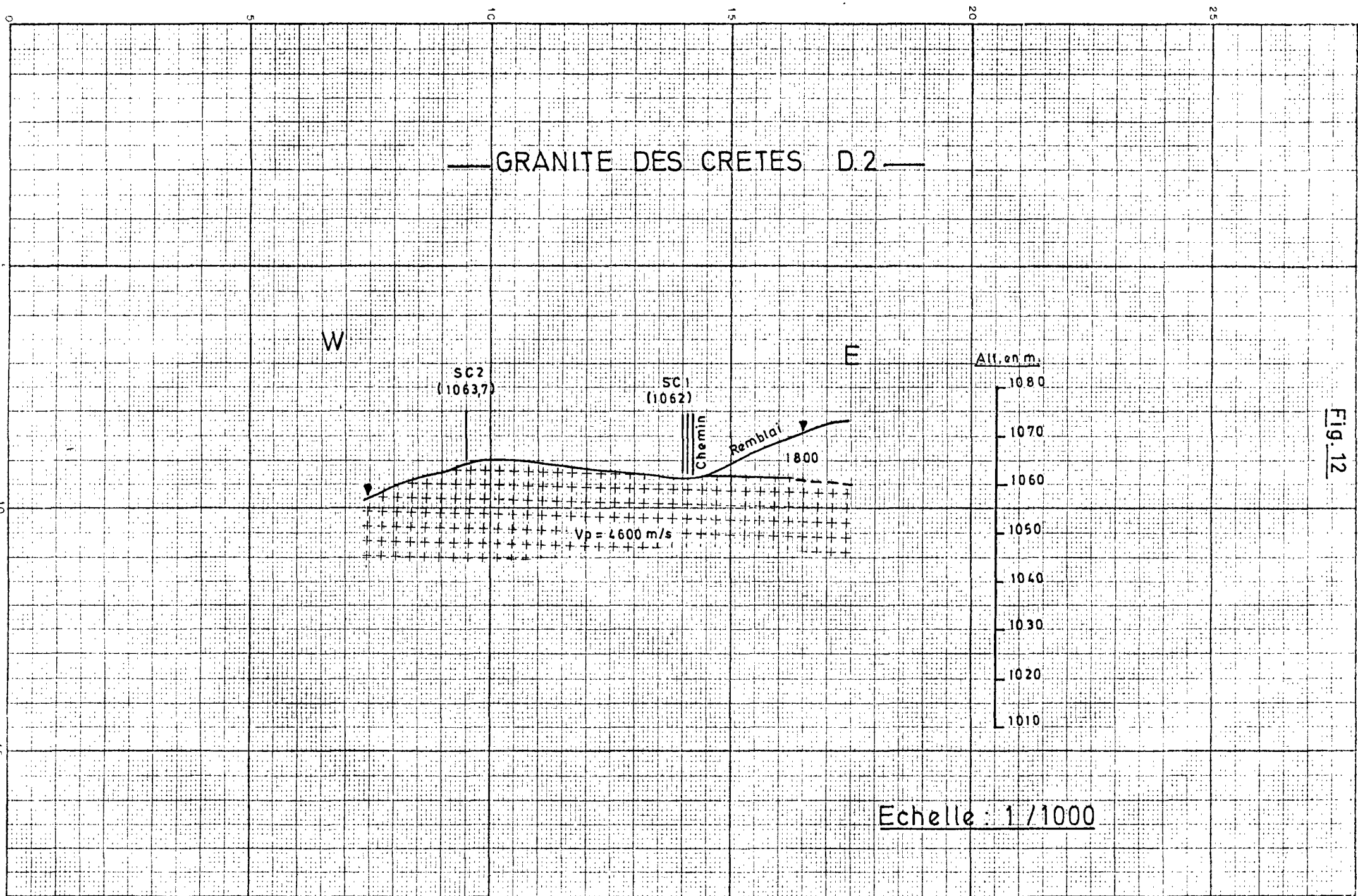


Fig. 12

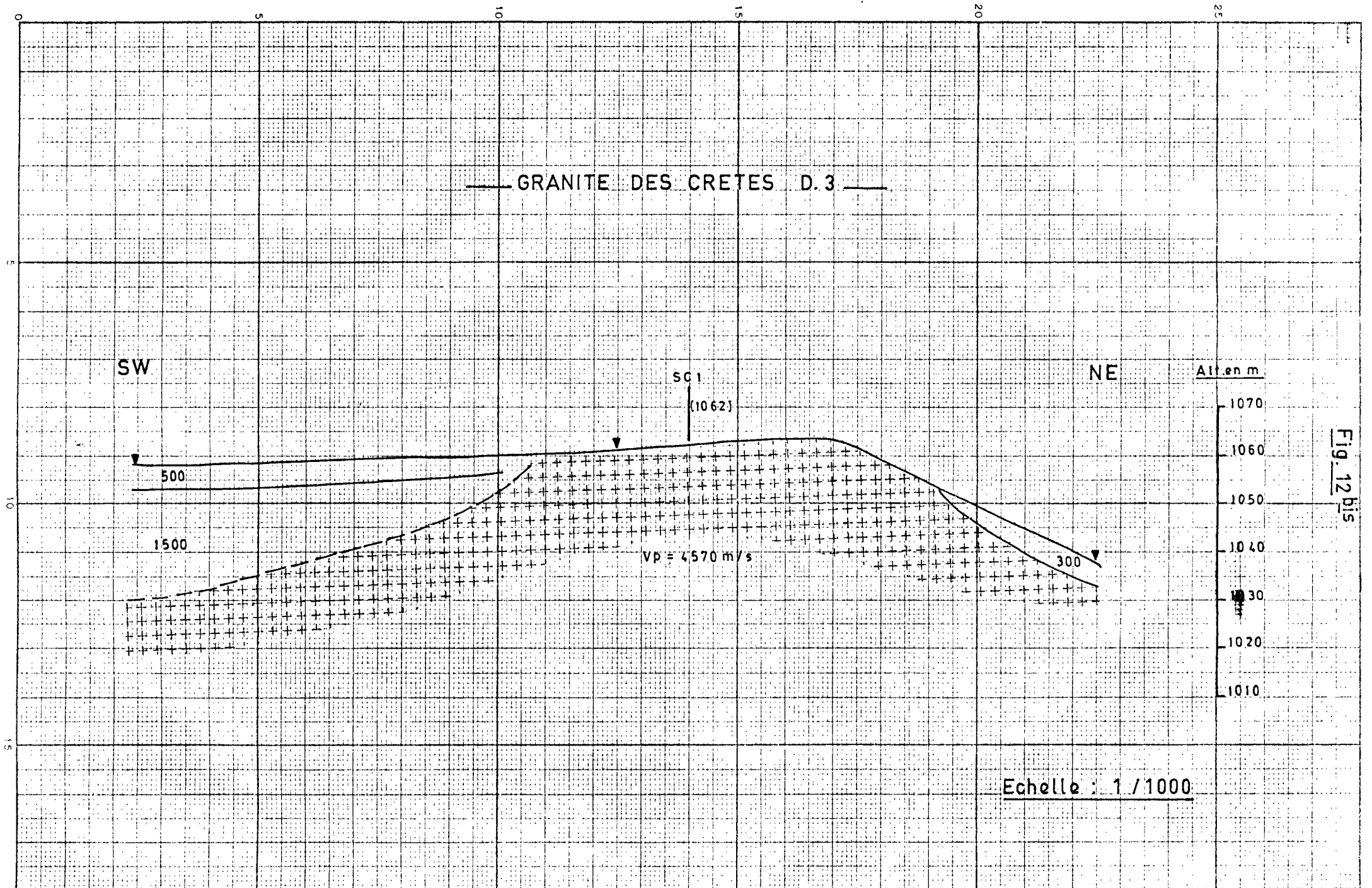


Fig. 12 bis

Echelle : 1 / 1000

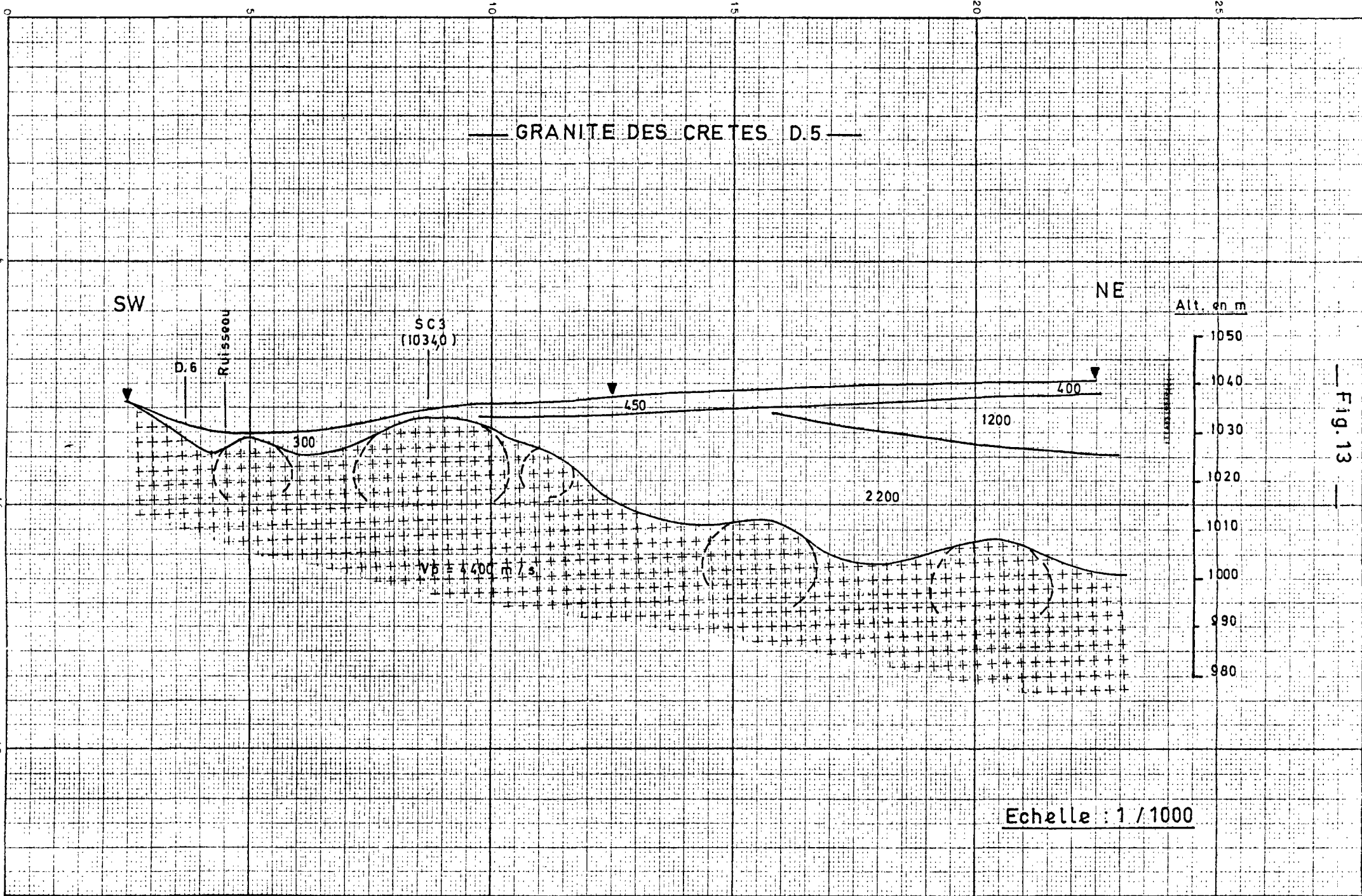


Fig. 13

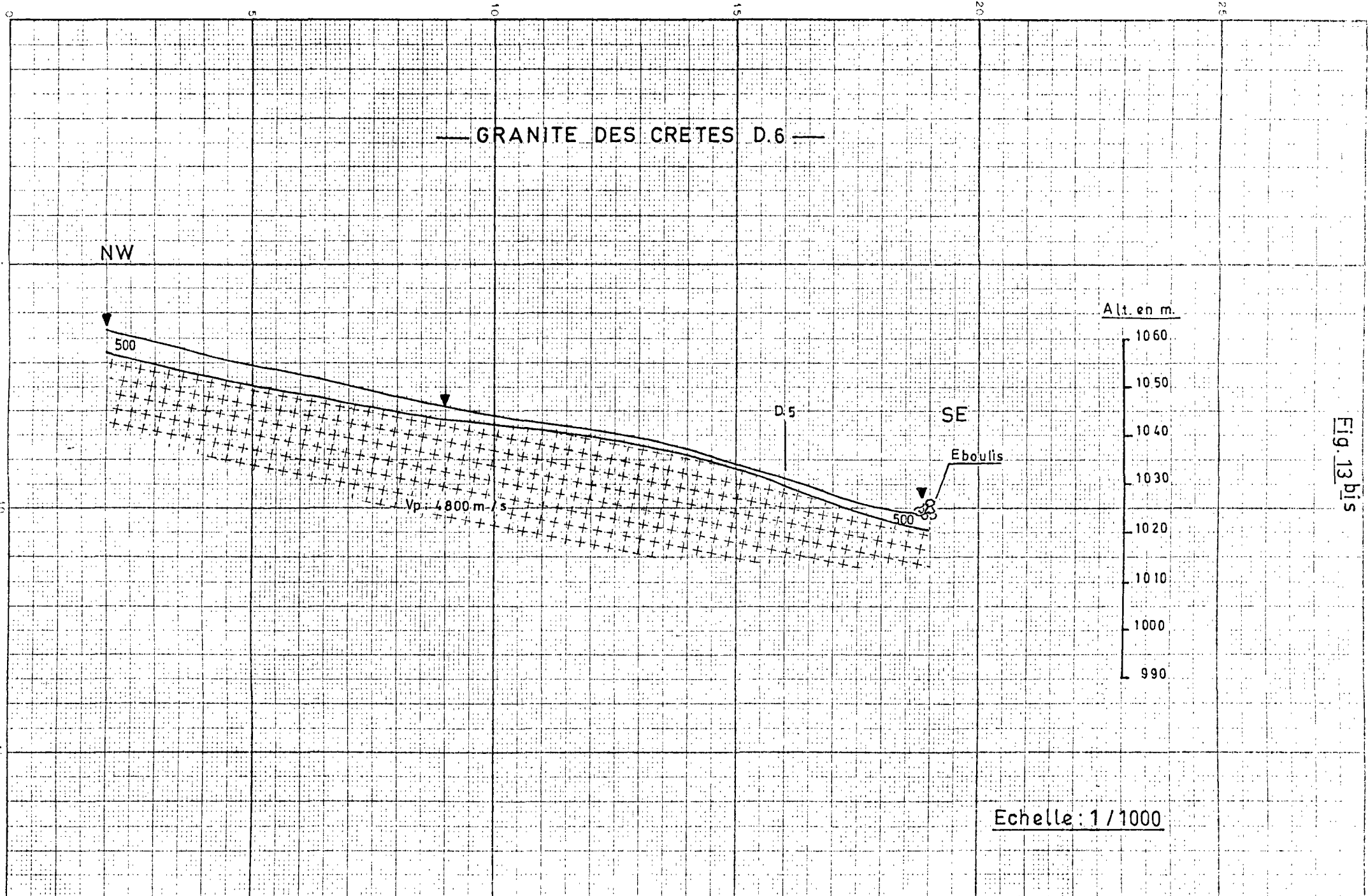


Fig. 13 bis

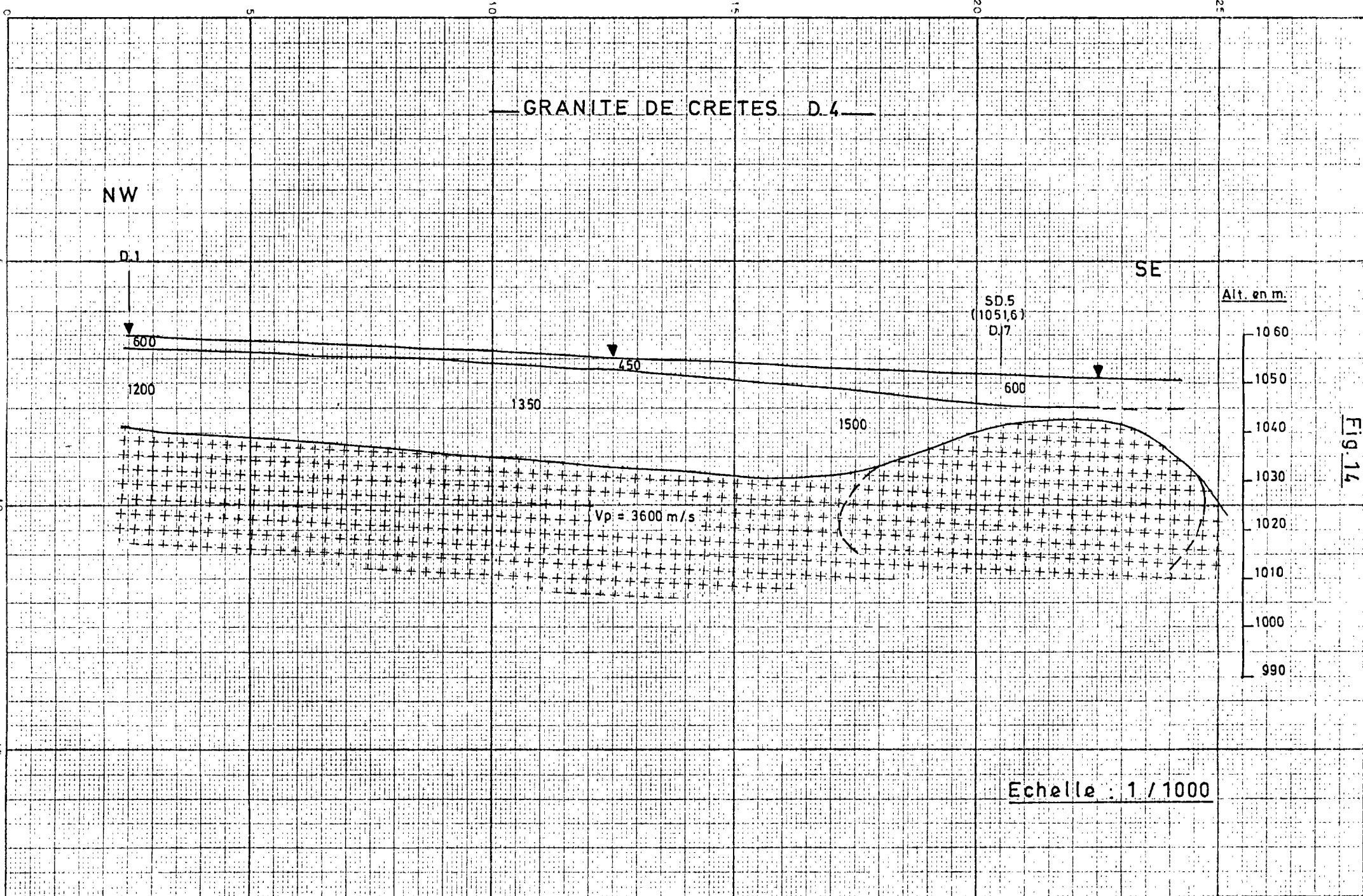


Fig. 14

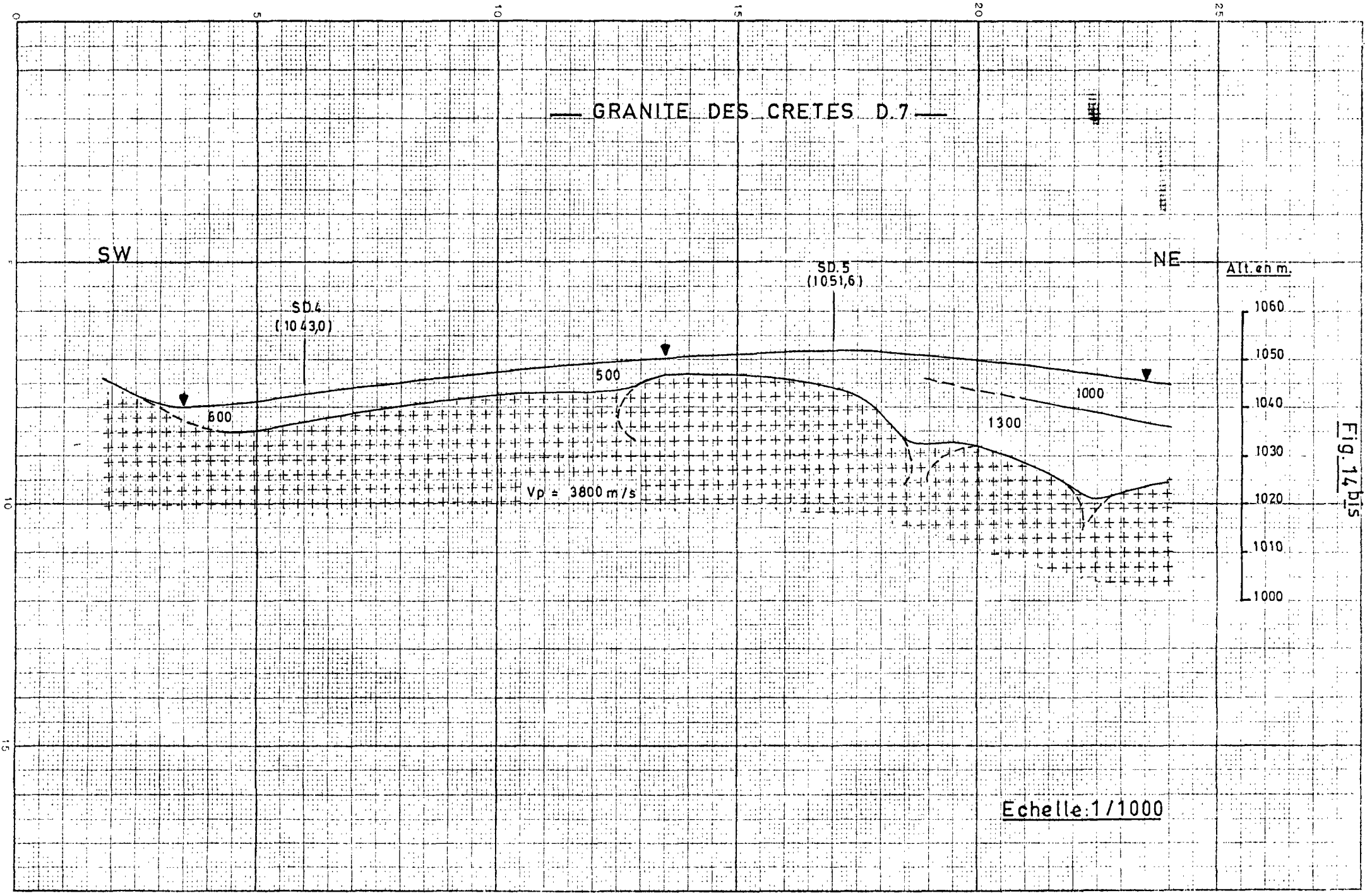


Fig. 14 bis

Le détail de la répartition de ces horizons est donné sur les figures de 11 à 14.

3.1.2. Critères d'altération du granite en fonction de la vitesse sismique V_p

Les vitesses sismiques de 3600 m/s à 4800 m/s représentent le granite le moins altéré reconnu à l'aplomb de chaque dispositif de surface : plus la vitesse sismique V_p est élevée, plus le granite est sain et compact. Ces valeurs sont à comparer avec celles du paragraphe 3.2. Notons ici une mesure de vitesse apparente V_S au dispositif D3 qui donne un coefficient de POISSON dynamique de 0.31 pour le granite de vitesse $V_p = 4570$ m/s.

Les niveaux sismiques intermédiaires, dont la vitesse ne dépasse pas 2200 m/s sont attribuables à des terrains déconsolidés, peu compacts qui correspondent au granite altéré ou très altéré ; les formations les plus lentes peuvent être des remblais ou des déblais des anciennes exploitations (D2, par exemple).

3.1.3. Géométrie de la zone altérée superficielle

D'une manière générale, la zone d'altération superficielle du granite est très variable dans la zone étudiée : elle est parfois inexistante (granite affleurant du dispositif D2), s'épaissit vers le Nord et l'Est du secteur étudié, jusqu'à atteindre environ 40 m au NE du dispositif D5.

Il nous signale ici que les dromochroniques ne sont pas droites, ce qui traduit une topographie chahutée du toit du granite ; en particulier l'aspect de cet interface suggère l'existence d'une altération en forme de boules (D4-5-7). Par ailleurs, il n'est pas exclu que ce que nous avons attribuer au granite altéré n'englobe pas des boules de granite sain complètement ou même partiellement isolées du marqueur rapide, qui ne sont décelables que par un tir sismique très proche (D1).

En définitive, les dispositifs de sismique réfraction surface-surface permettent de sélectionner une zone de granite subaffleurant et de vitesse sismique V_p comprise entre 4600 et 4800 m/s. La figure 15 délimite ce secteur où l'altération superficielle naturelle du granite est très réduite (il existe toutefois des déblais issus d'anciennes exploitations) ; cette zone correspond à une hauteur topographique et englobe les dispositifs D2 et D6 : elle pourrait être limitée au NE par une faille décelable au niveau du dispositif D1 (modifications du caractère des arrivées P), mais pas au-delà.

3.2. Données sismiques sur l'état de fracturation du granite des crêtes

3.2.1. Mesures sismiques

. dispositifs surface-surface : un dispositif paramétrique court (P1) effectué dans une carrière anciennement exploitée fournit une vitesse $V_p = 2800$ m/s, c'est-à-dire celle d'un matériau altéré ne correspondant pas au granite à l'état sain.

A rappeler la mesure du dispositif D3 :

$$V_p = 4570 \text{ m/s}$$

$$V_s = 2380 \text{ m/s (vitesse réelle extrapolée d'après la vitesse apparente mesurée).}$$

$$\sigma_d = 0.31$$

. sismosondages (dispositifs forage-surface)

Réalisés pour 4 sondages (flûte de 12 capteurs piézométriques, tir en tête du trou), ils ont été abandonnés en raison du risque de détérioration du matériel (flûte coincée en forage destructif non tubé).

ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

GRANITE DES CRETES

Amplitude en mm.

120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

0

10

20

30

40

X Distance au point de tir en m.

SISMOSONDAGES

SC1

SG2

SC3

SD6

Fig. 16

Les valeurs des vitesses sont obtenues par le tracé des dromochroniques :

Sondage	Côte de la mesure	V_p (m/s)	Observations
SC1	1037 à 1055	6500	
SC2	1034 à 1056	5500	
SC3	1010 à 1032	5000	
SD6	1037 à 1049	7000 ?	flûte coincée

Rappelons que la vitesse mesurée est une vitesse verticale moyenne, entre les 2 cotes indiquées ; les valeurs sont très élevées qui ne correspondent vraisemblablement pas à la réalité ; on estime, en effet, l'incertitude de mesure à 2000 m/s au moins. Les vitesses verticales moyennes ($V_p = 5000 \pm 2000$ m/s) ne traduisent donc pas de fissuration dont l'effet soit supérieur à l'incertitude. Des mesures de vitesses avec sonde tridirectionnelle en fond de trou et tir en tête, ne sont pas réalisables ici, (comme au S1 de SENONES), car il existe une altération superficielle, qui, bien que réduite, ne permet pas la mesure d'un temps d'arrivée directe concernant le seul granite.

Des mesures d'amplitude de l'arrivée première ont également été effectuées (gain constant sur tous les capteurs, les amplificateurs ayant été préalablement calibrés) ; la figure 16 illustre les résultats obtenus: la décroissance de l'amplitude est nettement plus forte pour le granite du sondage SC1, alors qu'elle est comparable pour les sondages SC2-SC3 et SD6. Ceci est l'indice d'une fracturation plus grande du granite du sondage SC1.

. Mesures de transmission forage-surface

Des mesures ont été réalisées dans plusieurs directions entre sondages (tirs) et géophones tridirectionnels scellés sur la paroi granitique affleurante :

Emission	Réception	Arrivées (directes)	V_P	V_S	V_S/V_P	V_P/V_S	σ_d
SC2 cote 1053.7	G1 cote 1046.7	15.5	5680				
"	G2 cote 1046.6	15	5000				
SC2 cote 1041.7	G'1	16 - 33	5200	2500	0.48	2.08	0.35
	G2 cote 1046.6	14 - 32	5360	2340	0.44	2.29	0.38
	G3	22 - 43	4640	2370	0.51	1.96	0.32
	G4	28	4640				
SC1 cote 1040	G'1	21	5860				
	G2 cote 1046.6	16 - 33	5100	2480	0.49	2.06	0.35
	G3	16 - 33	4060	1970	0.49	2.06	0.35
	G4	21	3900				

Les résultats sont reportés sur cartes (figures 17 et 18) ; à noter qu'il n'y a pas d'arrivée S au géophone G4, ce qui suggère la possibilité d'un accident (milieu non consolidé ne transmettant pas, ou mal, les mouvements de cisaillement) qui se situerait sur les trajets sismiques concernés.

. Mesures de transmission entre forages

Le procédé est le même que précédemment, l'enregistrement étant réalisé grâce à une sonde tridirectionnelle dans le forage (sonde DYO).

ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

Granite des Crêtes

La Roche des Bioquets

NORD

$V_p > 5000$ m/s

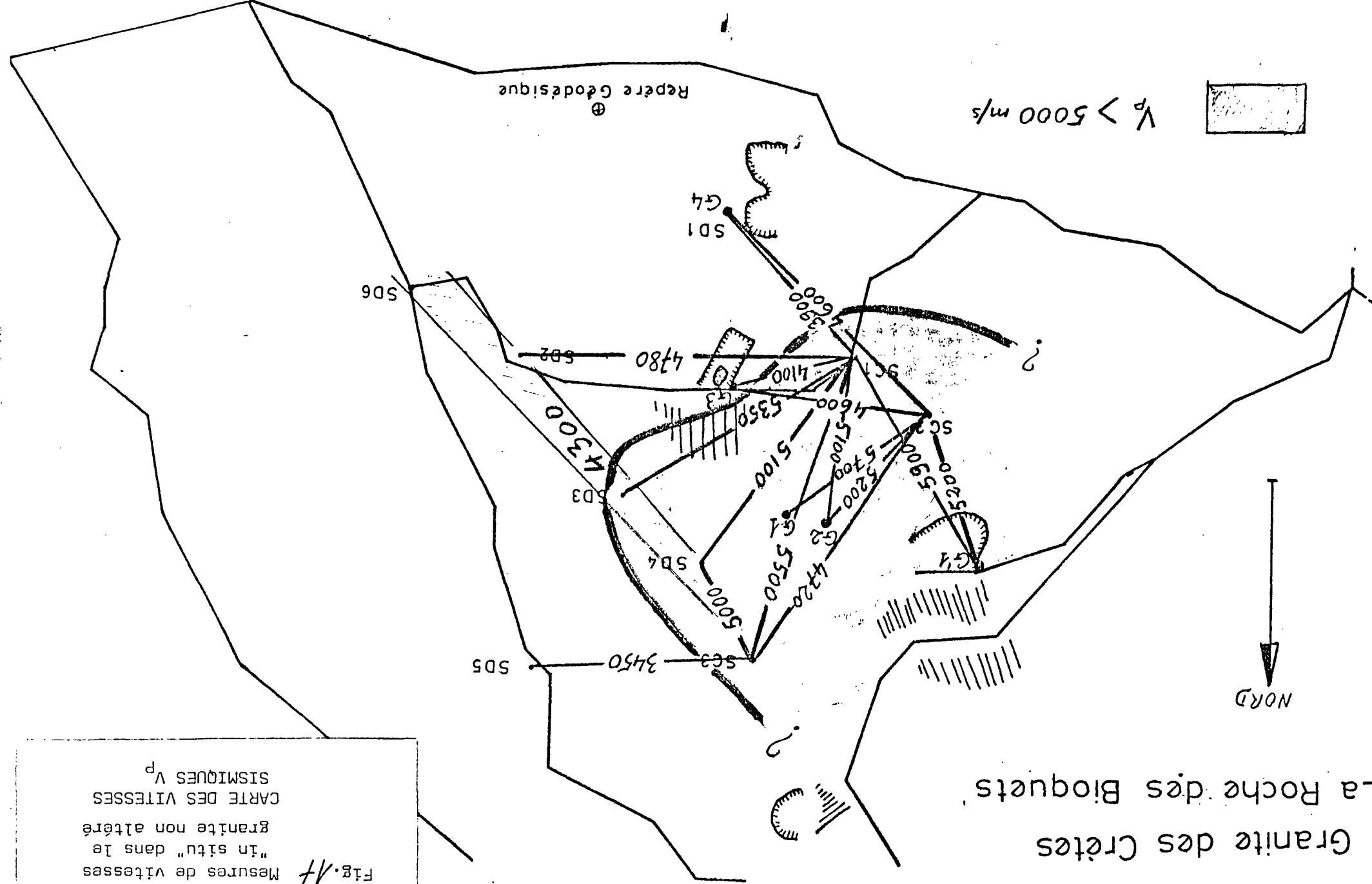


Fig. 17 Mesures de vitesses "in situ" dans le granite non altéré
 CARTE DES VITESSES SISMIQUES V_p

ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

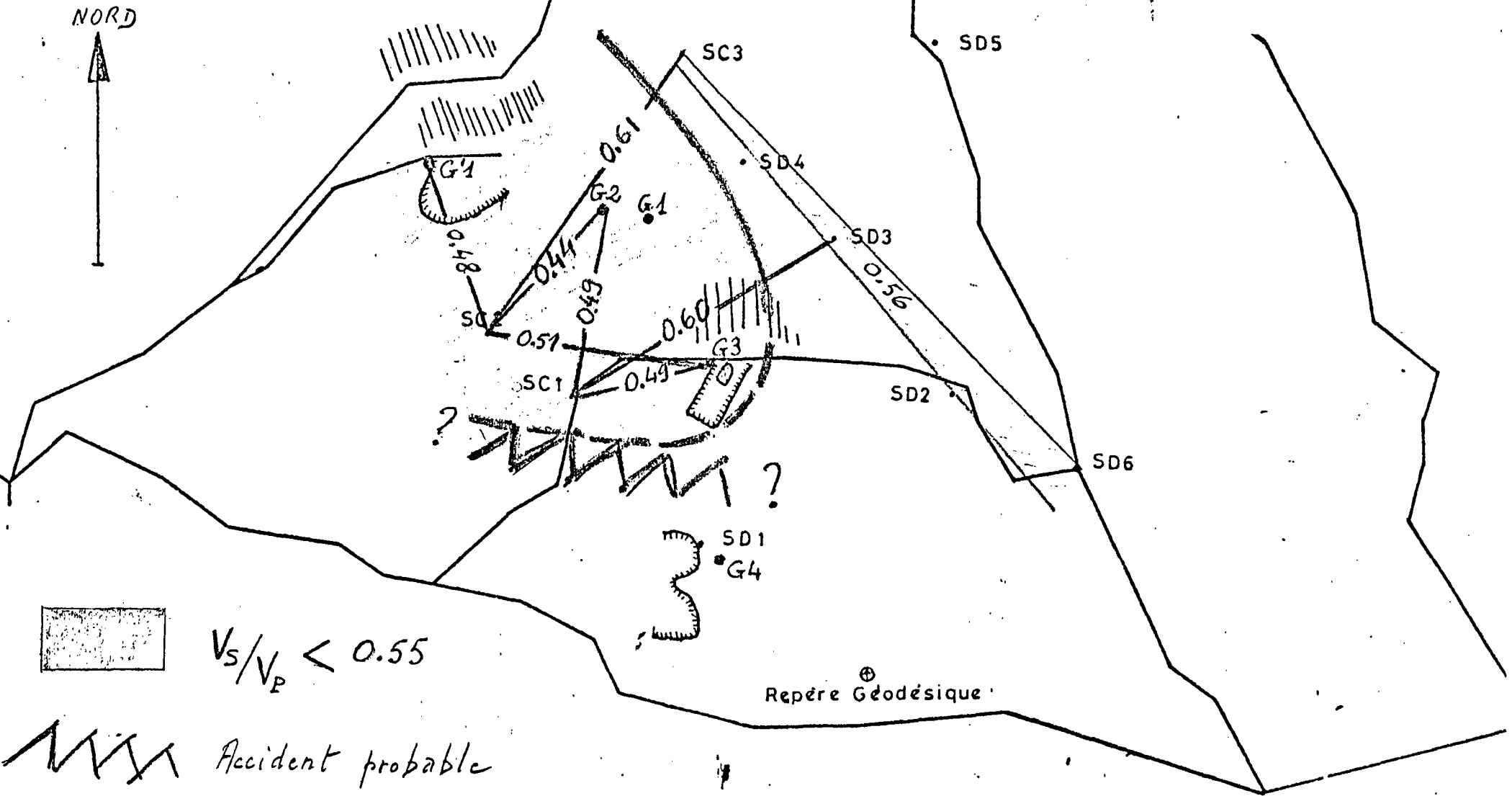
Granite des Crêtes

La Roche des Bioquets

Fig. 18 Mesures de vitesses "in situ" dans le granite non altéré

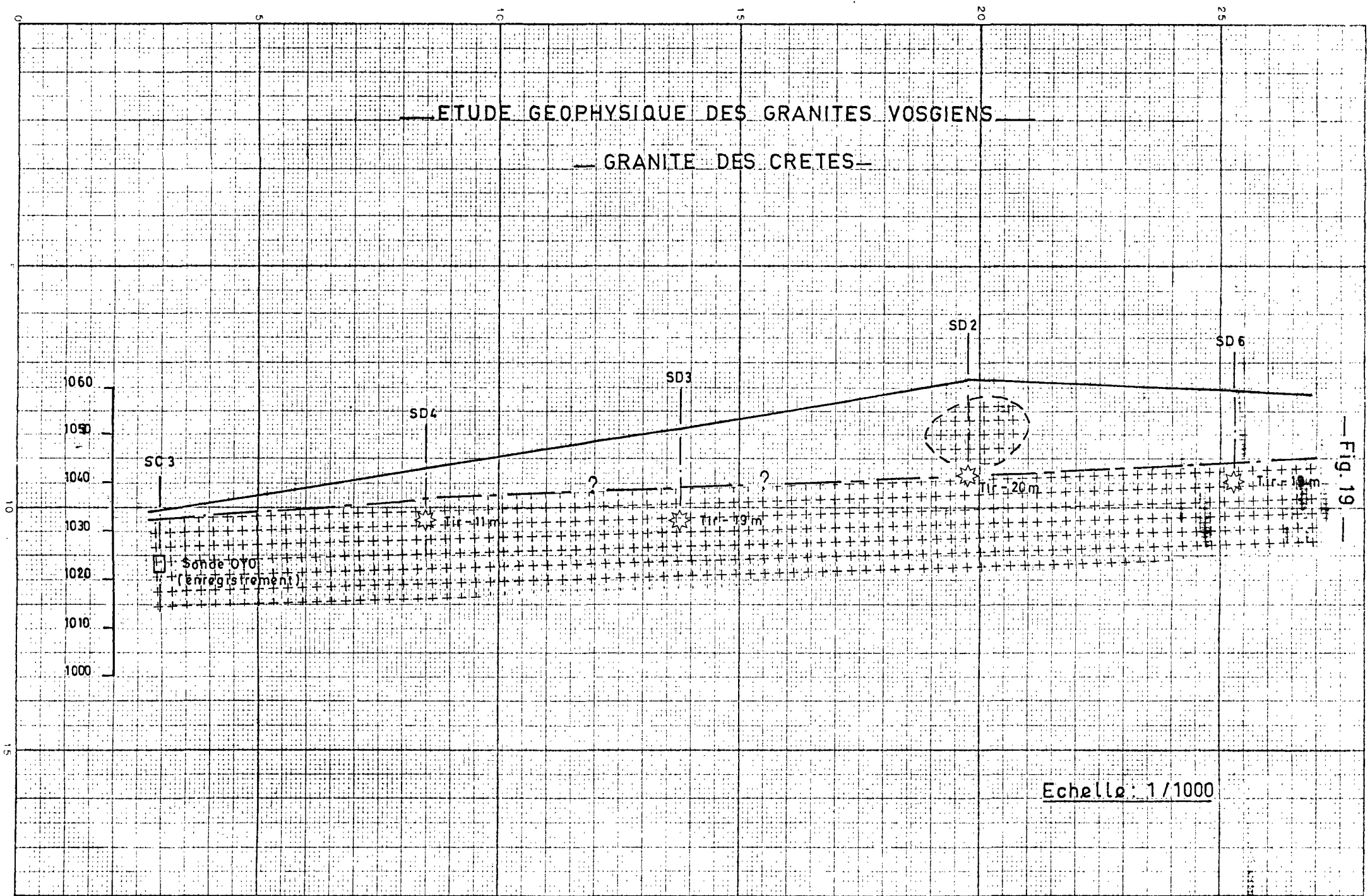
CARTE DU RAPPORT DE LA VITESSE TRANSVERSALE A LA VITESSE LONGITUDINALE

$$V_S/V_P$$



ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

— GRANITE DES CRETES —



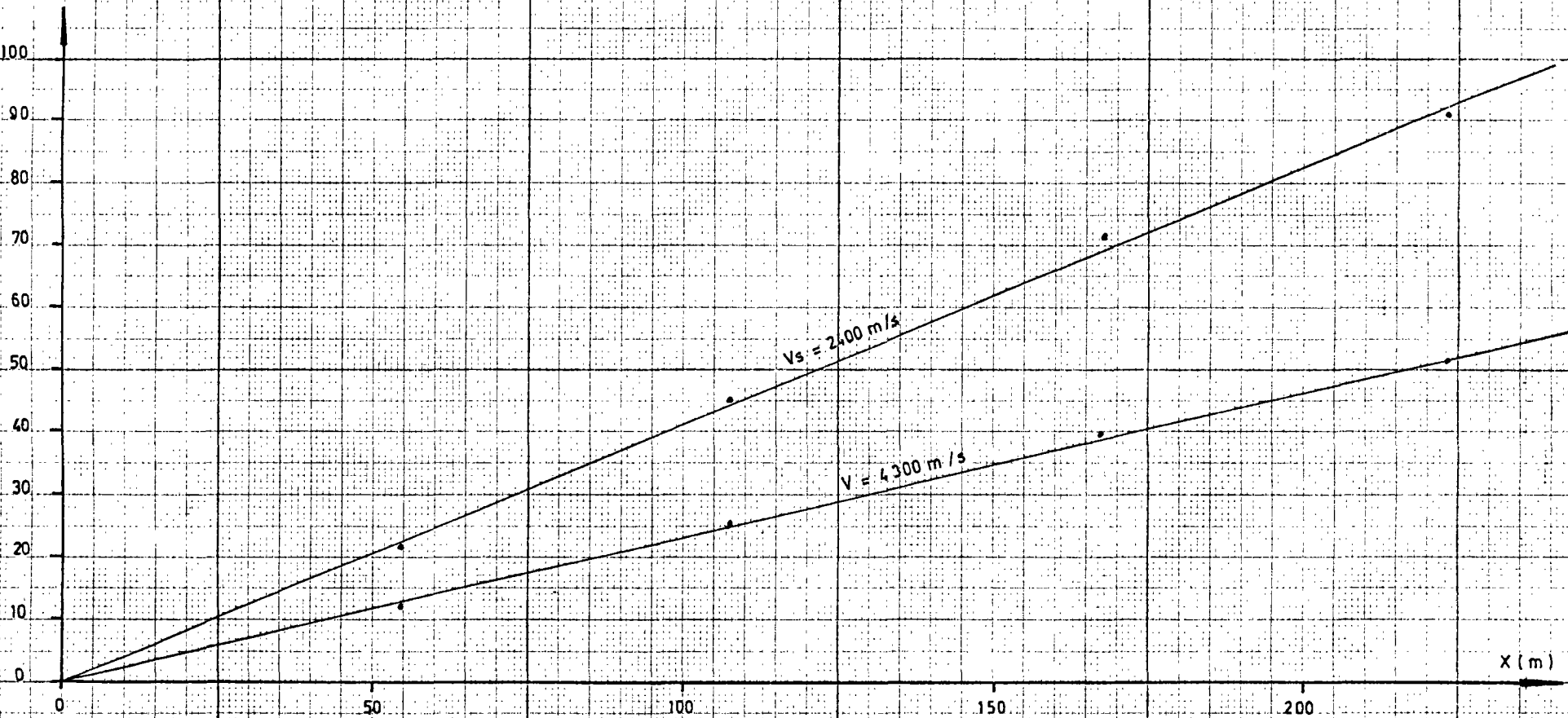
— Fig. 19 —

Echelle: 1/1000

— ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS —

— GRANITE DES CRETES —

Mètre / s



$V_s = 2400 \text{ m/s}$

$V = 4300 \text{ m/s}$

X (m)

Echelle : 1/1000

Fig. 19 bis

Emission	Réception	Temps (ms)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	V_S/V_P	V_P/V_S	σ_d
SC3 cote 1022	SC1 cote 1038	29	5500				
SD2 " 1052	SC1 "	36	4780				
SD3 " 1030	SC1 "	26 - 43	5350	3230	0.60	1.66	0.21
SD4 " 1024	SC1 "	25	5100				
SC2 " 1046	SC3 " 1023	32 - 52	4720	2900	0.61	1.63	0.20
SD2 " 1041	SC3 "	40 - 72					
SD3 " 1032	SC3 "	25 - 45	voir figure 19				
SD4 " 1032	SC3 "	11 - 21					
SD5 " 1028	SC3 "	33	3450				
SD6 " 1040	SC3 "	52 - 92	voir figure 19				

Les arrivées S existent, mais le pointé de l'instant de départ n'est pas toujours possible sur l'enregistrement (le signal sismique est trop complexe pour identifier l'instant de départ avec précision).

Les sondages SC3, SD4, SD3, SD2 et SD6 sont grossièrement alignés : les valeurs des temps d'arrivée ont été reportées sur la figure 19 en fonction de la distance au point de tir, réalisant ainsi une courbe dromochronique de V_P et V_S ; ce procédé permet d'obtenir des valeurs V_P et V_S plus précises (les incertitudes de pointé sont partiellement éliminées par l'alignement graphique des points), mais la mesure est plus intégrante (250 m de longueur). Sur l'axe SC3-SD6, on retiendra :

$$\begin{aligned}
 V_P &= 4300 \text{ m/s} & V_S/V_P &= 0.56 \text{ ou } V_P/V_S = 1.79 \\
 V_S &= 2400 \text{ m/s} \\
 \sigma_d &= 0.27
 \end{aligned}$$

Les figures 17 et 18 donnent ces résultats sous forme de carte.

. Mesures de transmission en fonction de la profondeur (SC1-SC2)

Des tirs dans le sondage SC2 avec enregistrement sur sonde OYO tridirectionnelle dans le sondage SC1 distant de 39 m ($\Delta H = 1.67$ m) montrent :

Profondeur (m)	Cote (m)	Temps (ms)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	V_S/V_P	V_P/V_S	σ_d	f app. (Hz)
25	1037	7.5-13.5	5200	2900	0.56	1.79	0.27	500
20	1042	7.5- 15	5200	2600	0.50	2.00	0.33	500
15	1047	7 - 13	5600	3000	0.54	1.87	0.30	500
10	1052	7.5	5200					250
5	1057	8	4900				signaux très atténués	

Compte tenu de l'incertitude de 0.5 ms sur le pointé des temps d'arrivées, on peut admettre que la vitesse V_P est la même entre 10 et 25 mètres de profondeur ; le paramètre V_S/V_P reste inférieur à 0.6 ce qui correspond à un matériau faiblement fissuré ou non fissuré.

3.2.2. Conclusions sur la fracturation du granite

Les figures 17 et 18 délimitent des secteurs où le granite non altéré possède les caractéristiques suivantes :

- vitesse des ondes de compression (arrivées P) supérieure à 5000 m/s ;
- rapport de vitesses V_S/V_P inférieur à 0.55, ce que l'on peut attribuer à une roche globalement peu ou pas fissurée, le matériau étant considéré comme fissuré si ce rapport dépasse 0.6.

Fig. 20

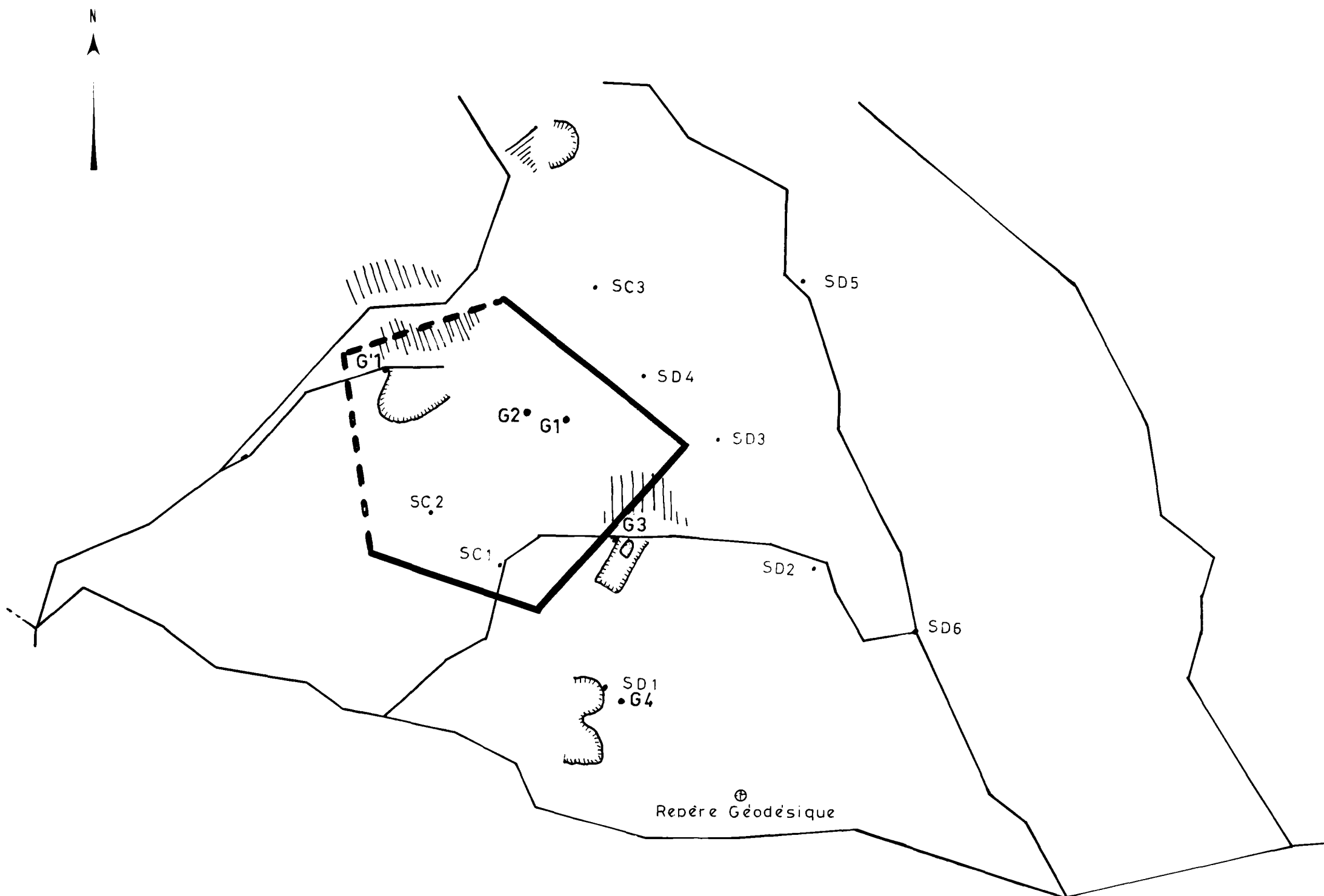
ETUDE GEOPHYSIQUE DES GRANITES VOSGIENS

Granite des Crêtes - La Roche des Bioquets

Délimitation du secteur favorable
d'après les données sismiques

TABLEAU DES POINTS COTES

POINT GEODESIQUE	1082
SC 1	1062,0
SC 2	1063,7
SC 3	1034,0
SD 1	
SD 2	1061,5
SD 3	1050,6
SD 4	1043,0
SD 5	1051,6
SD 6	1058,7
G 1	1046,7
G 2	1046,6



Ech.: 1/2500

On notera que les deux zones localisées sur les figures 17 et 18 coïncident approximativement et correspondent à la hauteur topographique où l'altération superficielle du granite est réduite (figure 15) ; signalons que les vitesses sismiques données par les dispositifs de surface sont inférieures, car ce sont des vitesses de toit de formation influencées par une altération en surface du granite (voir mesures entre SC1-SC2 à différentes profondeurs).

En définitive, ces observations conduisent à proposer une zone qui paraît la plus favorable, d'après les données sismiques (figure 20) : altération superficielle limitée (granite subaffleurant) et fracturation globalement peu importante. Néanmoins, des réserves s'imposent dans le détail, car il peut exister une fissuration à l'échelle métrique ou même décimétrique au sein du secteur retenu (forte atténuation des amplitudes sismiques au sondage SC1).

CONCLUSION

L'étude géophysique des deux sites proposés des granites vosgiens a établi un certain nombre de points concernant l'épaisseur de la zone altérée superficielle et leur état de fracturation.

La zone d'altération superficielle est définie par une vitesse sismique V_p nettement plus faible que celle du granite non altéré, et contient vraisemblablement des boules de granite sain dont la présence reste aléatoire, car elle ne sont pas systématiquement décelables par sismique réfraction. A SENONES, cette zone possède une épaisseur d'au moins 20 m, sinon davantage, au voisinage de la carrière actuellement en exploitation ; le granite non altéré paraît toutefois moins profond au Nord de ce secteur, au niveau du dispositif sismique D6. Par contre, à GERARDMER, à la Roche des BIOQUETS, le granite non altéré est subaffleurant sur une partie du site étudié.

En ce qui concerne la fracturation, les vitesses V_p et V_s mesurées "in situ" sont du même ordre de grandeur dans la carrière exploitée de SENONES et sur le périmètre le plus favorable délimité à La Roche des BIOQUETS : dans les trois sondages explorés à la carrière de SENONES, le granite, sous la zone arénisée, possède une vitesse sismique $V_p = 5000 \pm 500$ m/s, (semblable à celle d'un bloc de granite issu de l'exploitation, prêt à la livraison) et un rapport V_s/V_p de l'ordre de 0.5, indices d'un état pas ou peu fissuré. A la Roche des BIOQUETS, c'est le granite subaffleurant qui semble posséder les meilleures caractéristiques de transmission sismique, du moins à l'échelle hectométrique (vitesse V_p supérieure à 5000 m/s et rapport V_s/V_p inférieur à 0,55), mais il peut exister une fissuration à l'échelle métrique ou même décimétrique à l'intérieur de ce périmètre.

B. r. g. m. - SGR/LOR
1, rue du Parc de Brabois
54500 - VANDOEUVRE

ANNEXE 3

RESULTATS
de la CAMPAGNE de SONDAGES

1 - DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE -

1.1. But des sondages

Les massifs granitiques étudiés présentent à l'affleurement des caractéristiques affectées par les phénomènes d'altération. Seuls les fronts de taille des carrières ouvertes fournissent des renseignements utilisables mais ceux-ci sont en nombre limité.

La campagne de sondages avait deux buts principaux :

- confirmer ou infirmer les hypothèses émises lors des investigations structurales, pétrographiques et géophysiques ;
- évaluer la qualité du granite en profondeur et son évolution, à l'aide de techniques directes (prélèvements d'échantillons, observations, analyses diverses) ou indirectes (géophysique de profondeur, émission en fond de trou, etc).

1.2. Nature des travaux réalisés

L'enveloppe budgétaire relativement modique ne permettait pas d'envisager la réalisation de sondages exclusivement carottés.

A titre indicatif, on donne le prix moyen du mètre linéaire :

- sondage carotté = de 260 à 310 F le mètre suivant profondeur,
- sondage destructif = 135 F le mètre linéaire.

Une sujétion importante est la réalisation pratique du sondage. Bon nombre de sites favorables "a priori" ont dû être abandonnés en raison des difficultés d'accès.

L'installation des machines sur le site de Senones a nécessité l'emploi de treuils et de bulldozer et a été rendue possible grâce au concours de l'Entreprise Migliarini.

Ceci explique la localisation des sondages, généralement tributaire des voies d'accès

Les travaux suivants ont été réalisés par l'Entreprise Fondasol après consultation :

SENONES :

- . 4 sondages carottés totalisant 78,40 m de prise d'échantillon, dont 14,30 m à la tarière,
- . 2 sondages destructifs, au wagon-drill, totalisant 50 m linéaires, 3 prises d'échantillons intacts de 1 m chacun ;

MASSIF DES CRETES :

- . 3 sondages carottés totalisant 83,90 m linéaires,
- . 8 sondages destructifs représentant 190 m de sondages et 19 prises d'échantillons de 1 m de long.

Bon nombre de sondages ont dû être tubés en raison de problèmes de tenue de trou dans les premiers mètres.

En outre, les sondages destructifs ont été exécutés en mesurant l'énergie réfléchie et la vitesse d'avancement, par utilisation du procédé Lutz décrit plus en détail paragraphe 1.2.

A titre méthodologique, nous avons mesurer la radioactivité naturelle au sein de deux sondages.

Figure n° A3.1.

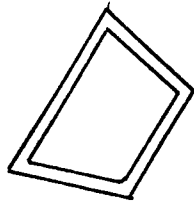
SITUATION DES SONDAGES CAROTTES

dans le secteur de la

ROCHE des BIOQUETS.

Echelle 1/5.000^{ème}

(agrandissement de la carte I.G.N.
au 1/25.000^{ème} complétée par
chemins et carrières).



Secteur d'étude
délimité par M. THOMAS
et proposé à l'étude.

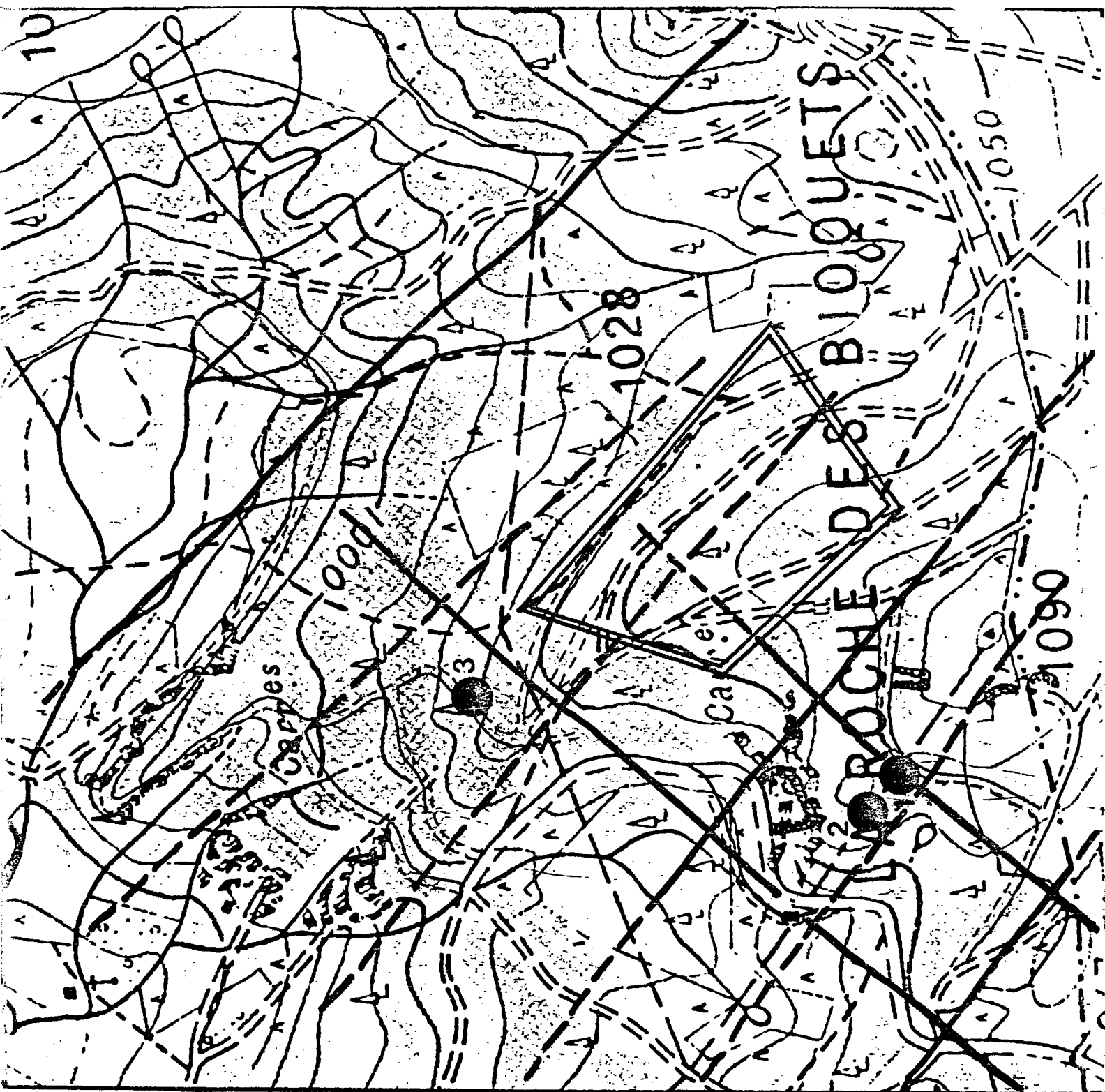
Découpage en mûles par des fractures
précoces majeures.

- faille appelée N140E-- 70NE
(miroir à regard NE)
- faille appelée N30E - 70à80SE

● SITUATION DES SONDAGES

- SC.1, SC.2, SC.3 -

(Cl.G. Déc.1979)



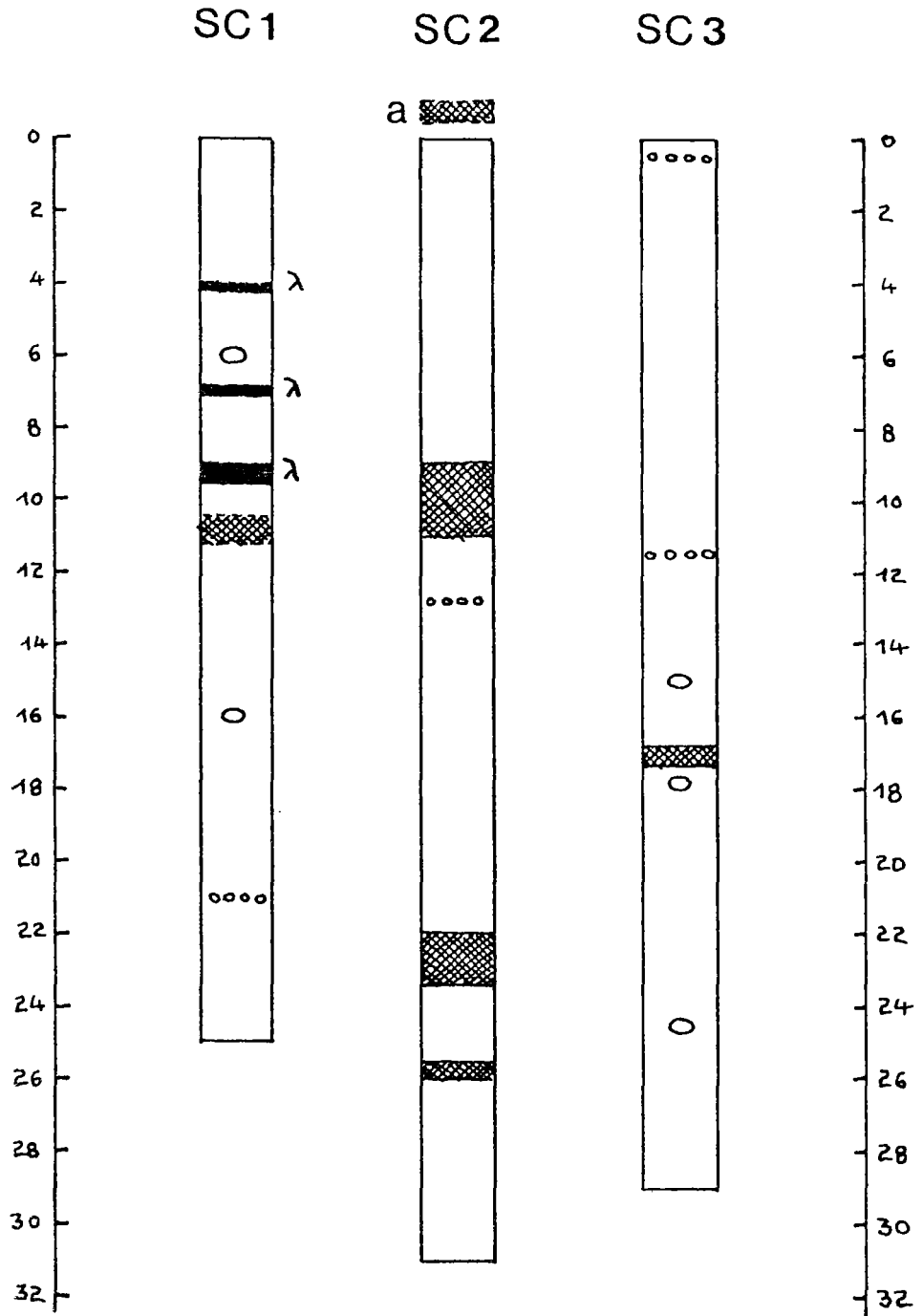


Figure n° A3.2.

PRESENTATION DES TROIS SONDAGES CAROTTES
dans le secteur de la ROCHE DES BIOQUETS.

- //// Litage magmatique (layering).
- O grosse enclave homogène
- oooo lit de petites enclaves
- Lamprophyre intrusif en zone broyée.
- a affleurement (en tête du sondage SC2.)

note: les pendages étant voisins de 60°, les épaisseurs réelles sont obtenues en divisant par 2 les longueurs lues sur carotte.

2 - ETUDES DES SONDAGES CAROTTES DANS LE GRANITE DES CRETES, SUR LE
SECTEUR DE LA ROCHE DES BIOQUETS (fig.A3.2) -

Cl. GAGNY avec la collaboration de F. ANDRE.

2.1. Présentation générale

L'étude des sondages carottés sur le secteur de la Roche des Bioquets a été réalisée non seulement pour exploration et contrôle de la qualité du granite des Crêtes en profondeur, mais aussi pour servir de base de réflexion sur les problèmes de fracturation et de coloration des minéraux du granite (qualité esthétique).

Aucune corrélation ne peut être établie d'un sondage à un autre, même entre SC1 et SC2 qui sont très proches l'un de l'autre. Ceci doit tenir à plusieurs causes (fig.A3.2) :

- la continuité des litages magmatiques n'est pas tenue pour sûre d'autant que l'on sait que ces litages ont pu être désorganisés ou désagrégés et entraînés avec plissement au cours de la mise en place ;
- la répétition prévue des litages est effective et cela complique la recherche de corrélation (même si l'on tient les grosses enclaves comme témoins possibles de litages désagrégés) ;
- les "plans" de deux litages consécutifs peuvent ne pas être parallèles ;
- le sondage SC1 présente de multiples phénomènes d'intrusions de lamprophyre et de bréchification qui ont pu perturber l'organisation magmatique.

2.2. Fiche pour la lecture des log. de sondage

- (a) première colonne-repérage du numéro des caisses pour recherche d'échantillons
- (b) indication de la profondeur en mètre - échelle 2/100 (l'original est sur papier millimétré)
- (c) log de sondage avec indication des enclaves et layering
 - petites enclaves centimétriques
 - enclaves de l'ordre du diamètre de la carotte ou plus (CRAFAUDS) (enclaves homogènes)
 - //// LAYERING

(d) ← position des Fractures

Le signe ← indique le positionnement de la fracture au point le plus haut sur la carotte

← (50°) estimation du pendage de la fracture par une lecture sur abaque en tenant compte de la hauteur sur carotte entre point haut et point bas.

↗ Fracture sub-parallèle à l'axe carotte (dans le cas cité : pendage 50°)

F.N. Filets noirâtres particulièrement beaux

(e) Evaluation de la teinte du granite

Granite normale clair
 foncé

Granite rose ou rouge

Granite avec brèche de quartz

(f) Qualité du plagioclase (PL : plagioclase)

Couleurs naturelles

PLV plagioclase vert (V)

PLS plagioclase saumon (S)

Couleurs d'altération dans les zones fracturées

PLR plagioclase rose(r) ou rouge (R)

Parfois indication de la teinte naturelle préexistante

PLR/V altération rouge sur PL vert

PLR/S altération rouge sur PL saumon

(g) Qualité de l'orthose

Taille F₂₀ Orthose de taille maximum approximative de 20 mm

Couleur FR Orthose rosie ou rougie en zone de fracturation

(h) FLUIDALITE PLANAIRE et LAYERING





par lecture sur abaque, estimation de la fluidalité planaire : angle avec l'axe de la carotte (F.P. 60 = fluidalité planaire d'origine magmatique faisant un angle de 60° sur l'axe de la carotte) (fig. A3.6).

LAY : Zone de LITAGE MAGMATIQUE (LAYERING) sans détail

(i) Observations

Les numéros renvoient à des observations rédigées sur feuille séparée

(k) Estimation de l'exploitabilité

- | | |
|---|---|
|  | beau granite |
|  | granite médiocre |
|  | granite mauvais |
|  | layering. "Accident" magmatique majeur qui doit avoir une certaine extension latérale dans la fluidalité planaire (de l'ordre de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres). |

2.3. Sondage SC1 (fig.A3.3) : Evaluation d'ensemble

Vingt cinq mètres.

Ce sondage est oblitéré par :

2.3.1. La présence de filons de lamprophyres

- entre 1 et 2 m (épaisseur 0,80 m),
- entre 4 et 4,5 m (épaisseur réelle 0,25 m),
- à 7 m (épaisseur réelle 0,10 m),
- entre 9 et 9,5 m (épaisseur 0,40 m).

Ces filons sont, en général, très pentés par rapport à l'axe de la carotte et sont intensément broyés. Ce qui ne permet pas de mesurer avec exactitude leur épaisseur réelle.

Ils sont, d'autre part, parallèles aux fractures du granite encaissant.

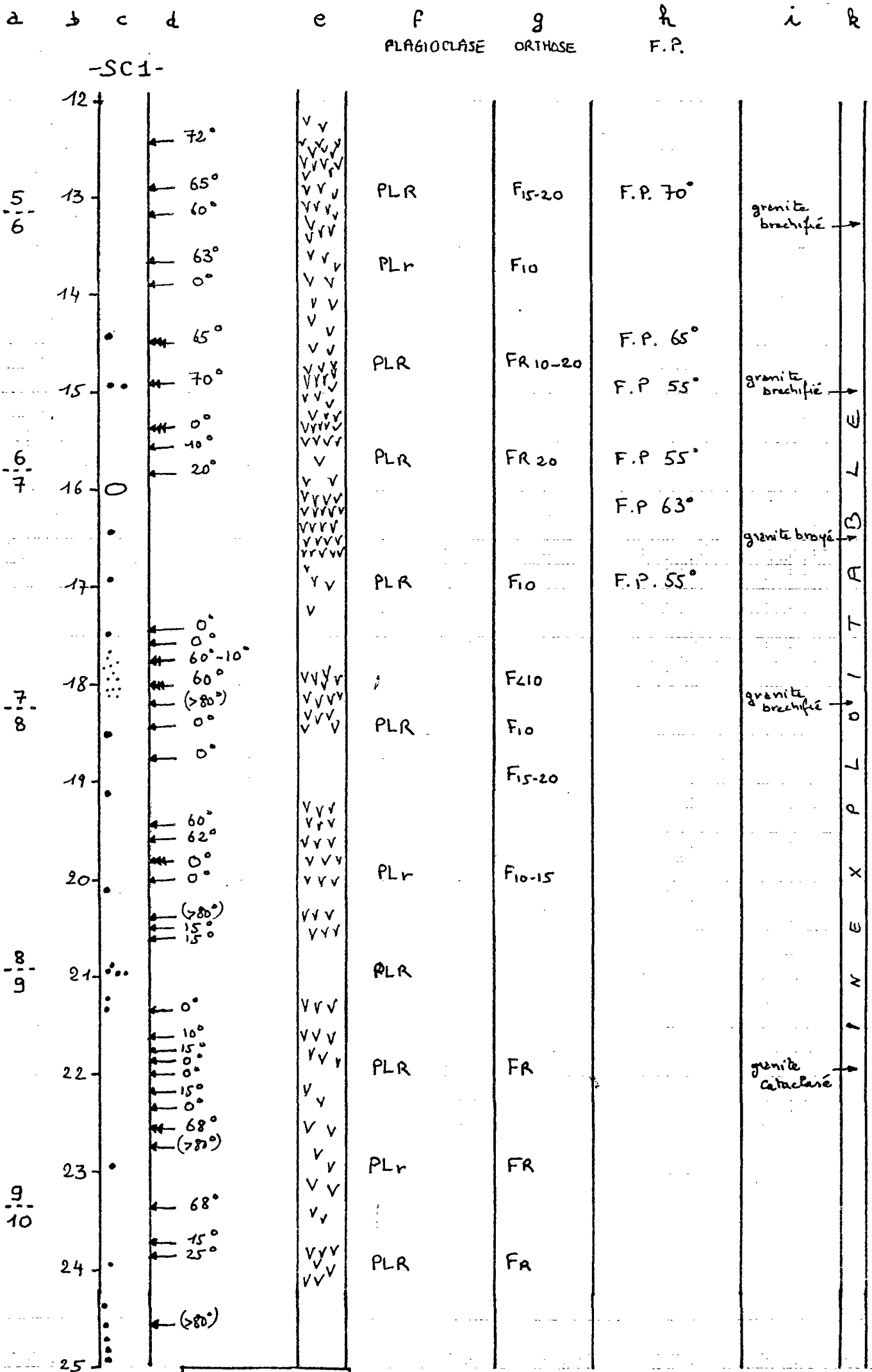


Fig. A 3.3.

a b c d e f g h i k

- SC1 -

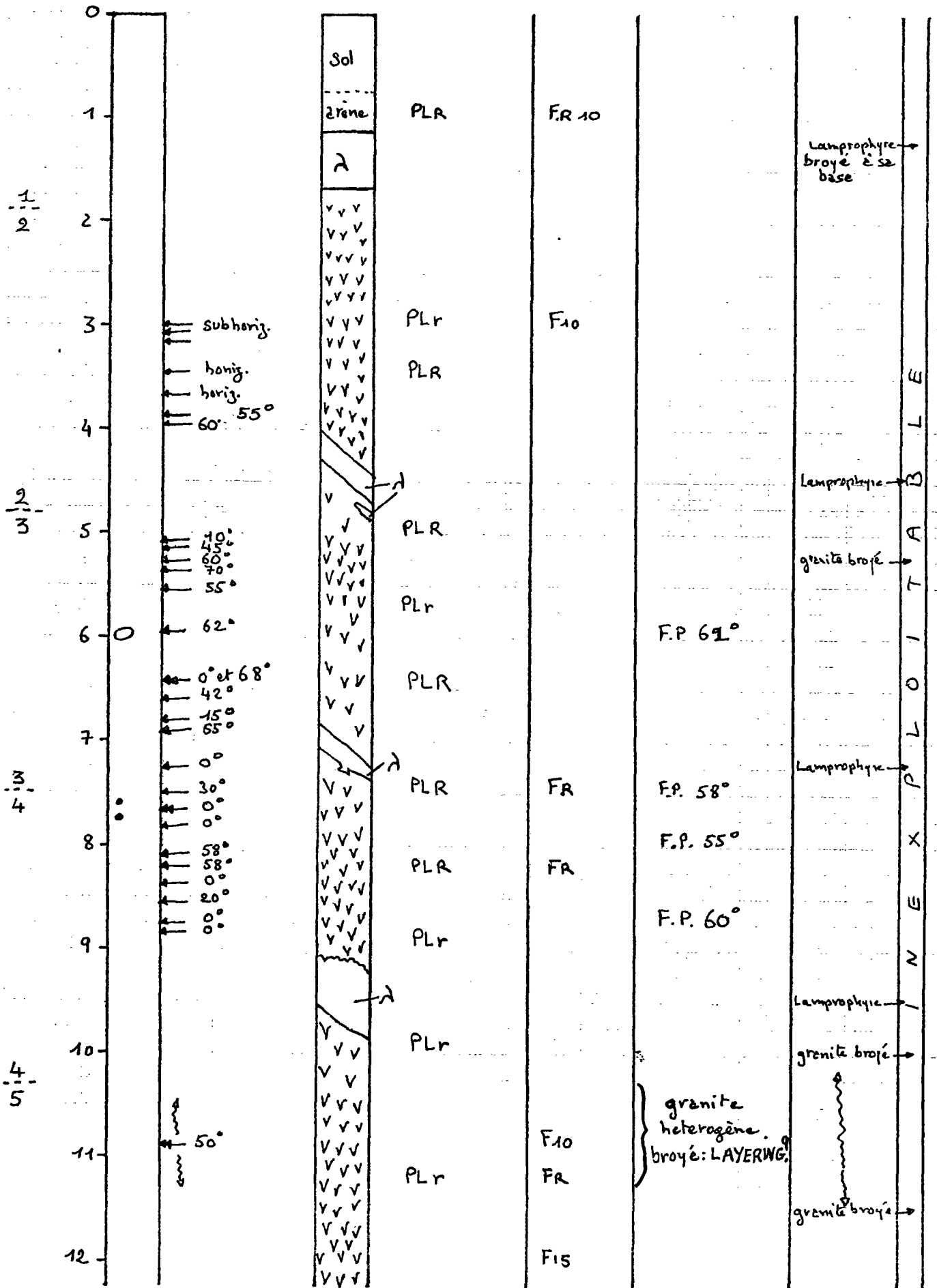


Fig. A 3.3.

2.3.2. Une intense fracturation pénétrative induisant un broyage du granite (entre 5 et 5,50 m ; 10 et 11,5 m ; 16 et 16,5 m) ou une bréchification qui s'accompagne d'une forte cataclase (entre 13 et 13,50 m : 14,5 et 15,5 m ; 17,5 et 18 m).

2.3.3. La présence d'enclaves

En général, de petite taille (2 cm Ø), elles n'apparaissent que dans la deuxième moitié du sondage. A noter, vers 18 m, une zone particulièrement riche en très petites enclaves (0,5 cm Ø).

Altération des plagioclases : sur toute la longueur du sondage, les plagioclases sont altérés. Cela se traduit par :

- une coloration rose dans les zones de faible ou moyenne fracturation ;
- une coloration rouge-brique dans les zones de fracturation intense.

2.4. Evaluation d'ensemble - SC2 (fig. A 3.4.)

Sondage de trente mètres.

Seule la zone (1) de 0 à 5,20 m semble être sans altération et sans fracturation. Elle est constituée d'un granite des Crêtes bleu-noir à plagioclase gris-vert de teinte assez claire. Seuls défauts de petites enclaves (9 enclaves centimétriques observées et un petit niveau chargé en petites enclaves vers 0,30 m).

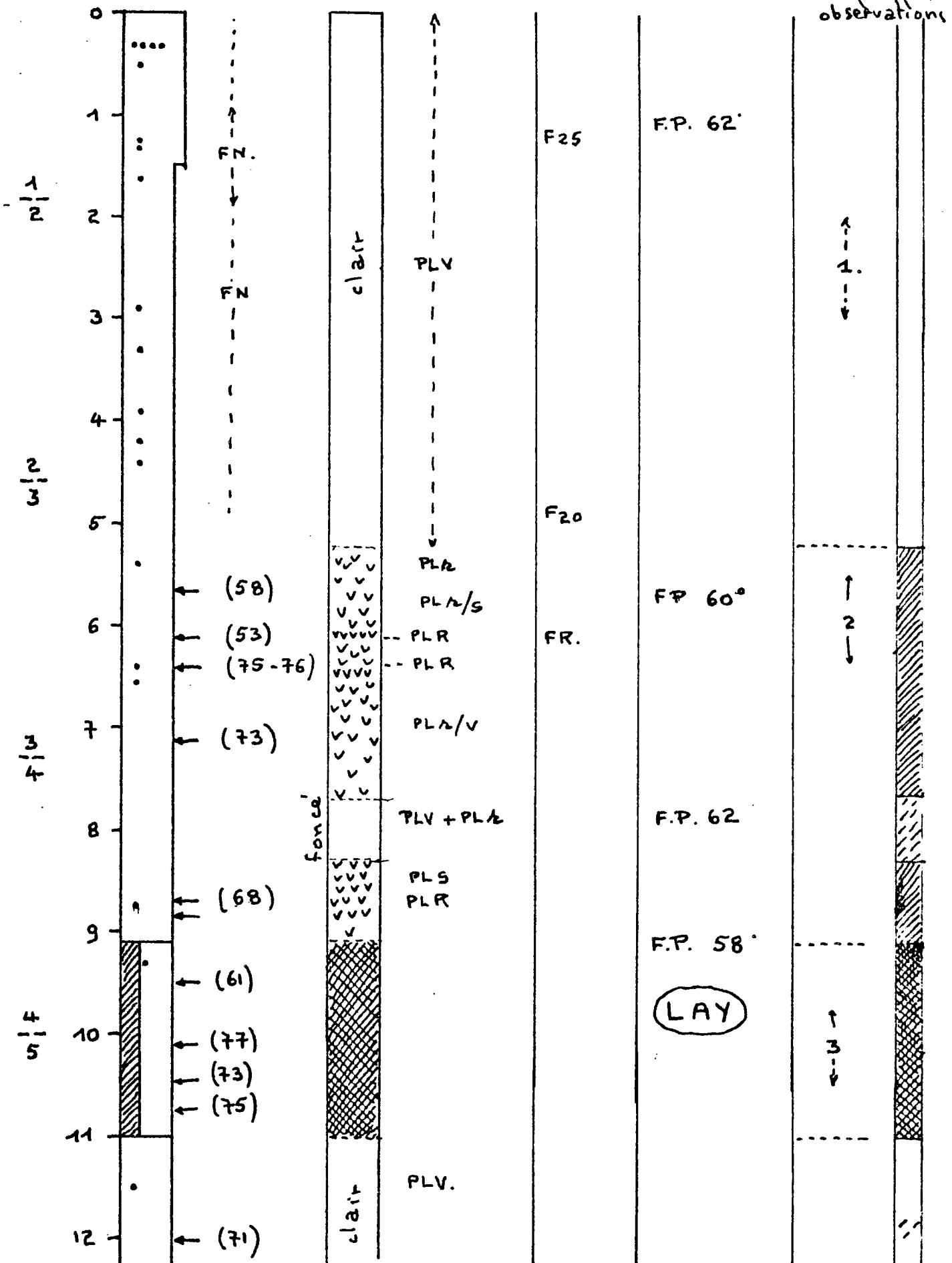
SC 2 -

(e) PLAGIO.

(f) ORTHOSE

(h.) F.P.

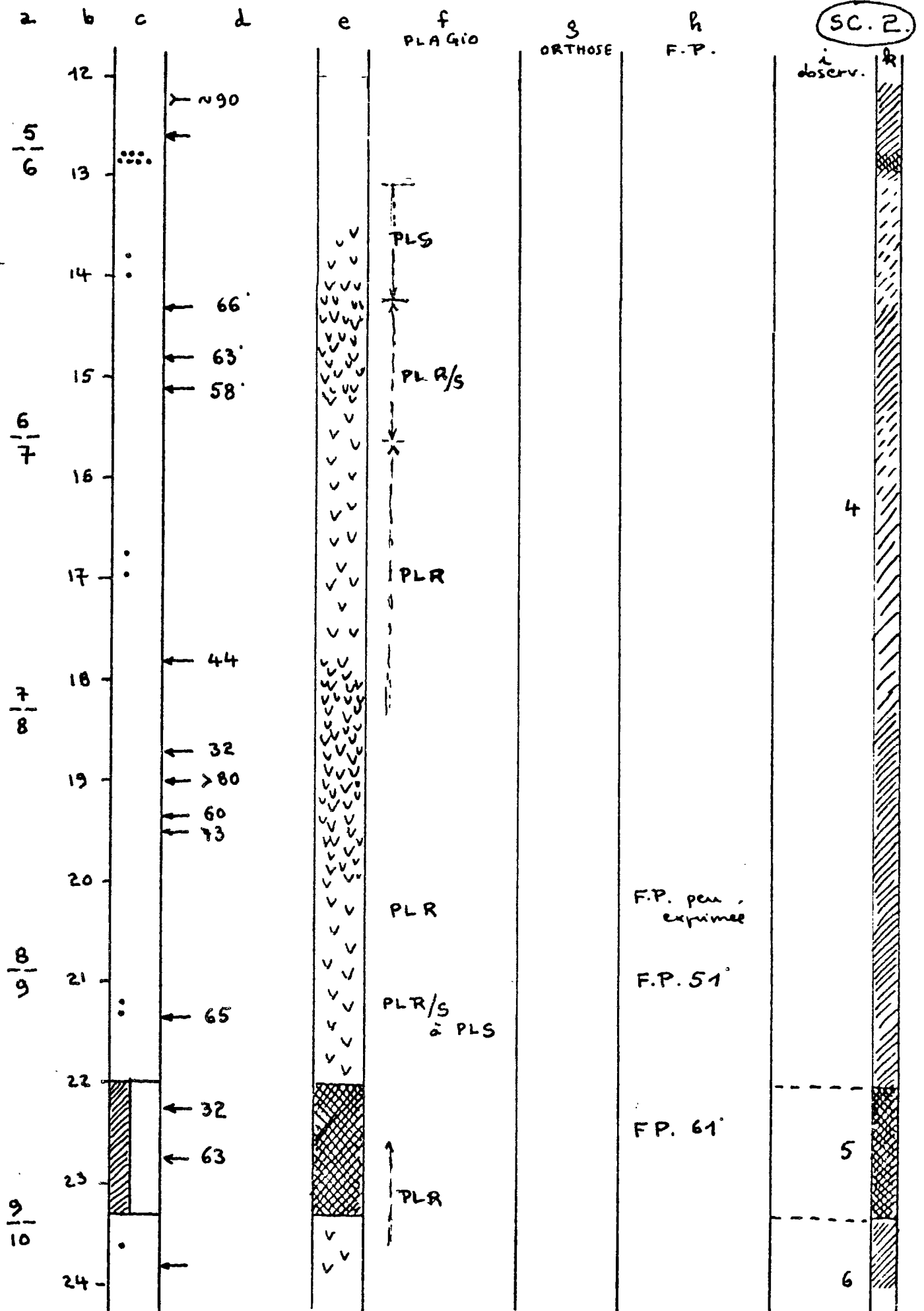
SC.2.
(i) (*)
observations



- (a) repérage n° des Causse
- (b) profondeur en mètres
- (c) enclaves // layering

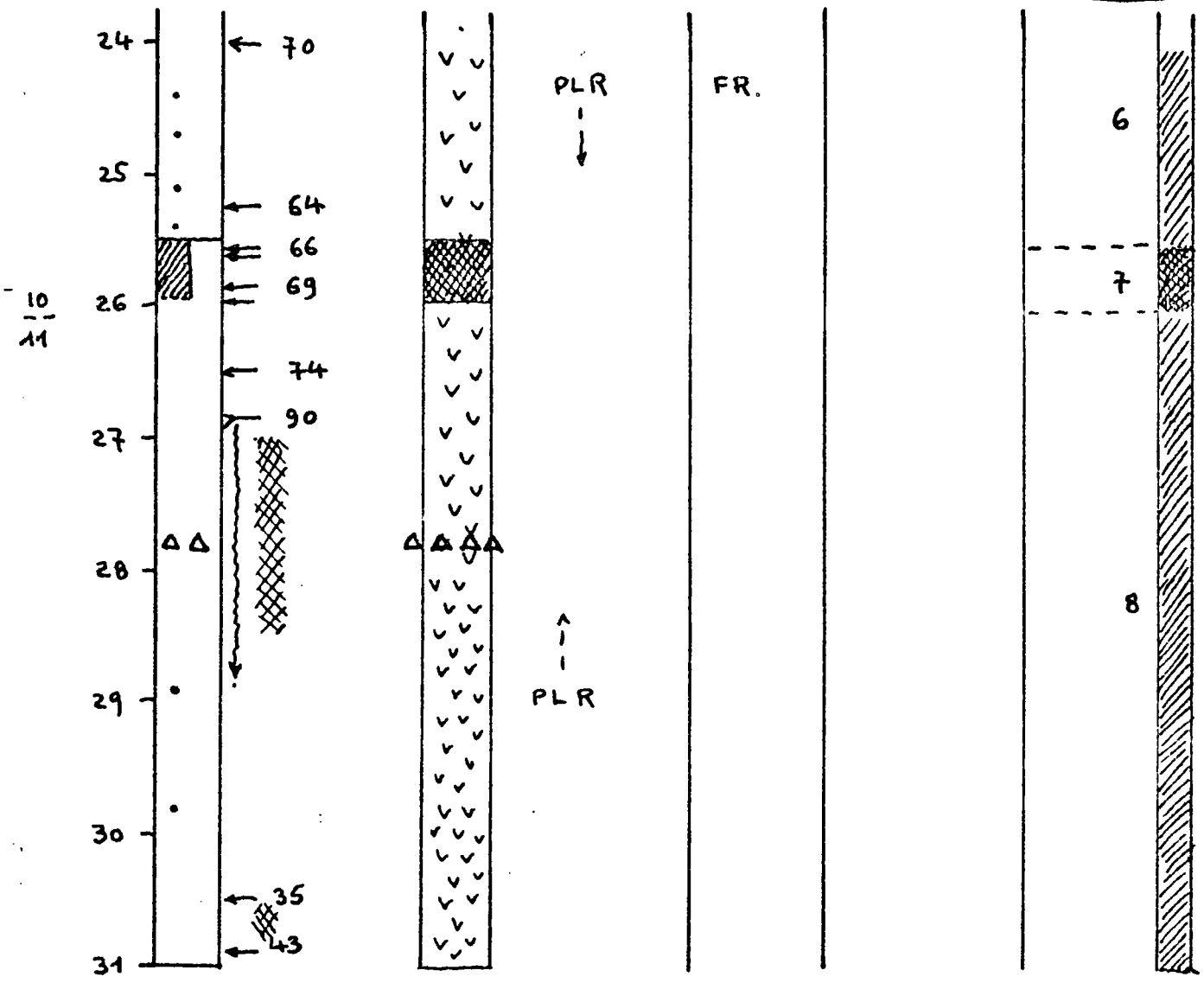
d. fractures sans indication de pendage -

(Fig. A 3.4)



(Fig. A3.4 - 2/3-)

SC.2.



(Fig.A3.4- 3/3)

Tout le reste du sondage est oblitéré par :

- soit la présence de layering

$$E = l \cos \alpha$$

- . entre 9,10 et 11,00 m (layering sur 0,95 - 1,90 m)
- . entre 22,00 et 23,30 m (layering sur 0,65 - 1,30 m)
- . entre 25,50 et 26,00 m (layering sur 0,25 - 0,50 m)

(il faut ramener ces "longueurs sur carotte" à l'épaisseur vraie de la zone litée en tenant compte d'un pendage moyen des fluidalités magmatiques de l'ordre de 60°) ;

- soit la présence de "lits" d'enclaves à 0,30 m

de 12,70 à 13 m ;

- soit des zones intensément broyées ou fracturées qui sont oblitérées par des fractures et par la coloration rose ou rouge induite par ces fractures vers 6 m, 9 m, 12 m, 15 m, 19 m, 26/27 m (une répétition tous les 3 m serait-elle envisageable - estimée sur longueur carotte ?).

La bréchification, l'intensité de la fracturation semblent augmenter avec la profondeur ! Ainsi :

- . vers 19 m, la fracturation est intense,
- . vers 27/28 m, on a de véritables mylonites, des brèches intramagmatiques de quartz, des fractures importantes. Ce qui est inquiétant, d'autant plus que l'on sait que le SC3 arrivera dans du sable limoneux de 27,80 à 19 m (fin du sondage).

2.5. Sondage SC3 (fig.A3.5) : Evaluation d'ensemble

Vingt neuf mètres.

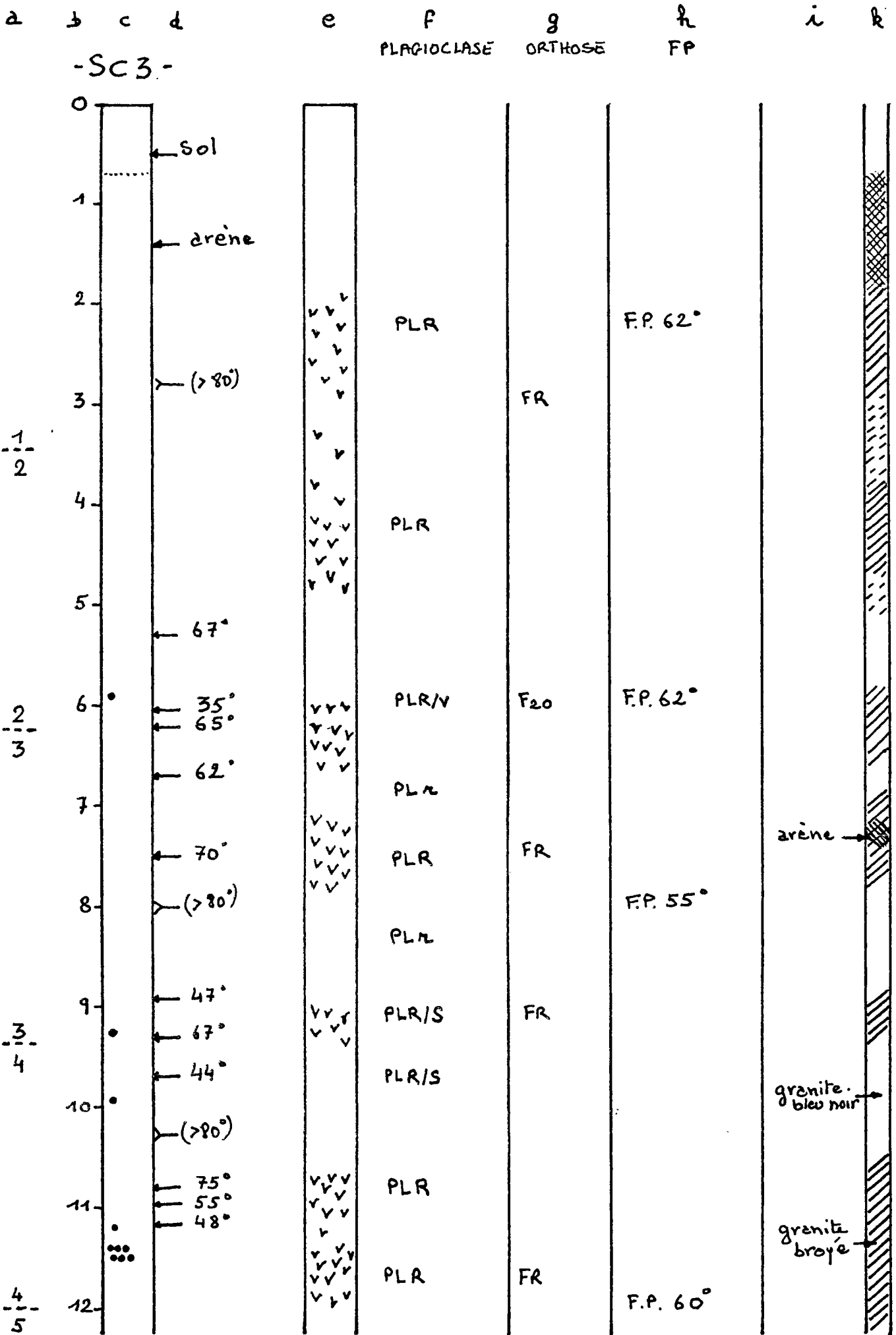
Ce sondage est oblitéré par :

- une intense fracturation, très pentée par rapport à l'axe de la carotte ;
- une altération induite par la fracturation, qui se traduit par :
 - . une coloration rose ou rouge des plagioclases (entre 4 et 5 m, 11 et 12 m, 15 et 15,5 m),
 - . une altération en masse du granite (arénisation) lorsque la fracturation est intense (10,7 à 11 m) ;
- la présence d'un layering, entre 16,70 et 17,30 m, penté à 60° par rapport à l'axe de la carotte (épaisseur réelle 0,30 m) ;
- la présence d'enclaves notamment à 11,50 m (lit d'enclaves) et à 15 m et 17,80 m (crapauds : Ø supérieur au Ø carotte).

Seules quelques zones sont indemnes de fracturation et d'altération entre :

- 8 et 9 m
- 13 et 15 m granite variété bleu-noir à plagioclases saumonés
- 17,5 et 19 m granite variété bleu-noir à plagioclases saumons
- 21 et 25 m granite variété bleu-noir à plagioclases saumons.

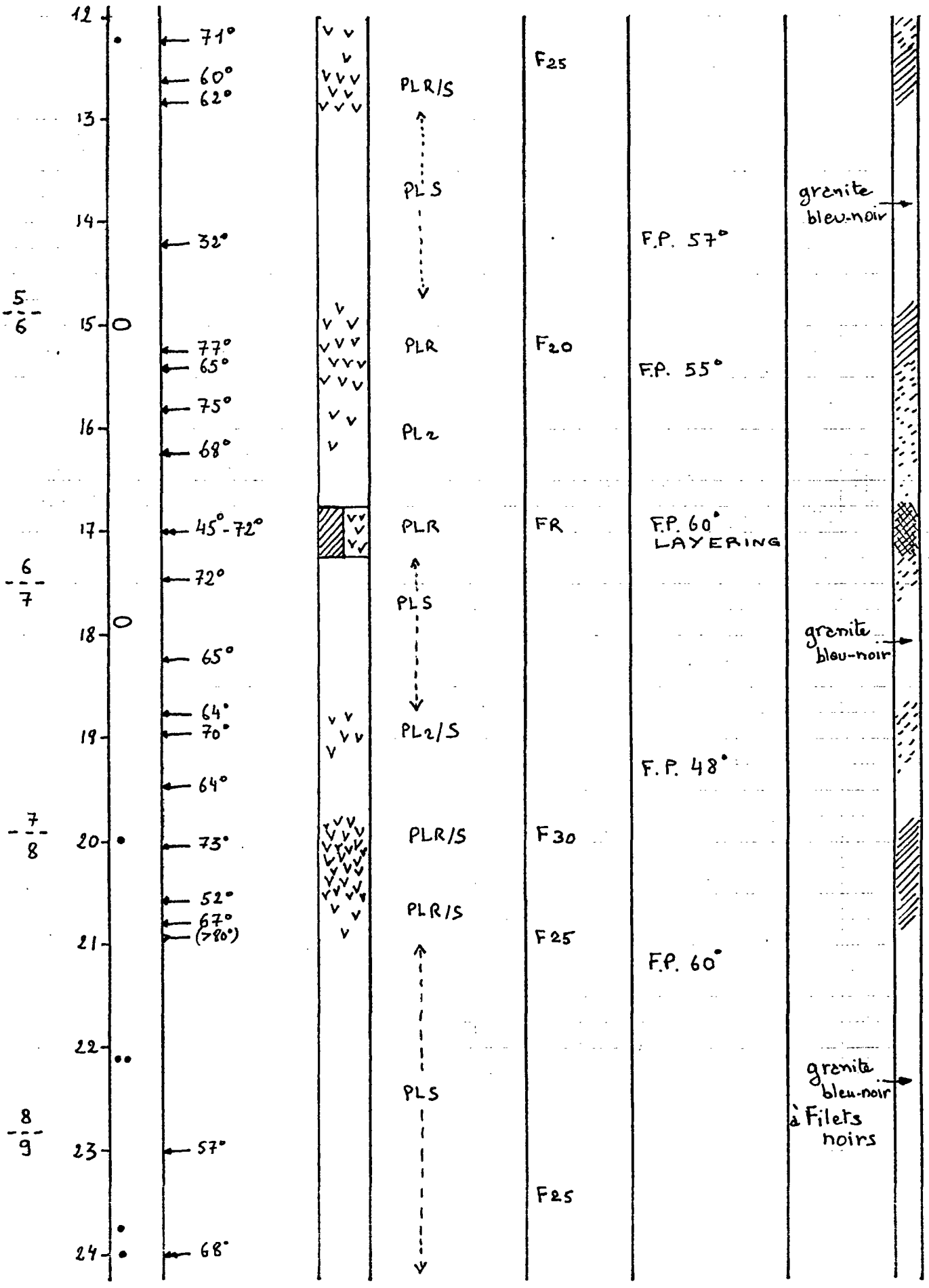
Dans cette zone, notamment entre 22 et 23,5 m, apparaissent tous les 3 à 5 cm des filets noirs d'épaisseur millimétrique qui donnent au granite un aspect zébré. Ces filets noirs (comme dans SC2 où ils sont observés pour la première fois) semblent apparaître préférentiellement dans les zones où la fracturation est peu développée voire totalement absente. Ces filets qui doivent correspondre à des zones de cisaillement (à un stade magmatique) n'oblitérent en rien la qualité du granite.



(Fig.A3.5- 1/3-)

a b c d e f g h i k

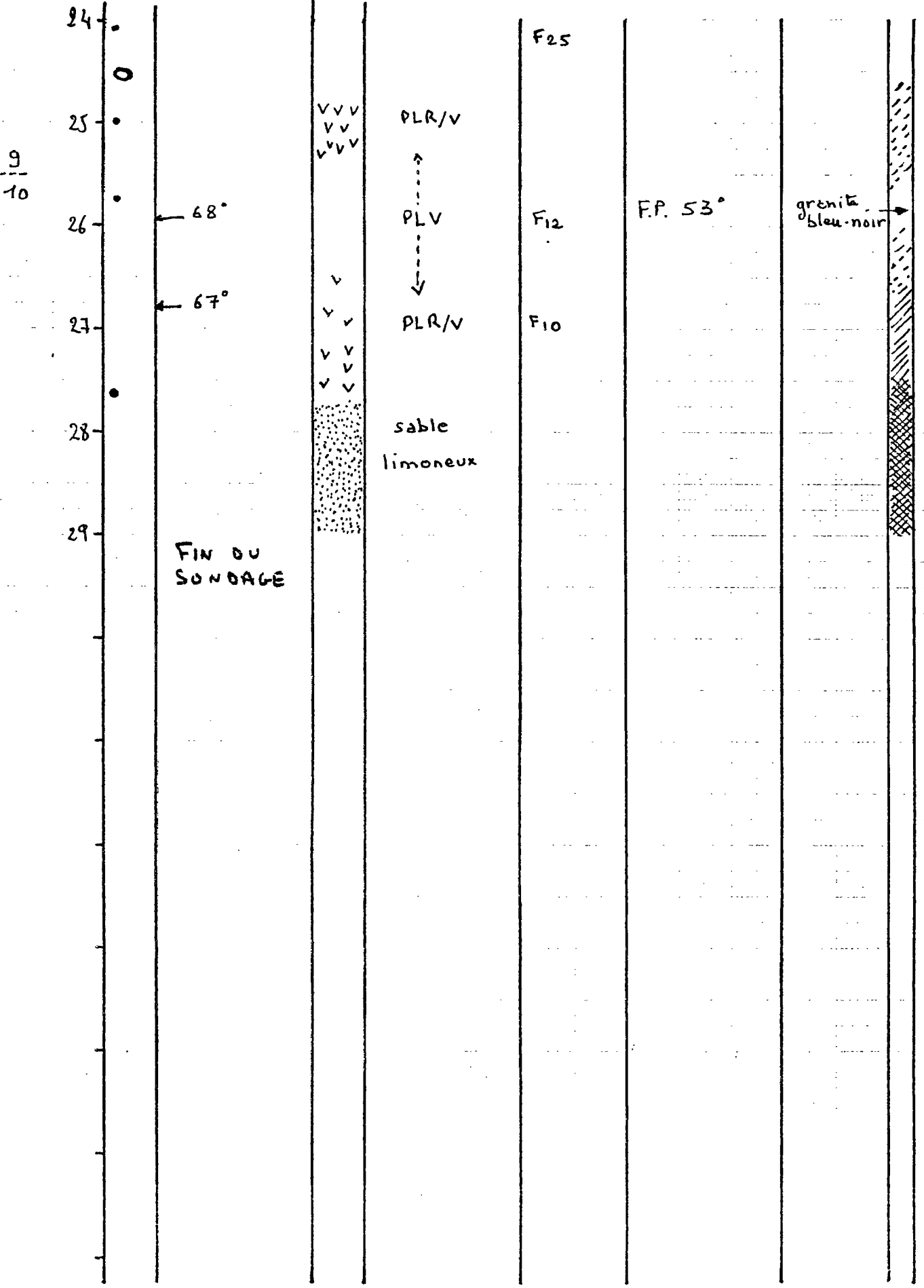
-SC3-



(Fig.A3.5- 2/3-)

a b c d e f g h i k

-SC3-



FIN DU
SONDAGE

sable
limoneux

F.P. 53°

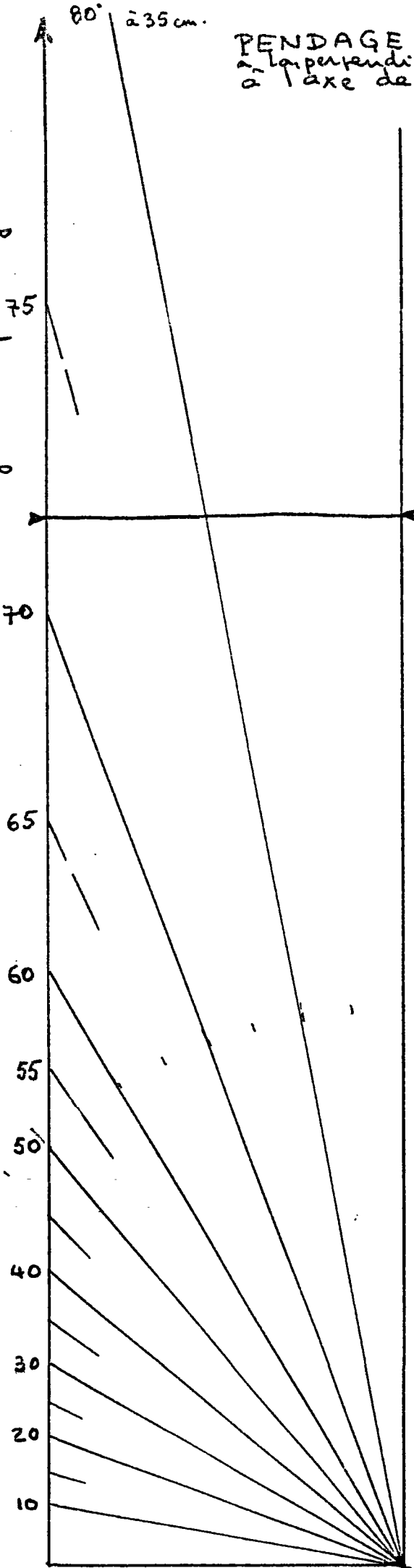
granite
bleu-noir

(Fig.A3.5- 3/3 -)

Longueur
FRACTURE
sur la
Carotte

27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

angle du pendage



PENDAGE par rapport
à la perpendiculaire
à l'axe de la Carotte

Fig.A3.6

diamètre de la
Carotte

3 - SONDAGES DESTRUCTIFS AU SEIN DU MASSIF DES CRETES (B. r. g. m.) -

L'analyse des sondages destructifs s'effectue à partir des observations du sondeur qui prélève des "cuttings" (fragments de granite remontant lors du sondage) les résultats des différentes diagraphies (Vibralog et Diagraphor) et enfin de la description des échantillons intacts prélevés qui permettent l'étalonnage.

3.1. Le Diagraphor

Cette diagraphie, effectuée à l'avancement, mesure la vitesse d'avancement du train de tiges. L'appareil comprend un capteur fixé sur la sondeuse et un coffret renferme l'électronique, disposé en surface.

3.2. Le Vibralog

Il mesure la dureté de la formation à l'aide des vibrations réfléchies par la roche dans le train de tige. L'appareil comprend un capteur fixé sur la tête rotative de la sondeuse et l'électronique de traitement logé dans un boîtier en surface.

3.3. Commentaires

Schématiquement, plus le massif est fissuré, voire fracturé, plus la vitesse d'avancement est rapide, moins l'énergie réfléchie par la roche est importante.

La fig. A3.7 du sondage SD5, effectué à la Roche des Bioquets, montre les variations relatives des enregistrements.

Les premiers mètres sont perturbés par la fracturation, la vitesse d'avancement est rapide dans les cinq premiers mètres. L'allure générale des courbes est hachée et les paramètres de l'avancement de l'outil ne se stabilisent vraiment qu'après 8 m de profondeur, pour devenir homogènes, hormis quelques passages (12,30 m par exemple) qui peuvent correspondre à une zone de fracture.

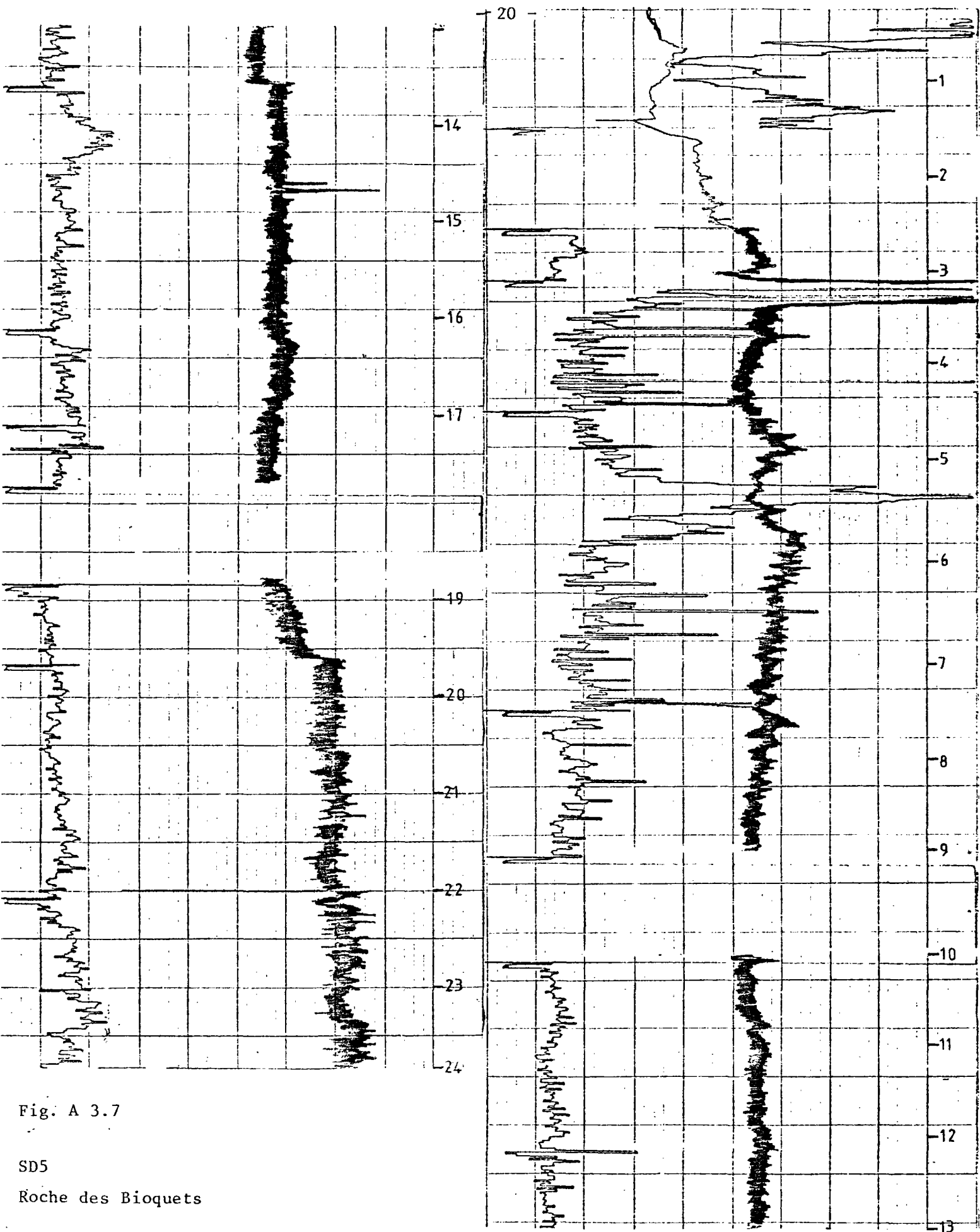


Fig. A 3.7

SD5

Roche des Bioquets

Les échantillons de granite prélevés à raison d'un tous les 10 m correspondent à des faciès variés, tout à fait semblables aux carottes analysées, avec prédominance de granite légèrement rosé.

En conclusion, les sondages effectués traduisent une relative hétérogénéité, tant du point de vue tectonique que du point de vue pétrographique.

La présence de brèches mylonitiques et de sables limoneux à 25 m de profondeur (SC3) est inquiétante. Concernant SC3, la présence d'une faille profonde est indéniable.

L'ouverture de carrières pilotes en un certain nombre de points témoins judicieusement choisis est nécessaire pour étayer les hypothèses.

4 - ETUDE DES SONDAGES CAROTTES DANS LE GRANITE DE SENONES, SUR LE SECTEUR
DES GOUTTES - LES ROCHES MARGOT -

(J. BONVALLET et P. L. VINCENT)

4.1. Présentation générale

L'intérêt des sondages carottés au sein du Massif de Senones réside dans l'observation de l'arénisation progressive des couches superficielles.

A priori, nous avons toujours pensé que la présence de nombreuses boules résiduelles en surface était l'indice d'un granite de qualité en profondeur. La densité des boules était jusqu'à présent considérée comme un bon indicateur.

Ceci est vraisemblablement justifié en relief subhorizontal ou du moins peu penté. En revanche, dès lors que la pente est suffisante pour générer des glissements superficiels, la présence de boules n'est plus significative.

Les corrélations entre sondages sont impossibles, ceci dit le filon de Kersantite, abondamment décrit dans les logs des sondages carottés, a été retrouvé en SC1 et SC4.

Les problèmes sont à la fois plus complexes et beaucoup plus simples qu'au sein du Massif des Crêtes.

Plus simples tout d'abord car le granite est homogène, il n'y a ni fluidalité, ni orientation préférentielle à l'échelle de la texture. De même, les litages magmatiques n'ont jamais été décrits. Les enclaves sont peu nombreuses, les seules hétérogénéités susceptibles d'entraver l'exploitation sont les filons de Kersantite.

Plus complexes également car l'arénisation masque les faciès qui sont difficiles à décrire, même à reconnaître. Par ailleurs, les structures peuvent être floues, il n'est pas exclu que les épontes des filons soient floues et d'allure tourmentée. Les filons, dans ce cas, peuvent être recoupés plusieurs fois par le même sondage ; c'est pour cette raison que nous ne connaissons pas l'épaisseur du filon précédemment reconnu.

4.2. Analyse des sondages dans leur ensemble

Sondage carotté SC1

Le sondage, implanté quelques dizaines de mètres en amont du front de taille actuellement en exploitation, a rencontré un granite de très mauvaise qualité (sableux, altéré) et uniquement dans le domaine superficiel. La tranche intermédiaire est intégralement de la Kersantite plus ou moins altérée et fracturée.

La description lithologique est fournie intégralement dans les pages suivantes.

Le sondage carotté SC4 a été implanté volontairement à proximité de SC1, à et sur une ligne parallèle au front de taille afin de rechercher l'orientation du filon.

Ce filon a été à nouveau rencontré entre 2,50 et 14 m de profondeur, encadré par du granite arénisé, sableux, plus dur en profondeur.

Il s'avère que ce filon est parallèle au front de taille, probablement donc parallèle à une courbe de niveau car :

- il n'est pas visible sur le front de carrière,
- il a été recoupé deux fois sur cette ligne.

Il constitue un handicap très sérieux pour les exploitants actuels, sauf si ces derniers peuvent écouler ce produit comme "pierre de route".

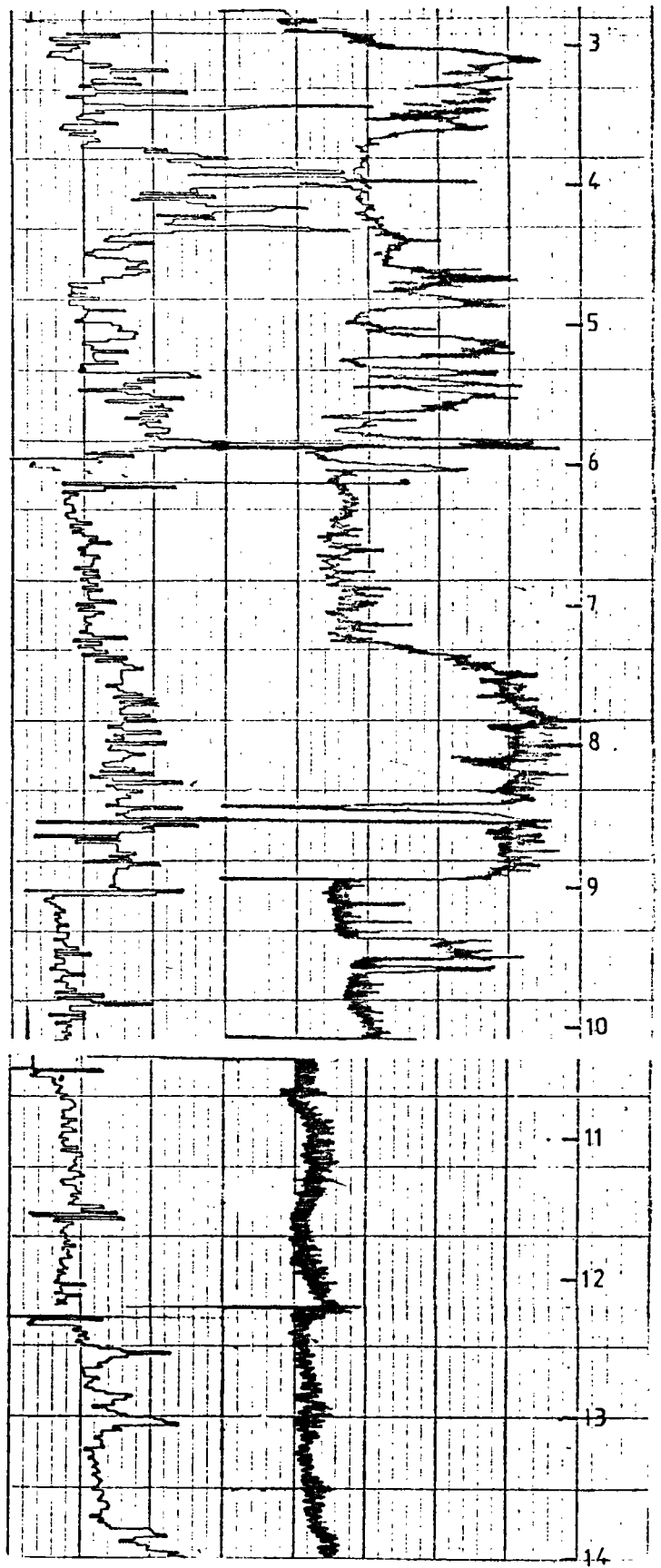
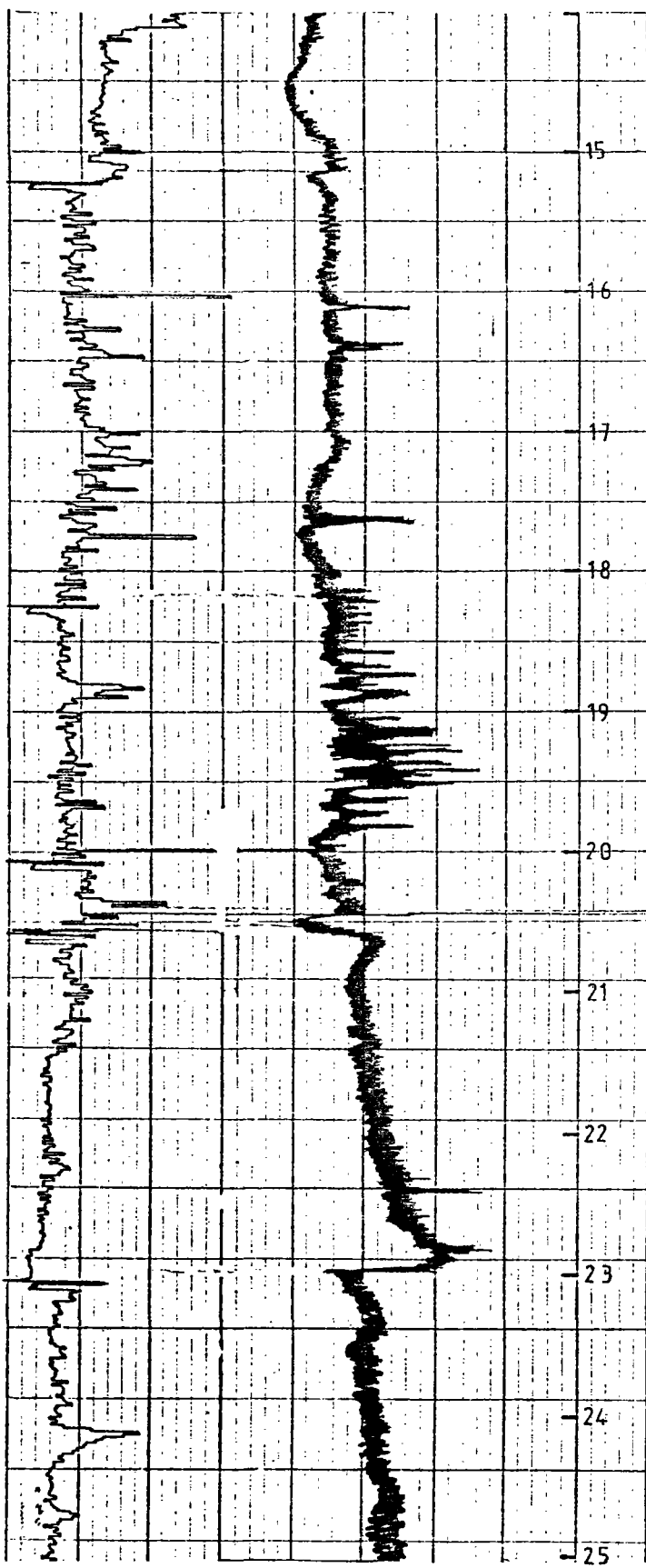


Fig. A 3.11

Granite de Senones

N 1

Incliné 45 °

Les deux sondages SC2 et SC3 concernent une autre zone du secteur, sont localisés quasi-intégralement dans des arènes sableuses, contenant des boules résiduelles, métriques, de granite gris rosé.

SC2 a été arrêté au bout de 10 m et remplacé par SC3 que nous avons implanté au voisinage, à 7 ou 8 m de distance horizontale afin d'étudier la continuité de l'arénisation. Ce sondage a été poussé jusqu'à 25 m sans rencontrer un granite vraiment sain. Il est certain que ce dernier n'aurait pas été atteint avant plusieurs mètres, voire dizaines de mètres, en approfondissant.

Le sondage destructif SD1, incliné à 45°, concerne le fond de la carrière en exploitation. Dans les premiers mètres, le matériau est relativement fracturé. Les paramètres diagraphor - vibralog (fig.A3.11) fluctuent de façon importante jusqu'à 9 m, ce qui correspond, compte-tenu de l'inclinaison, aux cinq premiers mètres. Par la suite, c'est-à-dire entre 9 et 25 m, le matériau est homogène, sain, peu fracturé. Il n'y a pas de boules. Ces dernières influent en effet directement sur la vitesse d'avancement, très rapide au voisinage de la boule mais encore sur l'énergie réfléchie.

En revanche, le sondage SD2, situé très en amont dans le versant, a rencontré de nombreux blocs résiduels, ce qui se traduit par des variations de 100 % sur la vitesse d'avancement.

En conclusion, les résultats des sondages confirment pleinement les hypothèses émises grâce aux données sismiques, à savoir :

- l'épaisseur de la tranche superficielle arénisée, sableuse, contenant plus ou moins de boules résiduelles, est tout à fait considérable et peut concerner jusqu'à 40 m de matériaux avec un minimum de 20 m ;
- le granite est ensuite sain, homogène, du point de vue de la fracturation.

L'approfondissement est donc tout à fait nécessaire.

SONDAGE CAROTTE SC 1

SC 1 (1)

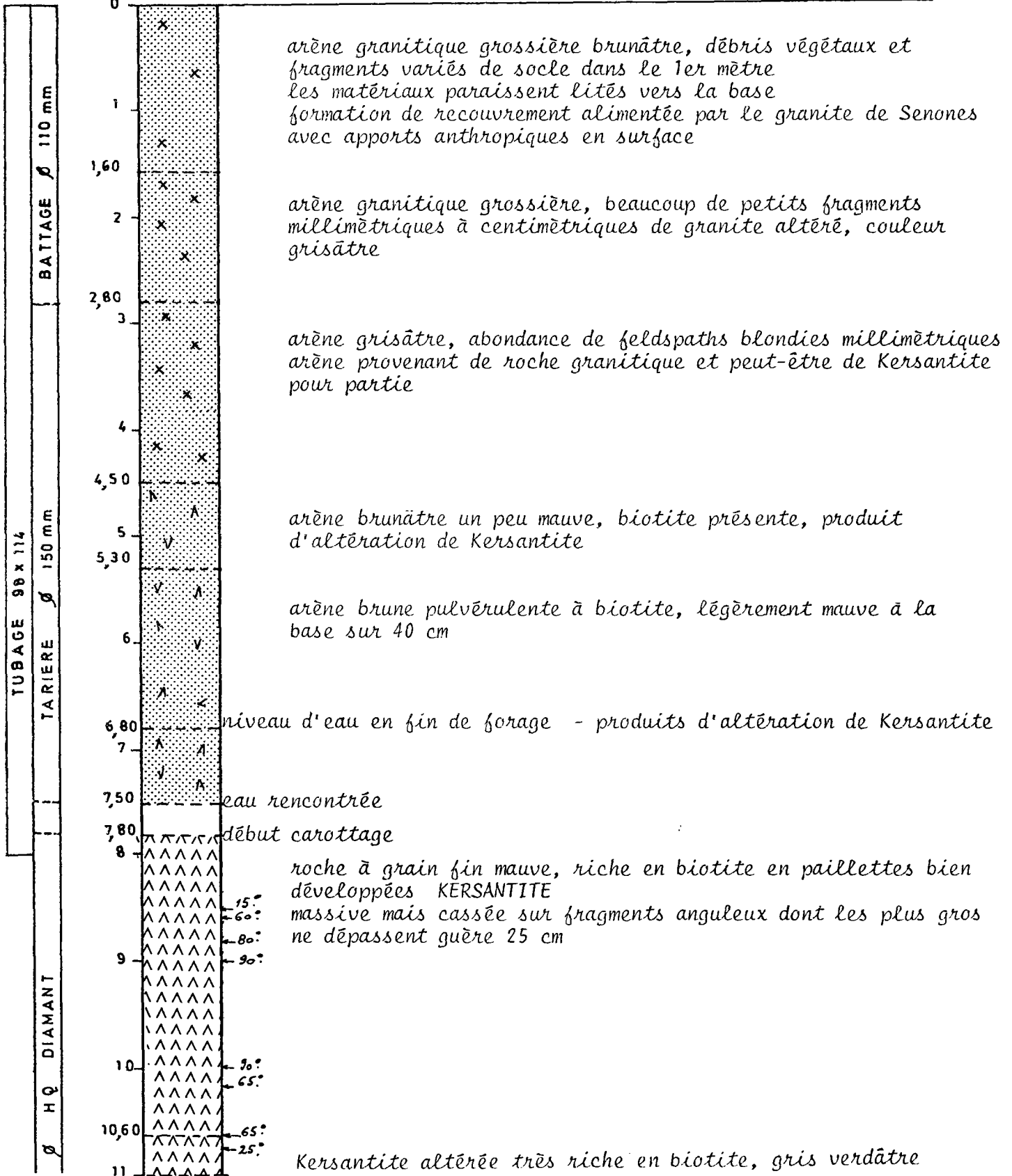
SENONES Carrière des Gouttes
(vertical)

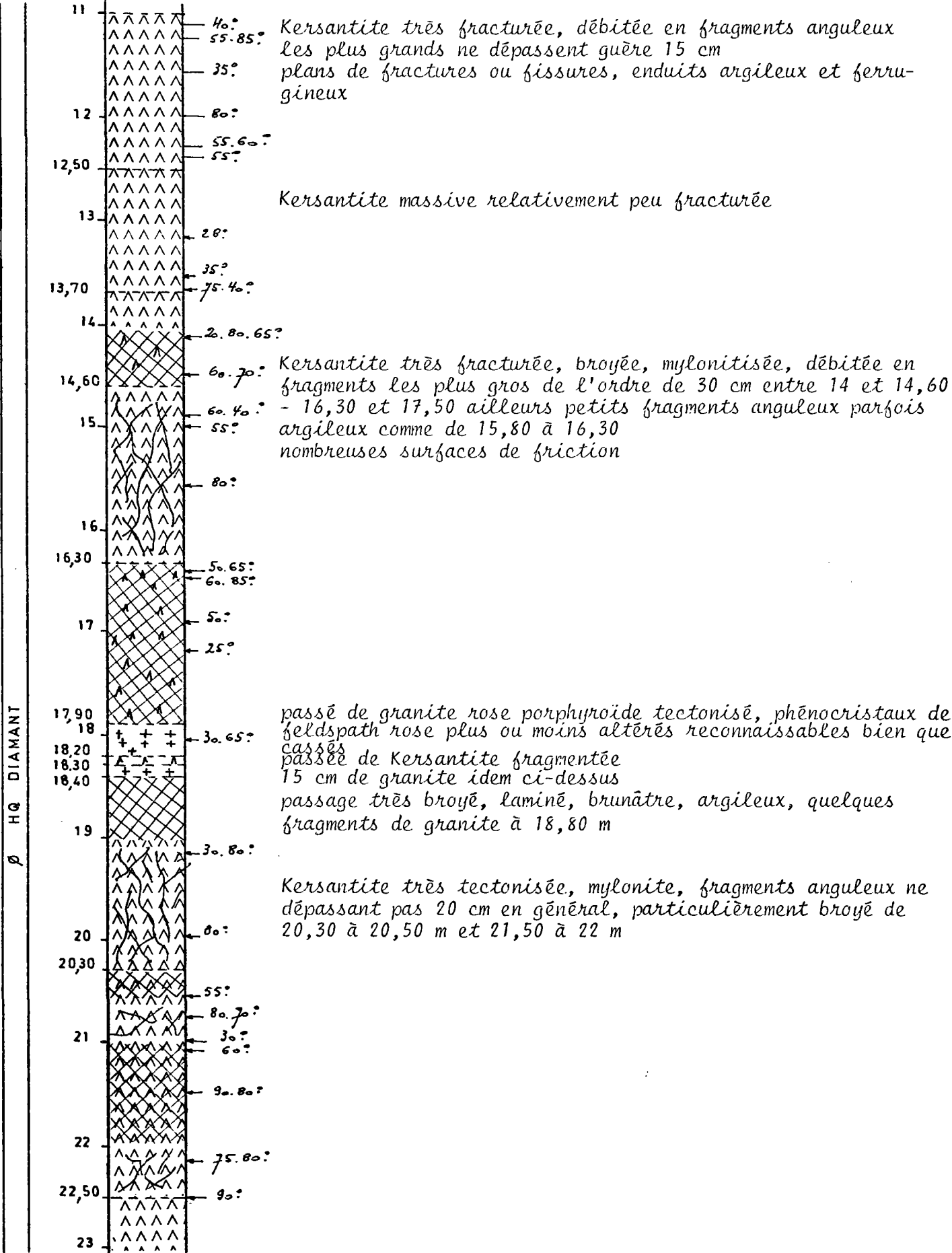
début : 11.7.79

fin : 13.7.79

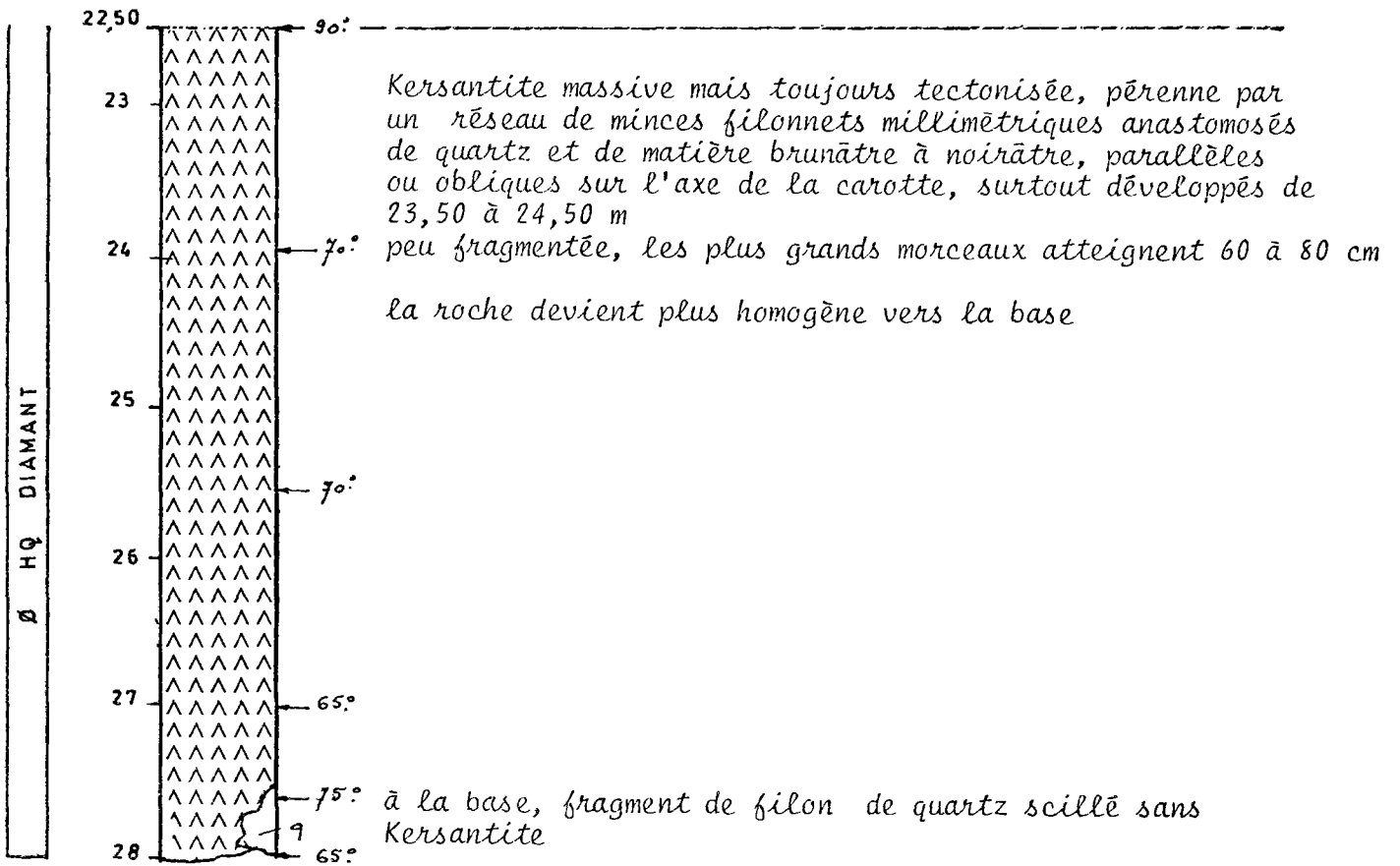
ECHELLE : 1/50

profondeur: 28 m fracturation





Ø HQ DIAMANT

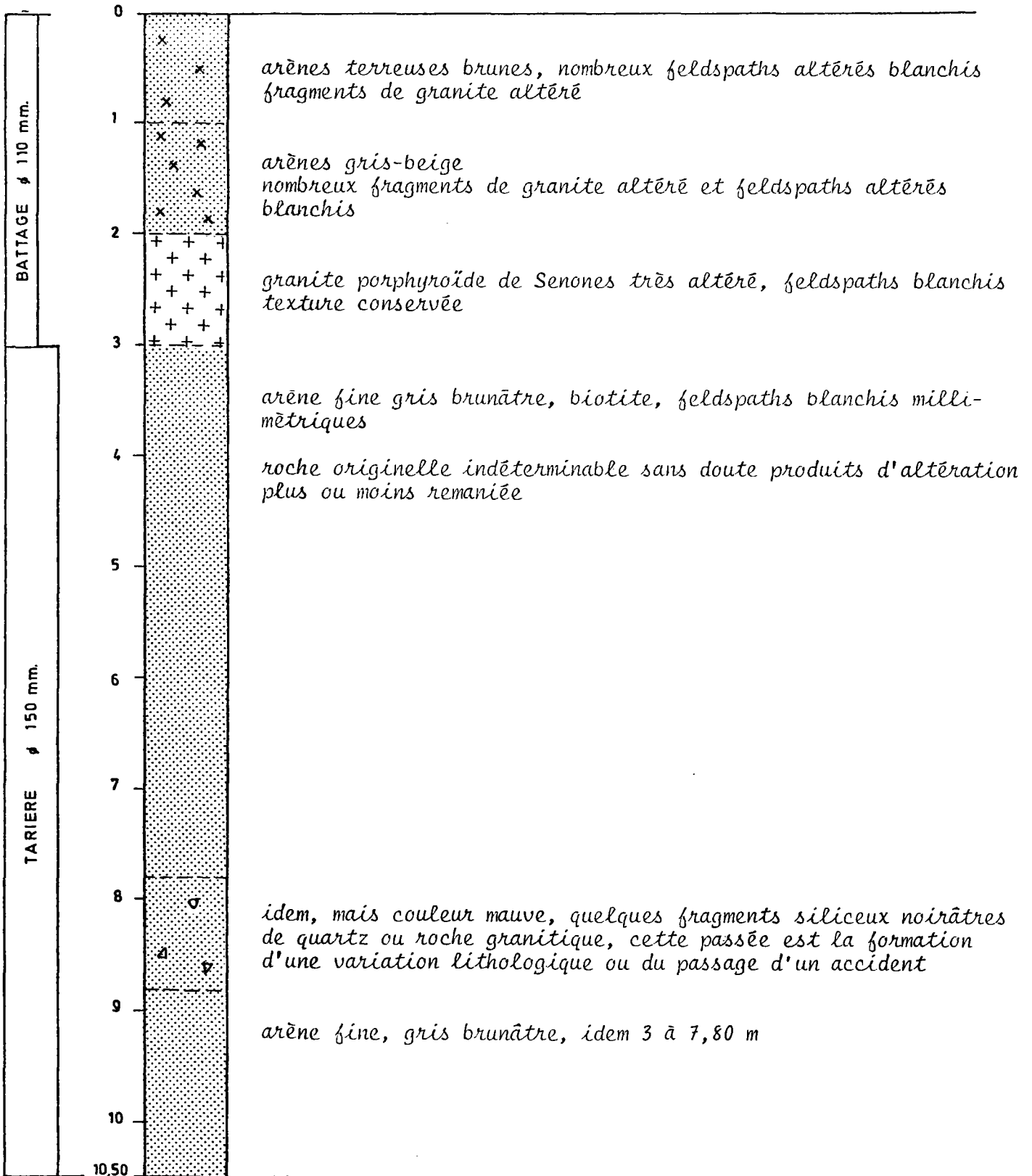


— SONDAGE SC 2 —

SENONES - Carrière des Gouttes.
(vertical)

17/07/79

NOTA : sec non tubé



Remarque : ce sondage prévu pour être carotté a été abandonné
à 10,50 m en raison du développement du recouvrement

Echelle : 1 / 50

arénisé

SONDAGE CAROTTE SC 3

SC 3 (1)

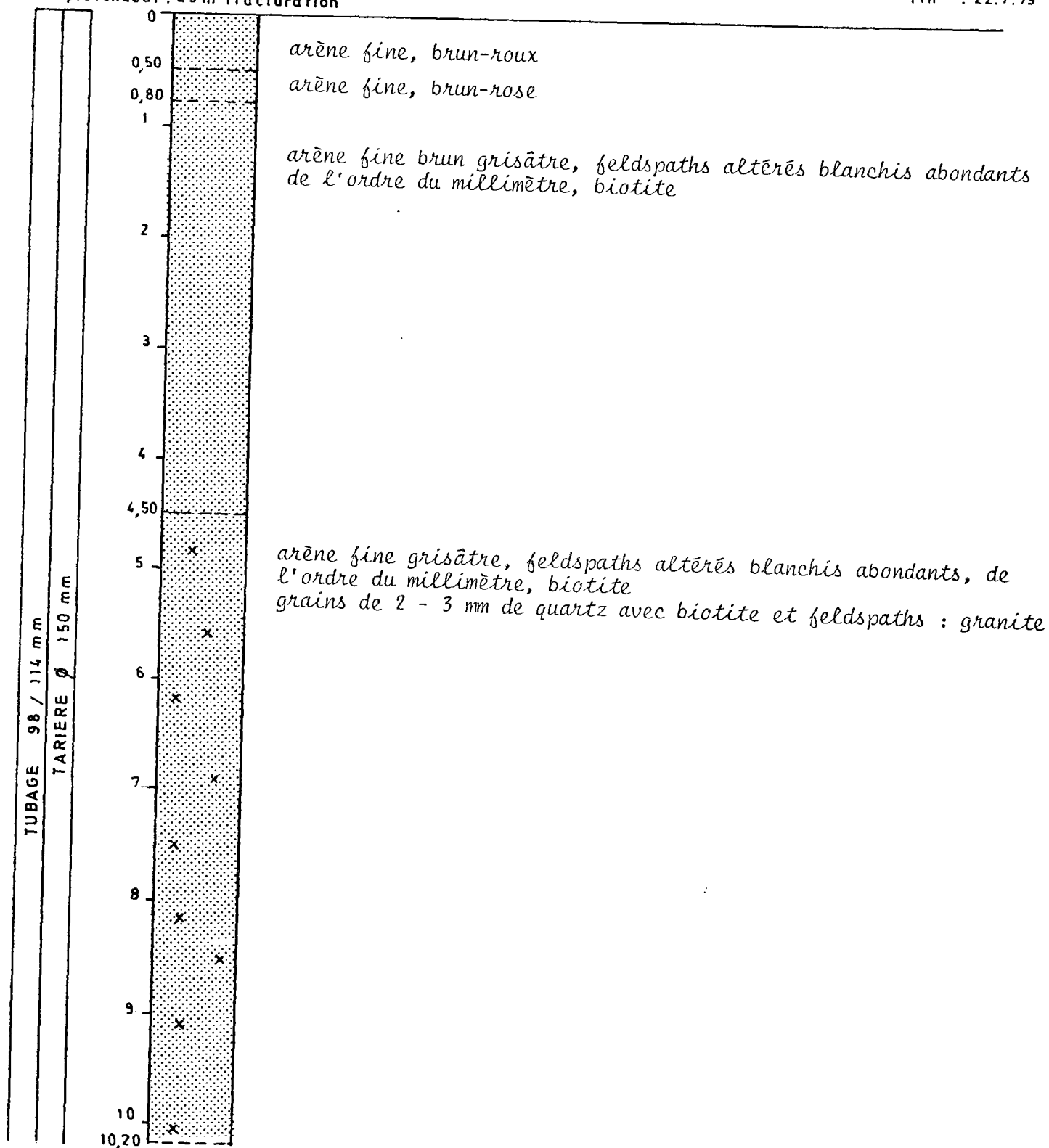
SENONES Carrière des Gouttes
(vertical)

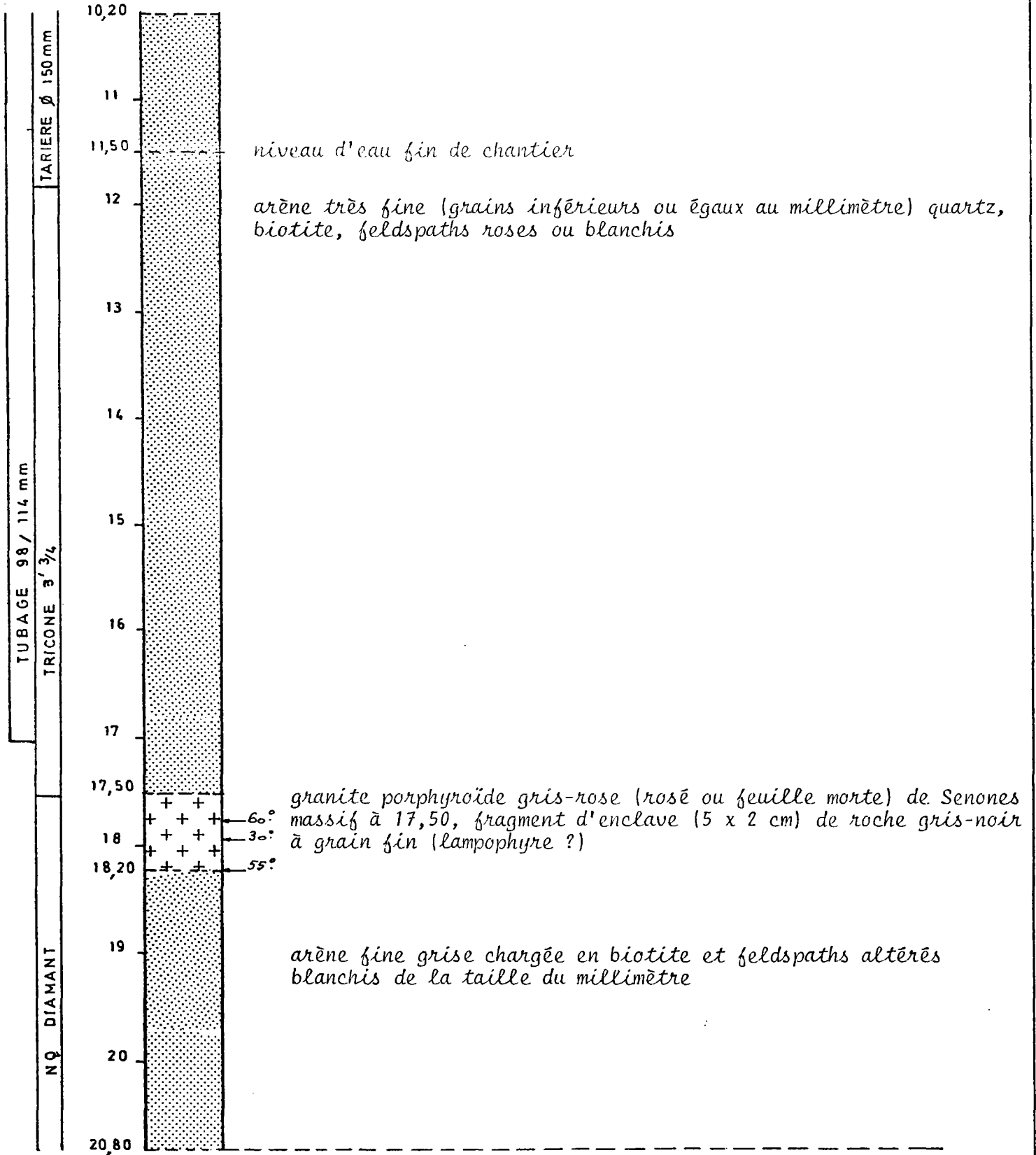
ECHELLE : 1/50

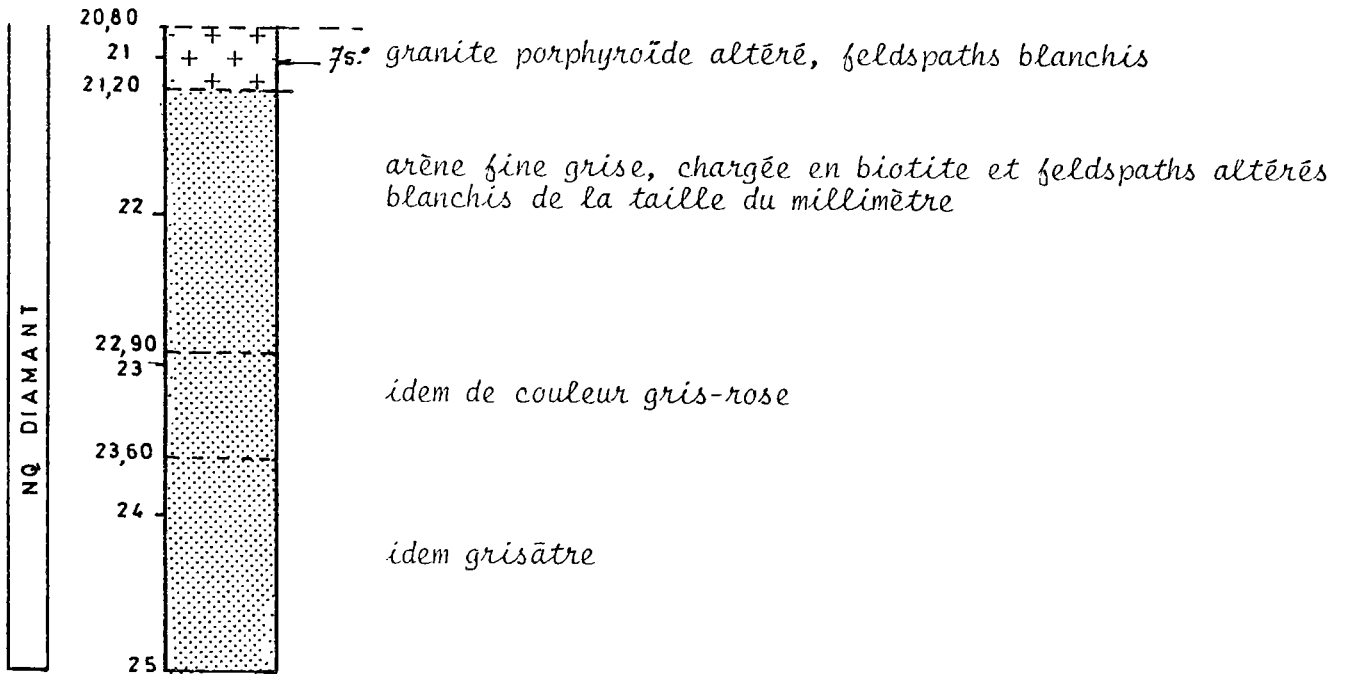
début : 20.7.79

fin : 22.7.79

profondeur : 25 m fracturation







Remarque : en raison de la présence de feldspath et de biotite, les arènes proviennent de roches granitiques. Leur granulométrie fine pourrait indiquer des granites à grain fin voire des microgranites. Il n'est pas possible de dire si elles étaient en place ou remaniées en-dessous de 18,20 m ; il est possible qu'elles proviennent de roches granitiques altérées dont les structures ont été détruites par le forage.

SONDAGE CAROTTE SC 4

SC 4 (1)

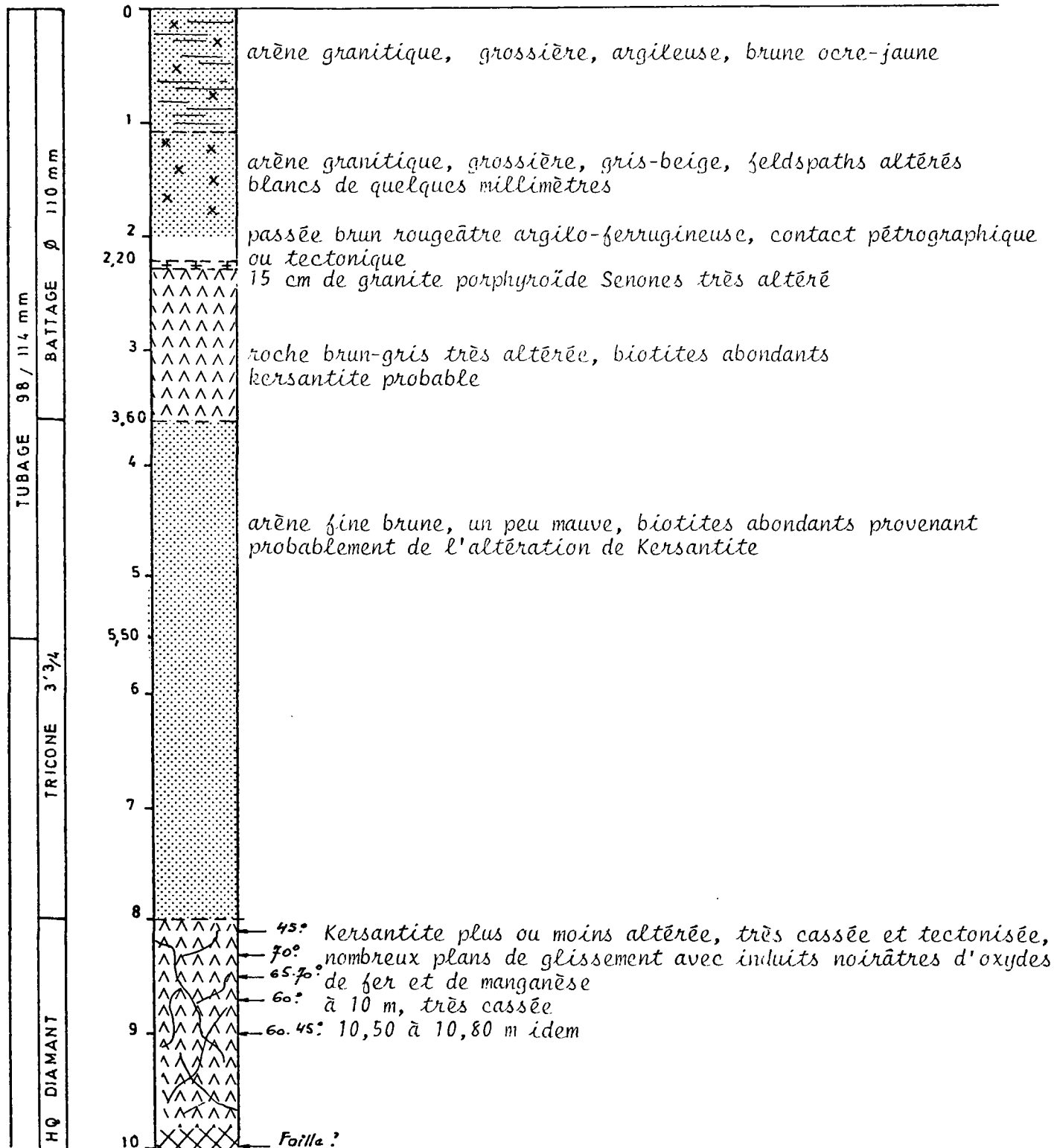
SENONES Carrière des Gouttes
(vertical)

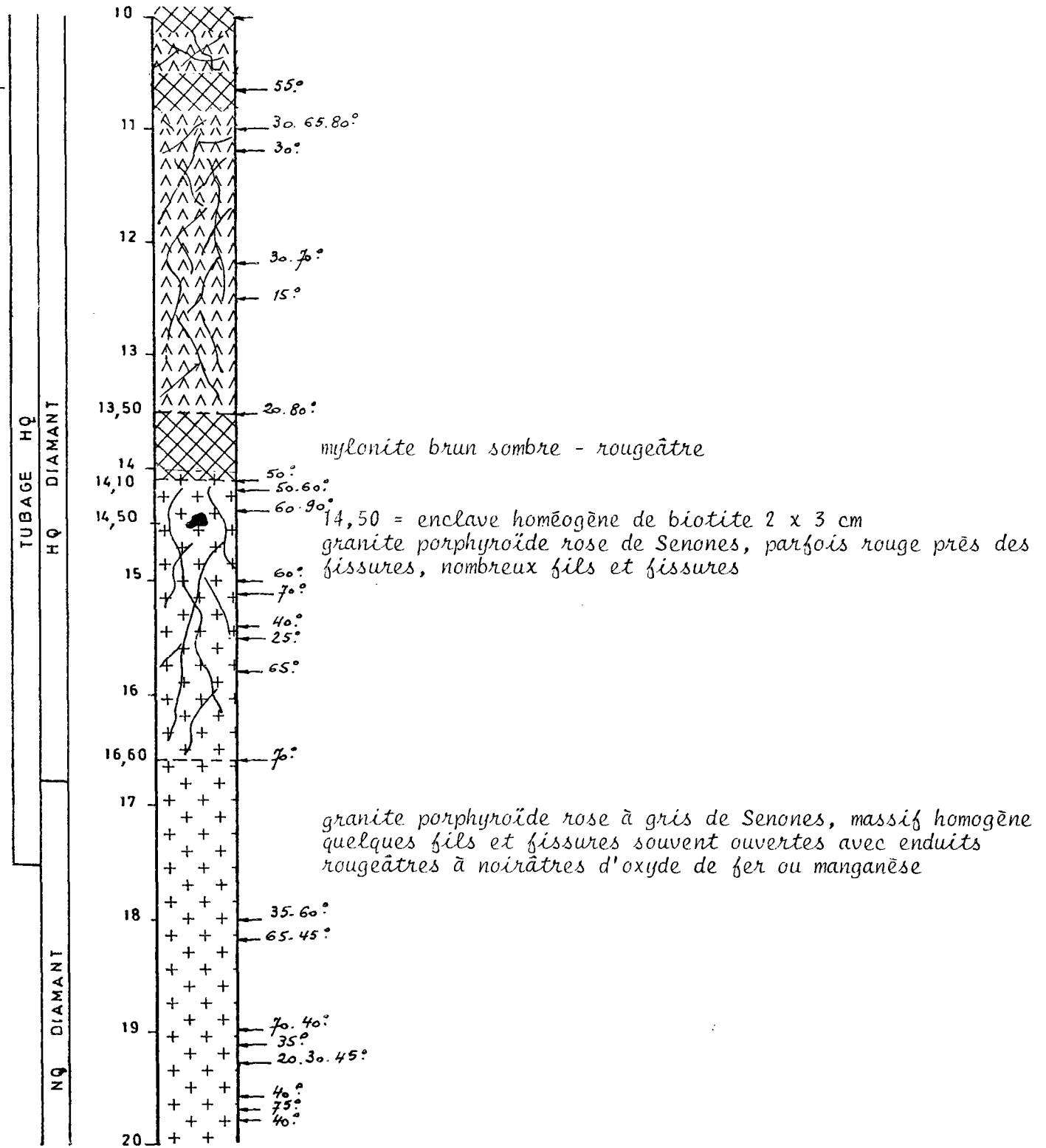
ECHELLE : 1/50

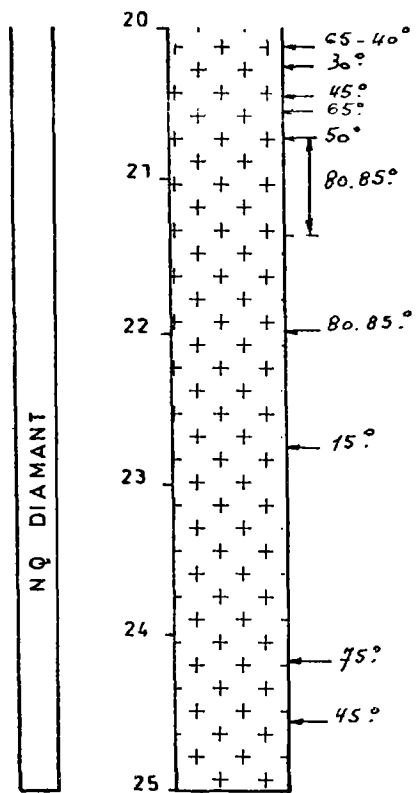
début : 19.7.79

fin : 24.7.79

profondeur: 25 m fracturation







DEPARTEMENT des VOSGES

*Recherche de sites exploitables
au sein du Massif des Crêtes et du Massif de Senones*

CARACTERISATION MECANIQUE

J. BONVALLET

1 - INTRODUCTION -

Les caractéristiques physiques et mécaniques des roches ornementales et des granites en particulier jouent un rôle important de deux points de vue :

- au niveau de la recherche de gisements, la caractérisation à un caractère scientifique, voire fondamental ; on étudie ainsi les variations relatives de ces paramètres en fonction de critères qualitatifs comme la couleur, la fracturation, etc... ;
- au niveau de l'exploitation et de la commercialisation, les maîtres d'oeuvres souhaitent connaître les caractéristiques du matériau qu'ils sont susceptibles d'employer.

Dans le cadre de la présente étude, il n'était pas envisageable d'élaborer un cahier des spécificités relatives aux deux faciès étudiés, compte-tenu de la multiplicité des essais à entreprendre. Notre but visait essentiellement la qualification des paramètres mécaniques classiques.

A notre connaissance, il n'existe pas à l'heure actuelle de catalogue des produits vosgiens, il sera sans doute nécessaire dans l'avenir d'y travailler à l'instar de ce qui s'est fait dans d'autres pays, l'Italie notamment.

FIGURE 1

GRANITE des CRETES - COL de GROSSE PIERRE

Ref.*	γ d t/m ³	VL m/s	Rc bar	E bar	PF 110°	PF 1100°	Couleur	f**
2C	2,70	5 811	1 501	359 000	0,12	0,84	G	
2D	2,70	5 611	1 337	418 000	0,11	0,85	G	
2E	2,70	5 560	1 197	414 000	0,11	0,85	G	
2G	2,70	5 491	1 400	419 000	0,18	0,85	G	
5B	2,70	5 470	1 530	406 000	0,13	0,85	G	
3D	2,71	5 401	1 508	414 000	0,12	0,90	G	
3E	2,70	5 466	1 489	442 000	0,16	0,86	G	
3G	2,70	5 513	1 470	447 000	0,18	0,93	G	
13C	2,70	5 468	1 582	402 000	0,10	0,91	G	
15A	2,67	5 287	967	319 000	0,16	1,31	G	1
19C	2,66	5 333	1 411	410 000	0,17	1,36	R	1
20A	2,68	5 541	1 559	378 000	0,15	1,29	R	
20D	2,68	5 600	1 730	415 000	0,13	1,28	R	
23A	2,69	5 650	1 627	382 000	0,13	1,18	R	1
23B	2,70	5 513	1 292	381 000	0,16	1,04	G	
25B	2,68	5 353	1 400	371 000	0,17	1,28	R	
26A	2,68	5 470	1 149	386 000	0,19	1,31	R	1
27A	2,67	5 443	1 337	349 000	0,23	1,59	R	
29B	2,69	5 708	1 405	362 000	0,19	1,37	R	
29C	2,69	5 890	1 587	394 000	0,19	1,50	R	

* Le premier chiffre indique la profondeur de prélèvement.

** Les fractures visibles ont été notées 1.

2 - CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES -

2.1. Granite des Crêtes

Le granite des Crêtes a fait l'objet d'une étude plus approfondie en raison des problèmes soulevés :

- différents faciès,
- influence de l'altération précoce.

A cet effet, vingt éprouvettes ont été prélevées au sein du sondage carotté SC2.

Chaque éprouvette a été traitée de la manière suivante :

- façonnage d'éprouvette cylindrique, \emptyset 6,7 cm, hauteur 12,75 cm,
- détermination de la vitesse longitudinale VL (m/s),
- détermination du poids spécifique,
- essai de résistance à la compression simple : Rc (résistance à la rupture) et E (module de déformation),
- mesure de la perte au feu à 110° et à 100°.

L'essentiel des résultats est reporté sur le tableau de la figure 1.

Le poids spécifique est légèrement plus élevé pour le granite gris mais ceci ne se traduit ni par une augmentation de la célérité des ondes longitudinales, ni par un accroissement significatif de la résistance à la compression simple qui apparaît très constante et proche de 1 450 bars.

VANŒUVRE

Nature = Granite gris $\phi =$ cm

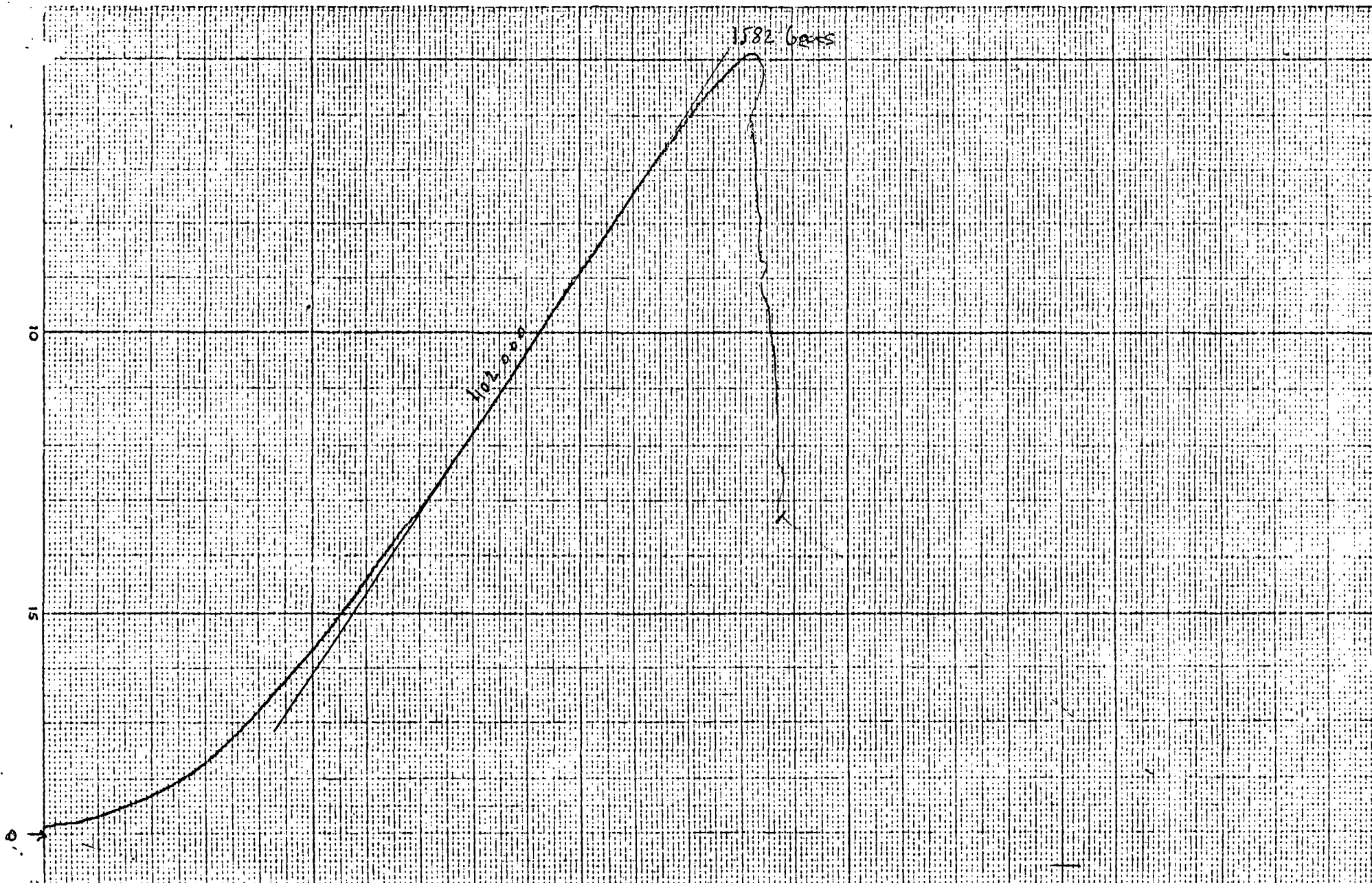
$\delta = 105 \mu/mn$

$4t = 1$ cm

Forme = cylindrique $h = 12,8$ cm

$V_L = 5468$ m/s

$100\mu = 2$ cm



Le paramètre le plus discriminant est la perte au feu à 1 100°, les faciès rouge contiennent d'avantage d'eau.

	FACIES ROUGE	FACIES GRIS	ENSEMBLE
d	2,68 (0,01)	2,70 (0,01)	2,69 (0,01)
VL	5 539 (176)	5 521 (137)	5 529 (152)
PF	1,34 (0,15)	0,87 (0,03)	1,11 (0,26)
RC	1 420 (173)	1 464 (125)	1 424 (179)
E	382 000 (22 000)	400 000 (35 000)	392 000 (30 000)

Les chiffres entre parenthèses sont relatifs à l'écart type calculé sur un échantillon de :

- 11 individus pour le faciès gris
- 9 individus pour le faciès rouge
- 20 individus pour l'ensemble.

La résistance à la compression simple n'est peu ou pas affectée par la présence de fractures, si celles-ci sont recristallisées. En revanche, la vitesse des ondes longitudinales chute sensiblement.

D'un point de vue purement mécanique, on peut dire que les deux familles ne sont statistiquement pas différentes, le seul paramètre vraiment discriminant étant la perte au feu à 1 100°.

On sait que la couleur est due à la nature du plagioclase comme l'a montré Monsieur Cl. GAGNY dans le cadre de la présente étude.

GRANITE		TEINTE	
	Fond de la roche		Teinte du plagioclase
Bleu	gris bleuté		gris bleuté
Bleu-noir	gris verdâtre		vert olivine à saumoné
Noir	noir		saumon

Les résultats précédents peuvent être complétés par l'expérimentation effectuée par les Ponts-et-Chaussées en 1969. L'origine des échantillons n'est pas connue avec précision :

densité 2,69

porosité 0,8 %

perméabilité 0,018 à 0,025 millidarcy

vitesse du son VL = 4 500 à 5 085 m/s

VS = 2 265 m/s

module d'Young E = 420 à 600 000 bars

résistance à la traction 27 à 59 bars

résistance à la compression 1 580 à 1 620 bars.

Remarque :

Le granite des Crêtes présente une anisotropie, c'est-à-dire que ses caractéristiques mécaniques varient avec l'orientation de l'éprouvette par rapport à la fluidalité.

Cette anisotropie sensible au niveau de la résistance à la compression ou du module de déformation (400 000 contre 600 000 bars) doit vraisemblablement être sensible du point de vue de la célérité des ondes ultrasoniques.

Dans le cadre d'un catalogue des produits, il serait judicieux de rassembler toutes les caractéristiques connues et de compléter l'expérimentation par détermination de certains paramètres comme la résistance à la flexion, à l'attrition, au gel, etc...

2.2. Granite de Senones

Le granite de Senones a fait l'objet d'études en 1964 et en 1969 par le B. r. g. m. et les Ponts-et-Chaussées mais il est encore étudié actuellement à titre fondamental par les chercheurs de l'Ecole de Géologie.

Les principaux résultats sont les suivants :

densité	2,67
porosité	0,76 %
perméabilité	0,1 millidarcy
vitesse du son : longitudinale	5 120 - 5 950 m/s
transversale	2 215 m/s
Deval sec	11,1
Deval humide	8,5
Los Angeles	25,5 (fragmentation)
résistance à la compression	1 760 RC 2 120 bars
module d'Young	de 670 à 820 000 bars
résistance à la traction directe	de 36 à 82 bars
coefficient de poisson ν	= 0,23.

A notre connaissance, les variations des paramètres physiques et mécaniques au sein des différents faciès (rouge-corail, rosé et feuille-morte) n'ont jamais été étudiées globalement. Là encore, comme pour le granite des Crêtes, il nous semble utile, dans le cadre de la promotion du produit, d'élaborer un cahier des spécifications.

Concernant les analyses chimiques, on trouvera annexe 5 des données anciennes et nouvelles relatives au rôle des différents composants et notamment du fer.

UNIVERSITE DE NANCY I
LABORATOIRE DE GEOLOGIE REGIONALE
Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél. (8) 328.93.93
Postes 27.26 et 27.30

Destinataire :

B.R.G.M. LORRAINE

· PÉTROLOGIE STRUCTURALE ·

RAPPORT : Etude du "Faciès Magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Senones

Cl. GAGNY
Professeur à l'Université de NANCY I

Février 1980

Travaux du Laboratoire de Géologie Régionale - Pétrologie Structurale
Série Documentation - Année Uni. 1980 - fascicule U.H.P. n° 1

UNIVERSITE DE NANCY I
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE REGIONALE

Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél. (8) 328.93.93
Postes : 27.26 et 27.30

Destinataire :
B.R.G.M. Lorraine

- *PÉTROLOGIE STRUCTURALE* -

RAPPORT : Etude du "Faciès Magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Senones

Fascicule 1 : GRANITE DES CRETES

1. Présentation générale : région de la Bresse
2. Etude de trois secteurs : La Brayotte - Pré de Froide fontaine - La Roche des Bioquets
3. Etude détaillée du Secteur de la Roche des Bioquets et des sondages carottés.

Cl. GAGNY
Professeur à l'Université de NANCY I

Février 1980

Note : Ce rapport correspond à un travail, en partie fondamentale, mené avec la collaboration et l'aide du Bureau de recherches Géologiques et Minières (Lorraine). Ce dernier, en effet, coordonne pour les instances départementales une étude de recherche de sites pour l'ouverture de carrières à exploitation industrielle de granite notamment pour les pierres ornementales.

Nous étions chargés, au terme d'un contrat de l'étude des anomalies pétrographiques sur deux sites du Granite des Crêtes et du granite de Senones.

UNIVERSITE DE NANCY I
LABORATOIRE DE GEOLOGIE REGIONALE
Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél. (8) 328.93.93
Postes : 27.26 et 27.30

Destinataire :
B.R.G.M. Lorraine

. PÉTROLOGIE STRUCTURALE .

RAPPORT : Etude du "Faciès Magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Sencnes

Fascicule 1 : GRANITE DES CRETES

1. Présentation générale : région de la Bresse
2. Etude de trois secteurs : La Brayotte - Pré de Froide fontaine - La Roche des Bioquets
3. Etude détaillée du Secteur de la Roche des Bioquets et des sondages carottés.

Cl. GAGNY
Professeur à l'Université de NANCY I

Février 1980

P L A N

Fascicule I : Granite des Crêtes

(Dans ce fascicule I, nous utiliserons soit des mots, soit des concepts qui ne sont pas d'un usage courant. Le lecteur trouvera des informations utiles destinées à l'éclairer dans le fascicule III : "Introduction à la Pétrologie Structurale appliquée à un massif de Granite : l'exemple du Granite des Crêtes").

I. PRESENTATION GENERALE

- A. Introduction
- B. Description du Granite des Crêtes
 - 1. Etude des minéraux
 - 2. Ordre de cristallisation
- C. Carte de Pétrologie Structurale

II. ETUDE de TROIS SECTEURS : La Brayotte - Pré de Froide Fontaine - La roche des Bioquets

- A. Introduction
- B. Secteur de la Brayotte
- C. Secteur du Pré de Froide Fontaine
- D. Secteur de la Roche des Bioquets
- E. Les Trois Falaises
- F. Conclusion

III. FABRIQUE MAGMATIQUE ET MISE EN PLACE DU GRANITE DANS LE SECTEUR DE LA ROCHE DES BIOQUETS - CONSEQUENCES SUR L'EXPLOITATION

- A. Fluidalités Planaires dans le secteur de la roche des Bioquets
 - 1. Introduction
 - 2. Interprétation
- B. Organisation magmatique et dynamique de la mise en place
- C. Fracturation précoce
- D. Conséquences sur l'exploitation possible
 - 1. Disposition d'ensemble
 - 2. Accidents magmatiques
- E. Conclusions

IV. ETUDE DES SONDAGES CAROTTES dans le GRANITE des CRETES, sur le SECTEUR de la ROCHE des BIOQUETS

- A. Présentation générale
- B. Fiche pour la lecture des log. de sondage
- C. Sondage SC1
- D. Evaluation d'ensemble (SC2)
- E. Sondage SC3

V . BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

I. PRESENTATION GENERALE : Région de LA BRESSE

A. Introduction

Nous ne reviendrons pas sur la présentation d'ensemble des différents massifs de Granite des Crêtes dans les Vosges. Les précédents rapports ont fait le point sur cette question.

Dans le Massif de la Bresse, le Granite des Crêtes affleure en une large bande orientée du Nord-Est au Sud-Ouest (fig 1). Son gisement général a été interprété comme une lame de granite mise en place avec un pendage moyen (30 à 50°) vers le Nord-Ouest.

Plusieurs variétés ont été distinguées par les granitiers et confirmées par les études pétrographiques. On peut distinguer deux types extrêmes le Granite "bleu." et le granite "noir" plus foncé. Mais, tous les intermédiaires existent entre ces deux extrêmes. Le granite "bleu" surtout et "bleu-noir" occupent l'essentiel du massif, tandis que la variété noire se cantonne dans les régions de Moyen Mont à l'Est de La Bresse, de la Chapelle du Brabant et aux contacts de l'encaissant gneissique Nord du Col de Grosse Pierre et région du Lac de Lispach.

On peut cependant faire une description unique des minéraux constituant le Granite des Crêtes. Ils sont identiques dans toutes les variétés. Seules, leurs proportions relatives changent et parfois leur teinte.

B. Description du Granite des Crêtes

Avant de "reconstituer" l'histoire du Granite des Crêtes, nous en ferons une description.

1. Etude des Minéraux du Granite des Crêtes

Cette étude est réalisée à l'aide de diverses techniques en laboratoire.

- Observation microscopique de lames minces de roche ;
- Broyage et séparation de divers minéraux constitutifs. Analyses chimiques rayons X, calcul de la densité,...
- Comparaison avec des minéraux de synthèse pour connaître les conditions de la cristallisation (température, pression...)

Une telle étude sur le Granite des Crêtes, a conduit aux résultats suivants. La description de ces minéraux sera faite dans l'ordre de cristallisation des minéraux principaux.

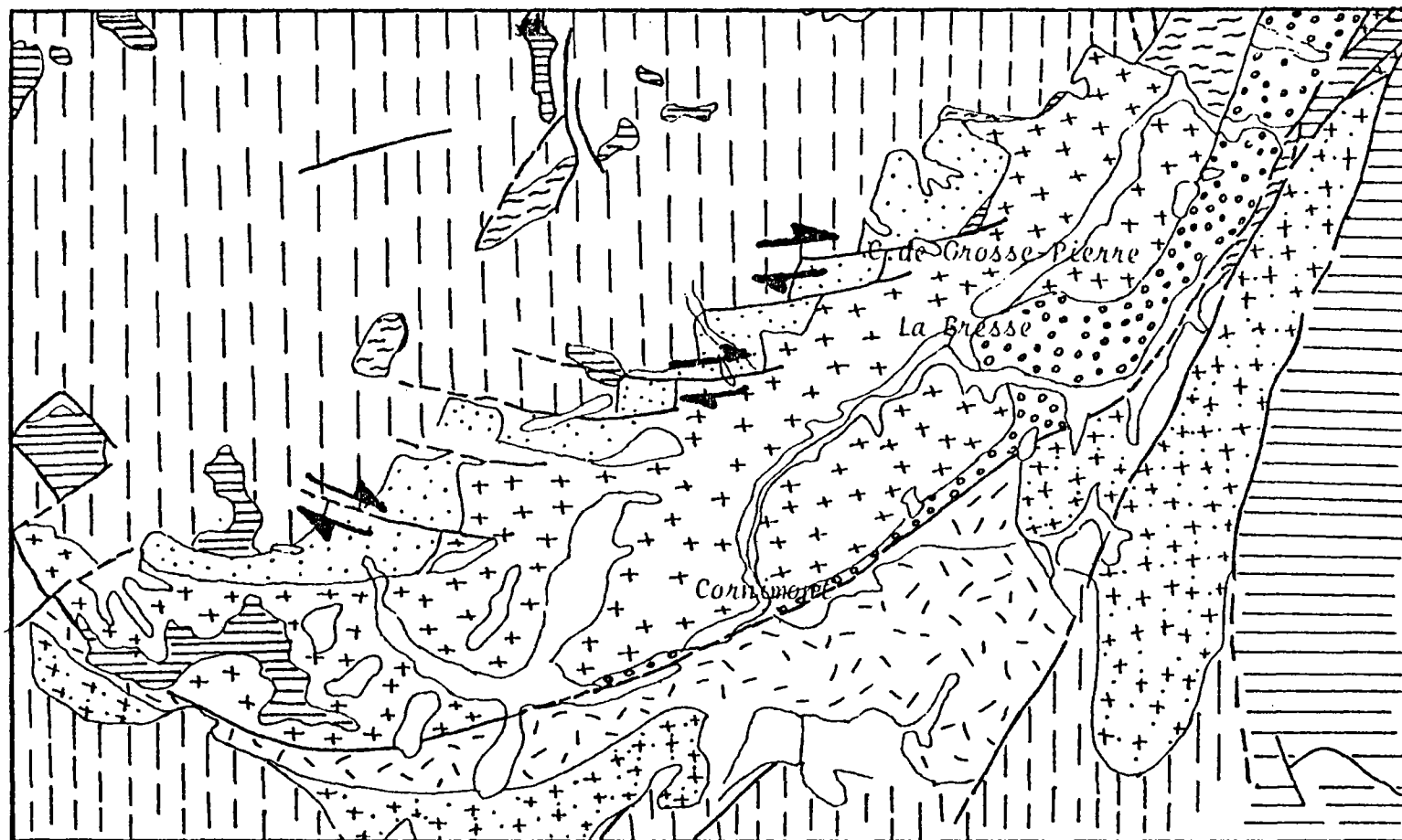
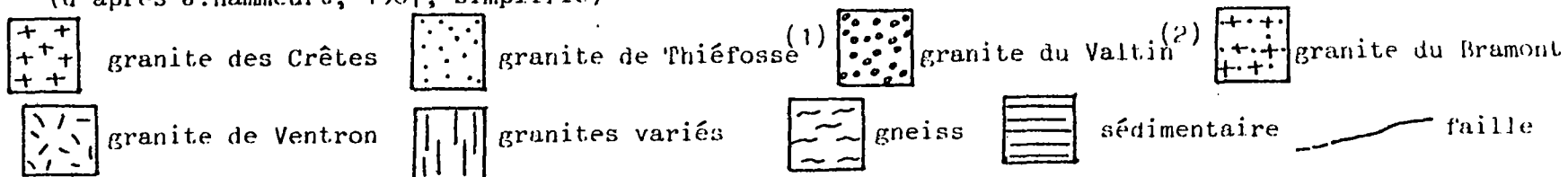


Fig. 1 Lemassif de La Bresse: Contexte géologique du granite des Crêtes.
 (d'après J.Hammeurt, 1967, simplifié)



(1) Granite de Noire-Goutte (2) Granite des Mortes (Gagny, 1968)

Liste des minéraux dans l'ordre de cristallisation

- PYROXENE (AUGITE) C'est un minéral rare. Certains faciès en possèdent à l'état frais (granite bleu, microgranite à pyroxène et biotite). Ce pyroxène existe au coeur des amphiboles (il est donc antérieur à la cristallisation de cette dernière). Mais, premier minéral formé, il a existé en abondance dans le magma (jusqu'à 13 à 15 % du poids total). Seulement, après cristallisation de la biotite, il ne sera plus stable dans le magma résiduel plus froid et "corrosif". Il sera donc résorbé et recristallisera notamment en amphibole. Dans certains faciès de granite, la cristallisation se fera sur place et on aura des petits nids à amphibole et biotite qui représentent des zones de 4 à 10 mm très fragiles et souvent altérables. (imperfection au polissage - zones ternes - et risque d'altération).

- BIOTITE. C'est une biotite magnésienne titanifère. Elle a une belle teinte brune d'autant qu'elle n'est pas recristallisée ni altérée dans la plupart des faciès. Elle est de première génération puisqu'elle se retrouve en inclusions dans les autres minéraux.
 A ce stade de la cristallisation, il faut imaginer que dans la chambre magmatique, en profondeur, on avait des cristaux de pyroxène (13 à 15 %) et des cristaux de biotite (15 % environ) dans un magma résiduel liquide. Les cristaux sont plus denses que le liquide magmatique et tombent. Il y a un phénomène de décantation (ce sera la différenciation par gravité). Nous l'étudierons ultérieurement. Notons que ce phénomène de décantation intervient dès l'apparition des premiers minéraux.

- AMPHIBOLE. C'est une actinote magnésienne. Elle cristallise après résorption du pyroxène qui lui cède les éléments qui lui sont nécessaires (calcium, magnésium...). C'est une belle amphibole autcmorphe (avec des faces cristallines bien formées) en longues baguettes brillantes.

- PLAGIOCLASE. C'est un minéral clair qui a une teinte variable selon les types de granite. En général,
 - dans le Granite bleu (Carrière Adamy) il a une belle teinte vert claire
 - dans le Granite bleu-noir (Carrière Demange et Carrière Pierrel), il a une teinte saumon à rouge clair.
 - dans le Granite noir (au nord du Col) il a une teinte rougeâtre à rouge brique.

- ORTHOSE. L'orthose est en grands cristaux automorphes blancs légèrement nacrés. Leur orientation acquise au moment de la mise en place du granite, donne à la roche son aspect orienté et, donc, son "fil".
- QUARTZ. Le quartz est en masse xénomorphe et interstitielle. De même nature que le "cristal de roche" que l'on collectionne... il est ici en grains sans formes géométriques.
- AUTRES MINÉRAUX, dits accessoires, car en très faible quantité et souvent non visibles à l'oeil nu : Apatite, Allanite, Zircon, Sphène, Pyrite (sulfure de fer).

Description microscopique du Granite des Crêtes

Une photographie montre la structure microscopique du Granite des Crêtes telle qu'on peut l'observer en lame mince (lame transparente de 3/100ème de millimètre).

Variétés du Granite des Crêtes

Les différentes variétés distinguées par les granitiers ont été reprises pour l'étude de ce granite. On distingue donc le granite bleu, le granite bleu-noir, le granite noir. En plus de la teinte variable du plagioclase, la différence tient essentiellement aux pourcentages des minéraux foncés (biotite et amphibole).

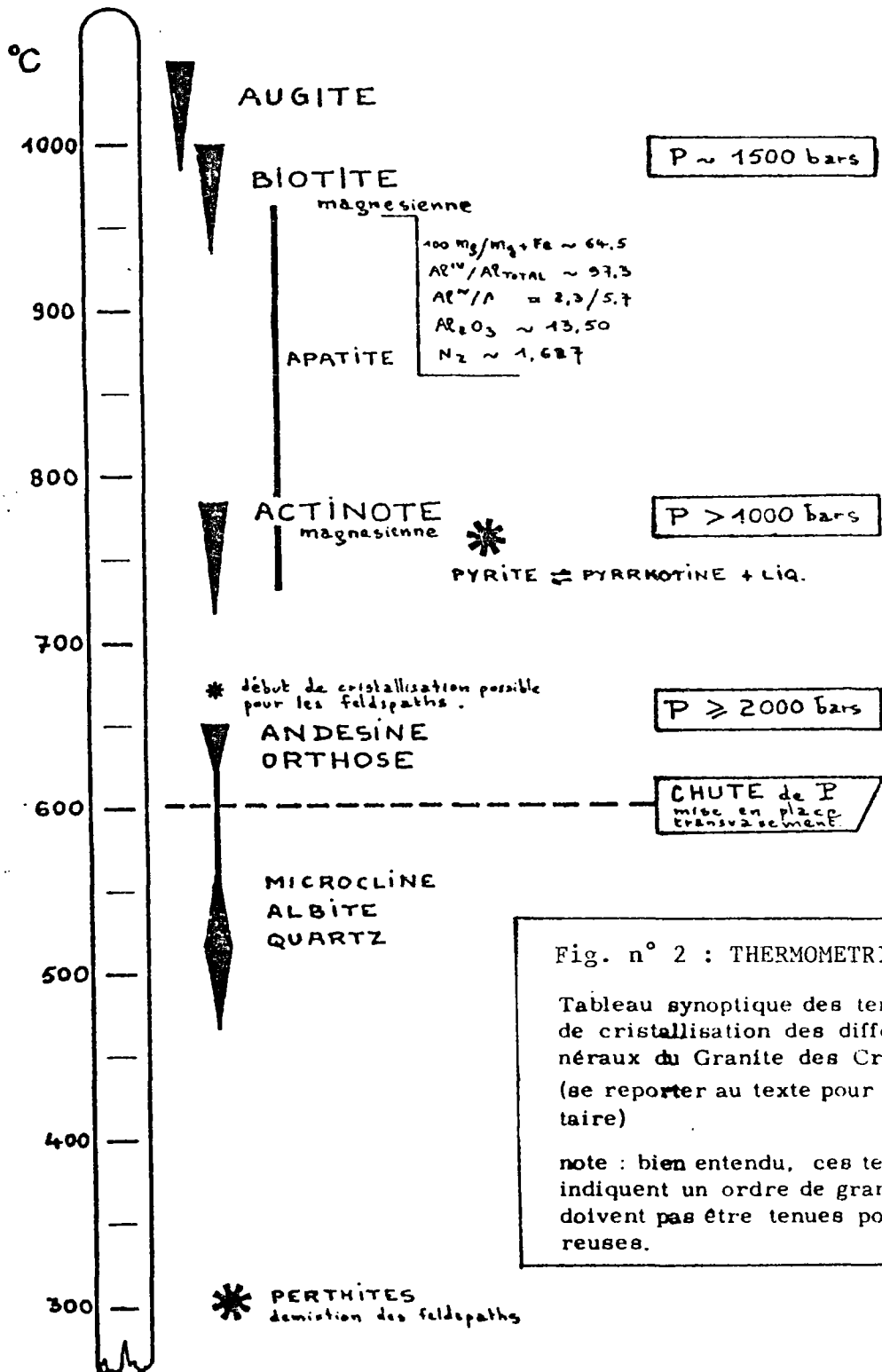
	variétés de teinte	
	fond de la roche	teinte du plagioclase
Granite bleu	gris-bleuté	gris-bleuté
Granite bleu-noir	gris-verdâtre	vert-olive à saumoné
Granite noir	noir	saumoné

Pourcentage des Minéraux (%)						
	(1) Biotite	(2) Amphibo.	(3) Tot. Minér. foncés 1+2	(4) quartz	(5) Orthose	(6) Plagio.
Granite Bleu	19	11	30	24	24	20
Granite Bleu Noir	20	11	31	15	40	13
Granite Noir	24	14	38	13	36	10

2. Ordre de Cristallisation

La connaissance de la cristallisation des minéraux dans un granite est important pour comprendre la genèse et l'organisation des accidents magmatiques : litage, enclaves, flammes, schlieren, ...etc...

Nous présentons ici un schéma qui donne les températures successives de cristallisation au cours du refroidissement du magma des Crêtes. L'obtention de telles données relève d'études approfondies en Laboratoire. (Cl. GAGNY - 1968).



<p>C. CARTE DE PETROLOGIE STRUCTURALE du MASSIF de GRANITE DES CRETES de la BRESSE</p>
--

Une première étude de Pétrologie Structurale a été réalisée par E. N'SIFA en 1978 sur une large région du massif de la Bresse. Des observations fondamentales ont été réalisées et une esquisse de carte a été proposée.

Malheureusement, ce travail d'une part a été mené à une échelle du 1/25000 qui n'est directement rentable pour nos préoccupations et d'autre part totalement en dehors des objectifs d'exploitation du granite. Il nous sert cependant de base de travail indispensable.

On trouvera dans les figures n° 3 à 5 les cartes schématiques qu'il conviendrait d'éclairer par la lecture de la thèse 3ème cycle de E. N'SIFA (1978) : "Pétrologie Structurale du Granite des Crêtes dans la région du Col de Grosse Pierre" (La Bresse, Vosges Méridionales.)

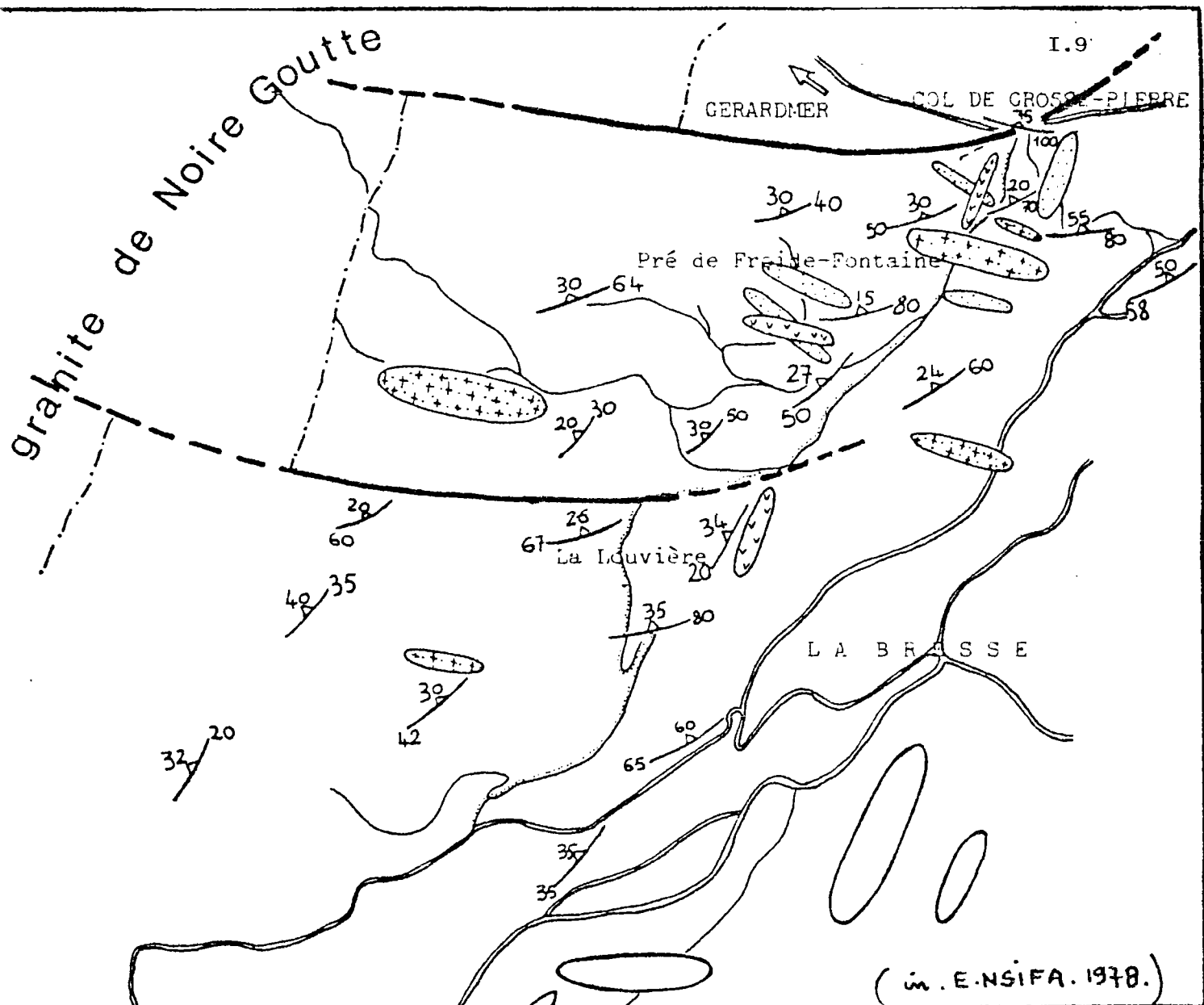








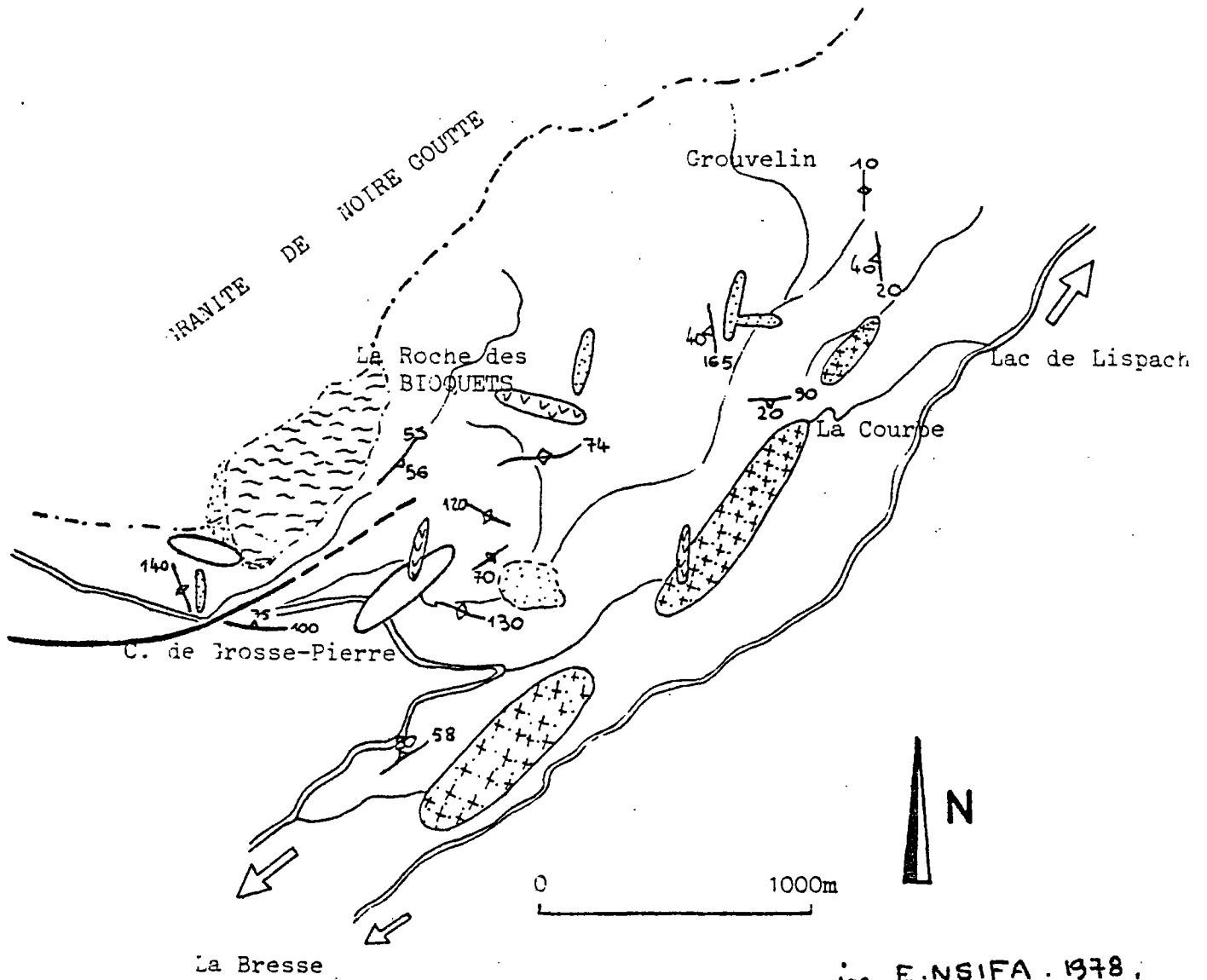


Figure n° 3 : Secteur Sud du Col de Grosse Pierre

-  microgranite sombre
-  aplite
-  lamprophyre
-  microgranite (des Mottes)


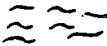





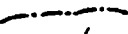

-  fluidalité planaire
-  faille
-  contact géologique
-  route

"ROUTE DES CARRIÈRES"



in. E. NSIFA. 1978.

Fig. n° 4 : SECTEUR AU NORD DU COL DE GROSSE-PIERRE.

-  microgranite sombre des Crêtes
-  gneiss
-  microgranite des Mortes
-  aplites
-  lamprophyre
-  fluidalité planaire
-  faille
-  contact géologique
-  route

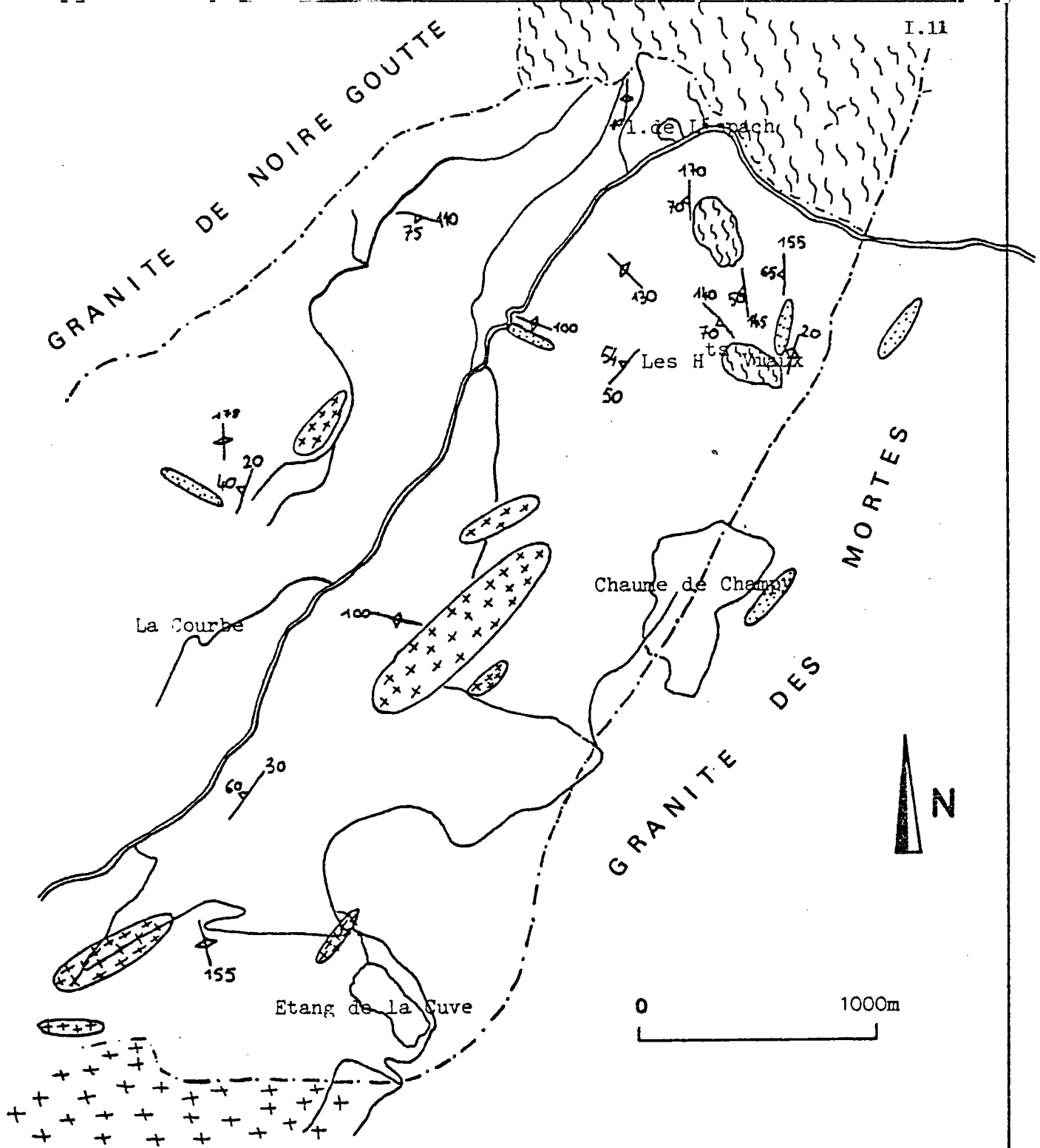








Fig. n°5: SECTEUR DE LISPACH (et de la Vallée du Chajoux)

- 
microgranite (des Mortes)
- 
aplite
- 
gneiss
- 
fluidalite planaire
- 
route
- 
contact géologique

II. ETUDE PRELIMINAIRE de TROIS SECTEURS : La Brayotte - Pré de Froide Fontaine - La Roche des Bioquets.

A. Introduction

Trois secteurs nous ont été proposés pour étude dans le massif de la Bresse. Ils ont été choisis en liaison avec les études préliminaires de A. THOMAS et ne tenaient pas compte des éléments de Pétrologie Structurale. Notre intervention se situait en effet en aval. (fig.n°6)

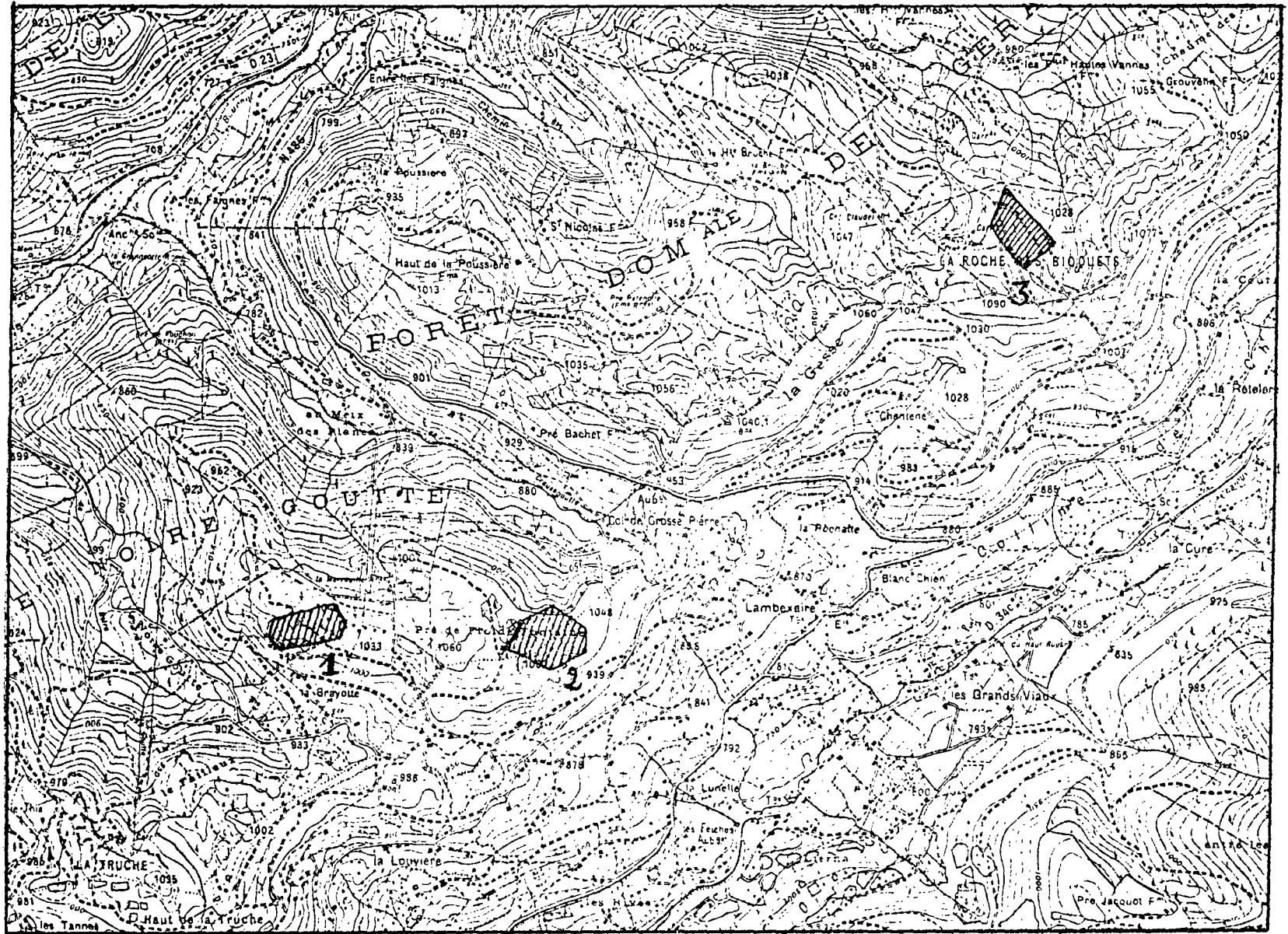
Des études de Pétrologie Structurale ont été réalisées sur ces trois secteurs et deux d'entre eux ont été éliminés (rapport préliminaire J. Ph. BLANCHARD - 3 août 1979).

B. Secteur I. Secteur de la Brayotte.

Ce secteur, (fig 7 a et b) correspond au contact du granite leucocrate de Noire-Goutte avec le granite des Crêtes. La postériorité du premier sur le second est nette : faciès de bordure affectant le granite de Noire-Goutte, filon de ce magma recoupant le granite des Crêtes. Les plus beaux affleurements correspondent non pas à ce dernier mais au granite leucocrate. Deux carrières sont ouvertes dans le granite des Crêtes, à l'Ouest du secteur sélectionné. La plus occidentale est marquée par la présence d'un filon de granite de Noire-Goutte de 2 m d'épaisseur environ. La deuxième carrière plus à l'Est possède, en son sommet, un litage magmatique subméridien et plongeant faiblement vers l'ouest.

Dans le secteur délimité, large d'une cinquantaine de mètres, les affleurements sont rares et de mauvaise qualité. De plus, la fracturation devient très importante (avec filonnets de quartz) vers le sommet de la colline. Enfin, la présence d'un filon de microgranite de Noire-Goutte oblitère un peu plus ce secteur.

Les alentours ne sont pas plus encourageants : affleurements rares, très fracturés, forte couverture de stérile et nombreux filons de microgranite. L'ensemble de ces données nous incitent à rejeter ce secteur.

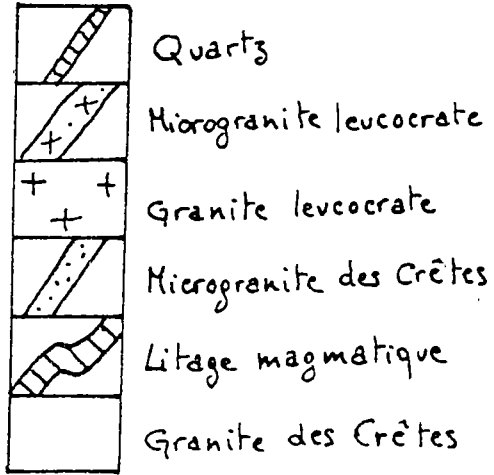


Localisation des Secteurs délimités par M^c THOMAS.

**Voir calque
dans document
papier**

Secteur "La BRAYOTTE"

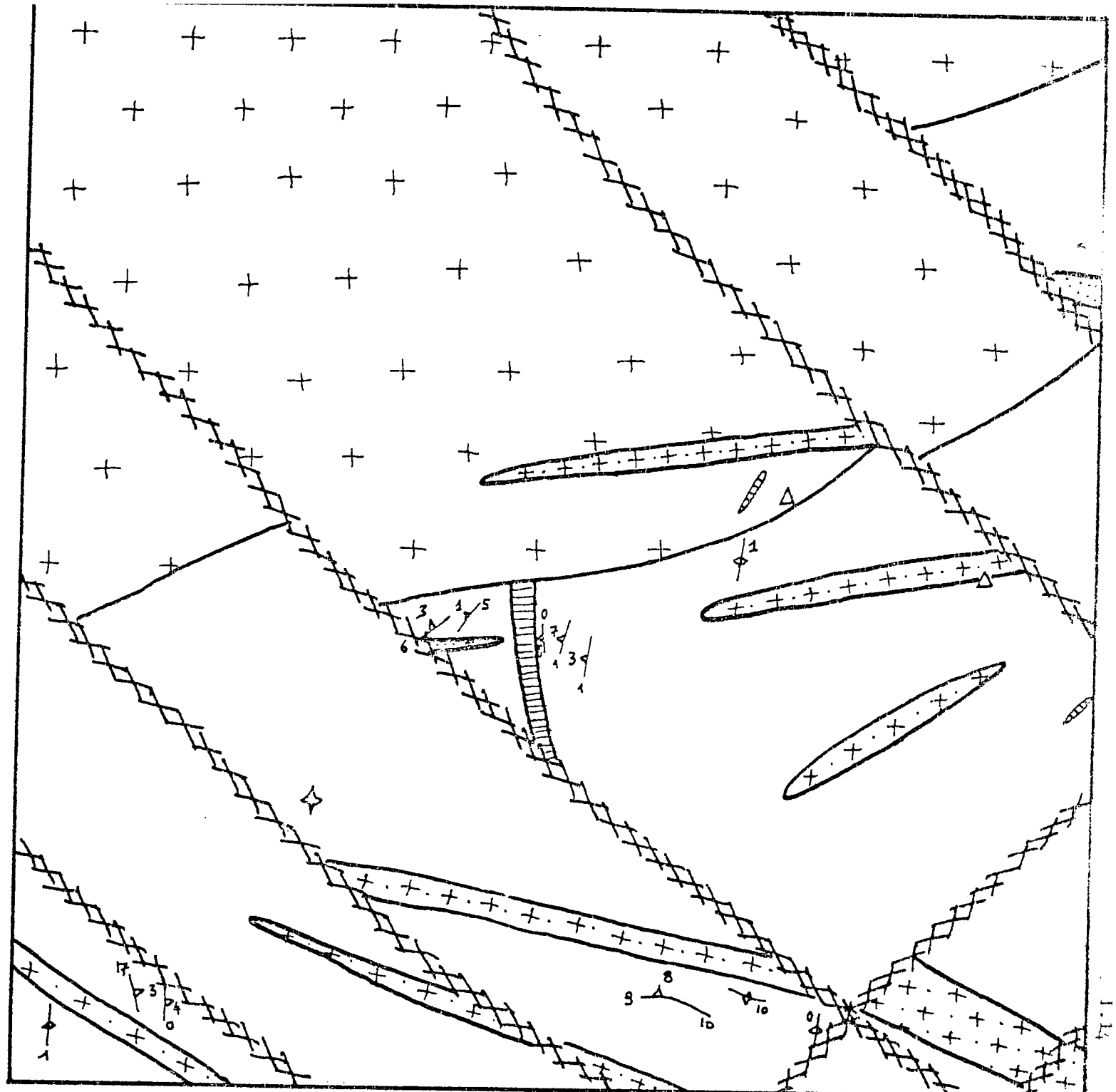
Fig. n° 7-b-



$\frac{2\gamma}{3}$ Fluidalite planaire
N30E 20W

ϕ Fluidalite' planaire
N30E verticale

\diamond Fluidalite' planaire
horizontale.



Secteur "La BRAYOTTE"

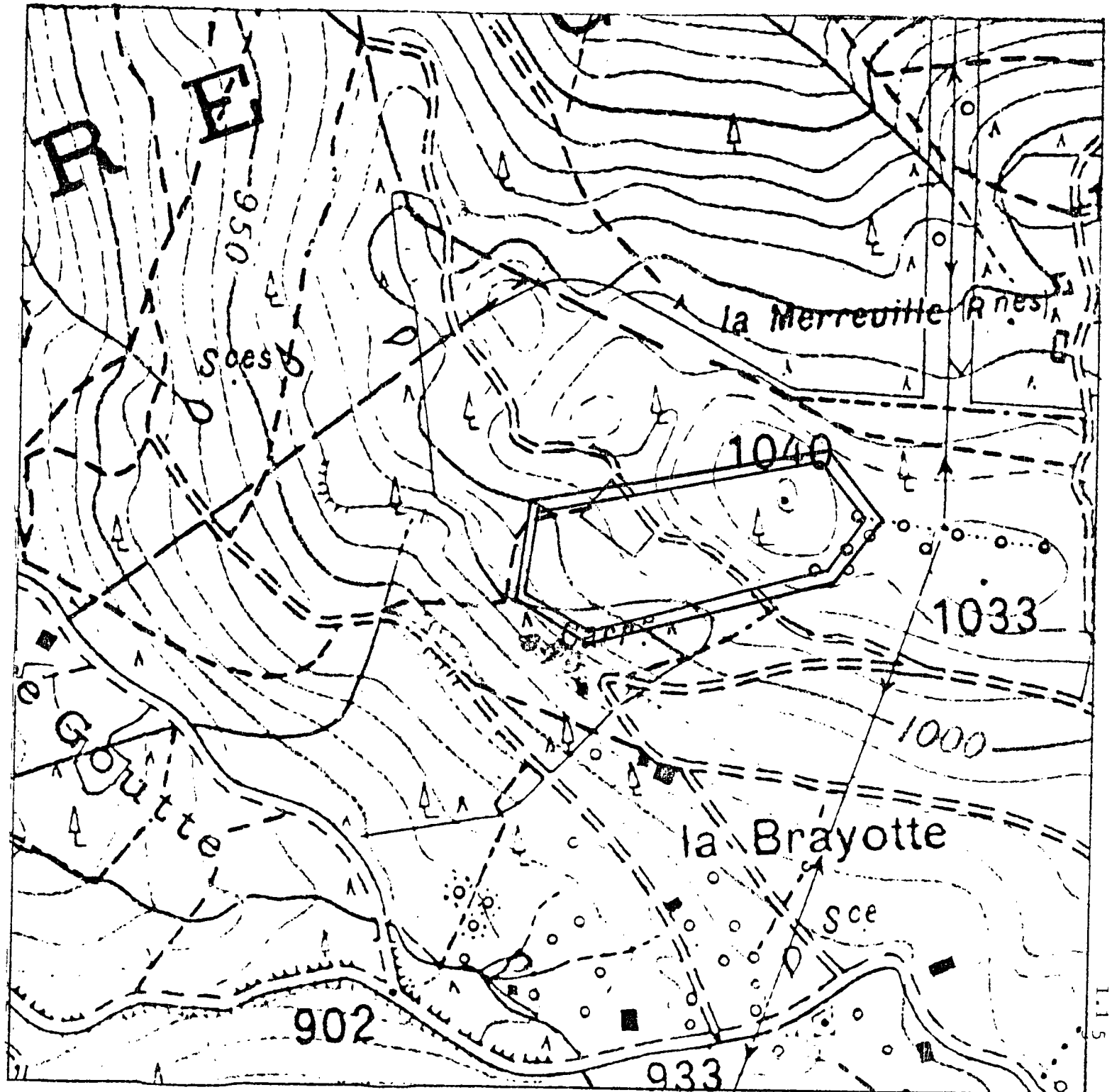
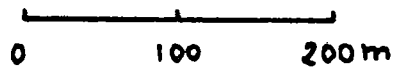
Agrandissement au 1:5.000°
de la carte I.G.N.

Fig. n° 7-a-

Secteur d'étude délimité



par M^r THOMAS



C. Secteur II : Secteur de Pré de Froide Fontaine

Le secteur défini par H. THOMAS (figures n° 8 a et b) correspond des petits mamelons, séparés par des dépressions, orientés sensiblement N.S. et correspondant à des zones broyées. A l'affleurement, on cons-

tate en effet une grande abondance de filonnets de quartz de quelques centimètres à moins de 1mm d'épaisseur parcourant abondamment la roche. La fracturation atteint parfois le stade pénétratif.

Cette déformation tardive n'est pas le seul avatar du secteur. En effet, en fin de magmatisme, on a mis en place^{de} deux familles de filons aplitiques de quelques centimètres de large à quelques décimètres, avec une fréquence décimétrique. Sur la figure 3, nous n'avons reporté que quelques uns de ces filonnets pour donner l'allure du phénomène.

Un filon de microgranite des crêtes vient recouper le granite au NW du secteur.

Nous avons constaté que l'ensemble de ces structures se retrouve plus au N.E. et au S.W. de la zone délimitée par l'étude, avec un layering que nous n'avons pu observer qu'en un point.

Ce secteur nous semble inutilisable pour ouvrir une carrière.

D. Secteur III : Secteur de la Roche des Bioquets

La zone sélectionnée par A. THOMAS (Figure n° 9 a, b et c) est située sur un secteur sans affleurements. Nous avons donc été obligés de cartographier "au cailloutis". Ce dernier correspond à du microgranite de Noire Goutte.

Nous nous sommes donc rabattus sur les zones affleurantes situées à l'ouest et au N.W. de la zone considérée. Nous distinguerons deux ensembles : le secteur de la Roche des Bioquets (au N. du point coté 1090) et celui "des trois falaises" à 500 m au nord du précédent.

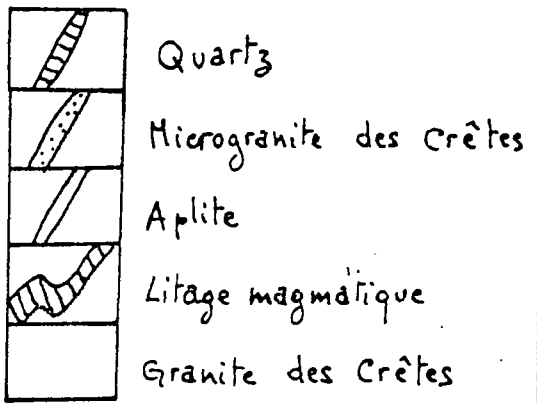
La Roche des Bioquets

Le secteur est partagé en son milieu par une zone broyée orientée W NW - E SE, passant un peu au Nord du sommet.

Au sud de cette faille, le granite a été exploité dans une carrière comprenant deux fronts d'exploitation séparés par un filon de micro-

Secteur "FROIDE FONTAINE"

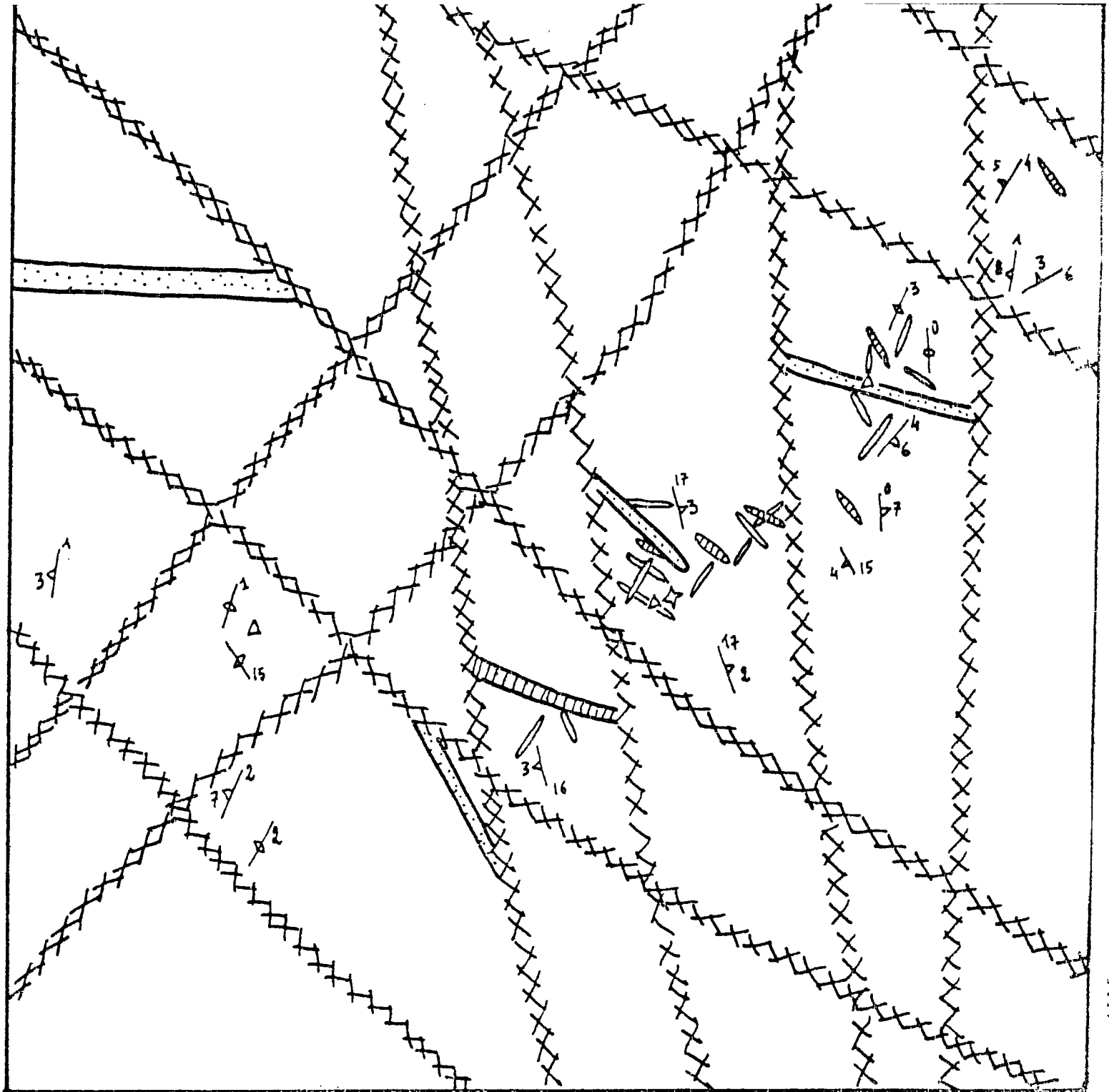
Fig. n° 8-b-



2/3 Fluidalite planaire
 N30E 20W

3 Fluidalite planaire
 N30E verticale

◇ Fluidalite planaire
 horizontale.

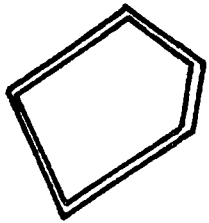


Secteur "FROIDE FONTAINE"

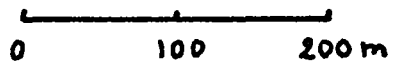
Agrandissement au 1:5.000°
de la carte I.G.N.

Fig. n° 8-a-

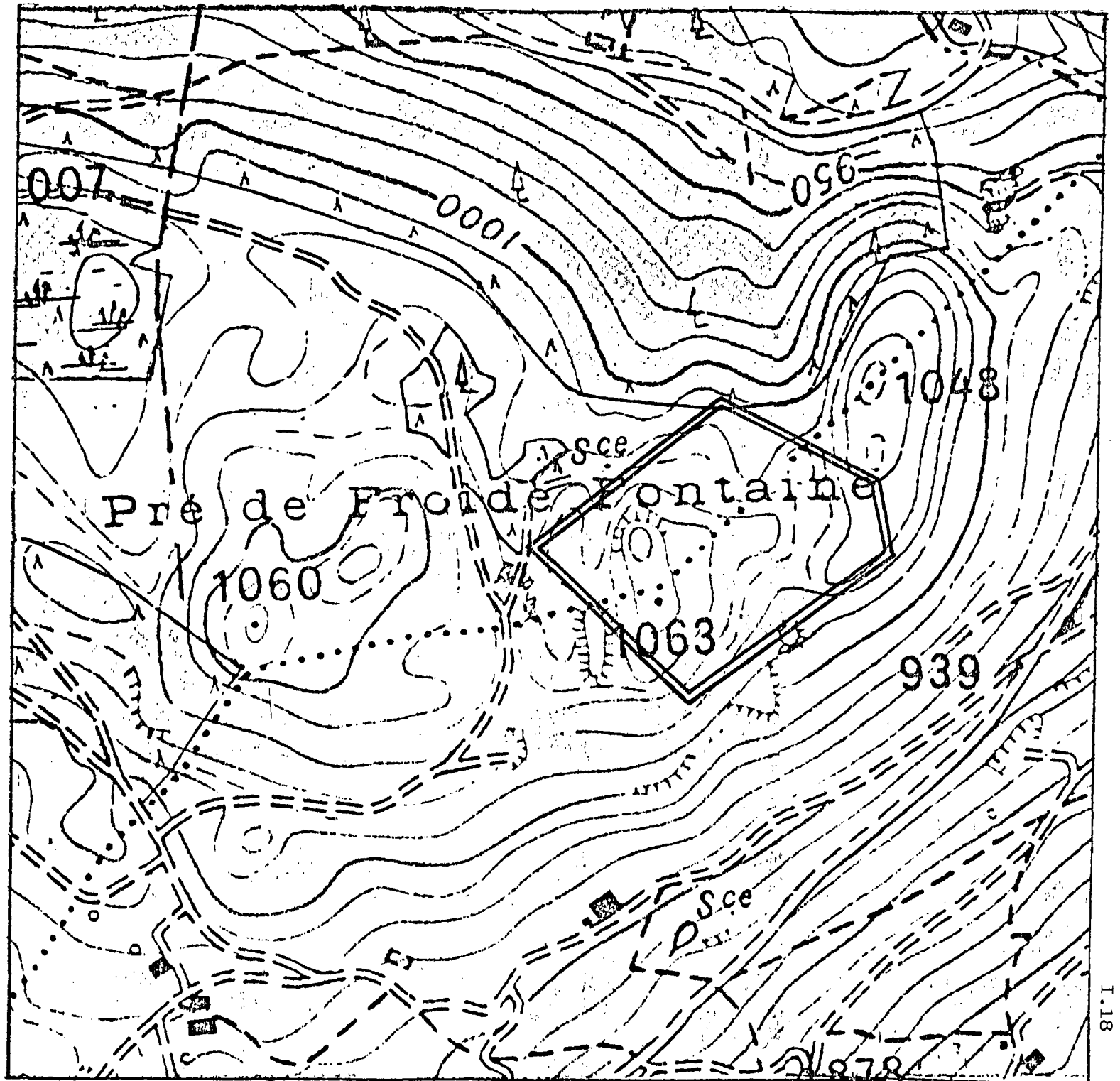
Secteur d'étude délimité



par M^s THOMAS

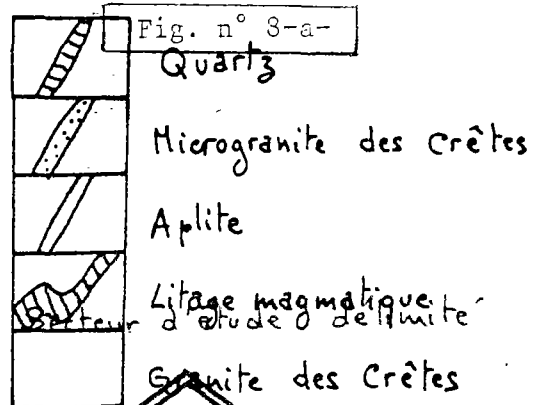


J. Ph. B. 1979



Secteur "FRAÏDE FONTAINE"

Fig. n° 8-b-
Agrandissement au 1:5.000°
de la carte I.G.N.



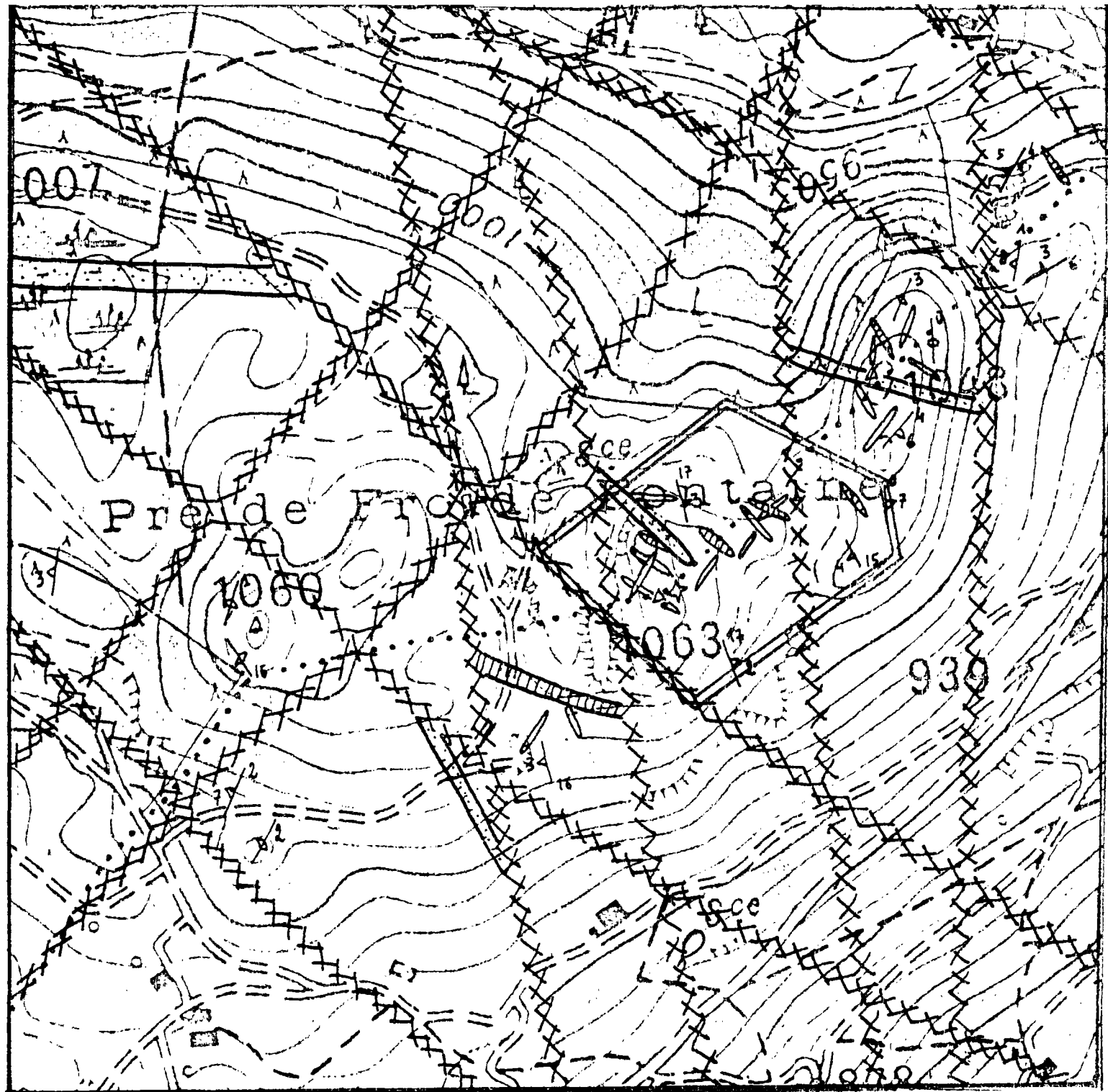
Fluidité planaire
par N30E et 20°AS

Fluidité planaire
N30E verticale

Fluidité planaire
horizontale.

0 100 200 m

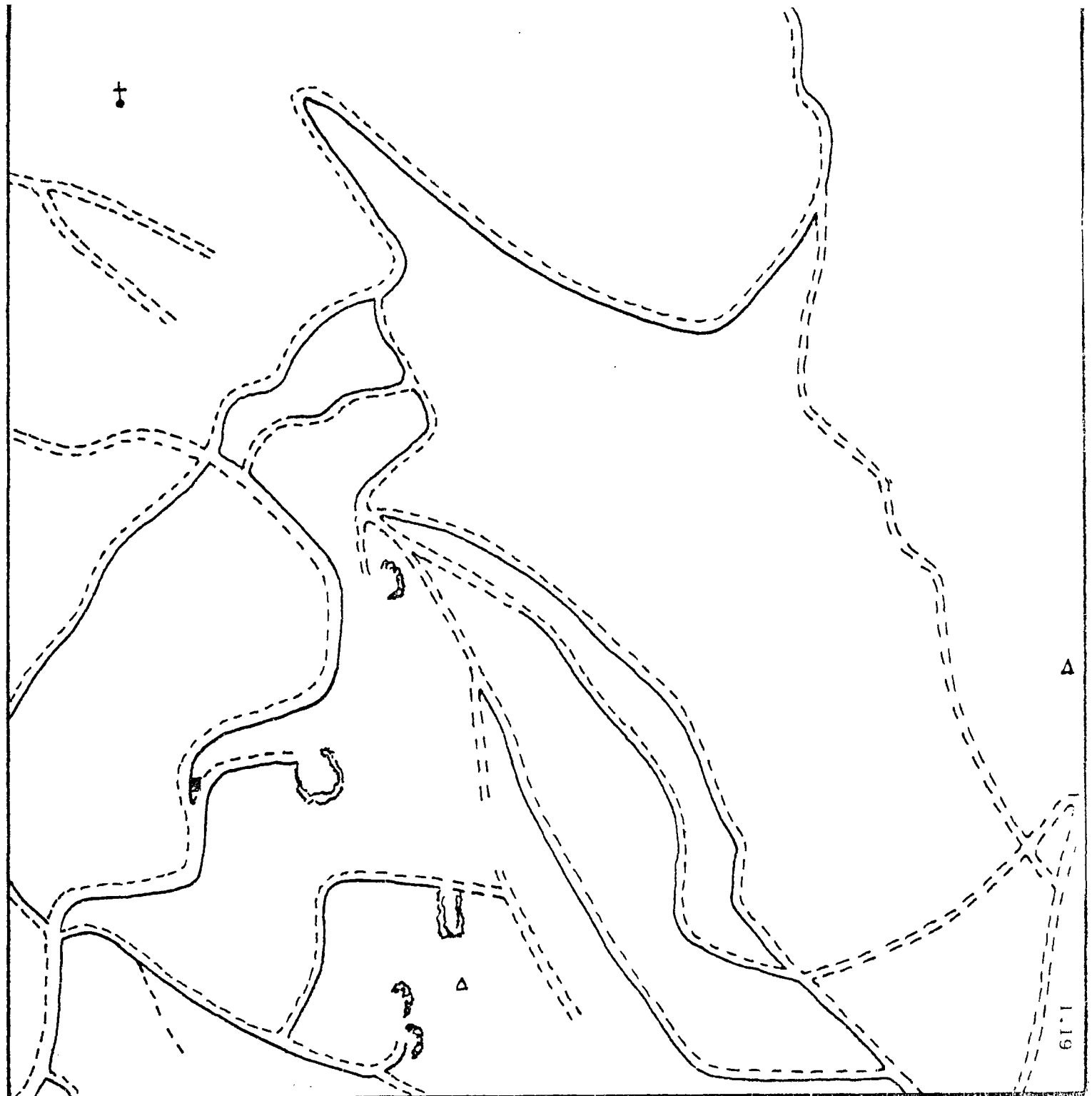
J.P.P.H. 33. 1977/78



Secteur "BIOQUETS"

Fig. n° 9-b-

Compléments topographiques

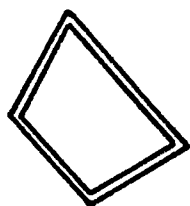


Secteur "BIOQUETS"

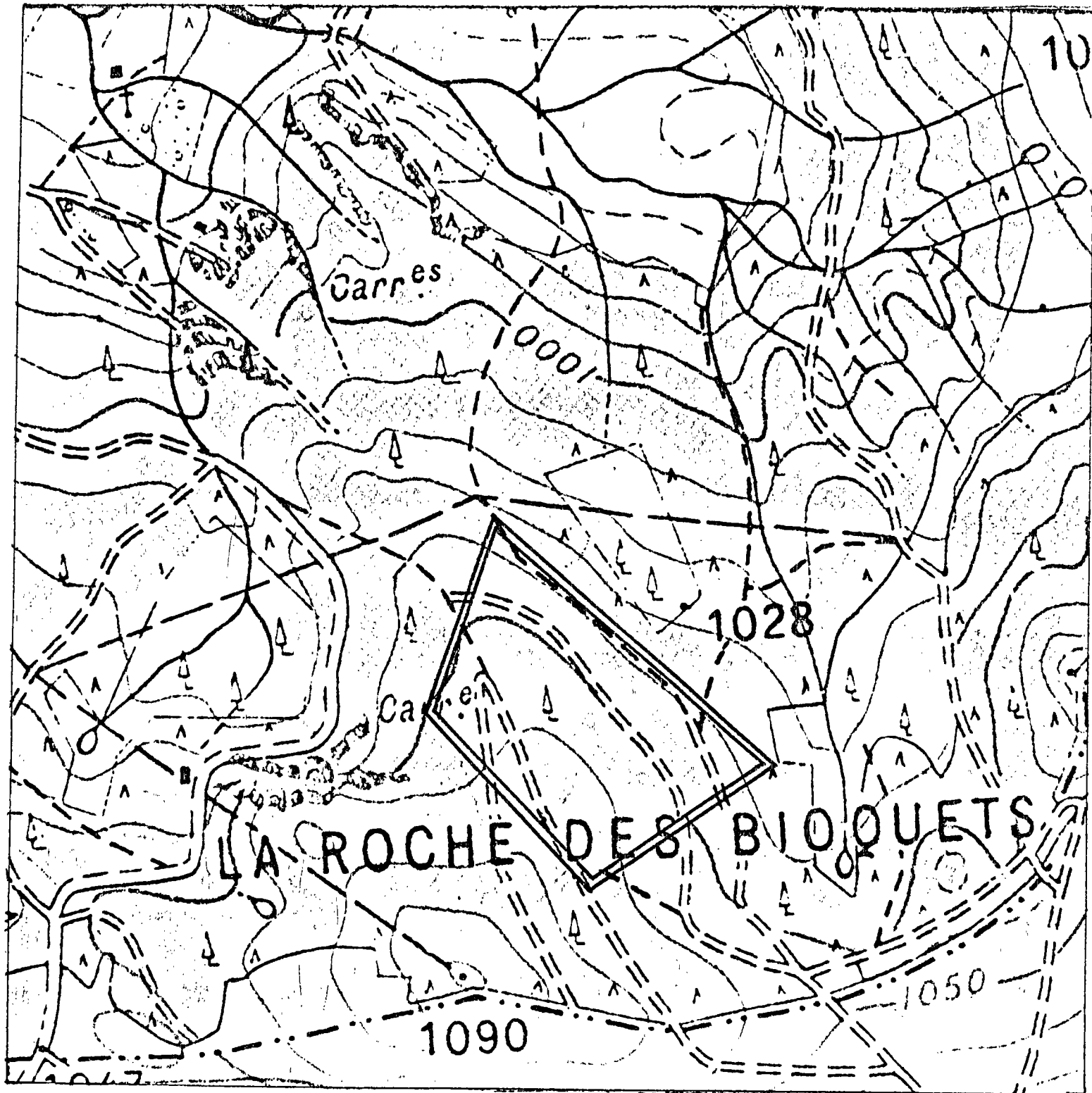
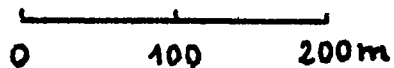
Fig. n° 9-a-

Agrandissement au 1:5.000°
de la carte I.G.N.

Secteur d'étude délimité



par M^r THOMAS.



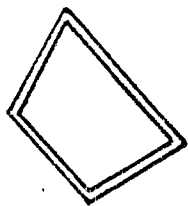
Secteur "BIOQUETS"

Fig. n° 9-a-

Agrandissement de 1:90.000
de la carte I.G.N.

Compléments topographiques

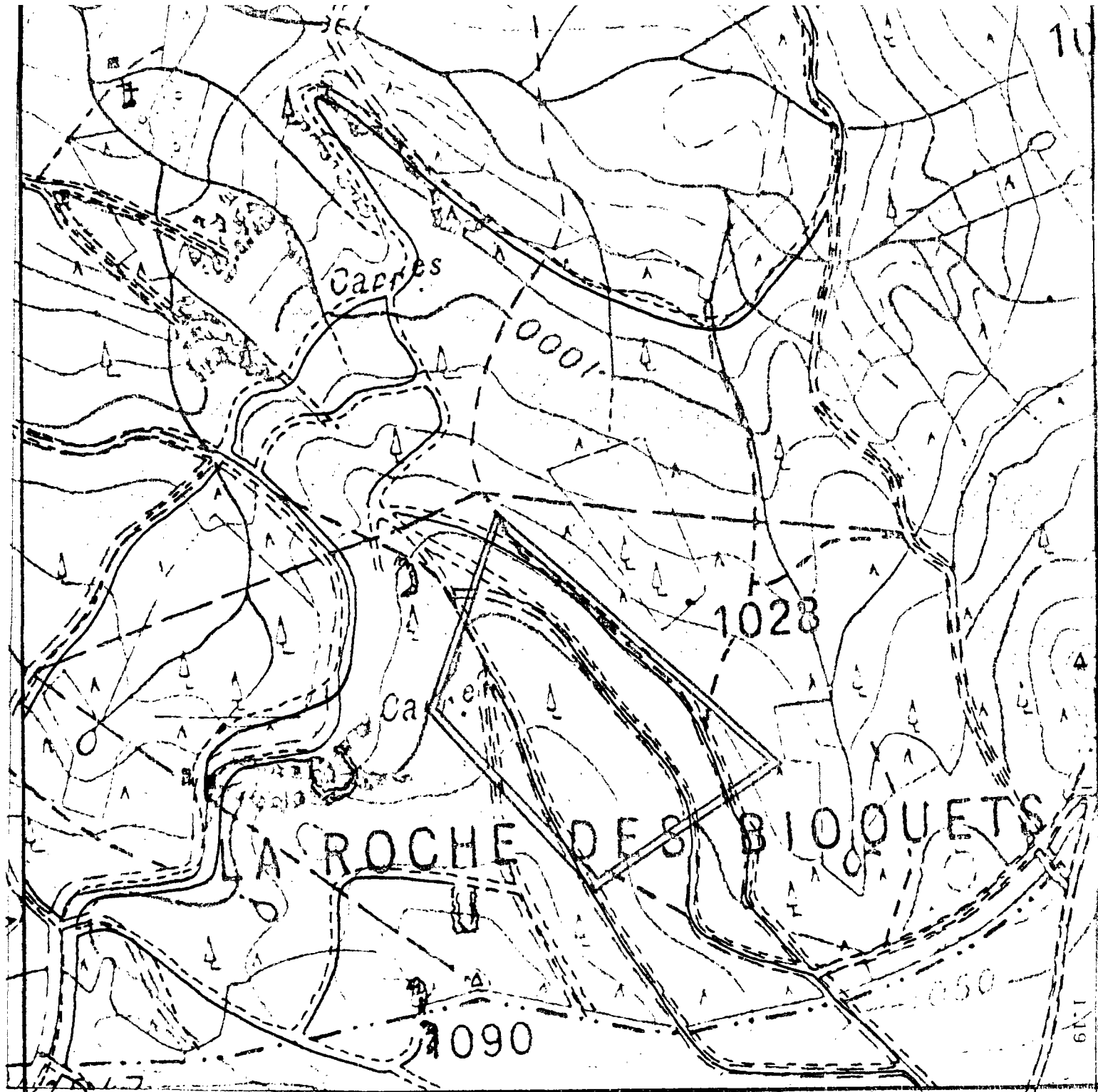
Secteur d'étude délimité



par M. THOMAS.

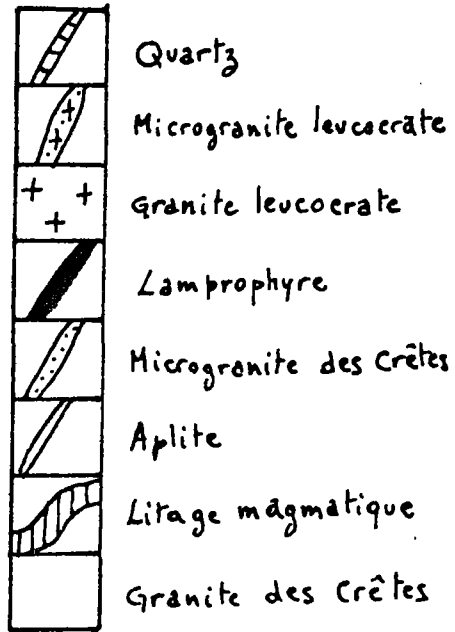
0 100 200m

1939



Secteur "BIOQUETS"

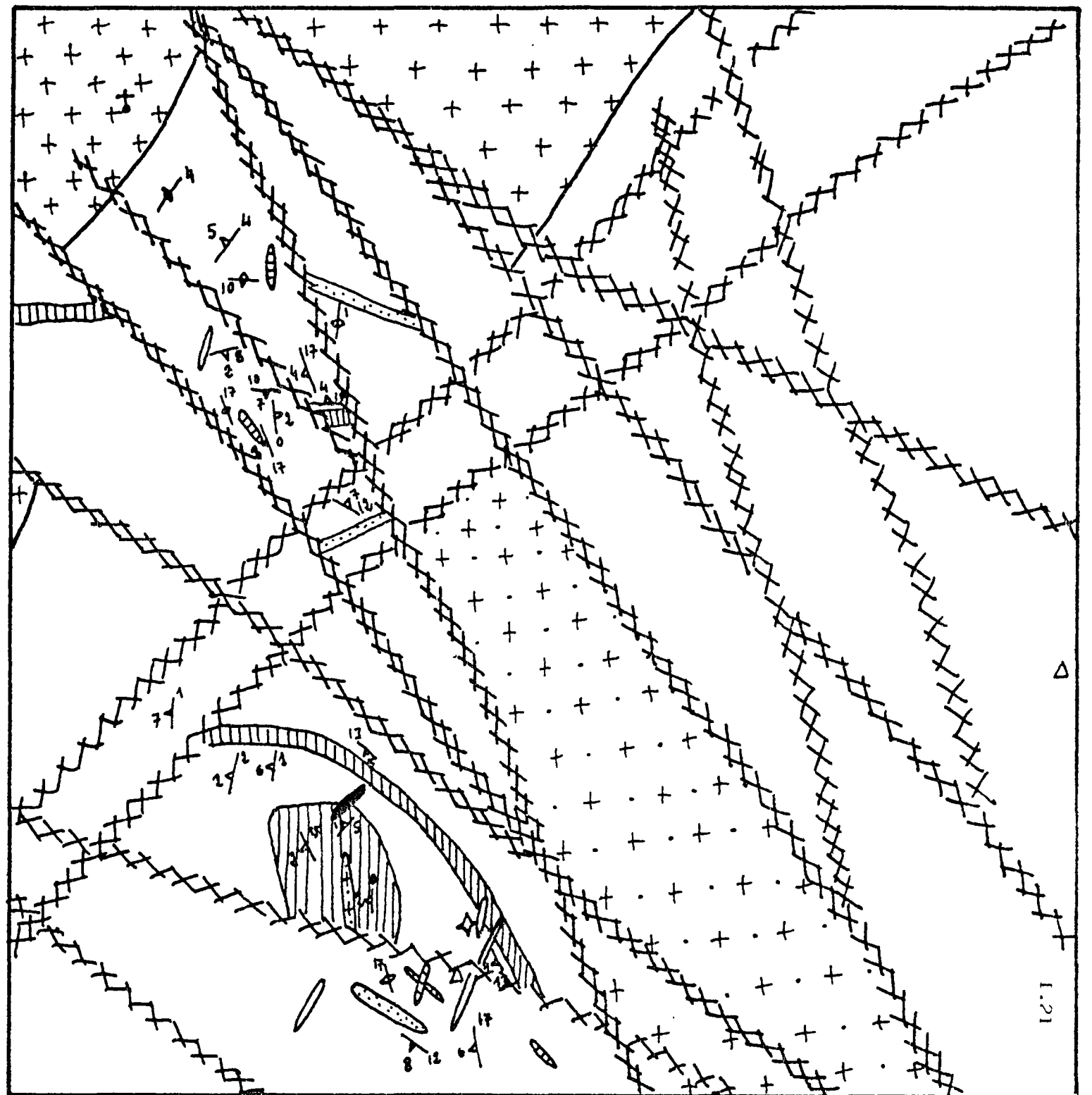
Fig. n° 9-c-



Fluidalité planaire
N30E20W

Fluidalité planaire
N30E verticale

Fluidalité planaire
horizontale.



granite des Crêtes. La carrière montre une abondance de petits filonnets de quartz, que l'on retrouve en grand nombre au dessus de la carrière. Il y a de plus des filonnets aplitiques décimétriques et centimétriques. Il n'est guère possible d'étendre la carrière, ni de l'approfondir dans ces conditions.

Au Nord de la zone broyée, deux grandes carrières, et plusieurs petites ont été ouvertes. La fluidalité est peu pentée, d'une trentaine de degrés vers l'ouest en moyenne, mais pouvant atteindre localement 55° . Il a été possible de déterminer deux zones principales de layering, conformes à la fluidalité planaire et espacées d'une vingtaine de mètres.

Ces deux "bancs" pouvant atteindre quelques mètres, délimitent une zone de gravité homogène parfois affectée de litages, ces derniers ayant une extension sans doute moins importante que les précédents.

Si la géométrie du banc supérieur est bien connue, il n'en est pas de même pour le litage inférieur dont on ne connaît que deux affleurements. Des sondages devraient permettre de caler avec précision cette structure et de vérifier si le granite est homogène entre ces deux accidents magmatiques.

E. Les trois falaises

Ce secteur situé plus au Nord se présente sous forme de trois pointements rocheux séparés par des failles.

Le compartiment Nord est très fracturé aux abords de la faille décalant de 300 M environ le contact granite Crêtes - granite Noire-Goutte.

Le compartiment intermédiaire semble moins affecté par la fracturation sauf dans sa partie NW. Au Sud Est, nous avons observé localement un litage magmatique penté de 40° vers le nord. Il serait intéressant de vérifier par sondage quelle est la qualité du granite sous-jacent. Les affleurements du Nord du chemin forestier sous cette structure semblent encourageants. Mais, il serait nécessaire de faire une étude de fracturation poussée et de voir si, au niveau du volume exploitable, l'investissement est rentable.

Le comportement plus au S.W. présente dans sa partie septentrionale une grande abondance d'accidents magmatiques : colonne feldspathique (non vue en place) et joints de granite à tendance pegmatitique. On observe de plus une grande abondance d'enclaves gneissiques et de nombreux filonnets de quartz dans la partie orientale. Plus au Sud, le granite semble de meilleure qualité bien qu'il soit broyé et injecté de filonnets de quartz sur sa limite ouest. Au Sud, la couverture de t rile paraît importante. Nous émettons les mêmes réserves que précédemment pour l'implantation d'un sondage (volume exploitable, fracturation).

F. Conclusion

Le rapport préliminaire proposait le rejet des secteurs de La Brayotte (situé sur un contact du massif et riche en filons et en accidents magmatiques) et du Pré de froide fontaine (abondance des filons et broyage). Le secteur de la Roche des Bioquets a été déplacé de sa position initiale qui était impropre. Mais, la zone des Bioquets était favorable à une continuation du travail.

III. FABRIQUE MAGMATIQUE ET MISE EN PLACE DU GRANITE DANS LE SECTEUR DE LA ROCHE DES BIOQUETS - CONSEQUENCES SUR L'EXPLOITATION

A. FLUIDALITES PLANAIRES DANS LE SECTEUR DE LA ROCHE DES BIOQUETS

1. Introduction

Les fluidalités planaires dans ce secteur sont difficiles à caractériser à l'échelle qui nous intéresse, pour plusieurs raisons.

a - Elles sont souvent peu marquées donc difficiles à relever avec certitude (contrairement à celles visibles dans beaucoup d'autres secteurs).

Ce fait est inquiétant car il est l'indice d'une mise en place perturbée par d'autres phénomènes que l'écoulement magmatique "laminaire" qui organise dans une telle roche une belle fluidalité planaire. Ces observations sur le terrain sont confirmées par l'examen des sondages carottés qui présentent des zones soit à fluidalité planaire visible soit sans fluidalité caractéristique. Il semble que les fluidalités planaires soient mieux exprimées vers la base des séquences à l'approche des zones de layering (litage magmatique).

b - Elles varient d'un point à un autre et prennent des directions et des pendages variés. Comme une fluidalité planaire intramagmatique⁽¹⁾ peut être due à différentes causes, il est nécessaire dans ce secteur de faire des hypothèses sur leurs significations respectives en relation avec l'ensemble des phénomènes magmatiques et diastrophiques.

c - Enfin, point fondamental, il a été observé, en permanence, des fluidalités imbriquées qui sont l'indice d'un diastrophisme contemporain de la mise en place.

Il faut signaler notamment une fluidalité diastrophique qui réoriente les feldspaths selon un plan (N30E-90E)⁽²⁾. Elle est générale dans le secteur des Bioquets ; elle est responsable de chapelets de feldspaths qui sont sécants sur des fluidalités plus générales de pendage faible ou moyen vers l'Ouest ou de pendage variable mais en zone avec une direction voisine de N140E.

Le fait que cette fluidalité diastrophique à (N30E-90E, pouvant atteindre N40E-90E) soit constante et "recoupe" toutes les autres fluidalités, quelqu'en soit la direction, nous engage à en faire la dernière phase de la réorientation possible des feldspaths. Ce point aura une certaine importance dans le schéma hypothétique de mise en place.

2. Interprétation

Toutes les mesures réalisées ont été reportées sur un canevas de Wulff, hémisphère inférieur (fig.10). La première impression est celle d'une certaine anarchie dans le secteur étudié. Cependant, un dépouillement en tenant compte d'observations particulières conduit à proposer une organisation d'ensemble rationnelle.

a - La disposition initiale en lame (N30E-30W). Une fluidalité planaire de direction N30E à N45E est générale dans la région du Col de Grosse Pierre avec des pendages vers l'Ouest de l'ordre de 30° et pouvant atteindre en certains endroits 60° (E. N'SIFA 1978). Cette disposition d'ensemble est rappelée sur le diagramme cyclographique ci contre (fig. n° 11-C1. GAGNY d'après les données de E. N'SIFA).

Dans le secteur de la roche des Bioquets, nous retrouvons ces fluidalités planaires à N30E avec des pendages vers l'Ouest variables mais souvent

(1) intramagmatique : c.à.d organisée avant consolidation du magma

(2) 90 E : car de pendage subvertical avec une légère tendance vers un pendage Est

Figure n°10

ORGANISATION de la FABRIQUE MAGMATIQUE
Secteur de la Roche des Bioquets

Canevas de Wulff - (hémisphère inférieur)

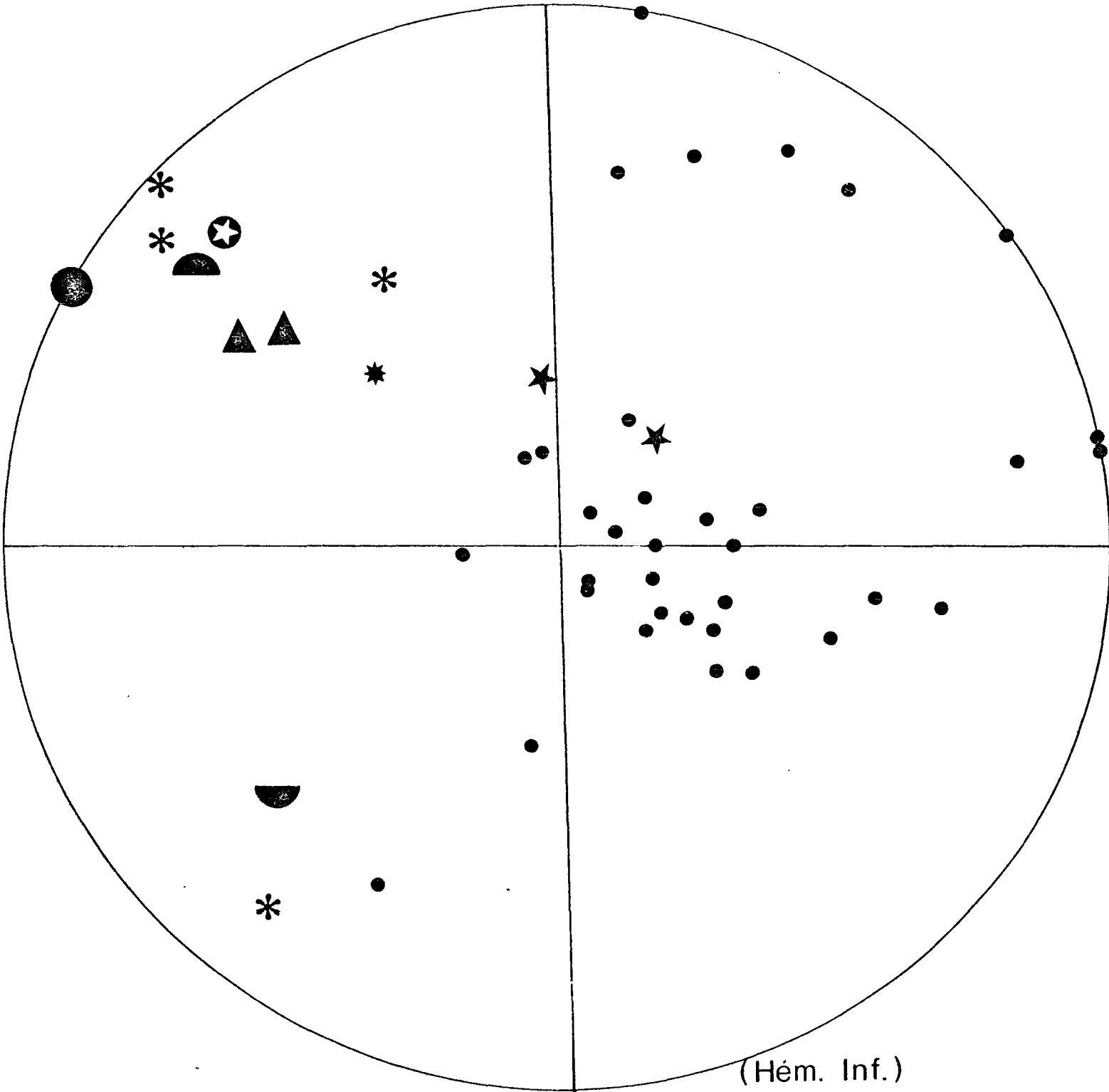
Orientation des éléments de la fabrique magmatique

- Fluidités planaires magmatiques relevées dans le secteur (pôle du plan de fluidité planaire)
- Fluidité planaire imbriquée (à N30E - 90E pouvant atteindre N40E - 90E). Elle semble générale dans le secteur et "recoupe" les précédentes. Elle a été appelée "fluidité planaire diastrophique intramagmatique" (car acquise avant consolidation de la roche sous l'effet de contraintes d'origine sans doute tectonique).
- ★ Plan approximatif de Layering (litage magmatique)
- ★ Axe de plissement métrique sur le layering visible sur le site du sondage SC3
- ★ Filet noir (mesure valable uniquement pour la carrière des Bioquets où la fluidité planaire est à (N35E-45W) et les filonnets quartzeux à (N65E-75SE).

Quelques autres indications

- (l'étude détaillée de la fracturation n'était pas dans notre objectif)
- Fracturation avec quartz et microgranite au Nord du Sondage SC1. (c'est une direction importante de fracturation)
 - Fracturation importante donnant des miroirs de faille à regard Nord et d'importance "hectométrique".
 - * Filons de microgranite et d'aprites
 - ▲ Filons de lamprophyre

NORD



(Hém. Inf.)

de l'ordre de 30° (et pouvant atteindre 60°). Elles forment le "nuage" principal de points sur le canevas de Wulff. Compte tenu des données acquises dans la région du Col de Grosse Pierre et de la disposition générale de la lame du granite des Crêtes, nous pouvons admettre que cette fluidalité planaire, que nous schématiserons par une orientation moyenne (N30E - 30W) a été acquise par la mise en place du magma sous forme d'une lame conforme au gisement global du Granite (fig.12). Mais, il nous faudra intégrer les variations observées.

b - Le plissement magmatique d'axe N140E.

- Une observation essentielle peut être réalisée en tête du sondage SC3 sur la paroi rocheuse. Un layering présente un pli métrique d'axe N135E

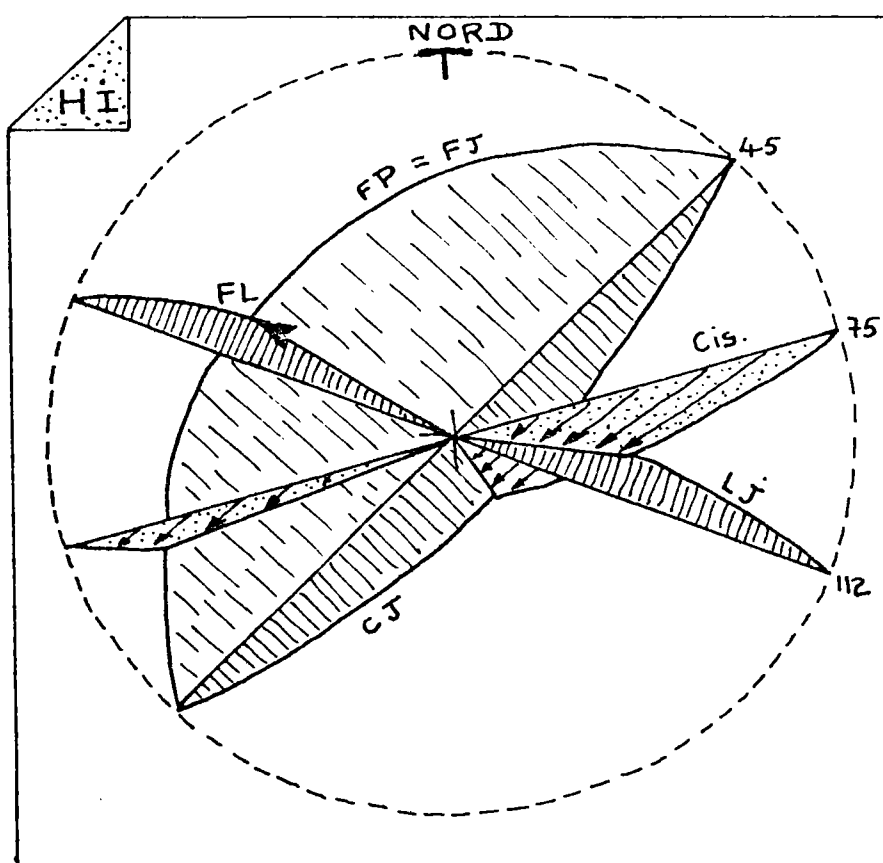


Figure n° 11 .

DIAGRAMME CYCLOGRAPHIQUE (hémisphère inférieur) DES PLANS STRUCTURAUX MOYENS DANS LE SECTEUR AU SUD DU COL DE GROSSE PIERRE. (Construction Cl. G. d'après les données moyennes de E. NSIFA.1978).

F.P. Fluidalité planaire magmatique

F.L. Fluidalité linéaire magmatique.

F.J. "Flat joint" = joint à plat.

L.J. "Longitudinal joint" = joint longitudinal.

C.J. "Cross joint" = joint transversal.

Cis. Fracture de cisaillement

← stries (traces du déplacement du compartiment supérieur).

note: Mise en place d'une lame de granite des Crêtes avec une orientation N 45 E - 30 NW.

avec un plongement de $10^{\circ}W$. Sans pouvoir l'assurer, un entrainement du Sud vers le Nord pourrait être proposé. Ce pli est un pli "intra-magmatique".

- Les pendages varient mais semblent souvent respecter un "axe de zone" de direction sensiblement N130E à N150E (schématiquement à N140E). Ainsi, dans les sondages SC1 et SC2, la valeur du pendage est de l'ordre de 60° tandis qu'en tête du sondage SC2, les orientations des fluidalités planaires sont (N150E - 30SW) avec un layering voisin à (N130E - 30SW) (on y observe d'ailleurs aussi la fluidalité diastrophique imbriquée à N40E-90).

Sur le miroir de faille situé au NE de ces sondages (orientation N140E - 65NE devenant N125E-85NE, vers la carrière du bas avec des fractures N80E-85S à N75E-75SE avec aplite déformée), le pendage de la fluidalité planaire est de l'ordre de 35° vers l'ouest. (3 mesures N20E-35W ; N30E-35W ; N50E-10NW).

De même, dans la grande Carrière "aux layerings", on observera des pendages variables et des layerings en voie de désagrégation par entrainement. La difficulté essentielle tient au fait que la mise en place de la lame (N30E-30W) doit s'accompagner de déformation avec variation du pendage et que le plissement de cette lame (selon un axe proposé schématiquement orienté à N140E, axe à faible prolongement NW) interfère avec les variations précédentes. Ceci explique la dispersion des pôles des fluidalités planaires. Cette dispersion cependant permet de proposer le schéma dynamique suivant la mise en place.

B. ORGANISATION MAGMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA MISE EN PLACE (fig. 11 et 12).

Il est évident qu'il y a une "hiérarchie" dans le dispositif : la disposition en lame (N30E-30W) est une organisation d'ensemble à l'échelle du massif alors que les conséquences du plissement (N140E-10W) sont plus localisées mais permettent d'expliquer des fluidalités planaires qui, sans cela, seraient aberrantes. Ces deux phénomènes (mise en place d'une lame puis plissement de cette lame) sont pénécontemporains sans être strictement synchrones.

La fluidalité imbriquée diastrophique à (N30E-90E) se superposera aux fluidalités acquises par mise en place de la lame et plissement. Elle interviendra avant consolidation du magma (donc pénécontemporaine mais postérieurement au plissement) et est en relation comme le plissement, avec une contrainte régionale.

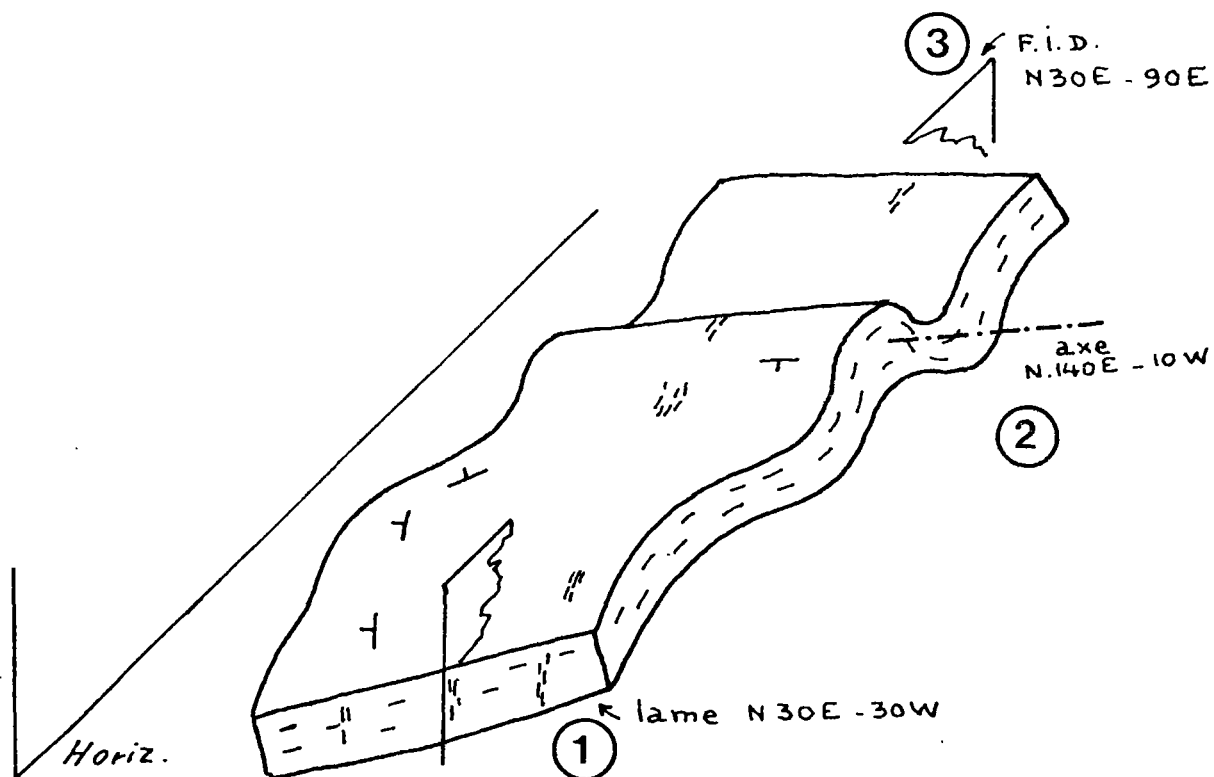
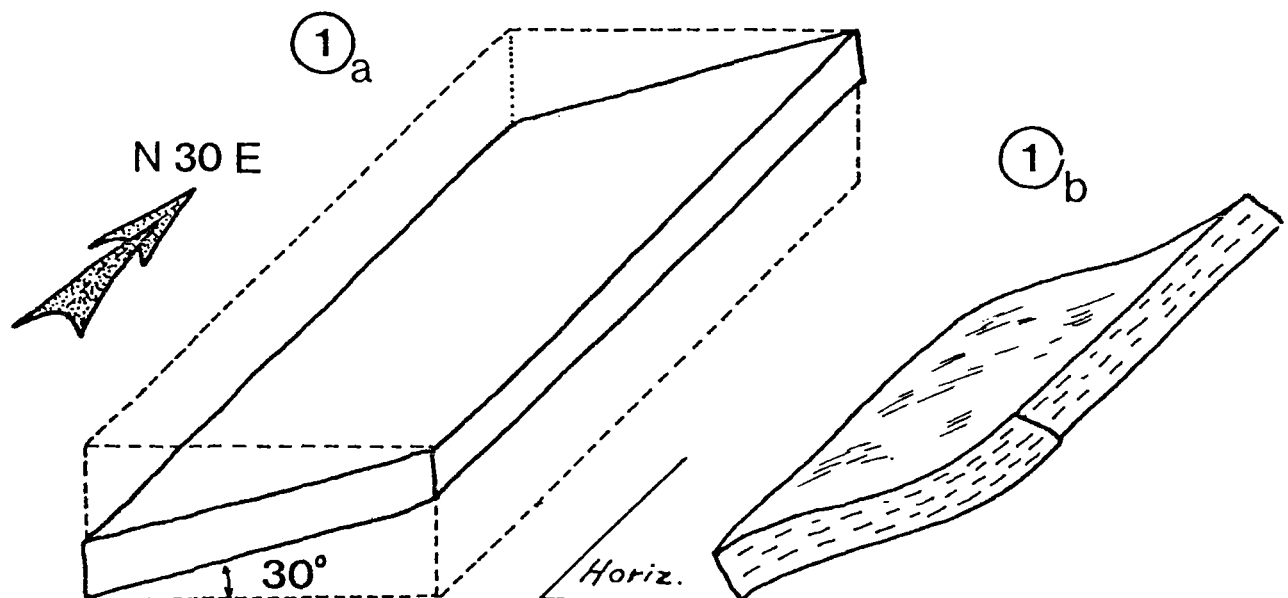


fig. 12

MISE EN PLACE DU GRANITE
secteur de la Roche des Bioquets.

- 1 a . lame N 30 E - 30 W
- b . Gauchissement de la lame
- 2 . plissement à axe N 140 E - 10 W
- 3 . F.I.D. fluidalité imbriquée diastrophique.

Orientation de nombreux filons :

Par exemple : Lamprophyres

- en haut de la grande carrière des layerings
N35E - 70SE 2 mètres de puissance
- vers le Nord du secteur
N40E - 65SE épaisseur variable de 0,20 à 1,00 m

* sans doute, les lamprophyres du sondage SC1

Par exemple : du quartz en filons dans zone broyée

- dans le col près du sondage SC1
N40E - 80SE
N40E - 70SE
- avec des microgranites à épontes lamprophyriques en même disposition sur le versant Nord du col

* sans doute, le quartz du sondage SC1

Cette fracturation précoce majeure (sans entrer dans les détails ni dans une étude détaillée) est responsable (par rejeu ultérieur ?) du découpage du secteur de la Roche des Bioquets en môles parallélépipédiques.

D. CONSEQUENCES SUR L'EXPLOITATION POSSIBLE

Dans le secteur de la Roche des Bioquets, examinons les conséquences sur l'exploitation possible.

1. Disposition d'ensemble

En tenant compte du bloc diagramme présenté pour les organisations magmatiques et de la coupe SW-NE d'un môle granitique (fig.12 et fig.13), toutes les localisations ne sont pas favorables. Sans tenir compte des problèmes de fracturation étudiée en détails par ailleurs et qui peuvent intervenir en plus, pour oblitérer certaines zones, il faudrait utiliser le regard de faille (comme les anciens) pour des questions d'accès et de déblais, en évitant la zone broyée au voisinage du miroir de faille. Les zones à fluidités peu pentées sont plus favorables à l'exploitation et de plus ont moins de perturbations magmatiques dues au plissement intramagmatique à N140E.

Il est certain qu'un lever plus détaillé et plus précis encore des fluidités planaires (lame - plissement - imbrication) devrait intervenir sur un secteur retenu pour favorable.

Note : S'il fallait envisager une variation des contraintes pour expliquer successivement un plissement d'axe (N140E, 10W) et un plan de "cisaillement" (N30E-90E), il faudrait se rappeler que les orientations proposées sont schématiques. D'autant plus que les mesures réalisées restent toujours en nombre limité pour ce type d'observation.

Les blocs diagrammes proposés (figure n° 12) illustrent cette hypothèse sur l'origine des organisations magmatiques du secteur de la Roche des Bioquets.

1. 1a) mise en place de la lame (N30E-30W) ;
1b) possibilité d'avoir un pendage plus fort vers l'ouest avec une direction sensiblement égale (début de gauchissement de la lame)
2. Plissement avec un axe (N140E-10W) qui permet d'avoir jusqu'à des flancs verticaux (donc des fluidalités planaires de direction N130 à N150E avec des pendages de 90°). Il n'a pas été caractérisé de flancs inverses (mais, il y a eu une "fracturation" tardimagmatique conforme au dispositif de contrainte qui est intervenue).
3. Plans de cisaillements intramagmatiques (N30E-90E) qui induisent une fluidalité imbriquée diastrophique (F.I.D.).

C. FRACTURATION PRECOCE

Il n'a pas été possible dans le temps imparti d'étudier les joints de fin de cristallisation. D'ailleurs, la complexité des fluidalités planaires (repères des joints à plat) et l'intervention d'une succession de phénomènes de fracturation rendraient l'opération aléatoire.

Par contre, une fracturation précoce majeure nous intéresse. Elle a permis notamment le guidage de la mise en place des filons (filons d'aplite, filonnets de quartz, microgranite à biotite et amphibole, lamprophyre).

Ainsi, les fractures schématiquement rapportées à :

- (N140E - 70NE) : miroirs de faille impressionnants, à regard Nord qui limitent les môles granitiques par des parois de quelques dizaines de mètres de haut et se suivent sur des centaines de mètres (orientation de nombreux filons : aplite, microgranite, ...)
- (N30E - 70 à 80 SE) : zones de fractures intenses qui s'inscrivent dans la morphologie par des thalwegs et des cols.

2. Accidents magmatiques

a - Litages magmatiques (layering)

Les litages magmatiques sont nombreux dans le secteur et ont été observés dans les sondages avec une fréquence de l'ordre du décimètre selon l'axe des carottes. Le plus souvent, ils sont d'épaisseur métrique. Comme dans les sondages, le pendage de la fluidalité planaire est de l'ordre de 60° et que ces litages sont généralement subparallèles ou parallèles à cette fluidalité, On peut assurer que des litages d'épaisseur métrique à demi-métrique peuvent être présents tous les 5 à 7 mètres. C'est d'ailleurs ce que l'on observe dans la carrière "aux layerings". Cette constatation rend le secteur étudié difficile à retenir pour l'ouverture d'une carrière qui voudrait réduire le pourcentage de perte.

De plus, au cours de la mise en place, l'entraînement avec plissement et/ou la désagrégation de ces litages en grosses enclaves qui se résorbent mal a sans doute disposé de nombreux "accidents" répartis d'une manière assez aléatoire (voir le litage à mi-hauteur de la carrière "des layerings" ou les "crapauds" dans la carrière des Bioquets).

b - Enclaves

Les grosses enclaves existent et ont été recoupées cinq fois en sondage sur 85 m de carottes. Elles sont aussi observables dans les déblais et sur les affleurements.

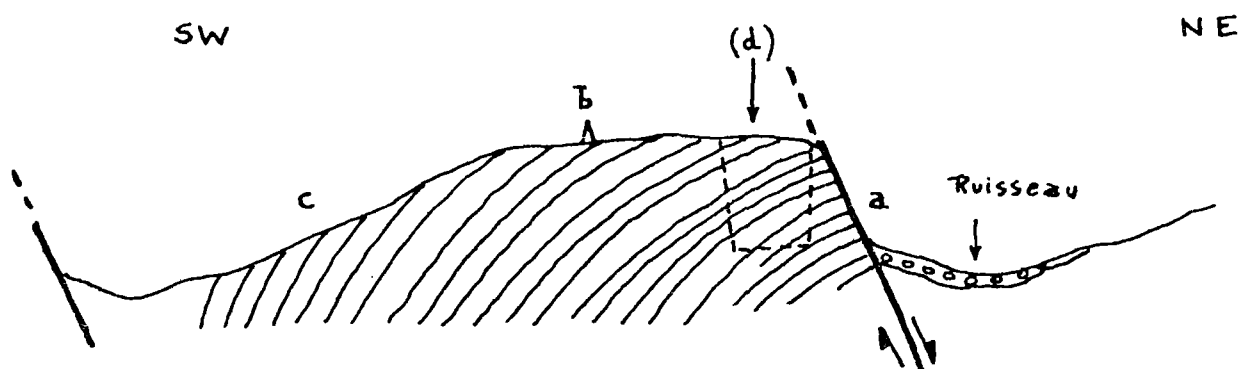
Les petites enclaves (de l'ordre de 1 à 3 cm) sont fréquentes :

- dans chaque sondage, il a été observé des lits de petites enclaves abondantes (véritable équivalent de layering démantelé) ; il n'est cependant pas possible de s'en servir pour des corrélations ;
- en plus, il a été compté sur 85 m de carottes 66 petites enclaves Sans que le chiffre puisse être retenu comme significatif, cela représente 66 petites enclaves différentes pour 17 m^2 environ de surface d'observation. Cela fait de l'ordre de 4 enclaves au m^2 (enclaves de taille centimétrique). Ce serait une proposition élevée pour l'exploitabilité.

Cette abondance est normale car elle est liée, en ce qui concerne les enclaves homogènes souvent obtenues par désagrégation des litages, à la fréquence de ces derniers qui sont nombreux dans ce secteur de la Roche des Bioquets.

Figure n° 13

COUPE D'UN MÔLE GRANITIQUE dans le secteur de la ROCHE DES BIOQUETS
selon une direction perpendiculaire à l'axe de plissement (N140E-10W)



- a. Miroir de faille de la fracturation précoce à N140E-70NE.
On y observe une fluidalité planaire avec un pendage de l'ordre de 30°.
- b. A l'aplomb du point b, qui se situe au "centre" du môle, les pendages pourront atteindre 60°
- c'est le cas du sondage SC2
 - Le sondage SC1 est en même position dans le môle par rapport à cette coupe SW-NE, mais il se situe dans une fracture N30E-70SE qui limite ce môle vers le S.E.
- c. Les pendages pourront être observés verticaux.

Cette disposition est répétée notamment :

- pour le môle des sondages SC1 - SC2
 - pour le môle du sondage SC3
 - pour le môle situé au NW du secteur étudié dans ce rapport.
- d. Disposition des anciennes carrières
- avec accès par le miroir de faille
 - dans la zone à fluidalité planaire à faible pendage
 - loin des fractures N30E - 70SE qui limitent les môles parallélépipédiques.

- Complexité des phénomènes au cours de la mise en place conduisant à des fluidalités planaires variables ; (lame déformée reprise dans un plissement "intramagmatique"), donc difficilement repérable en géométrie.
- Fin de consolidation sous contrainte tectonique régionale conduisant en deux étapes :
 - ① . à des fluidalités imbriquées diastrophiques ;
 - à l'expression de filets noirâtres qui zébrant la roche (ce qui n'est pas si inesthétique) ;
 - à des filonnets de quartz millimétriques ;
 - à des fractures pénétratives soudées à quartz et chlorite avec possibilité de brèches de quartz à la limite ;
 - ② . à des fractures majeures dans lesquelles se disposent aplites, microgranites, lamprophyre et quartz
(il existe des aplites déformées qui indiquent bien une "tectonique vivante intramagmatique").
- Abondance des litages magmatiques qui, répétés tous les 5 à 7 m, isolent des séquences où le granite présente une variation continue entre un type bleu noir et un type plus foncé "noir" disposé en bas. Ces séquences ont été appelées "unités magmatiques" (Cl. GAGNY, 1978, non publié).
- Abondance des enclaves.

c - Variation de la qualité du Granite.

Sans tenir compte de la fracturation et des conséquences sur la qualité et l'aspect esthétique du granite (plagioclases vert - saumon - rose - rouge etc....), on remarque que entre deux litages magmatiques, le granite vers la base devient de plus en plus foncé par augmentation des proportions de minéraux Ferro-magnésiens. Le granite passe du type "bleu-noir" au type "noir". Ce phénomène a été contrôlé sur carotte mais il était connu par des études précédentes dans la région du Col de Grosse Pierre (études effectuées par l'équipe et partiellement publiées). Ces variations sont progressives. Mais, cela permet de prévoir que la qualité du Granite serait variable dans ce secteur où existent de nombreux litages magmatiques.

d - Divers

Il n'a été observé ni colonne feldspathique, ni zone d'alimentation caractéristique. Les accidents de ce type les plus proches sont connus au Nord du Col de Grosse Pierre, à 1 km environ au SW du secteur étudié.

E. CONCLUSIONS

La seule étude de la fabrique magmatique par les méthodes mises en oeuvre par la Pétrologie Structurale permet de mettre en évidence de nombreux faits qui éclairent les conditions d'exploitabilité du granite dans un secteur donné.

Dans le Secteur de la Roche des Bioquets, les observations sur la fabrique magmatique restent préoccupantes, mais ne permettent pas de condamner la validité du secteur pour une exploitation industrielle dont les objectifs ne seraient pas uniquement "le monument funéraire". Il faudrait cependant déconseiller à toute entreprise artisanale d'y ouvrir actuellement une carrière.

En effet, les conclusions à apporter doivent être basées sur un ensemble de données (dont la fracturation) mais aussi doivent tenir compte des éléments suivants :

UNIVERSITE DE NANCY I
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE RÉGIONALE
Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél (8) 328.93.93
Postes · 27.26 et 27.30

Destinataire :
B.R.G.M. Lorraine

- *PÉTROLOGIE STRUCTURALE* -

RAPPORT : Etude du "faciès magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Senones

Fascicule 2 : GRANITE de SENONES
(Secteur des Gouttes-Roches Margot)

Cl. GAGNY
avec la collaboration de :
F. ANDRE (§ I à IV)
J.Ph. BLANCHARD (§ V)

Février 1980

UNIVERSITE DE NANCY I
LABORATOIRE DE GEOLOGIE REGIONALE
Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél. (8) 328.93.93
Postes : 27.26 et 27.30

Destinataire :
B.R.G.M. Lorraine

- PÉTROLOGIE STRUCTURALE -

RAPPORT : Etude du "faciès magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Senones

Fascicule 2 : GRANITE de SENONES
(Secteur des Gouttes-Roches Margot)

Cl. GAGNY
avec la collaboration de :
F. ANDRE (§ I à IV)
J.Ph. BLANCHARD (§ V)

Février 1980

Note : Ce rapport correspond à un travail, en partie fondamentale, mené avec la collaboration et l'aide du Bureau de recherches Géologiques et Minières (Lorraine). Ce dernier, en effet, coordonne pour les instances départementales une étude de recherche de sites pour l'ouverture de carrières à exploitation industrielle de granite notamment pour les pierres ornementales.

Nous étions chargés, au terme d'un contrat de l'étude des anomalies pétrographiques sur deux sites du Granite des Crêtes et du granite de Senones.

P L A N

- I. PRESENTATION DU GRANITE
- II. ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE
 - A. Les différentes variétés du Granite de Senones
 - 1. Variété Rouge Corail (R.C.)
 - 2. Variété Feuille Morte (F.M.)
 - 3. Variété Rosé (R)
 - B. L'origine de la couleur des différentes variétés du Granite de Senones
 - 1. Etude des minéraux "porteurs" de la couleur (comparaison entre les variétés R.C. et F.M.)
 - 2. Etude géochimique : le rôle du Fer
 - a) Nouvelles analyses chimiques (Tableau II)
 - b) Géochimie du Fer
 - 3. Conclusion
- III. "FABRIQUE MAGMATIQUE" DU GRANITE DE SENONES
 - A. Fabrique magmatique
 - B. Hypothèse sur l'organisation du massif de Senones
- IV. LES "ACCIDENTS" MAGMATIQUES DU MASSIF DE SENONES
 - A. Enclaves
 - B. Filons
- V. ETUDE DES DEUX SECTEURS RETENUS
 - A. Sélection du secteur de travail
 - B. Etude approfondie du secteur des Gouttes-roches Margot
 - 1. Modèle géomorphologique
 - 2. Position des Kersantites
- VI. CONCLUSIONS GENERALES
- VII. CHOIX BIBLIOGRAPHIQUE

(+ deux cartes Hors Texte non reliées)

I. PRESENTATION DU GRANITE

Le granite de Senones est un granite à biotite et amphibole, largement grenu. Il intrude les formations volcanosédimentaires dévoniennes dans lesquelles il développe des phénomènes de métamorphisme de contact. D'autre part, il est recouvert par des formations permienes. C'est donc un granite dont la mise en place est liée à l'orogénèse hercynienne.

De nombreux accidents jalonnent le massif. Ce sont :

- Des enclaves (crapauds) des formations encaissantes (enclaves enallogènes) sur la bordure du granite ;
- Des enclaves (crapauds) microgrenues sombres (enclaves homogènes), réparties dans la masse du granite.
- Des filons de quartz (blanc laiteux), des filons d'aprites (roche rosée, à grain fin) et surtout des filons de kersantite (roche à grain très fin, à allure compacte, solide, de teinte noire à brun foncé devenant friable et de teinte chocolat par altération superficielle).

Le Granite de Senones est une pierre ornementale très recherchée. Différentes nuances de couleur ont conduit les granitiers à y distinguer plusieurs variétés :

- La variété "Rouge Corail", la plus sombre et la plus recherchée,
- La variété "Feuille Morte", la plus claire,
- La variété "Rosé", type intermédiaire et peu fréquent.

II. ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE

A. Les différentes variétés du granite de Senones : caractéristiques minéralogiques

1. La variété "Rouge corail" (R.C.)

- aspect macroscopique : C'est une roche de couleur rouge. On y distingue :
 - * Feldspath alcalin rose corail, de taille centimétrique.
 - * Plagioclase rouge brique, en lattes subautomorphes (5x2mm).
 - * Biotite en paillettes et amphiboles en prismes trapus, fréquemment associées.
- aspect microscopique :
 - * Le feldspath alcalin est limpide et renferme des inclusions de plagioclase et biotite. Au contact avec le plagioclase, on observe fréquemment une bordure de réaction de type myrmékite. A noter l'absence d'altération de ce minéral.
 - * Le plagioclase, subautomorphe est de l'andésine (An₃₀₋₃₅). il est frais ou très faiblement séricité en son coeur. La limite

d'altération peut correspondre dans ce cas à une variation chimique. Ce minéral est en effet zoné discrètement et doit présenter une bordure plus acide. D'autre part, on observe fréquemment un liseré d'inclusions de minéraux opaques piégés lors de la croissance cristalline. De petites biotites peuvent être également présentes en inclusions dans ce minéral.

- * La biotite est légèrement chloritisée, à inclusion de zircon.
- * A l'amphibole très polychroïque sont systématiquement associés des minéraux opaques (magnétite automorphe octaédrique).
- * Le quartz se trouve en phase intersticielle. Les fractures de ce minéral sont systématiquement tapissées de produits opaques.
- * Minéraux accessoires : sphène automorphe losangique avec calcite associée.

2. La variété "Feuille Morte" (F.M.)

- aspect macroscopique : C'est une roche grenue, gris blanc. On y distingue :

- * Feldspath alcalin de taille centimétrique, légèrement grisé.
- * Plagioclase en baguettes automorphes (5x2 mm) blanc porcelané.
- * Biotite et amphibole qui mouchètent la roche.

- aspect microscopique

- * Le feldspath alcalin est limpide et renferme de nombreuses inclusions de plagioclases altérés, biotites et amphiboles chloritisées, minéraux opaques. De fines lamelles d'albite lui donnent en lumière polarisée-analysée un aspect zébré.
- * Le plagioclase est très altéré. Très généralement, le coeur du minéral est plus altéré que sa périphérie. Le zoning très marqué conduit à une bordure allant d'albite An₅ à oligoclase An₁₅. De petites inclusions de biotite chloritisée sont fréquentes.
- * La biotite est très polychroïque, à nombreuses inclusions d'apatite et de zircon.
- * L'amphibole le plus souvent associée à la biotite est chloritisée. Les opaques, en grains, sont systématiquement inclus dans l'amphibole.
- * Le quartz se présente en minéraux intersticiels, quelquefois automorphes.
- * Minéraux accessoires : sphène automorphe losangique, apatite en fines aiguilles, calcite en phase intersticielle.

3. La variété "Rosé"

La variété "Rosé" est intermédiaire entre les variétés "rouge corail" et "feuille morte". A ce titre, elle ne représente pas

un type bien défini. En fait, il ressort de l'observation des carottes de sondage que les zones de changement de variété se font de façon progressive quoique sur des distances faibles, de l'ordre du mètre.

Seule, l'étude des différences pétrographiques et géochimiques entre les variétés "rouge corail" et "feuille morte" nous permettra de replacer les termes intermédiaires dans la série continue dont les deux variétés précitées sont les extrêmes.

B. L'origine de la couleur des différentes variétés du Granite de Senones.

1. Etude des minéraux "porteurs" de la couleur (comparaison entre les variétés "Rouge corail" et "Feuille morte".)

Le tableau I permet de comparer les deux variétés essentielles du granite de Senones : La variété "Rouge Corail" et la variété "Feuille Morte".

Trois facteurs contribuent à la différence de teinte entre ces deux variétés :

- Les compositions minéralogiques diffèrent légèrement. Les minéraux ferro-magnésiens, foncés, sont plus abondants dans la variété Rouge Corail (15% contre 9%). C'est un premier facteur pour la coloration relativement plus foncée, plus soutenue, du Rouge Corail.
- L'abondance des minéraux opaques noirs ou très foncés, contenant du fer est légèrement plus importante dans le Rouge Corail.
- Enfin, et surtout, c'est un problème d'altération qui confère à la variété Rouge Corail sa teinte rouge soutenue.

* Le plagioclase est le principal porteur de la couleur.

. dans la variété Rouge Corail, le plagioclase n'est pas altéré dans sa masse et reste limpide. Mais, il contient en inclusions de nombreux minéraux opaques riches en fer oxydé et piégés lors de sa cristallisation. Ces inclusions provoquent des réflexions internes rouges dans le plagioclase pourtant limpide dans la masse mais qui, alors apparaît rouge brique.

. dans la variété Feuille Morte, le plagioclase est altéré dans la masse en de très fines paillettes d'un minéral phylliteux blanc nacré. Les opaques sont absents. Les fines paillettes produisent des réflexions internes qui donnent au plagioclase une teinte claire de type blanc porcelané.

* Le quartz est lui aussi porteur d'une couleur rouge bien qu'il soit lui-même incolore. Dans la variété Rouge Corail, des produits ferrugineux tapissent ses fractures. Cela provoque des réflexions internes rouges.

* Le feldspath alcalin (orthose) de teinte générale gris-blanc peut lui même contribuer à la teinte du Rouge Corail en devenant légèrement rosé.

TABLEAU I

: RECHERCHE DE L'ORIGINE DES COULEURS. COMPARAISON ENTRE LES VARIÉTÉS "ROUGE CORAIL" et "FEUILLE MORTE"

	Variété "ROUGE CORAIL "	Variété "FEUILLE MORTE"
<u>Composition modale</u> (1) (abondance relative des minéraux)	Quartz Q 20 Microcline FK 27 Plagioclase PL 37 Biotite Bi 7 Hornblende Hb 8 Divers Acc 1 (Acc : dont <u>Magnétite</u> , Pyrite, chalcopyrite, calcite, apatite, zircon)	Quartz Q 25 Microcline Fk 25 Plagioclase PK 39,5 Biotite Bi 5,6 Hornblende Hb 3,5 Divers Acc 1,4 (Acc : dont <u>Pyrite</u> : 0.45, sphère : 0.65 apatite : 0.25, Calcite : 0.05)
<u>Composition minéralogique</u> Quelques précisions	<ul style="list-style-type: none"> - Le <u>quartz</u> est moins abondant (20 %) - Le <u>plagioclase</u> est frais. Il est plus basique An₃₀₋₃₅ - Les <u>minéraux foncés ferro-magnésiens</u> (biotite-amphibole) sont plus abondants (15%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Le <u>quartz</u> est plus abondant (biotite-amphibole) sont moins abondants (9%) - Le <u>plagioclase</u> est altéré. Il est moins basique (An₅₋₁₅)
<u>Couleur</u> (Observations microscopiques pour la recherche des éléments déterminant la couleur du granite)	<ul style="list-style-type: none"> - Le quartz est limpide, parcouru de fractures tapissées par des produits ferrugineux, qui, par des réflexions internes, donnent une couleur <u>rouge</u> à ce minéral. - feldspath alcalin <u>rose à grisé</u>. - plagioclase <u>frais rouge brique</u>, renferme des inclusions de minéraux opaques piégés lors de la croissance cristalline. Les opaques (contenant du fer) produisent des réflexions internes <u>rouges</u>. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le quartz est limpide, <u>incolore</u>, à fractures sèches ou très légèrement tapissées de produits ferrugineux (alors rosé) - feldspath alcalin <u>grisé</u> - plagioclase <u>altéré, blanc porcelané</u>. De fines paillettes d'un minéral phylliteux provenant de l'altération du minéral, produisent des réflexions internes blanches. Les opaques sont absents.

(1) Composition modale d'après A. NICOLAS 1960 (Précision de l'ordre de 2 %)

On voit ainsi que tous les minéraux contribuent à donner une teinte rouge et soutenue à la variété Rouge Corail.

- Par altération, on peut faire appel à deux processus différents
- soit une altération météorique liée aux altérations normales de surface (eaux de pluies, oxydation,...)
 - soit une "altération" s'étant produite à la fin de la cristallisation du granite, c'est à dire à haute température. Cette altération n'est plus à lier alors à la proximité de la surface ou à des zones fracturées (faille) qui permettent la percolation des eaux de surface. Mais, elle est liée aux conditions de cristallisation et de mise en place du granite en profondeur.

Dans le cas du granite de Senones, l'altération météorique a joué un rôle certain. Les phénomènes d'arénisation en boules, de percolation qui oblitèrent les zones faillées en sont des preuves. Mais, ces phénomènes tardifs ne peuvent expliquer à eux seuls, les observations de l'altération croissante de la variété "Rouge Corail" à la variété "Feuille Morte".

Généralement dans un massif présentant plusieurs faciès résultant de variations des conditions de cristallisation, l'apparition de faciès plus clairs et plus évolués (pourcentage de minéraux foncés plus faible, basicité du plagioclase plus faible) s'accompagne d'une augmentation d'une altération de fin de cristallisation.

Le fait que, dans le granite de Senones, la variété Feuille Morte soit plus altérée, même, en dehors de toute zone de faille, confirme l'intervention d'une altération de haute température en fin de cristallisation.

Comme la couleur semble liée aux minéraux opaques (riches en fer) et à l'abondance des minéraux ferro-magnésiens foncés, il était intéressant de faire une étude géochimique du comportement du Fer dans les diverses variétés du granite de Senones.

2. Etude Géochimique : le rôle du Fer.

a. Nouvelles analyses chimiques (tableau II)

Dix analyses nouvelles des différentes variétés du Granite de Senones ont été réalisées par le Laboratoire⁽¹⁾(voir tableau II).

- quatre analyses de la variété "Rouge Corail" (R.C.) RM.4-5-6-10
- trois analyses de la variété "Rosé" (R) RM 7-11-13
- trois analyses de la variété "Feuille Morte" (F.M.)

Les échantillons ont été prélevés à la carrière de la "Roche Margot".

(1) Cinq analyses seulement étaient prévues dans le cadre de la convention pour l'ensemble Granite de Senones et Granite des Crêtes. Ces données supplémentaires ont été acquises pour résoudre des problèmes de recherche fondamentale. Comme elles permettent d'éclaircir l'origine de la couleur, nous les présentons ici. Elles doivent être tenues confidentielles jusqu'à publication scientifique.

TABLEAU II

NOUVELLES ANALYSES CHIMIQUES DU GRANITE DE SENONES
 (Laboratoire de Géologie régionale - Pétrologie Structurale - Université de NANCY I)
 Analyste : M. MONTANARI - Ingénieur chimiste, Docteur en Géologie.

N° Echantillon	ROUGE CORAIL				ROSE			FEUILLE MORTE		
	RM4	RM5	RM6	RM10	RM7	RM11	RM13	RM8	RM9	RM12
SiO ₂	65.82	65.78	66.11	65.69	66.27	65.57	65.33	66.16	65.89	65.98
Al ₂ O ₃	14.86	15.01	14.92	14.97	14.21	14.90	14.99	14.85	14.84	14.96
Fe ₂ O ₃ Total	3.74	3.87	3.63	3.84	3.77	3.88	3.71	3.57	3.58	3.49
TiO ₂	0.70	0.69	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.67	0.68	0.66
CaO	2.30	2.44	2.28	2.49	2.31	2.44	2.39	2.50	2.56	2.37
MgO	2.48	2.45	2.45	2.43	2.41	2.35	2.38	2.33	2.29	2.28
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
K ₂ O	4.43	4.68	4.53	4.62	4.76	4.43	4.77	4.57	4.58	4.47
Na ₂ O	3.71	3.64	3.68	3.62	3.65	3.83	3.74	3.81	3.81	3.84
P.F.	1.46	0.95	1.16	1.25	1.33	1.40	1.40	1.20	1.26	1.32
Total	99.55	99.56	99.49	99.65	99.45	99.54	99.64	99.71	99.54	99.42
FeO	2.08	2.08	2.11	2.08	2.09	2.12	1.98	2.07	2.07	2.13

b. Géochimie du Fer

Dans le granite, le Fer se trouve dans de nombreuses phases minérales. Les principales sont :

- Les minéraux ferro-magnésiens foncés (biotite et amphibole)
- Les minéraux opaques en faible quantité (accessoires) oxydes (hématite magnétite), sulfures (pyrite essentiellement), hydroxydes.

La majorité du fer Fe^{2+} (FeO) est contenue dans la biotite et l'amphibole ; la majorité du fer Fe^{3+} (Fe_2O_3) est contenue dans les minéraux opaques (magnétite et hydroxydes).

Les teneurs FeO et Fe_2O_3 ont été soit dosées soit calculées (se référer au tableau III).

Un diagramme Fe_2O_3 en fonction de Fe_2O_3 total (fig.1) fait ressortir l'importance du fer Fe^{3+} dans la caractérisation des différentes variétés. Il existe en effet une forte corrélation positive entre ces deux paramètres. Cela peut être vu aussi sur la figure 2.

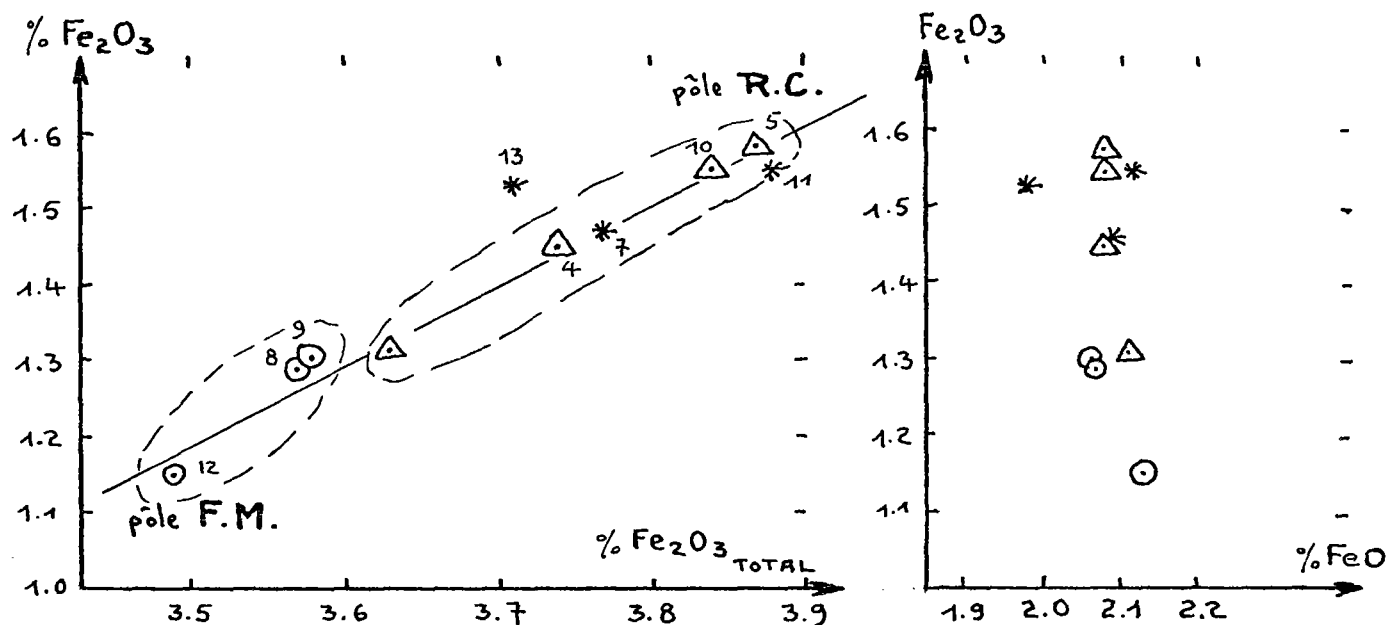


figure n°1 : diagramme Fe_2O_3 contre Fe_2O_3 TOTAL

figure n°2 : diagramme Fe_2O_3 contre FeO

R.C. Δ Variété "ROUGE CORAIL"
 R * Variété "ROSÉ"
 F.M. \circ Variété "FEUILLE MORTE"

cf. Analyses Nouvelles
 R. MONTANARI, 1979
 Lab. Géol. Rég. Univ. Nancy.

TABLEAU III -

DONNEES GEOCHIMIQUES CONCERNANT LE FER DANS LES DIVERSES VARIETES
DU GRANITE DE SENONES

1) Tableau des résultats

Variétés	n°d'analyse	Fe ₂ O ₃ Total dosé	FeO dosé	Fe ₂ O ₃ calculé
Rouge Corail	RM. 4	3.74	2.08	1.45
	RM. 5	3.87	2.08	1.58
	RM. 6	3.63	2.11	1.31
	RM.10	3.84	2.08	1.55
Rosé	RM. 7	3.77	2.09	1.47
	RM.11	3.88	2.12	1.55
	RM.13	3.71	1.98	1.53
Feuille Morte	RM. 8	3.57	2.07	1.29
	RM. 9	3.58	2.07	1.30
	RM.12	3.49	2.13	1.15

2) Note technique sur les dosages du Fer

L'analyse chimique de la Roche Totale donne tout le fer sous forme de Fe₂O₃ (ce sera le Fe₂O₃ Total). Cela représente donc la somme Fe₂O₃ + FeO (soit la somme Fe³⁺ et Fe²⁺).

Un dosage particulier supplémentaire a été réalisé séparément pour connaître FeO. On peut alors connaître, pour chaque échantillon, la répartition FeO et Fe₂O₃ en utilisant la relation :

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ total} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + (\text{FeO} \times 1,1)$$

(car le rapport Fe₂O₃ /FeO est égal à 1,1.)

Ce qui permet de définir deux pôles qui, à teneur de FeO quasi constante, se distinguent par leur teneur en Fe_2O_3 :

La variété "Rouge corail" est riche en Fe_2O_3 .

La variété "Feuille Morte" est moins riche en Fe_2O_3 .

La limite semble se situer à $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.3$

Il convient de remarquer que cette approche n'est possible que parce que l'on examine une série d'analyses réalisées dans les mêmes conditions analytiques, en une seule série. L'examen des autres analyses, rapportées dans la bibliographie, ne sont pas directement comparables bien que leurs résultats n'infirmant pas notre résultat.

Par ailleurs, les variations observées dans le pourcentage de Mg ne sont pas réellement significatives. En effet, la précision du dosage en Mg est d'environ 3 %. Cependant, si l'on considère que les erreurs de dosage sur un élément joue toujours dans le même sens pour une série d'échantillons (hypothèse raisonnable), on peut tenir compte de la corrélation positive mise en évidence dans le diagramme $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ (fig.3) pour étayer l'hypothèse suivant laquelle la variété rouge corail est plus riche en minéraux ferro-magnésiens foncés, donc représente un faciès dit plus "basique" du granite de Senones.

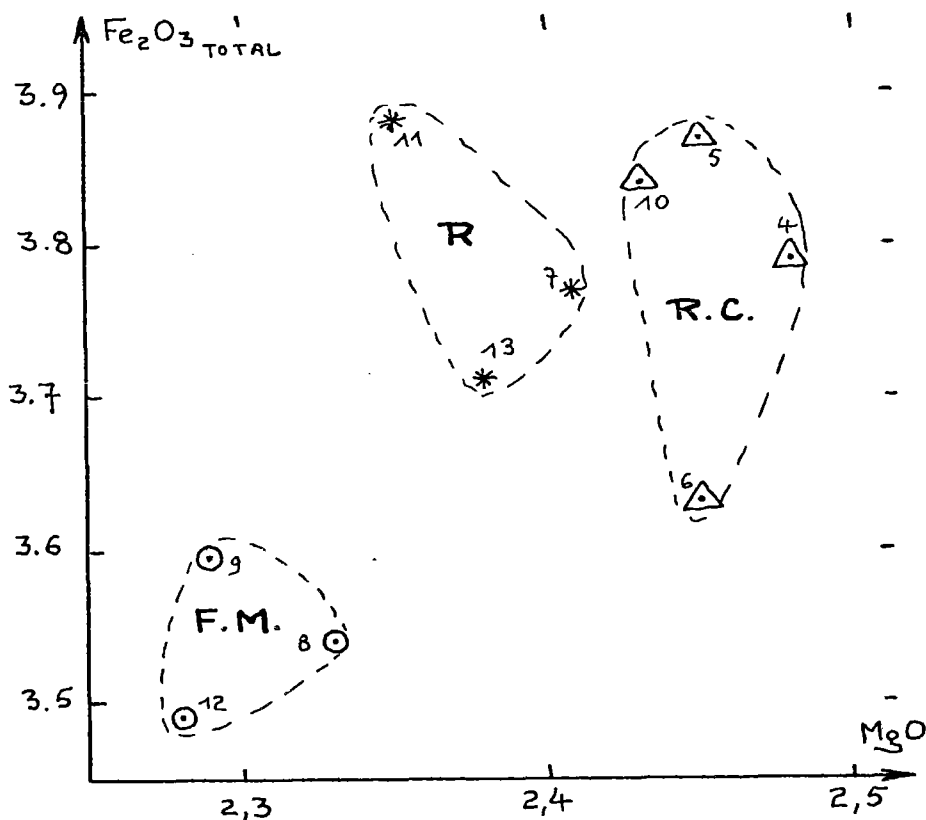


figure n°3. diagramme Fe_2O_3 TOTAL contre MgO

R.C. Δ variété "Rouge Corail".
 R. * variété "Rose".
 F.M. \odot variété "feuille Morte".

Cette richesse relative d'une part en Fe_2O_3 et d'autre part en minéraux ferro-magnésiens avait été mise en évidence, dès 1960, par A. NICOLAS. Mais, ce dernier ne disposait que de la comparaison de deux analyses, l'une de Rouge Corail et l'autre de Feuille Morte.

3. Conclusions

L'étude pétrographique et géochimique du Granite de Senones a permis de comprendre l'origine de la couleur des différentes variétés.

La nuance de la variété "ROUGE CORAIL" est donc due à :

- un enrichissement en Fe^{3+} que l'on trouve essentiellement dans les phases minérales opaques (Magnétite, Hydroxydes,...).
- une plus grande richesse en minéraux ferro-magnésiens foncés (15% contre 9%), notamment en amphibole hornblende (8% contre 3,5%).
- une quasi absence d'altération du plagioclase dans sa masse qui, si elle existait, serait susceptible de masquer les réflexions internes rouges de ce minéral.

La nuance de la variété "FEUILLE MORTE", par contre est due :

- à contrario : une teneur plus faible en Fe^{3+} et en minéraux ferro-magnésiens.
- une absence de phases minérales contenant du fer dans les plagioclases et les quartz et leurs fractures.
- une forte altération des plagioclases en produits phylliteux qui produisent des réflexions internes blanches.

III. "FABRIQUE MAGMATIQUE" DU GRANITE DE SENONES

Un granite, au cours de sa mise en place à l'état magmatique, acquiert le plus souvent une organisation visible à l'oeil nu dont l'étude permet de comprendre et de prévoir les variations et les accidents de la qualité de la roche.

A. "Fabrique Magmatique"

Dans le cas du Granite de Senones, aucune organisation magmatique contemporaine de la mise en place n'a pu être décelée : ni fluidalité planaire, ni litage magmatique, ni flammes,...etc...

Certes, sur carotte, une fluidalité planaire très vague peut être parfois détectée par un oeil exercé. Mais, sur le terrain, en carrière, aucune identification d'orientation n'a pu être observée avec certitude. En fait, il convient de tenir le granite de Senones pour une roche équante à l'échelle macroscopique.

B. Hypothèse de travail sur l'organisation du Massif de Senones

Par rapport à la variété "Feuille Morte", on peut avancer le fait que la variété "Rouge Corail" du Granite de Senones, représente un faciès plus "basique" (sombre) et cela indépendamment de toute transformation tardomagmatique (altération hydrothermale, oxydation du fer : $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$, ...).

En effet, dans le "Rouge Corail", on a :

- pourcentage supérieur en minéraux ferro-magnésiens (notamment amphibole).
- pourcentage inférieur en quartz
- basicité plus élevée du plagioclase (An₃₀₋₃₅ contre An₅₋₁₅).
- sur le plan géochimique, taux plus important en MgO et Fe₂O₃ (mais, si Feo semble constant, on ne peut pas préjuger de son oxydation tardive en Fe₂O₃ dans ce faciès).

En général, dans un massif mis en place "normalement" et non tectonique, on peut s'attendre :

soit à observer les faciès les plus basiques dans une position basse, soit à observer des alternances de faciès (litages connue dans le granite des Crêtes aux Bioquets) avec cependant une dérive vers les faciès les plus sombres vers le bas du massif.

L'observation des carottes de sondage ne nous a pas permis de mettre en évidence une telle organisation. Seule, une nouvelle étude sur le terrain effectuée sur l'ensemble du massif et axée sur une cartographie des différents faciès serait susceptible d'apporter des éléments nouveaux pour discuter cette hypothèse.

Mais, les conditions d'affleurement et l'absence de "fabrique magmatique" visible sur le terrain doivent rendre une telle étude longue et difficile. Son succès ne peut être assuré.

Bien évidemment, une telle approche était en dehors de nos préoccupations dans le cadre de l'objectif assigné.

IV. LES "ACCIDENTS MAGMATIQUES" DU MASSIF DE SENONES

Les principaux accidents magmatiques observables dans le Massif de Senones sont des enclaves et des filons.

A. Les enclaves

Celles-ci sont de deux types :

- Enclaves constituées par des formations volcaniques dévoniennes encaissantes (enclaves enalloènes) incorporées au granite lors de la mise en place de celui-ci. Elles n'apparaissent que sur la bordure du massif et n'ont été qu'exceptionnellement observées dans les secteurs retenus pour une étude approfondie. Ces enclaves enalloènes sont particulièrement inesthétique car, étrangères au magma du granite, elles ont des grains, des teintes très différentes de la masse du granite.

- enclaves microgrenues (enclaves homogènes). Elles sont présentes dans l'ensemble du granite. Cependant, leur fréquence semble augmenter à la bordure de celui-ci. Toujours de petite taille (3 à 4 cm) elles n'ont été observées en sondage qu'exceptionnellement. Certaines en voie de résorption, apparaissent sous la forme de petits amas (1 cm) sombres, diffus dans la masse de la roche. Ceci n'oblitére en rien la qualité de celle-ci.

La minéralogie de ce type d'enclaves est simple. On peut observer

- des plagioclases fortement altérés,
- des paillettes de biotite chloritisée,
- de l'apatite en fines aiguilles en inclusions dans les plagioclases,
- de la calcite en phase intersticielle.

Certaines enclaves renferment également des amas d'amphiboles, en général très altérées, auxquelles sont systématiquement associés des grains de minéraux opaques. De tels amas résultent vraisemblablement de la déstabilisation de pyroxènes. (à noter, que la présence de fantôme de pyroxène peut être un indice de granite "basique" et correspondre de préférence à la variété "Rouge Corail" - à signaler que Mme E. JEREMINE (1937) a décrit de nombreuses traces de pyroxène dans la région de La Guiche de Vimont).

En l'état actuel de notre connaissance du granite de Senones, il est impossible de prévoir en dehors des régions en bordure du Massif, les zones qui seraient susceptibles de présenter soit beaucoup, soit peu d'enclaves (manque de fabrique magmatique, non connaissance de l'organisation magmatique du massif).

B. Les filons

Le réseau filonien associé au granite de Senones se compose essentiellement de filons de kersantite, de puissance variable, métrique, à décamétrique, à épontes sinueuses.

1. Etude pétrographique d'un échantillon type.

La kersantite est une roche brun-sombre à rouge brique, massive dans laquelle on distingue à l'oeil nu des paillettes de biotite pouvant atteindre la taille du centimètre.

Le fond de la roche se compose de plagioclase, de feldspath alcalin et de biotite en fines paillettes. Tous ces minéraux sont très altérés. Localement, de petits amas d'amphiboles tachètent le fond. La calcite, en phase intersticielle, est abondante.

2. Autres faciès

Certaines kersantites recoupées en sondage présentent des faciès un peu différents. La couleur de la roche, ainsi que l'abondance et la taille des paillettes de biotite peuvent varier.

A. NICOLAS a mis en évidence une similitude entre certaines kersantites et le faciès de bordure du granite de Senones.

Ce faciès de bordure, à tendance syénitique (donc proche de certaines kersantites), succède au granite par l'intermédiaire d'une zone hétérogène sous forme de taches et de bandes diffuses dans le granite.

Ces zones de bordure du massif granitique qui présentent une hétérogénéité due à la présence de filons et d'enclaves de kersantite, et d'enclaves de roches encaissantes sont donc impropres à l'implantation d'une carrière.

V. ETUDE DES DEUX SECTEURS RETENUS

Deux secteurs favorables à une étude pour l'implantation d'une carrière ont été déterminés par M. VINCENT (zones entourées). La région de Guiche de Vimont (Sud de St Stail - planche H.T.1) et le secteur des "Gouttes-Roche Margot" (planche H.T.2). Dans un premier temps, nous ferons une étude comparative de ces deux sites. Dans un deuxième temps, une étude plus approfondie sur le secteur retenu sera présentée.

A. Sélection du secteur de travail

1. Secteur de Guiche de Vimont

Deux approches ont été faites des secteurs :

- Une étude en photo-aérienne pour déterminer la fracturation probable mégascopique ;
- Des observations de terrain sur l'aspect des affleurements et sur la fracturation mésoscopique.

Photo-interprétation

Sur la planche H.T.3, superposable à H.T.1, ont été reportées les fractures probables visibles en photo-aérienne. On constate que ce secteur présente une grande hétérogénéité directionnelle, impression d'ensemble qui est confirmée par l'étude de la répartition des fractures en fonction de leur direction et de leur longueur (longueur cumulée de 10 en 10° planche H.T.4 .

Une seule famille de fracture se détache nettement de l'ensemble. La direction N140E. Deux familles moins nettes, à plus forte dispersion sont visibles : d'une part, les failles allant de N80 à N110°, d'autre part, celles allant de N30 à N60°.

Observation sur le terrain

Des petites carrières ont été ouvertes sur le secteur. Elles présentent une fracturation importante. Rares sont les blocs unitaires dépassant le m³. La majorité des blocs tourne autour de 60-80x40x60x20-40. De plus, les faces des blocs ne présentent pas de direction préférentielle nette comme le montre la représentation stéréographique des pôles des diaclases et le stéréogramme de densité (planche H.T.5).

La désorganisation de la fracturation et sa forte densité nous font rejeter ce secteur car impropre à l'exploitation de blocs de granite importante (de l'ordre de 3 m³ minimum).

2. Le secteur des Gouttes-Roches Margot

Photo interprétation

La dispersion des fractures probables est beaucoup moins importante que précédemment (planche H.T.6 superposable à H.T.2). L'étude sur

la répartition directionnelle de ces failles (planche H.T.7) montre bien qu'il y a prépondérance nette de deux familles : l'une à N30°E (avec ses satellites entre N10 et N50) et l'autre à N140°E (et ses satellites à N130 et N150). Enfin, une famille de peu d'importance à N100°E.

Observation sur le terrain

De nombreuses carrières ont été ouvertes sur ce secteur dont une est actuellement en exploitation.

La fracturation est généralement beaucoup plus lâche que dans le secteur de Guiche de Vimont. Les blocs supérieurs au m3 sont abondants. Les diaclases se disposent suivant deux familles subverticales (planche H.T.8) : l'une allant de N20 à N60°E avec un maximum très net à N40°E, l'autre moins importante variant de N140 à N170°E. Enfin, notons une famille subhorizontale très probablement sous-estimée lors de l'observation ; en effet, il est évident que les observations sont d'autant plus nombreuses pour une direction que l'on voit bien dans la direction perpendiculaire, phénomènes qui désavantage considérablement les structures horizontales.

La qualité des affleurements et l'organisation de la fracturation nous ont amenés à choisir ce secteur pour une étude plus approfondie.

B. Etude approfondie du secteur des Gouttes-Roches Margot

Dans un premier temps, nous proposerons un modèle géomorphologique qui nous servira pour la cartographie en partant des observations sur différents fronts de carrière, et les limites de ce modèle.

Dans un deuxième temps, nous présenterons la carte géomorphologique du secteur et nous dégagerons les zones présumées favorables.

1. Modèle géomorphologique

Un certain nombre de fronts de carrière (petites carrières du Nord-Ouest des Gouttes, Carrière Alexandre) sont recoupés par des zones broyées. L'observation de ces zones broyées, de la répartition et de la grosseur des boules, de la progression de l'altération nous amène à proposer le modèle géomorphologique suivant (planches H.T.9 et H.T.10).

1er stade :

Les contraintes régionales fracturent le massif provoquant l'apparition de zones fortement broyées et de diaclases.

2ème stade :

L'altération par circulation d'eau météorique progresse par les diaclases et les zones broyées, amenant la formation de boules et d'arène. Plus en profondeur, les circulations d'eau deviennent moins importantes et le granite devient moins altéré, plus massif. Il faut remarquer, de plus, que s'il y a une pente morphologique, la zone broyée arénisée va servir de drain permettant la progression de l'eau beaucoup plus en profondeur dans le compartiment inférieur, et donc augmenter d'autant l'altération.

3ème stade :

Les problèmes apparus au cours des sondages nous amènent à modifier les modèles précédemment émis. Il semble qu'il puisse y avoir des glis-

sements de la partie partiellement arénisée du compartiment supérieur sur la zone broyée et sur le compartiment inférieur. Dans ce cas, il devient très difficile sinon impossible de voir les zones broyées.

Sans pouvoir tenir compte de ce dernier phénomène, nous avons établi une cartographie morphologique du secteur "Les Gouttes-Roche Margot" au 1/25000ème (Cartes H.T.).

2. Cartographie géomorphologique

Nous avons distingué deux secteurs (carte H.T.1.).

- Les "Gouttes" : situé au Nord de la carrière actuellement en exploitation, il comprend en outre la carrière Alexandre.
- "Roches Margot" : Ce secteur comprend l'actuelle exploitation et la carrière des "Roches Margot".

Le secteur des "Gouttes" présente une forte arénisation. Les zones à boules affleurantes sont de faible dimension. Les boules sont de diamètre réduit (de l'ordre du mètre) ; de plus la pente est généralement assez faible, et il faut noter la présence de tranchées et d'ouvrages fortifiés datant de la première guerre mondiale. Ce secteur nous semble donc peu favorable à l'implantation d'une carrière.

Le secteur des "Roches Margot" a été délimité en deux sous-secteurs. Le secteur du sud du ruisseau, et celui au nord comprenant l'exploitation actuelle.

Le secteur Sud, comprenant la carrière des "Roches Margot" est assez restreint, d'une part à cause de la zone broyée N40E ayant donné le ruisseau, d'autre part à cause de la faille N150E passant à une centaine de mètres à l'ouest du front de la carrière. Seule, une extension de celle-ci pourrait s'avérer faisable.

Le secteur nord présente deux zones d'assez grande extension, riches en boules, pouvant atteindre plusieurs dizaines de m³. C'est à cet endroit que nous avons vu les plus grosses de la région. De plus, la majorité de ses boules est de couleur "rouge corail", nuance qui est la plus recherchée par les granitiers. Une faille N150E sépare ces deux zones favorables.

Plus au Nord, les compartiments sont beaucoup plus petits et probablement plus broyés comme le montre le front de la carrière actuellement exploitée.

L'ensemble de ces critères nous a amené à définir un secteur favorable pour l'exploitation géophysique (carte H.T.2), situé au S.W. de la carrière exploitée.

3. Position des Kersantites

A NICOLAS (1959) a carté trois filons de Kersantite dans la région des Gouttes-Roches Margot. Nous n'avons pas retrouvé à l'affleurement ces filons, mais seulement des pierres volantes de Kersantite, rendant la cartographie pratiquement impossible.

Deux zones semblent en être abondamment garnies (carte H.T.1) :

- La première où une vingtaine de mètres à l'Ouest de l'entrée du chemin d'accès aux carrières ;
- L'autre au dessus de la carrière des Roches-Margot.

VI. CONCLUSIONS GENERALES

L'étude pétrographique et géochimique a permis de préciser l'origine des différences de teinte pour les variétés Rouge Corail et Feuille Morte du Granite de Senones. Une hypothèse raisonnable permet de supposer par ailleurs que la variété Rouge Corail est liée à un enrichissement en minéraux ferro-magnésiens foncés. De tels enrichissements sont souvent liés à une organisation dont l'étude sur le terrain permet de prévoir leur répartition. Malheureusement, en l'état actuel de nos connaissances, et compte tenu des moyens à notre disposition dans le cadre de ce travail, l'examen du "faciès magmatique" du granite de Senones dans le secteur retenu des Gouttes-Roches Margot n'a pas apporté d'éléments déterminants.

L'absence de "fabrique magmatique" visible à l'oeil nu et l'ignorance dans laquelle nous sommes de l'organisation des diverses variétés à l'échelle du massif (au plan des relations magmatiques et au plan des relations spatiales), nous interdisent des conclusions précises, notamment en ce qui concerne :

- La distribution et l'abondance des enclaves (sauf dans les zones de bordure du massif où elles sont abondantes)
- Les zones favorables à l'obtention soit de "Rouge Corail", soit de "Feuille Morte".

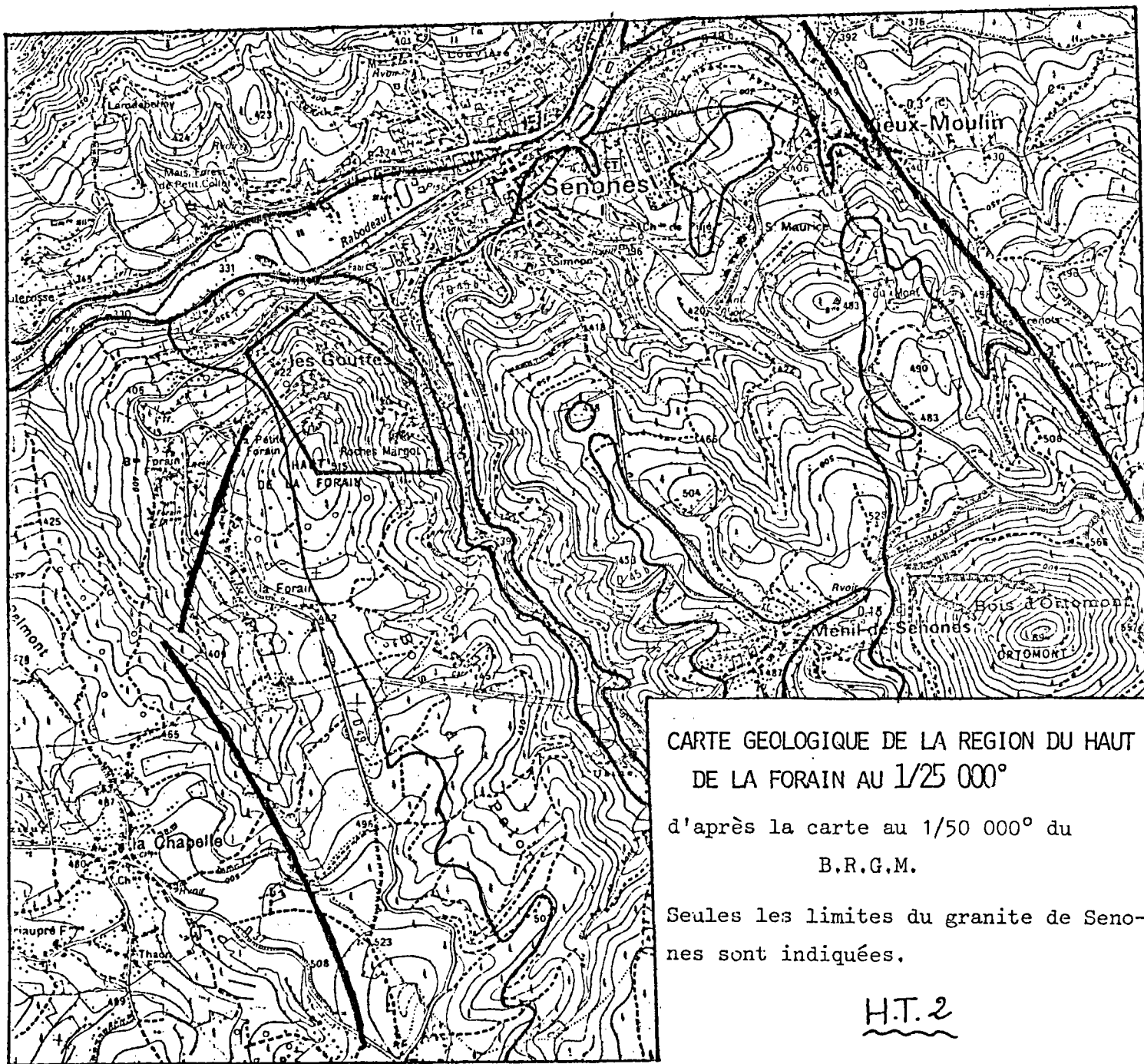
Enfin, une exploration complète du massif du granite de Senones pour en étudier la répartition des variétés (donc le faciès magmatique : organisation, enclaves,...etc....) serait peut être disproportionnée avec l'objectif à atteindre d'autant plus qu'elle nécessiterait une étude microscopique importante.

CHOIX BIBLIOGRAPHIQUE

- GAGNY Cl., 1968 - Pétrogénèse du Granite des Crêtes (Vosges méridionales France)
Thèse d'Etat, Univ.Nantes, 546 p.
- GAGNY Cl. 1976 - Carte géologique de la France à 1/50 000ème
Feuille de MUNSTER
- N'SIFA - N'KONGUIN E. 1978 - Pétrologie Structurale du Granite Crêtes dans la région du Col de Grosse Pierre (La Bresse, Vosges Méridionales, France).
Thèse 3ème cycle, Univ. NANCY I, 210 p. + annexes
- BLANCHARD J.Ph. - BOYER P. -GAGNY Cl. , 1977 - Réflexions sur des critères de sens de mise en place dans une caisse filonienne.
C.R.Acad.Sci.Paris, t.284, série D, p.2071-1074, 4 fig.
- BLANCHARD J.Ph. - GAGNY Cl. - LAURENT J. 1978 - Le mécanisme de décantation et ses implications géologiques ; différenciation continue et litage (layering) magmatiques, planchers visqueux.
C.R.Acad.Sci. Paris, t.287, série D, p.775-778
- BLANCHARD J. Ph., 1978 - Dynamique magmatique du granite porphyroïde des Ballons (Vosges méridionales) : "Fluidalités planaires imbriquées" et "couloirs magmatiques" - phénomène de percolation.
Bull.Soc.Géol. France, 1978, (7), t.XX, n°2, p.157-162
- BLANCHARD J.Ph. - GAGNY Cl. et N'SIFA E., 1978 - Etude pétrographique et géochimique d'un litage magmatique (layering) dans le granite des Crêtes (Vosges méridionales) ; différenciation par gravité dans ce litage et dans l'ensemble du massif.
103ème Congrès Nat. Soc. Savantes, Nancy, 1978, Sciences, fasc.IV, p.21-32.
- GAGNY Cl., 1978 - Vaugnérites et durbachites sont des cumulats de magma granitique ; l'exemple du magma des Crêtes, Vosges.
C.R.Acad.Sci.Paris, 1978, série D, t.287, p.1361-1364.
- BLANCHARD J.Ph., BOYER P., GAGNY Cl., 1979 - Un nouveau critère de sens de mise en place dans une caisse filonienne : "le pincement" des minéraux aux épontes.
Tectonophysics 1979, vol.53, p.1-25
- COTTARD F., 1979 - Pétrologie Structurale et métallogénie du complexe granitique de Lovios-Geres : le modèle de mise en place de la mine de Las Sombras (W-Sn-Mo-Bi) (Sud Galice, Espagne).
Thèse 3ème cycle, Univ.NANCY I, 280 p., 115 fig., 6 planches photo Hors Texte (décembre 1979).

VII. CHOIX BIBLIOGRAPHIQUE

- THOMAS A. (1978) - Relance de l'Industrie d'extraction des Granites dans le Département des Vosges : Recherche de Pierres ornementales - Département des Vosges - 2ème phase.
Rapport B.R.G.M. 2ème phase - réf.78 SGN 546 LOR. inédit
- NICOLAS A. (1960) - Etude pétrographique de la région de Raon l'Etape Senones (Vosges).
Thèse 3ème cycle - Univ.Paris - 84 p. 3 pl.Photo-1 carte HT
- JEREMINE E. (1937) - Roches éruptives et métamorphiques sur la feuille de Lunéville.
Bulletin Carte géologique de France - n° 194 p.46-50
- VINCENT P.L. (1977) - Relance de l'Industrie d'extraction des granites dans le département des Vosges. Recherches de pierres ornementales. 1er inventaire - Département des Vosges.
Rapport B.R.G.M. - réf.77 S.G.N. 488 LOR. inédit.
-



CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DU HAUT
DE LA FORAIN AU 1/25 000°

d'après la carte au 1/50 000° du
B.R.G.M.

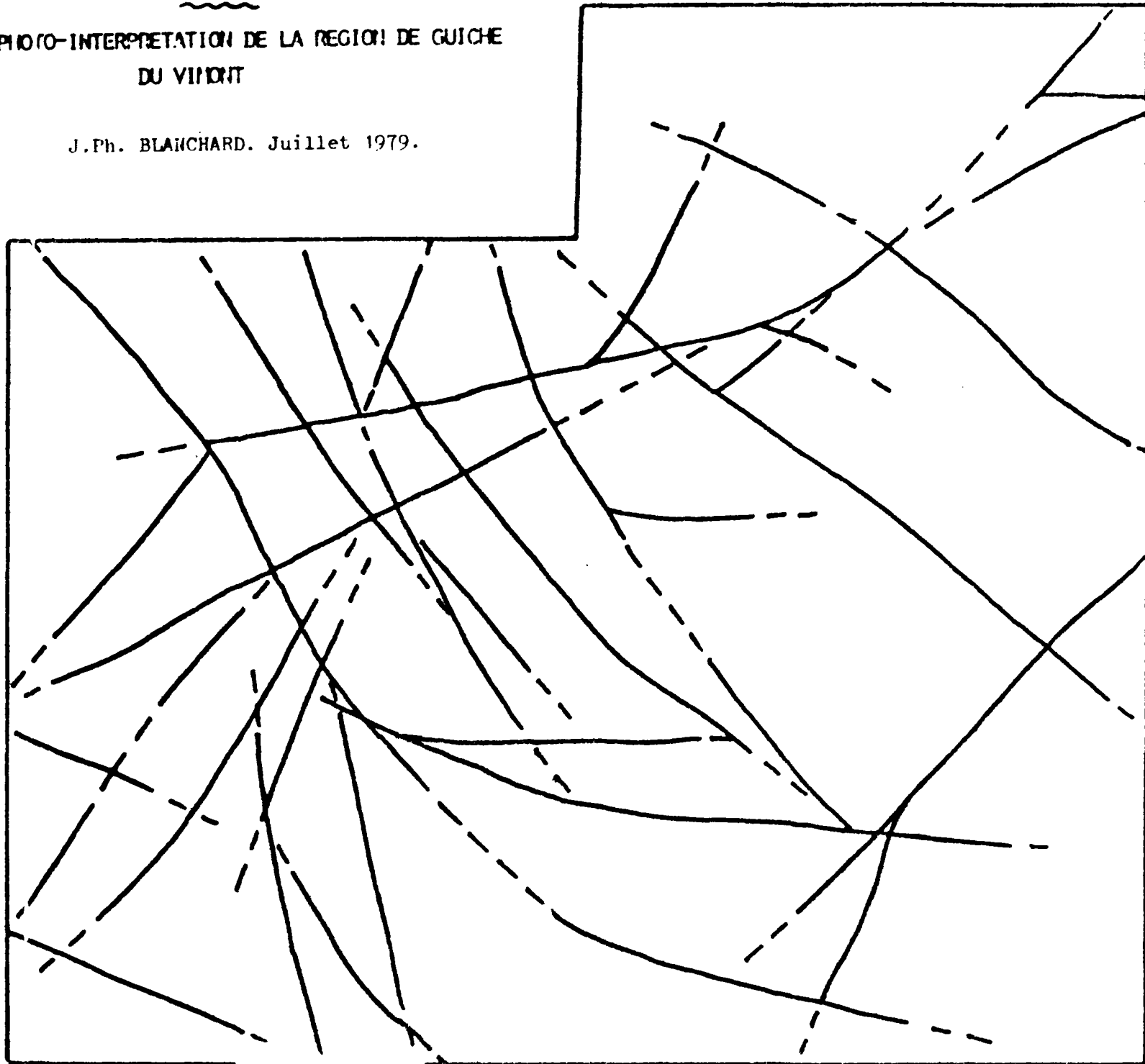
Seules les limites du granite de Senones sont indiquées.

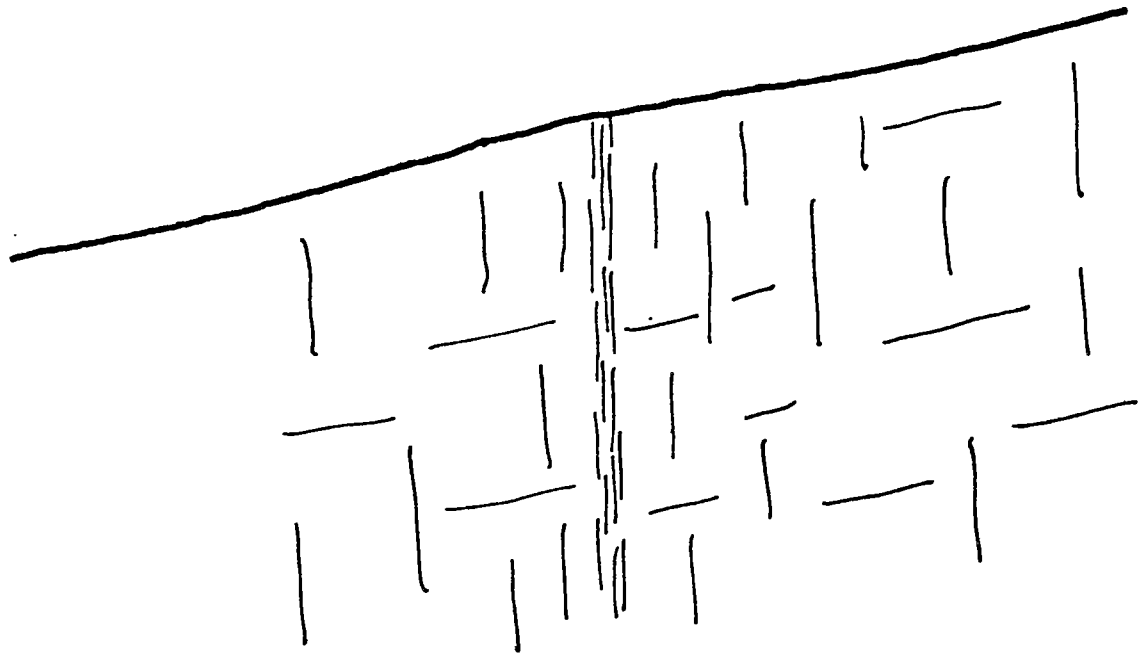
H.T. 2

H.T. 3

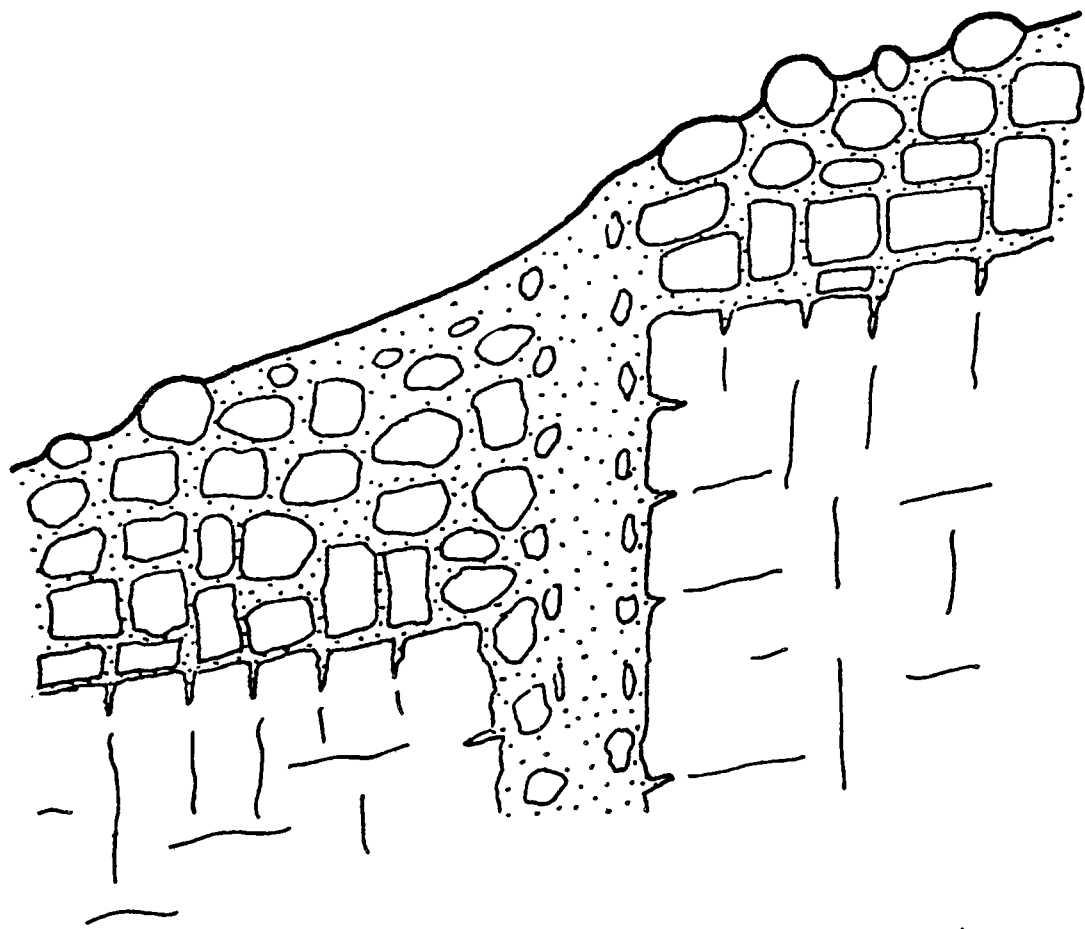
PHOTO-INTERPRETATION DE LA REGION DE GUICHE
DU VIINDIT

J.Ph. BLANCHARD. Juillet 1979.



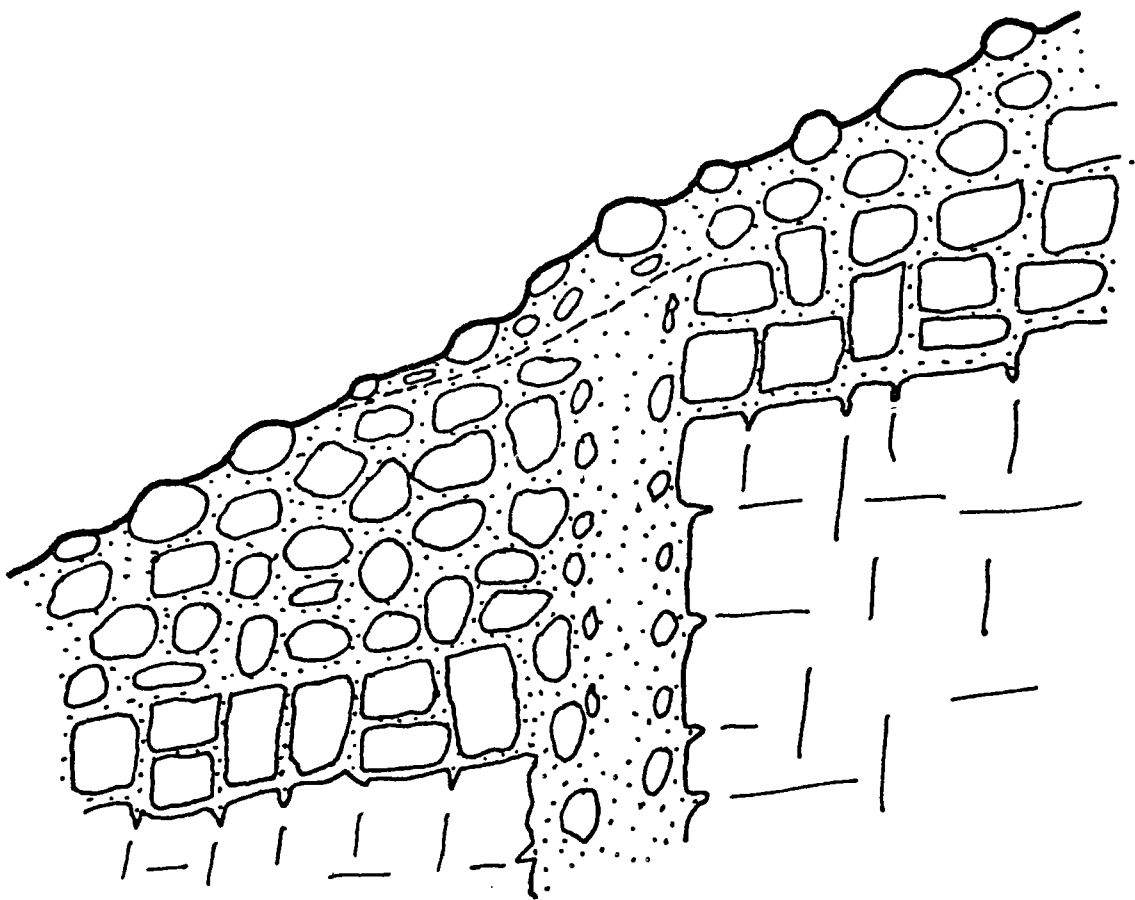


Stade 1: Fracturation



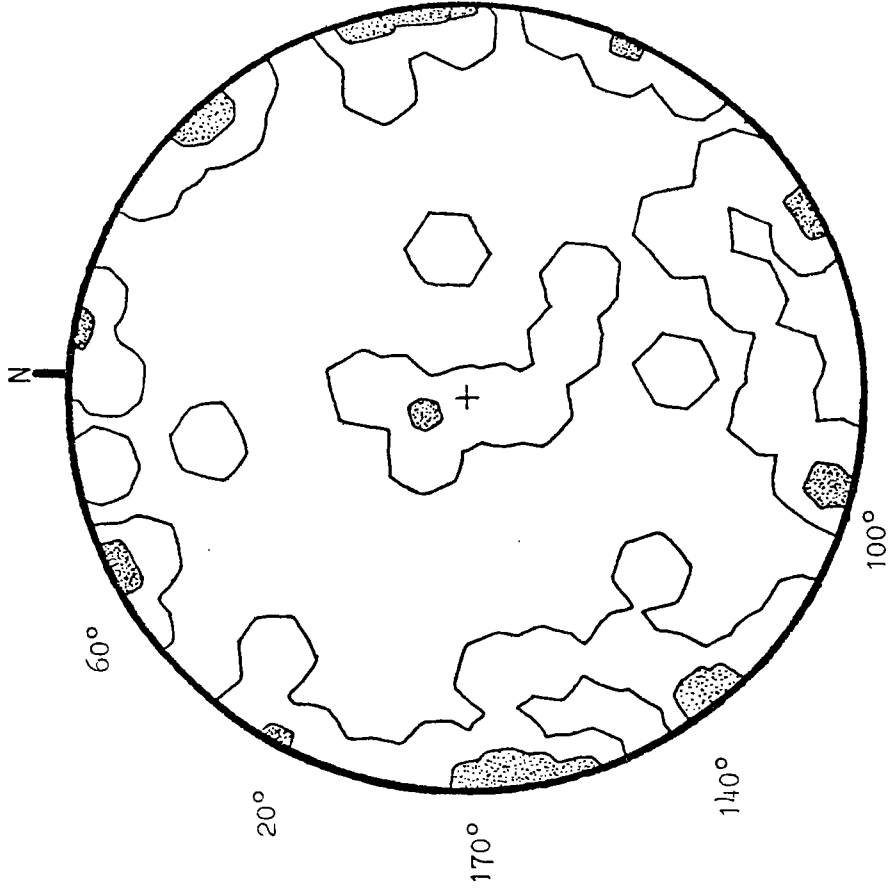
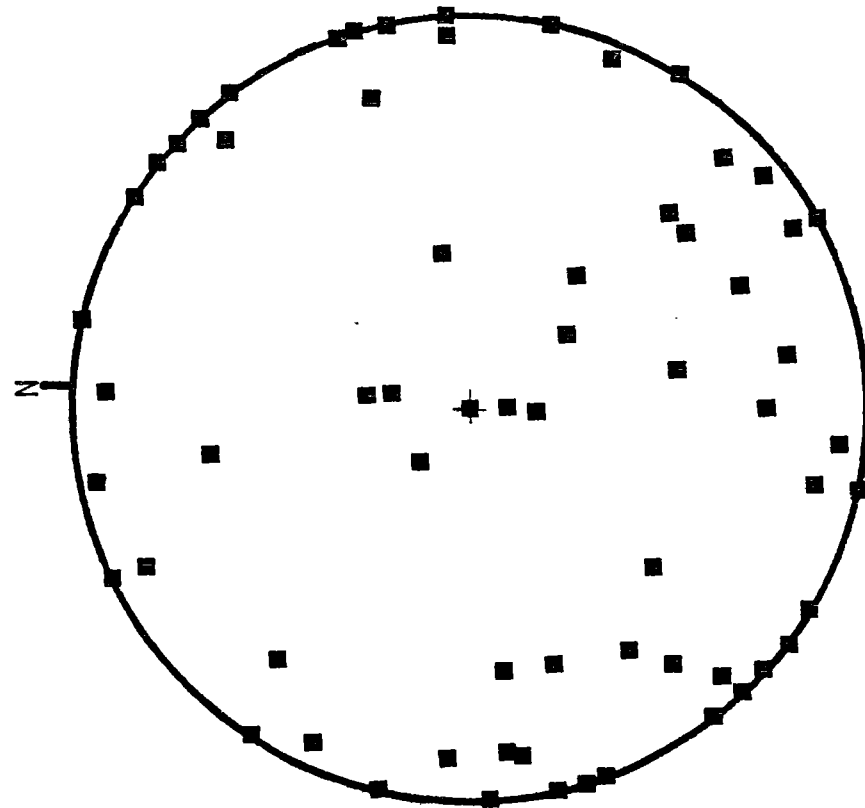
Stade 2 Arénisation et formation des boules.

H.T. 90



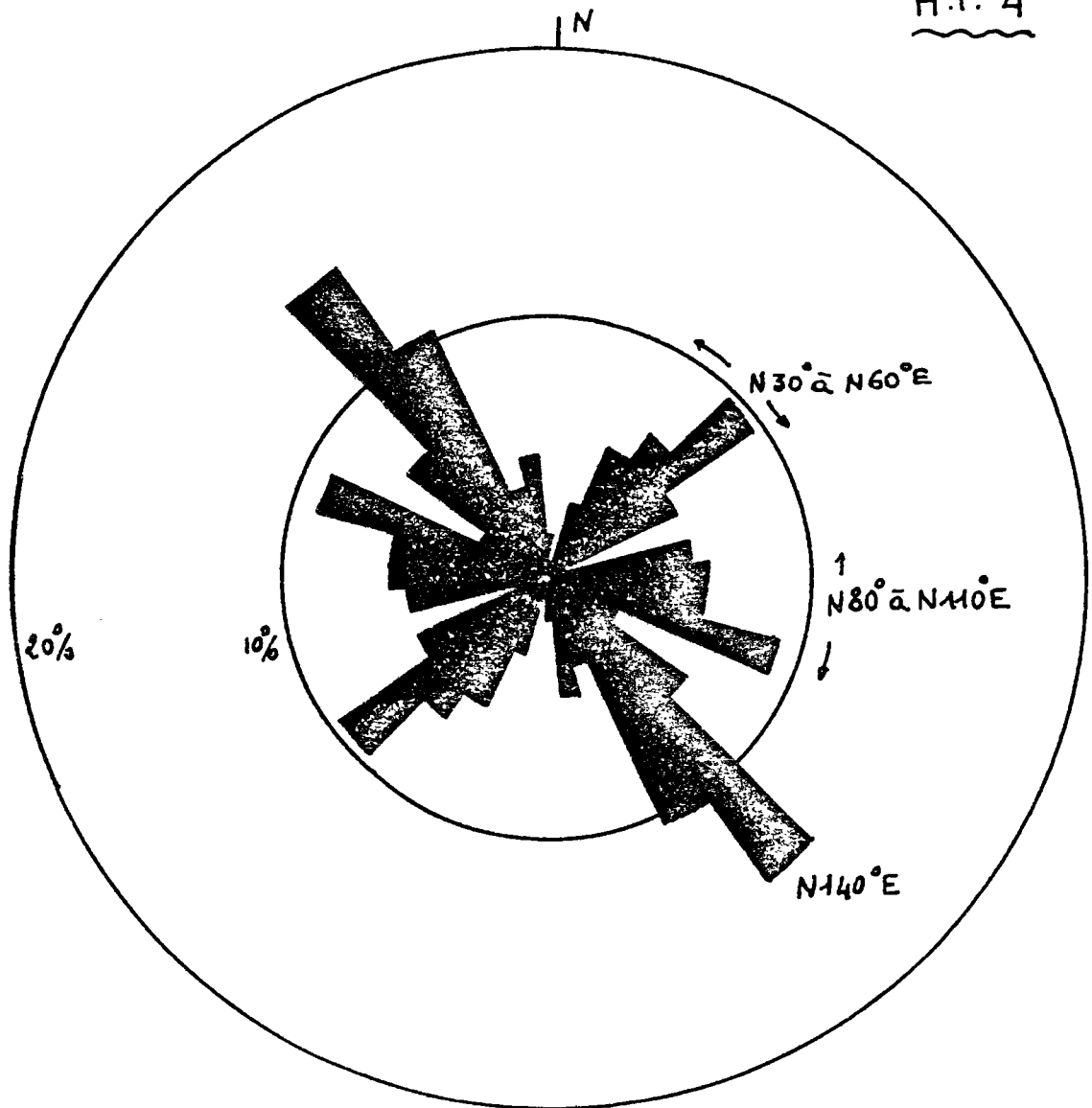
Stade 3: Oblitération de la zone broyée par glissement de terrain.

H.T. 5



Report sur canevas de Schmidt des diaclasses affectant le Granite de Senones dans la région de la Guiche du Vimont. Hémisphère inférieur, comptage sur une calotte représentant 1% de l'hémisphère. 54 mesures.

H.T. 4



Analyse directionnelle de l'interprétation
photoaérienne par la méthode des longueurs
cumulées. Secteur de Guiche de Vimout

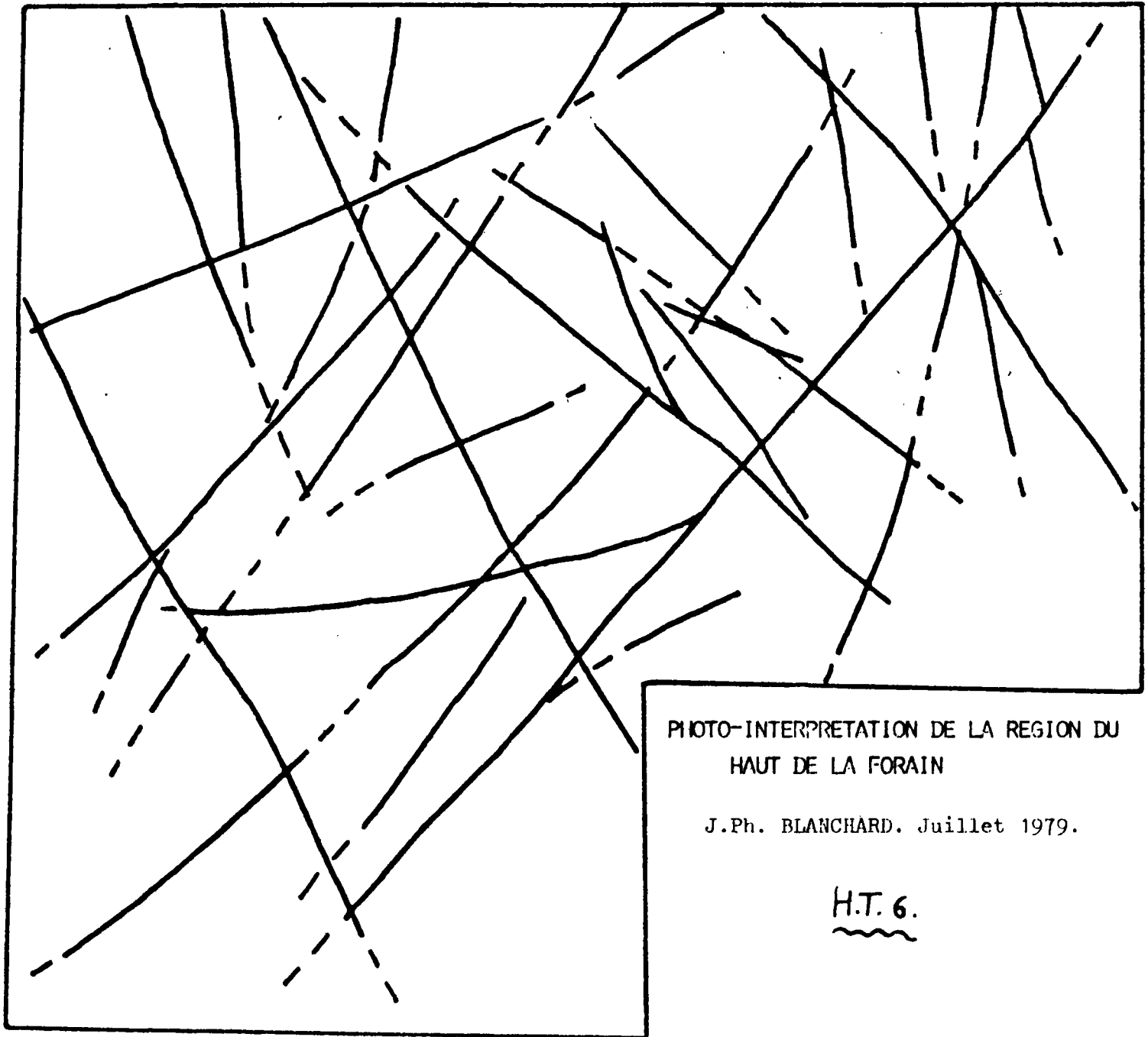
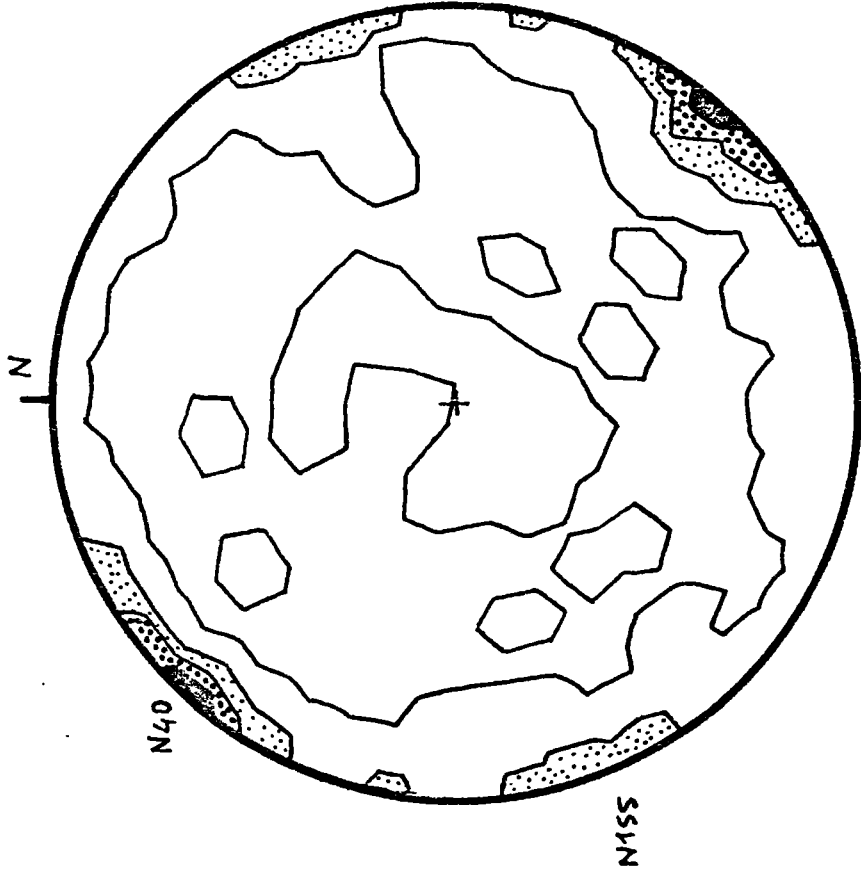
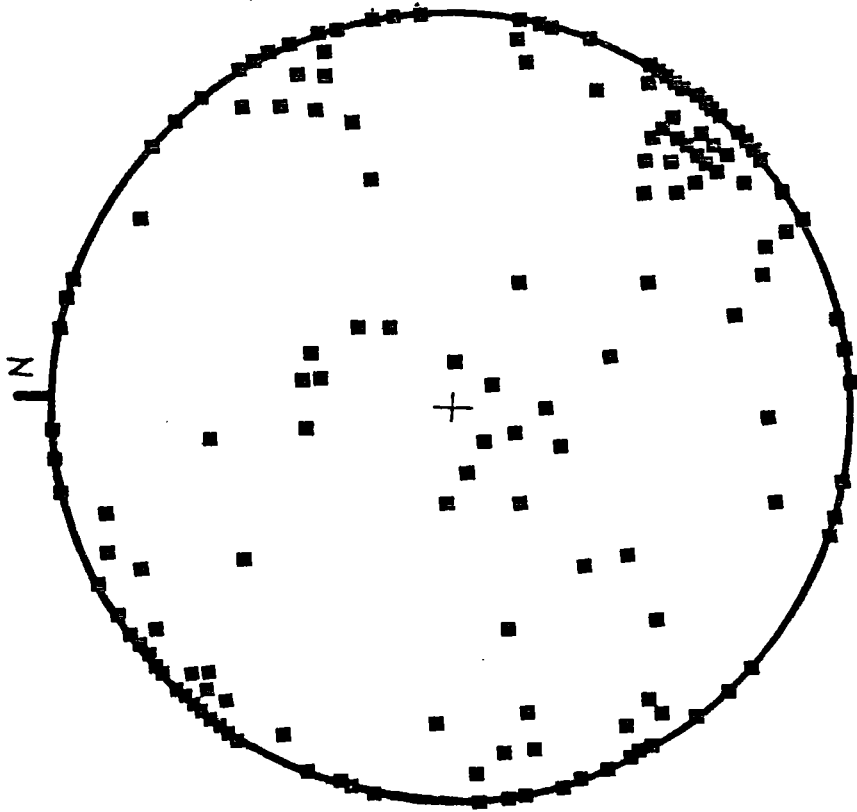


PHOTO-INTERPRETATION DE LA REGION DU
HAUT DE LA FORAIN

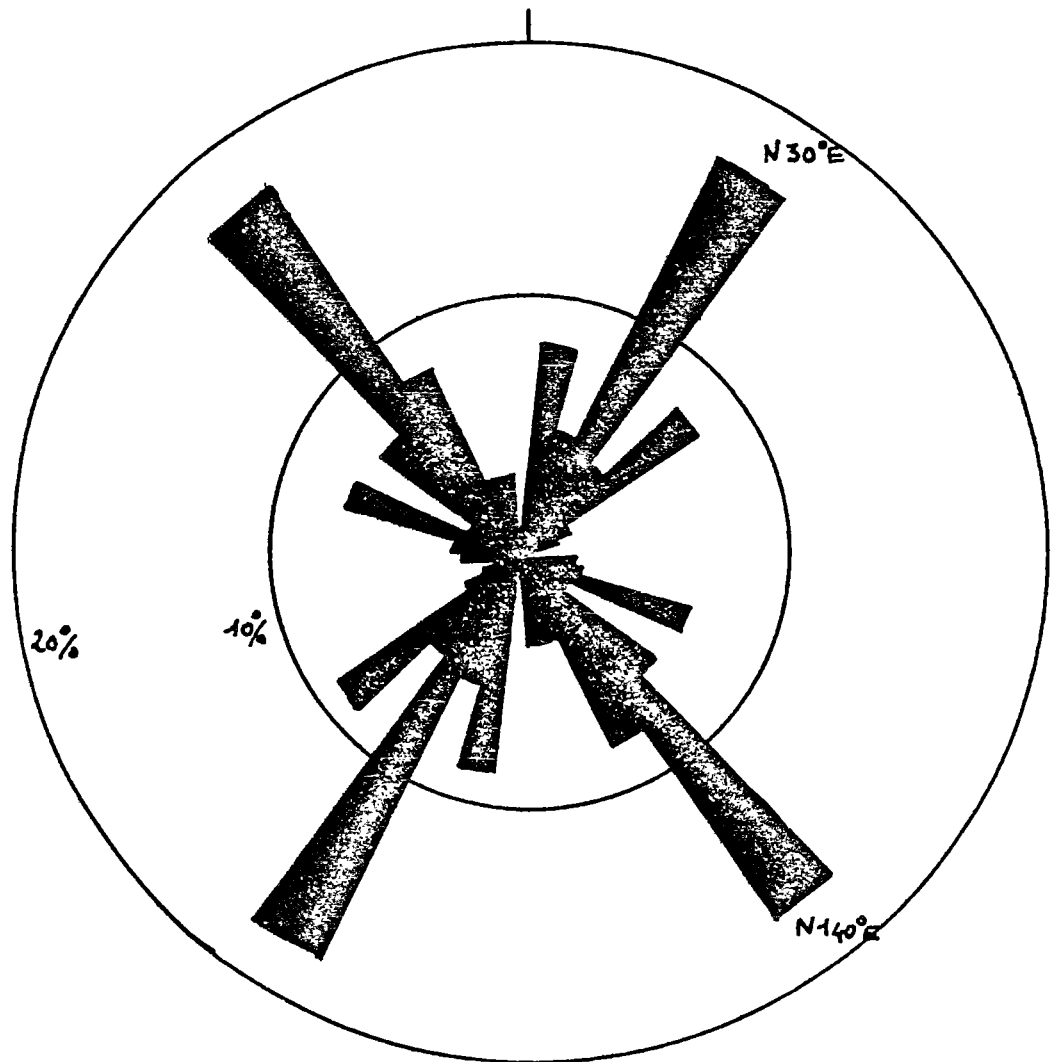
J.Ph. BLANCHARD. Juillet 1979.

H.T. 6.

H.T. 8



Fracturation dans le secteur "Les Gouttes - Roches Margot".
Hémisphère inférieur. 128 Mesures.



Analyse directionnelle de l'interprétation photo-aérienne par la méthode des longueurs cumulées. Secteur des "Gouttes - Roche Margot"

UNIVERSITÉ DE NANCY I
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE RÉGIONALE
Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél. (8) 328.93.93
Postes · 27.26 et 27.30

Destinataire :

B.R.G.M. LORRAINE

- *PÉTROLOGIE STRUCTURALE* -

RAPPORT : Etude du "Faciès Magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Senones

Fascicule 3 : INTRODUCTION à la PETROLOGIE STRUCTURALE
appliquée à un massif de Granite :
L'exemple du Granite des Crêtes
(annexe aux fascicules 1 et 2 du rapport)

Cl. GAGNY
Professeur à l'Université de NANCY I

Février 1980

UNIVERSITE DE NANCY I
LABORATOIRE DE GÉOLOGIE RÉGIONALE
Case Officielle 140
54037 NANCY CEDEX
Tél. (8) 328.93.93
Postes : 27.26 et 27.30

III 1
Destinataire :
B.R.G.M. LORRAINE

- *PÉTROLOGIE STRUCTURALE* -

RAPPORT : Etude du "Faciès Magmatique" sur deux sites :
Granite des Crêtes et Granite de Senones

Fascicule 3 : INTRODUCTION à la PETROLOGIE STRUCTURALE
appliquée à un massif de Granite :
L'exemple du Granite des Crêtes
(annexe aux fascicules 1 et 2 du rapport)

Cl. GAGNY
Professeur à l'Université de NANCY I

Février 1980

Note : Ce fascicule n° 3 du rapport est un exposé très schématique et simplifié d'un axe de la recherche fondamentale réalisée dans le cadre du Laboratoire de Géologie Régionale - Pétrologie Structurale. Il sert d'introduction à la connaissance du vocabulaire, des concepts,... qui sont utilisés dans le reste du rapport. Son contenu doit être repris en publication scientifique.

Travaux du Laboratoire de Géologie Régionale - Pétrologie Structurale
Série Documentation - Année Uni. 1980 - fascicule n° 1

P L A N

I. INTRODUCTION

Le "faciès magmatique"

- fabrique magmatique
- fabrique thermique
- fabrique diastrophique

Organisation magmatique et accidents magmatiques

II. ORIGINE et HISTOIRE AVANT LA MISE EN PLACE

A. Origine du magma granitique ?

B. Données physiques élémentaires sur un magma

1. Données sur la densité
2. Données sur la viscosité

C. Phénomènes de différenciation par gravité (décantation)

1. Ordre de cristallisation et décantation.
2. Modalités de cette décantation.
3. Phénomène de décantation et variétés du Granite des Crêtes
4. Organisation des litages au cours de la décantation
5. Conclusion

III. MISE EN PLACE D'UN MAGMA GRANITIQUE

IV. LA FABRIQUE MAGMATIQUE. ETUDE DE L'ORGANISATION MAGMATIQUE ACQUISE AU COURS DE LA MISE EN PLACE DU GRANITE

A. Fluidalité planaire et fluidalité linéaire:organisation par écoulement

B. Différenciation et répartition des variétés.

1. Différenciation à l'intérieur du Massif
2. Différenciation aux limites du Massif

C. Etude des "Accidents magmatiques"

1. Les "horizons lités"
2. Les zones d'alimentation
3. Les flammes et les septas
4. Les colonnes feldspathiques
5. Les enclaves
6. Les filons

V. LA FABRIQUE THERMIQUE : étude des joints de fin de cristallisation

A. Les joints de fin de cristallisation (contraction thermique du Granite)

B. Exemple du Granite des Crêtes, au Sud du col de Grosse Pierre.

1. Le système de joints de fin de cristallisation
2. Chronologie et organisation des filons disposés dans les joints de fin de cristallisation.

VI. LA FABRIQUE DIASTROPHIQUE et le problème des fluidalités imbriquées

- A. Introduction
- B. Plissement
- C. Fluidalités Imbriquées
- D. Conclusion

VII. FRACTURATION ULTERIEURE : le champ de fractures

VIII. CONCLUSION

I. INTRODUCTION

L'organisation interne d'un massif de Granite est la conséquence d'une histoire souvent très longue (des millions d'années pour la phase magmatique) et à rebondissements. Pour simplifier, évoquons plusieurs phases successives mais qui souvent peuvent se télescoper.

- Le granite se trouve à l'état d'un magma liquide à grande profondeur. Il peut être localisé dans une "chambre magmatique" située dans un encaissant à température plus basse que la sienne. La cristallisation des minéraux va commencer selon un ordre de cristallisation, fonction de nombreux paramètres ; une première organisation va s'ébaucher (en effet, les minéraux formés souvent ferro-magnésiens, donc foncés ont une densité supérieure au magma et se décantent vers le fond).

- Ensuite, le magma granitique (minéraux déjà cristallisés baignant dans le liquide appelé magma résiduel) va monter vers le haut ou il s'intrudera dans un encaissant plus froid. Cette montée se réalise surtout par pression d'intrusion ascendante selon le principe d'Archimède. Dans le cas du granite, le magma n'atteindra pas la surface (sinon ce serait un volcanisme rhyolitique), mais il se mettra en place en profondeur et y finira sa cristallisation dans son gisement. On peut parler aussi de consolidation pour désigner l'évolution du matériau dans son ensemble. Schématiquement, on peut aussi évoquer la "prise du plâtre" pour imaginer l'évolution du comportement du magma (on parle de comportement rhéologique).

Au cours de cette mise en place et de cette fin de cristallisation, le "granite" acquiera une organisation magmatique interne définitive à différentes échelles : ce sera la fabrique magmatique.

- Le refroidissement du massif dans un encaissant plus froid s'accompagne d'une contraction thermique importante qui provoque la création d'un système de joints de fin de cristallisation. Dans le cas le plus général, c'est un système de trois familles de diaclases. Ce sera la fabrique thermique.

Comme la cristallisation s'accompagne aussi d'une "contraction", mais avec dégagement de chaleur (cristallisation exothermique ; comme lorsque le plâtre est en train de cristalliser), le phénomène général d'ouverture des joints est assez précoce et complexe. Dès l'ouverture, ces joints peuvent être remplis par du magma résiduel pour donner notamment des filons d'aplite.

- Si lors de la mise en place et de la cristallisation dans le gisement définitif, une contrainte tectonique est imposée à l'encaissant du magma, ce dernier enregistre en déformation cette contrainte diastrophique selon des modalités en rapport avec ses caractéristiques rhéologiques propres au moment considéré. Le granite acquiert là, une fabrique diastrophique.

Certe, cette contrainte peut être due à une tectonique (un diastrophisme) qui affecte l'encaissant et dont le granite ne subit que le contrecoup. Mais, il faut aussi considérer que le magma déjà en place peut être "bourré" par la suite de l'intrusion et encaisser ainsi une fabrique diastrophique. Discerner entre "la cause exté-

rieure" et la "cause intérieure" sera délicat. Mais, le résultat sera de toute façon une complication de l'organisation magmatique interne du Granite.

- Ultérieurement, après sa consolidation, le massif de granite pourra subir des contraintes tectoniques qui le fractureront et feront "jouer" les blocs entre eux. Ces contraintes feront rejouer les joints de fin de cristallisation et/ou créeront de nouvelles fractures. Il sera ainsi mis en place un champ de fracture dans le massif granitique, champ que le géologue structuraliste étudiera.

Le spécialiste de Pétrologie Structurale n'étudiera (ou ne tiendra compte de) ce champ de fractures que pour effacer les conséquences de la tectonique post-phase magmatique, afin de retrouver le faciès magmatique "initial".

Il étudiera alors la trilogie : Fabrique magmatique-Fabrique thermique-Fabrique diastrophique ; son objectif est de décrire et comprendre l'organisation magmatique qui rend compte de la cinématique et de la dynamique de mise en place. Enfin, une bonne connaissance de cela peut conduire à la compréhension et à la prévision des "accidents magmatiques" (enclaves, schlieren,...)

Cette démarche intellectuelle (méthode de travail) appliquée sur un massif de granite revêt actuellement un certain caractère de nouveauté. Il convient de souligner que cet axe de recherche fondamentale a des applications importantes en Géologie Appliquée. Nous l'utilisons avec succès depuis 4 ans sur des gisements étain-tungstène-molybdène en Galice (Espagne). Comme pour toute méthode, elle doit être utilisée en relation avec d'autres dans le cadre d'une recherche appliquée.

II. ORIGINE et HISTOIRE AVANT LA MISE EN PLACE

A. Origine du magma granitique ?

L'origine du magma granitique reste toujours un problème délicat à préciser. Soit il est issu de la croûte terrestre par fusion en profondeur des roches métamorphiques et plutoniques, soit il provient de plus profond par différenciation à partir d'un magma plus basique de composition basaltique.

Pour le Granite des Crêtes, l'essentiel est de préciser qu'il provient d'un magma qui était totalement liquide et se situait en profondeur, à plusieurs dizaines de kilomètres. Là, le magma était dans une "chambre magmatique" et il commençait à cristalliser par chute de température ambiante. Cette baisse de température s'effectuait très très doucement de 1100° à 600° ou 700°C.

B. Données physiques élémentaires sur un magma :
l'exemple du granite des Crêtes

1. Données sur la densité des matériaux

- Densités des minéraux mesurées à 20°C (ces densités sont légèrement plus faibles à haute température).

Pyroxène = 3.27
 Biotite = 2.96
 Amphibole = 3.09
 Orthose = 2.56
 Plagioclase = 2.66
 Ensemble du Granite (moyenne) = 2.70

- Densités calculées des magmas

Magma liquide avant toute cristallisation2.24
 (à 1050°C et 8 km de profondeur)
 Magma résiduel avec pyroxène2.32
 Magma résiduel avec pyroxène et biotite 2.37
 Magma résiduel avec biotite et amphibole 2.38
 Magma résiduel avec Bi, Amphibole et 10 % feldspath 2.40

2. Données sur la viscosité des magmas

La viscosité est une notion que l'on peut acquérir en utilisant différents types d'huile de moteur. Il suffit de comparer la viscosité d'une huile à faible viscosité (pour moteur de voiture) avec celle d'une huile de forte viscosité (pour moteur de camion).

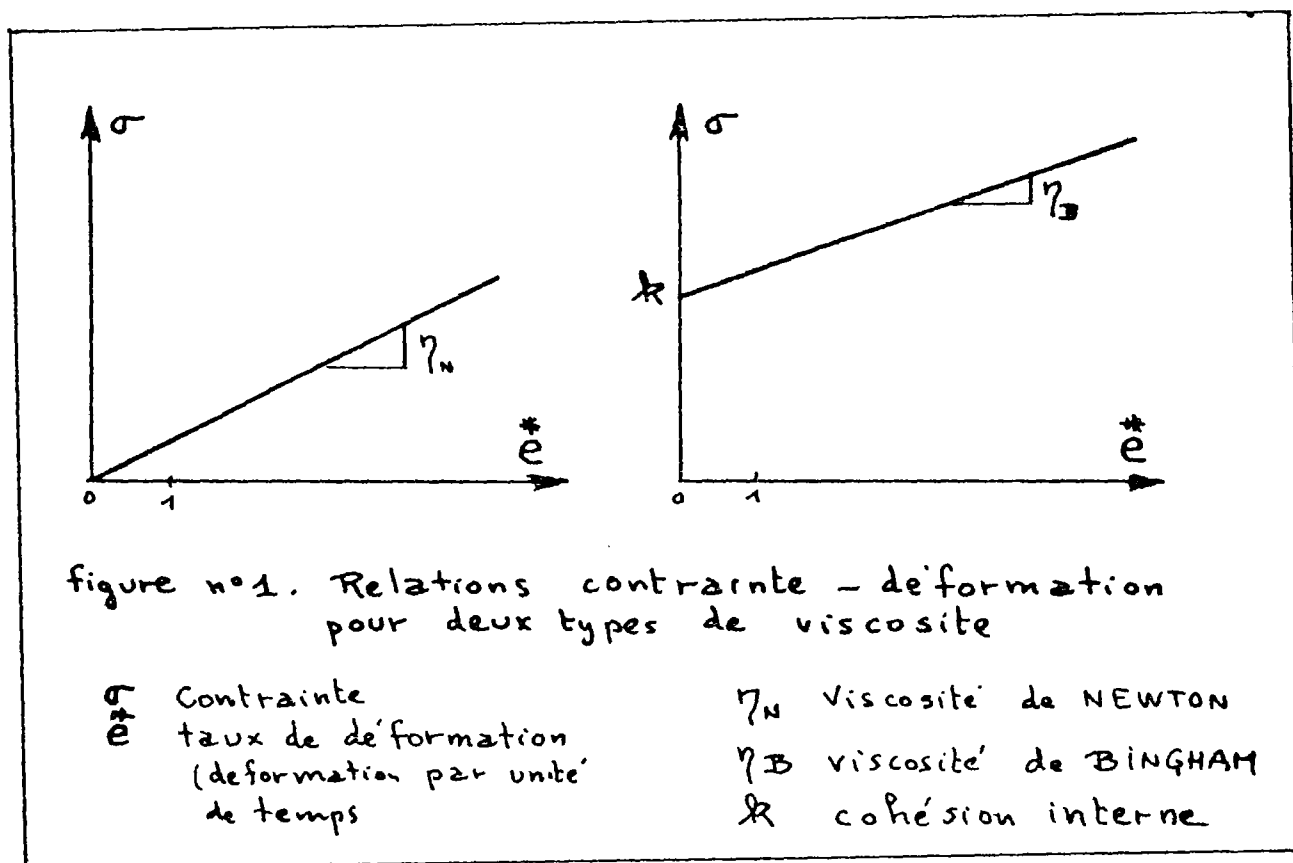
Autre exemple : à 20°C, l'eau à une viscosité (en poises) de 1/1000 (elle s'écoule facilement) la glycérine de 1 (elle s'écoule difficilement). On peut estimer la viscosité du magma des Crêtes à la température de 1000°C à 1000 poises (10^3), soit 1000 fois celle de la glycérine. Mais, lorsque le pyroxène est formé, la viscosité atteint 10^4 poises ; lorsque pyroxène et biotite sont formés, elle atteint 10^6 poises.

Une forte viscosité rend l'écoulement plus difficile et surtout rend la décantation des minéraux très lente, voire impossible.

Viscosité de Newton et viscosité de Bingham.

Nous avons considéré que le magma avait une viscosité de type Newton. C'est-à-dire que rien ne s'opposait soit à son écoulement dès qu'il était sollicité pour cela, soit à la décantation d'une particule solide (minéral) même très petite en son sein. Dans ce dernier cas, dès qu'il y a une légère différence de densité entre cristal déjà formé et magma, moins dense, le cristal se décante inexorablement, même à vitesse extrêmement lente si la viscosité est élevée (chute selon loi de STOKES).

En d'autres termes, son comportement rhéologique est tel que dès qu'il y a contrainte σ , il y a déformation e et qu'une relation linéaire existe entre la contrainte σ et le taux de déformation par unité de temps e^* . La pente de la droite représente le coefficient de viscosité de Newton η_N (voir figure n° 1).



Mais, le magma tend à acquérir un comportement rhéologique différent avec une viscosité de type Bingham. Dans ce cas, il a acquis une cohésion interne k . Tant que la sollicitation à l'écoulement n'est pas suffisante, il se conduit comme un solide. Après ce seuil ($\sigma = k$), il se conduit comme un liquide de Newton (cas précédent). Dans un magma à viscosité de Bingham, toute particule ne peut pas se décanter : si elle n'exerce pas une contrainte suffisante (trop petite et/ou pas assez dense), elle ne bouge pas.

En d'autres termes, le comportement rhéologique du magma est tel qu'il faut que la contrainte σ soit supérieure à une valeur k (cohésion interne) pour qu'il y ait déformation e . Alors, après ce seuil ($\sigma > k$), le corps a un comportement de type Newtonien analogue au cas précédent.

Cette notion simple est fondamentale pour expliquer certains faits géologiques concernant les granites : litages, fluidalités imbriquées, fentes de distension,...etc...

(notons enfin qu'il faudrait aussi évoquer le comportement rhéologique à viscosité pseudo-plastique pour être précis ; viscosité de Newton et viscosité de Bingham sont des cas extrêmes).

C. Phénomène de différenciation par gravité (décantation).

1. Ordre de cristallisation et décantation

Ordre de cristallisation: Dans le magma liquide au départ, en raison de la chute lente de la température, des cristaux apparaissent successivement selon un ordre de cristallisation. Cet ordre de cristallisation est rappelé pour le Granite des crêtes, sur la figure n°2.

Signalons de plus qu'un minéral présent à haute température (stable) peut être ultérieurement résorbé à plus basse température (instable, compte tenu aussi de la composition du magma résiduel).

Pour le granite des Crêtes, c'est le cas du Pyroxène qui a cristallisé à plus de 1000°C mais sera résorbé à plus basse température et "pris en relai" par la cristallisation de l'amphibole (actinote) vers 800°C (après la cristallisation indépendante de la biotite qui a été "compagnon" du Pyroxène au début de l'histoire de la cristallisation du magma.

Décantation : Dès que le pyroxène commence à cristalliser dans la chambre magmatique, il est soumis à la décantation. En effet, d'une densité de 3.27, il est dans un magma dont la densité est de l'ordre de 2.30. La viscosité du magma certes rend sa chute difficile (il ne tombe pas comme un grain de sable dans l'eau !).

On peut estimer sa vitesse de chute par un calcul très simple (loi de Stokes). Ainsi sa vitesse serait de l'ordre du mètre à quelques mètres par jour au plus.

Dès que la biotite se mettra à cristalliser, à température plus basse, elle participera à ce phénomène de décantation.

Ce phénomène est essentiel pour comprendre l'organisation du granite et ses "accidents". En effet, voyons les modalités et les conséquences de cette décantation.

2. Modalités de cette décantation

On a pu montrer, grâce à une modélisation du phénomène de décantation sur ordinateur,

PÉTROLOGIE STRUCTURALE. — *Le mécanisme de décantation et ses implications géologiques; différenciation continue et litage (layering) magmatiques.* Note (*) de **Jean-Philippe Blanchard, Claude Gagny et Jean Laurent**, transmise par M. Maurice Roques.

Le mécanisme général de formation d'un litage magmatique (layering) est géré par l'apparition de « planchers visqueux » au cours de la décantation gravitative des particules. L'organisation du litage est en relation avec la notion de « particules équivalentes ». Une modélisation générale est proposée.

PETROGENESE

DU GRANITE DES CRETES

Claude GAGNY

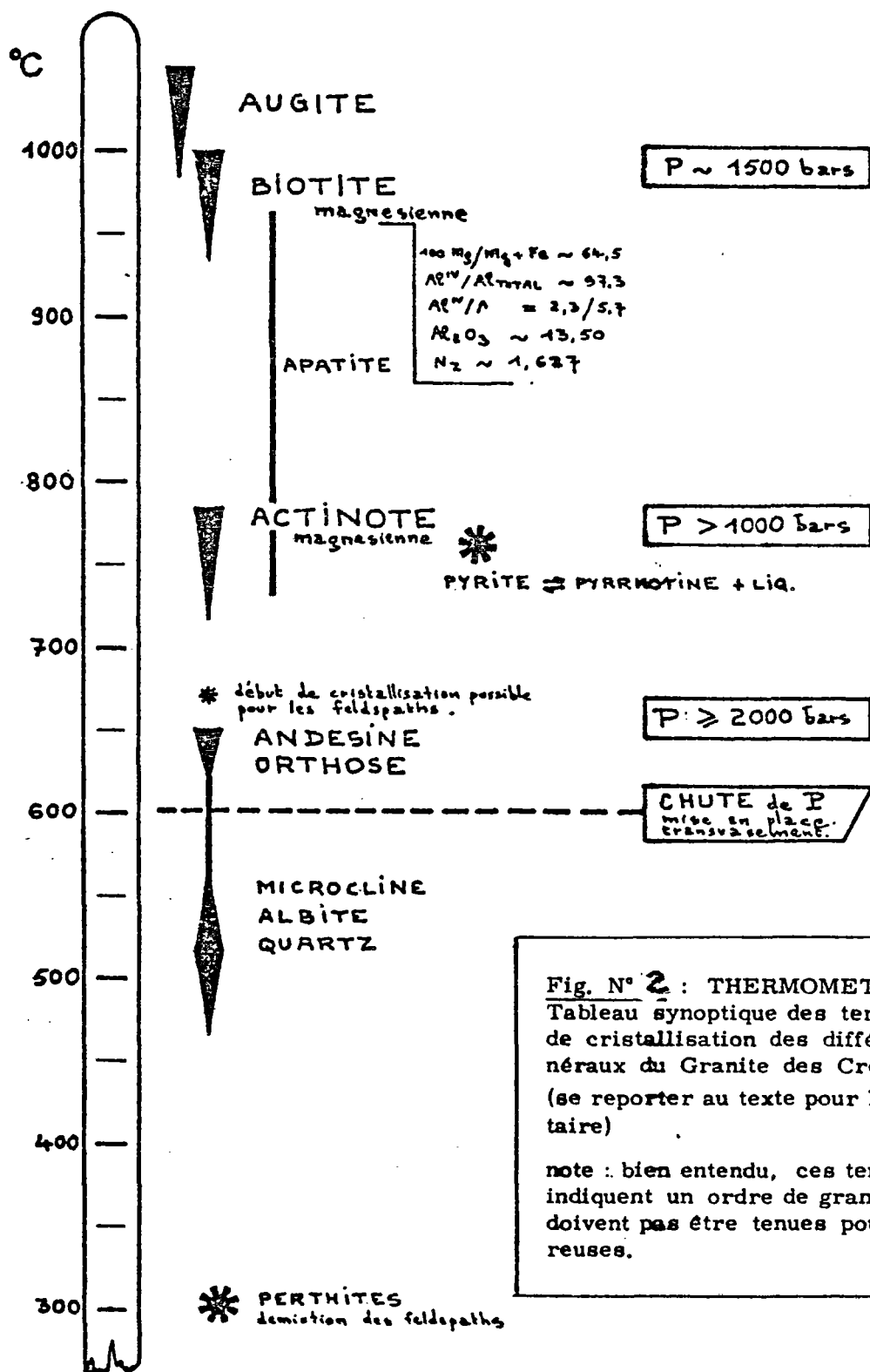


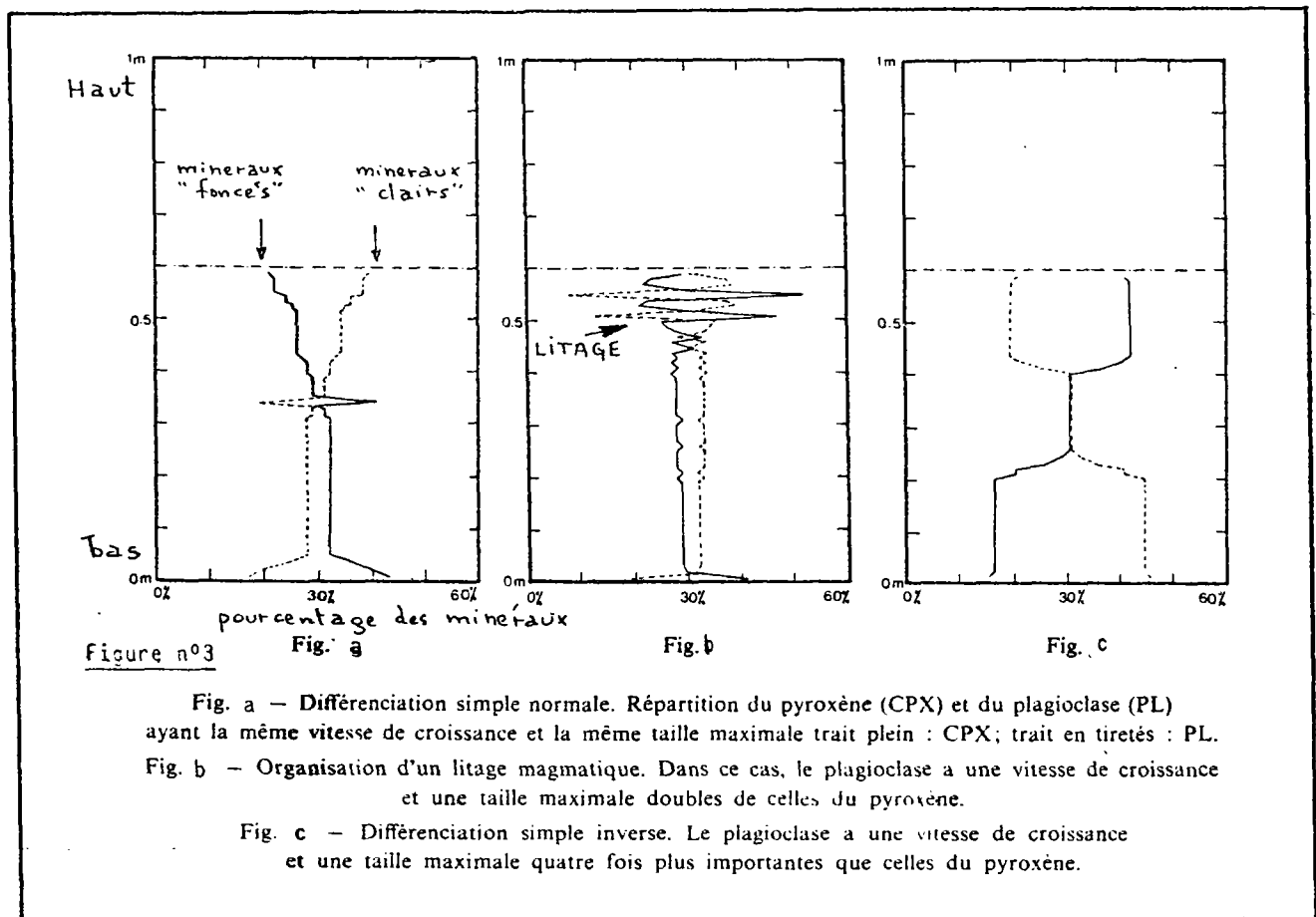
Fig. N° 2 : THERMOMETRIE -
Tableau synoptique des températures
de cristallisation des différents mi-
néraux du Granite des Crêtes.
(se reporter au texte pour le commen-
taire)

note : bien entendu, ces températures
indiquent un ordre de grandeur et ne
doivent pas être tenues pour rigou-
reuses.

que dans la chambre magmatique, on pouvait obtenir selon les conditions de cristallisation des minéraux :

Soit une variation continue des proportions relatives des différents minéraux. Les minéraux les plus denses (généralement les minéraux ferro-magnésiens de teinte foncée : pyroxène, biotite, amphibole...) sont dans le cas général plus abondant vers le bas de l'organisation magmatique. Formés les premiers, ils se rassemblent vers le bas par décantation (cf. figure 3a le cas de la figure 3c est exceptionnel mais connu dans la nature).

Soit l'acquisition d'un litage (cf. figure 3b). Dans ce cas, au cours de la décantation, il se produit une préorganisation du litage (par des variations transitoires d'abondance relative des différents minéraux : jeu des particules équivalentes). Cette préorganisation évolutive est "figée" dans une organisation magmatique définitive. Lorsque la viscosité devient trop importante en certains horizons de la chambre magmatique (qui jouent alors le rôle de plancher visqueux : forte viscosité de Newton ou - a fortiori - viscosité de Bingham).



3. Phénomène de décantation et variétés du granite des Crêtes.

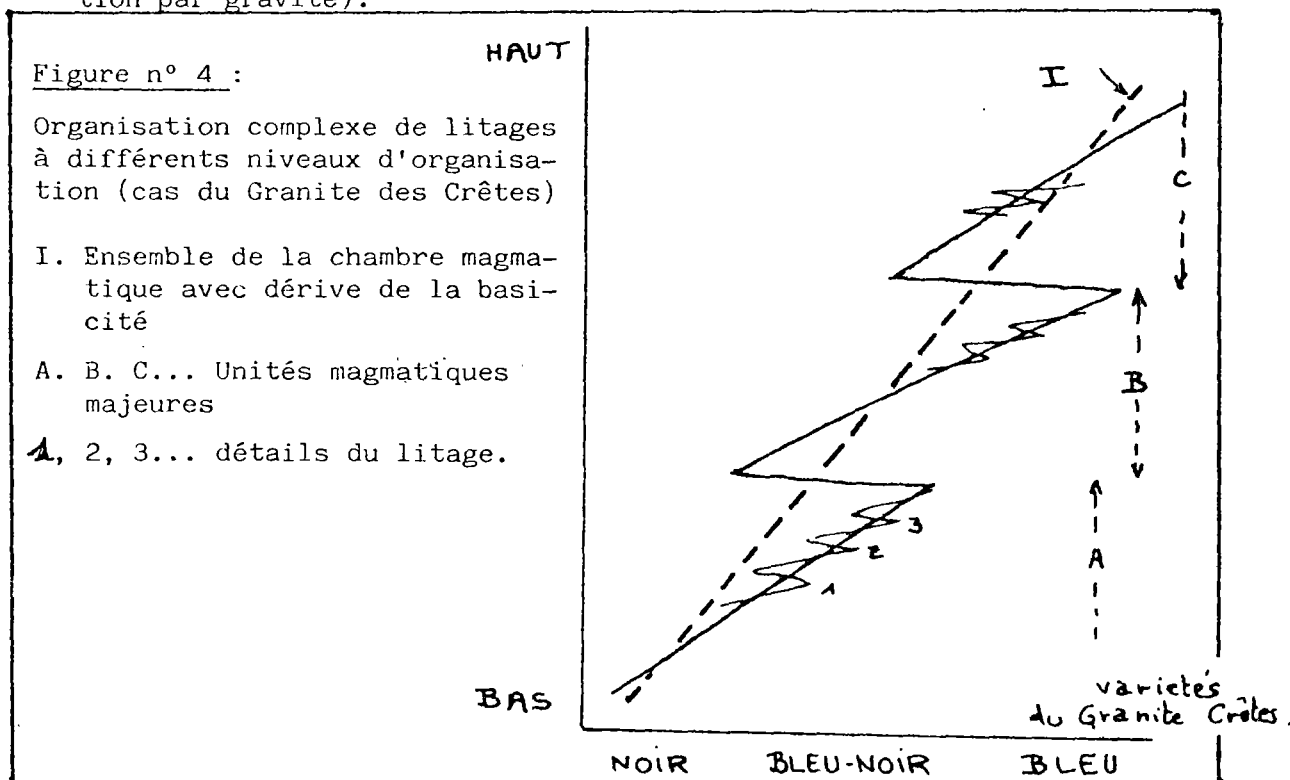
Les conséquences de cette décantation sont importantes. La variation des proportions relatives des différents minéraux entraîne une variation du type de Granite (donc des variétés qui sont distinguées par les granitiers dans l'art de la pierre ornementale).

Pour le Granite des Crêtes, en prenant le modèle d'une chambre magmatique, on aura :

- Vers le sommet, des granites pauvres en minéraux foncés ("Pyroxène" (1), biotite, amphibole) ce sera la variété "GRANITE BLEU".
- Vers la base, des granites plus riches en minéraux foncés ("Pyroxène" (1), biotite, amphibole...) ce sera la variété "GRANITE NOIR".
- En position intermédiaire, on aura le "GRANITE BLEU-NOIR".
- Enfin, notons que l'enrichissement vers la base en minéraux ferro-magnésiens foncés peut aller jusqu'à donner des roches que l'on appelle CUMULATS car formées par accumulation des minéraux décantés dans le magma. Ce seront les "Vaugnérîtes" ("syénite Colombo") ou les Durbachites (région de Ste Marie aux Mines, lac de Lispach, ...etc...). Les vaugnérîtes ont été spécialement enrichies en Pyroxène (et Biotite) et les durbachites en biotite.

Pour le Granite de Senones, nous pensons que la variété "ROUGE CORAIL" est une variété enrichie en minéraux ferro-magnésiens décantés par rapport à la variété "FEUILLE MORTE".

4. Organisation des litages au cours de la décantation (différenciation par gravité).



(1) veut dire qu'il sera résorbé ultérieurement, donc n'est plus présent dans la roche (sauf exception).

L'organisation de litages magmatiques selon les modalités retenues ci-dessus peut se faire à plusieurs niveaux d'organisation. Cela conduit à des cycles successifs gigognes de litages emboîtés les uns dans les autres à différentes échelles.

De plus, compte tenu des résultats de la modélisation et par référence à des observations de terrain, il se peut que dans certaines Unités Magmatiques majeures (fig.4 A.B.C...), des litages soient très rares (cas de la fig. 3a) ou n'apparaissent que dans certains horizons (partie supérieure de la fig. 3b).

Cette organisation en litage, d'origine magmatique est bien évidemment une gêne considérable pour l'exploitation du granite, mais il faut la considérer, non comme un accident, mais comme une organisation normale. On la retrouve dans beaucoup de granites et cela à des échelles très variables. Souvent présente dans le Granite des Crêtes, elle existe aussi dans le Granite de Certovo Bremenø en Tchécoslovaquie (ces deux granites sont identiques).

5. Conclusion

Ainsi, à ce stade de l'histoire magmatique du Granite des Crêtes, il existe vers le fond de la "chambre magmatique" des matériaux encore plastiques (consolidation non réalisée, cristallisation non terminée) tels que Vaugnérites et Durbachites, granite très "noir", lits très riches en biotite ...etc...

Lors de la mise en place, ces matériaux pourront être morcelés et entraînés dans le magma granitique. Ils donneront alors des enclaves, des flammes à biotite (schlieren), des zones d'hétérogénéités ... ce seront alors les "accidents magmatiques". Les enclaves, issues du même magma originel, seront appelée "enclaves homogènes".

III. MISE EN PLACE D'UN MAGMA GRANITIQUE

Dans l'exemple du Granite des Crêtes, la mise en place aura lieu après ou lors de la cristallisation des grands cristaux d'orthose, alors que le matériel est très visqueux et à une température de l'ordre de 600°C-650°C.

Il se mettra en place sous forme d'une bande étroite à l'affleurement recoupant l'ensemble des Vosges et orientée N.E. à S.W (voir carte). Cela correspond à une lame de quelques kilomètres d'épaisseur, inclinée vers le Nord Ouest (plongeant vers le Nord Ouest).

La mise en place peut être due :

- A la poussée d'Archimède. Le magma est moins dense que l'encaissant et "remonte" dès qu'un chemin d'accès lui est offert. Cet accès serait une grande zone de fracture NE-SW qui traverse toute les Vosges.

- A une contrainte tectonique qui expulse le magma vers le haut dans une fracture.

IV. LA FABRIQUE MAGMATIQUE. ETUDE DE L'ORGANISATION MAGMATIQUE ACQUISE AU COURS DE LA MISE EN PLACE DU GRANITE.

A. Fluidalité planaire et Fluidalité linéaire : l'organisation par écoulement.

Lors de la mise en place par écoulement du magma alors composé d'une "purée" de cristaux dans un magma résiduel très visqueux, il se produit une orientation interne des cristaux déjà formés.

Il y a acquisition d'une Fluidalité planaire (F.P.) et d'une Fluidalité linéaire (F.L.) souvent plus difficile à observer.

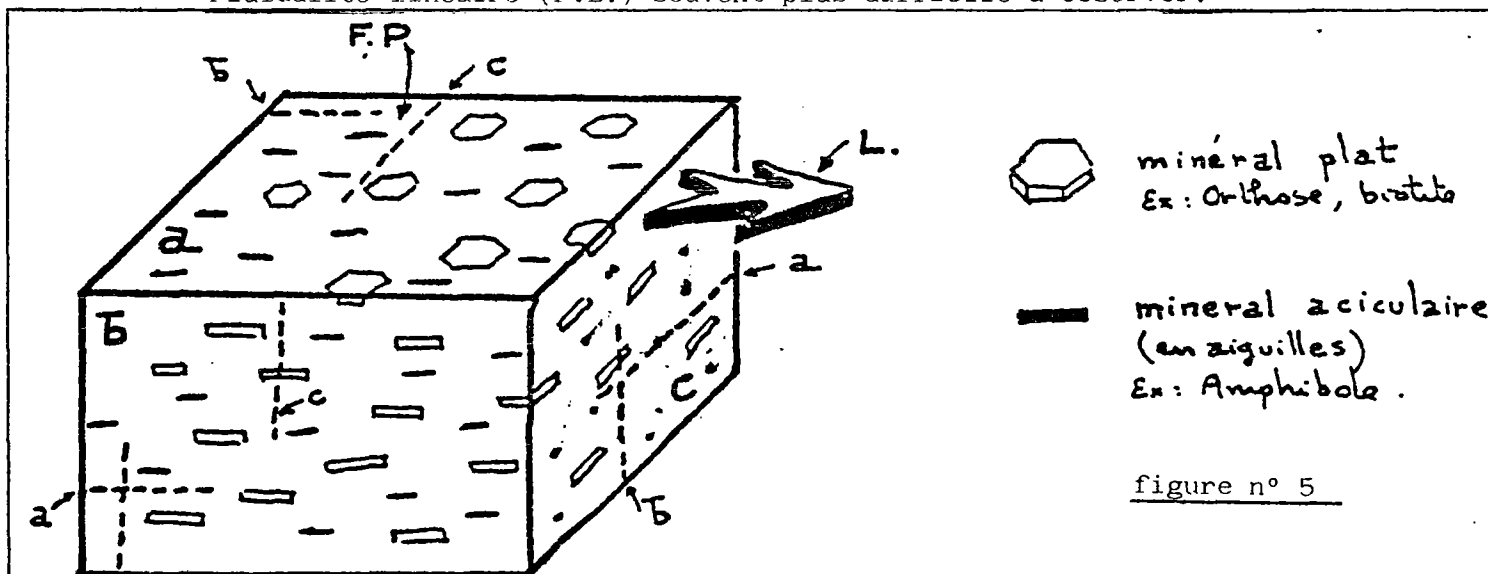


figure n° 5

- F.P. Plan de fluidalité planaire
- L. Direction de fluidalité linéaire
- abc joints de fin de cristallisation
 - a. joint à plat (fil de la roche) (flat joint)
 - b. joint longitudinal (longitudinal joint)
 - c. joint transversal (cross joint)

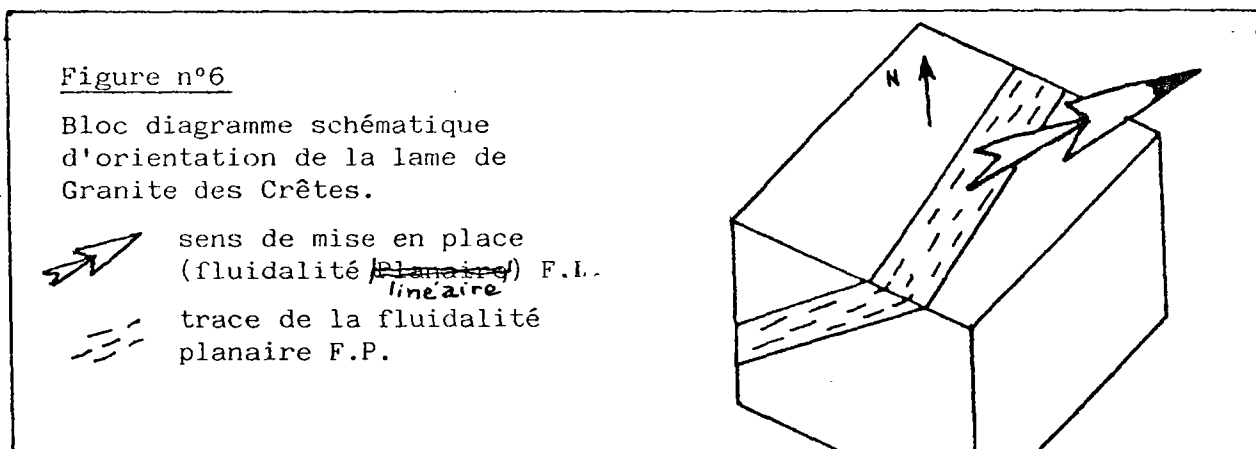
Sur la figure n°5 sont schématisées la fluidalité planaire (F.P.) parallèlement au plan d'écoulement qui serait alors horizontal et la fluidalité linéaire (F.L.) confondue avec la direction de mise en place (L) dans le plan d'écoulement. Les minéraux tabulaires (plats) s'orientent parallèlement au plan d'écoulement et matérialisent (traceurs) la F.P. alors visible à l'œil nu. Les minéraux aciculaires (en aiguilles) matérialisent la F.L. (1)

Pratiquement, la connaissance de la Fluidalité Planaire est primordiale puisqu'elle correspond en général au "fil de la roche", c'est-à-dire au plan de débit le plus facile recherché par les granitiers. Elle est aussi un facteur qui induit souvent la géométrie qu'il faudra donner à la carrière pour suivre ce "fil de la roche".

L'écoulement du magma se faisant en régime laminaire, l'organisation des surfaces d'écoulement (plans) est déterminée par la géométrie des formations encaissantes qui servent de contenant lors de l'intrusion du magma.

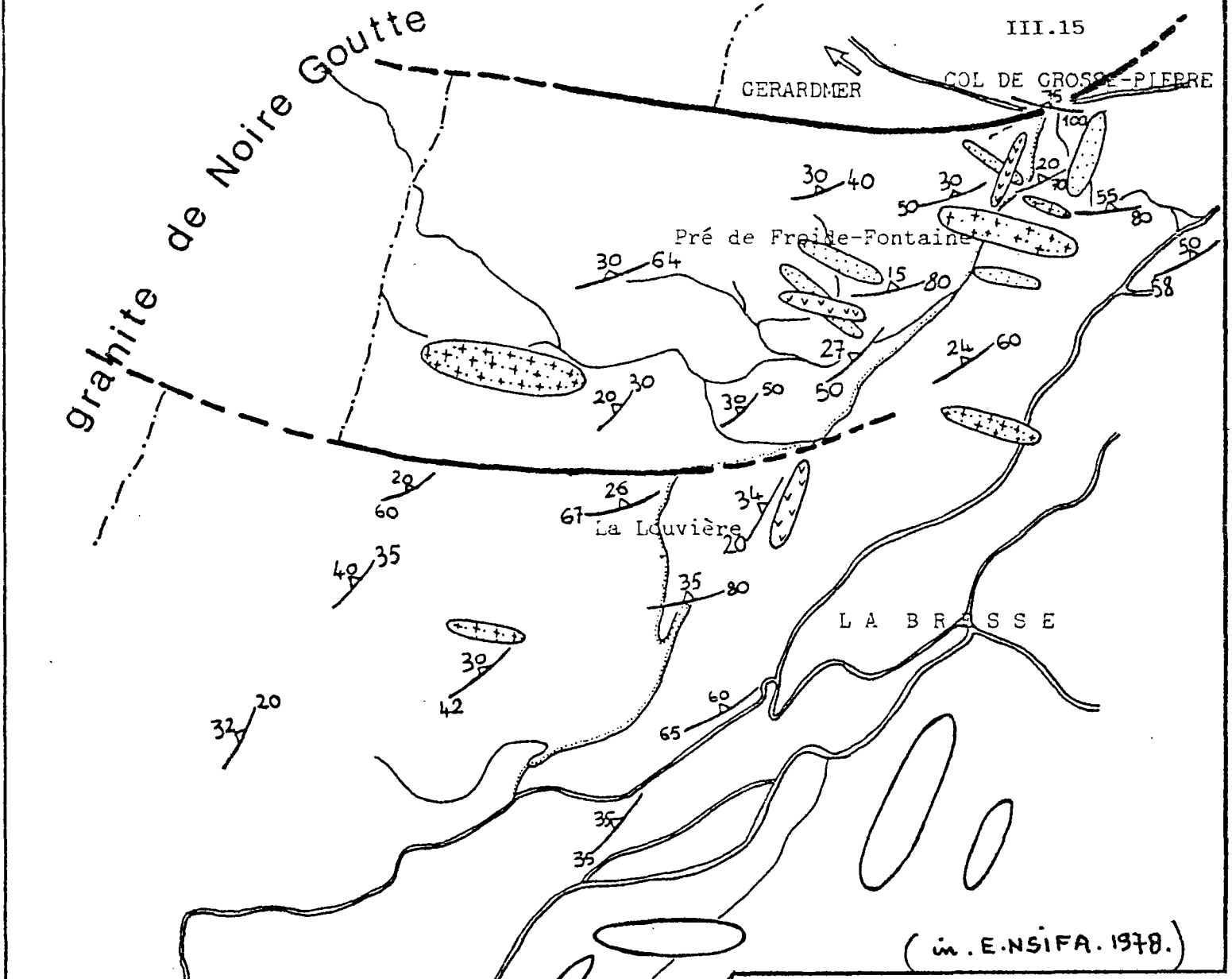
Nous parlons de fluidalité planaire magmatique acquise par l'écoulement au cours de la mise en place. Mais, il faut noter que des complications peuvent intervenir à différentes échelles (fabrique diastrophique).

Dans le cas du Granite des Crêtes, par exemple, en première approximation, on a une lame d'épaisseur kilométrique mais se poursuivant sur des dizaines de kilomètres, disposée en direction N30E avec un pendage vers le Nord Ouest (lame allongée vers le Nord Est et "s'enfonçant" vers le Nord Ouest, mais en fait, mise en place vers le haut, en direction du Sud Est) (figure n°6)












Les fluidalités planaires ont "grosso-modo" la même orientation. Mais, à une échelle plus locale, il y a des complications importantes comme dans le secteur étudié des Bioquets (fascicule n°1). Des travaux sont en cours sur cette lame. Une première étude générale a été réalisée par E. N'SIFA (1978) dans le massif de la Bresse. A titre d'exemple, la figure n° 7 présente une carte générale des fluidalités dans un secteur au Sud du Col de Grosse Pierre. Des études précises sous microscope, menées à la platine de Fédorof,

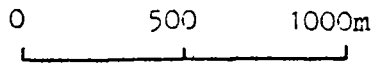
(1) Le problème est un peu plus complexe. Notamment un minéral "plat" peut à la fois matérialiser la F.P. et indiquer la F.L. en se mettant en zone autour de l'axe L, donc de la F.L. (cf. bibliographie, BLANCHARD-BOYER-GAGNY-1979)



(in . E . NSIFA . 1978 .)

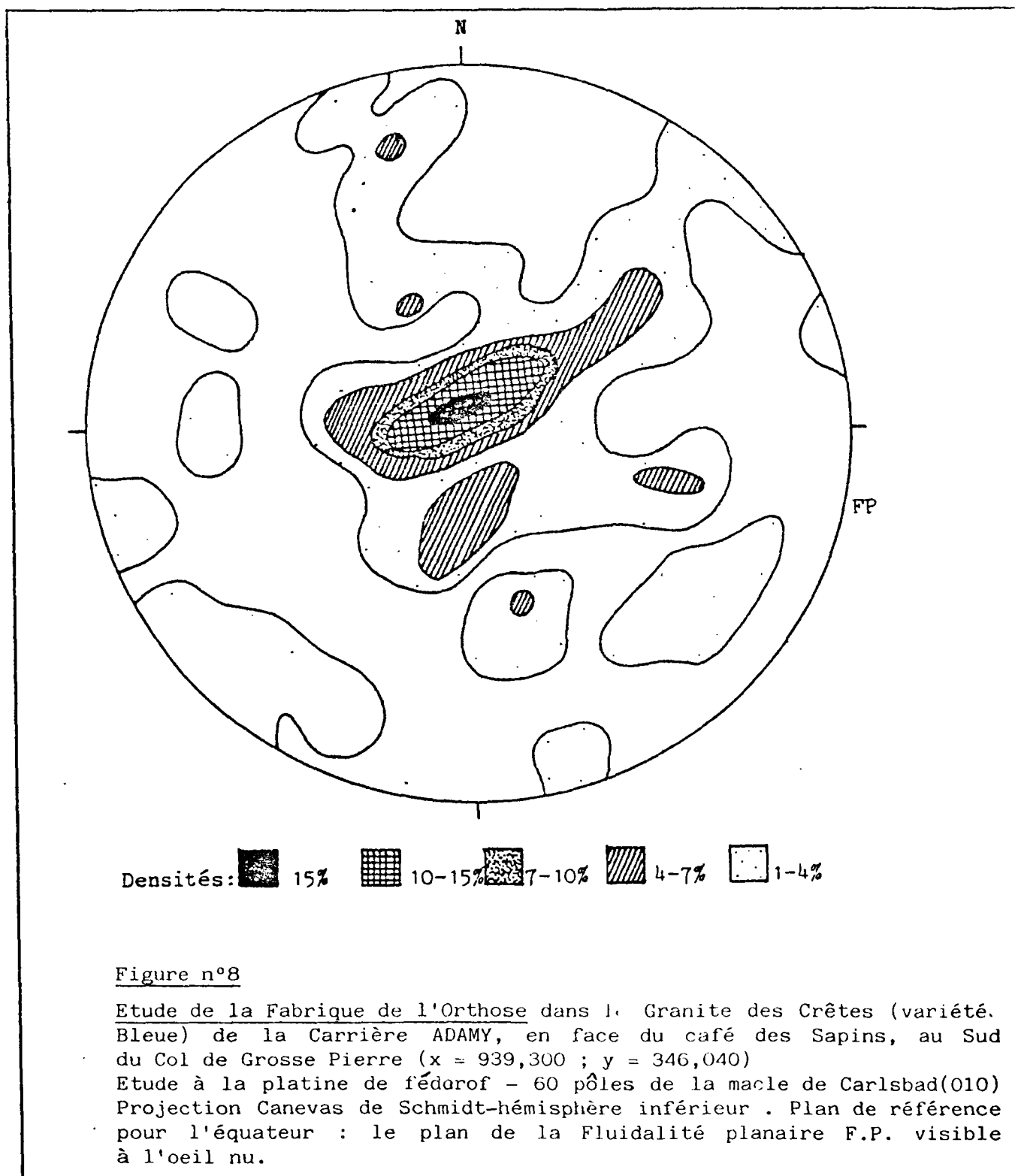
Figure n° 7 : Secteur Sud du
Col de Grosse Pierre

-  microgranite sombre
-  aplite
-  lamprophyre
-  microgranite (des Morts)
-  fluidalité planaire
-  faille
-  contact géologique
-  route
-  "ROUTE DES CARRIERES"



ont permis de préciser cette fabrique magmatique par une étude des orientations réciproques des minéraux constitutifs ; ceci afin de contrôler la fabrique magmatique observable à l'oeil nu. Les figures N°8 et 9 présentent des résultats partiels d'une telle étude à la "Carrière Adamy" au Sud du Col de Grosse Pierre, en face du café des sapins ($x = 939,300$; $y = 346,040$)

Dans le cas du Granite de Senones. La fabrique magmatique n'a pas pu être précisée. Les fluidalités planaire et linéaire ne sont pas visibles à l'oeil nu. Il est possible qu'une fabrique puisse être mise en évidence par une étude statistique sous microscope à l'aide de la platine de Fedorof. Mais une telle investigation est très longue et n'a pas encore été entreprise. Elle n'entrait pas dans le cadre de cette convention.



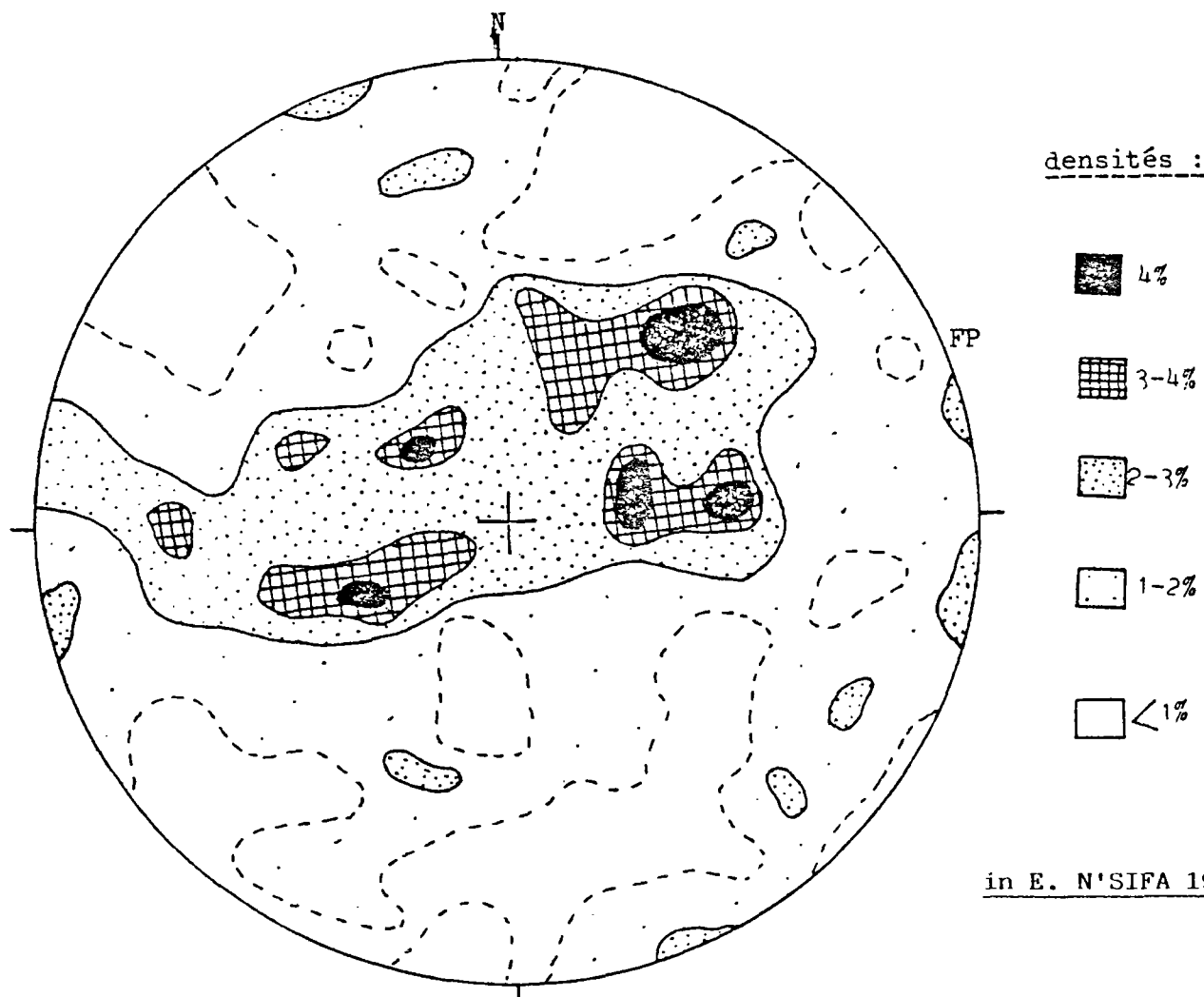
Le maximum bien marqué et de densité élevée traduit le parallélisme des tablettes de l'orthose suivant la fluidalité planaire. Ce qui est normal puisque cette F.P. a été définie par une observation à l'oeil nu des orientations préférentielles de ce minéral.

Mais, on remarque une tendance à une mise en zone de certaines tablettes. L'axe de cette mise en zone est voisin de la fluidalité linéaire F.L. et est orienté à N130 -N140° dans le plan de la fluidalité planaire.

En plus des observations macroscopiques, cela permet de définir le plan d'écoulement qui détermine par exemple l'orientation du fil du granite et l'axe de mise en place qui renseigne sur le sens de transport donc de mise en place des "accidents magmatiques"(enclaves notamment).

Figure n° 9

Etude comparée de la Fabrique de la biotite dans le Granite des Crêtes (variété bleue) de la Carrière ADAMY, en face du Café des Sapins, au Sud du Col de Grosse Pierre ($x = 939,300$; $y = 346,040$)
Etude à la platine de Fédorof - 162 mesures de la normale au clivage (001) - projection Canevas de Schmidt - hémisphère inférieur - plan de référence pour l'équateur : le plan de la Fluidalité planaire F.P. visible à l'oeil nu.



B. Différenciations et répartition des Variétés.

1. Différenciation à l'intérieur du massif

La répartition des variétés de Granite dans un massif (par exemple : noir, bleu noir et bleu pour le granite des Crêtes) peut être dûe :

soit à un transfert dans le gisement d'une préorganisation acquise dans la "chambre magmatique" avec toutes les complications éventuelles liées à des phénomènes de bourrage dans le gisement, de plissements, d'écoulements différentiels, ...etc...

soit à une organisation qui se réalise dans le gisement même par décantation par exemple.

Il est difficile souvent de faire la part des deux.

Pour le Granite des Crêtes, la répartition des variétés dans la lame semble obéir à une loi générale simple mais non valable à l'échelle d'un secteur ; le Granite est plus foncé à la base de la lame. Cette loi se remarque sur l'ensemble des Vosges. Mais, en certains endroits, il y a eu "bourrage" de magma de la variété foncée vers le haut : c'est le cas au Nord du col de Grosse Pierre où l'on observera de véritables zones d'alimentation de noir. Localement, on aura des phénomènes d'organisation de litage par décantation.

Pour le Granite de Senones, l'organisation des différentes variétés à l'échelle du Massif n'est pas connue.

2. Différenciation aux limites du Massif

Vers les bords du massif, le magma est mis brutalement au contact de l'encaissant qui est à plus faible température, alors qu'au coeur du massif, il conservera longtemps une température élevée (qui baissera très doucement). Aussi, vers les bords, il cristallisera plus vite (phénomène de trempe) et prendra souvent des faciès différents : granite plus fin. Ce phénomène est très général. Il peut s'observer et pour le Granite des Crêtes (région du Thillot, de St Maurice-sur-Moselle,...) et pour le Granite de Senones (par exemple, au N.W. du secteur étudié).

C. Etude des "Accidents magmatiques"

Le terme "accidents magmatiques" signifie bien que ce sont des éléments indésirables dans l'exploitation du granite pour une utilisation comme pierre ornementale. En première approximation, ils se répartissent d'une façon aléatoire : "on tombe dessus".

Notre objectif est de :

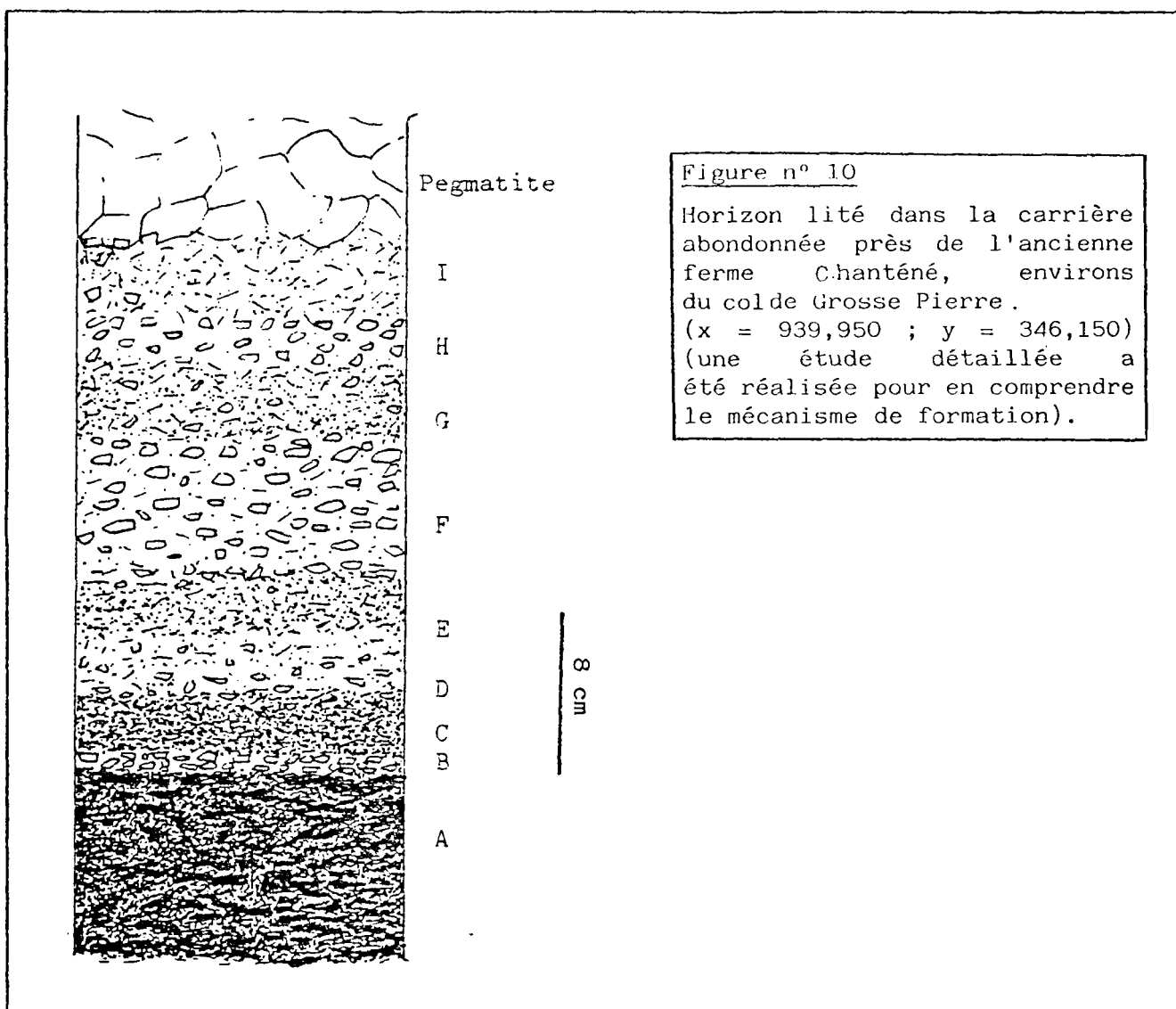
- Comprendre leur signification (donc leur genèse) et le mécanisme de leur mise en place,
- Espérer être en mesure d'établir une prévision sur leur présence, leur densité et leur répartition.

Les explications présentées ici resteront schématiques pour limiter les développements théoriques.

1. Les "horizons lités" (figure n° 10)

Placés sous la rubrique "accidents", nous avons vu qu'ils représentaient malheureusement une organisation normale souvent présente dans les massifs de granite.

Nous avons prévu la répétition de ces horizons lités dans le Granite des Crêtes, après les avoir observés et étudiés au Sud du Col de Grosse Pierre. Nous avons prévu une répétition chaque dizaine de mètres environ. Les sondages du secteur des Bioquets ont confirmé cette prévision (voir fascicule n°1).



2. Les zones d'alimentation (figure n° 11 et 12)

Ce sont des zones impropres à l'exploitation :

- variations aléatoires du type de granite
- richesse en enclaves variées
- fluidalité planaire perturbée et d'orientation aléatoire.

Elles représentent des zones où le magma granitique est arrivé "en force" et où le fond de la chambre magmatique a été "vidé" avec désorganisation des cumulats de vaugnérites et durbachites (entraînés sous formes de blocs qui s'arrondissent en enclaves et se désagrègent au cours de l'entraînement car ils sont restés plastiques).

Figure n° 11 Zone d'alimentation

(l'échelle est donnée par le dessin du crayon noir)

à remarquer l'hétérogénéité de la roche. C'est un entremêlement de flammes (voir plus loin)

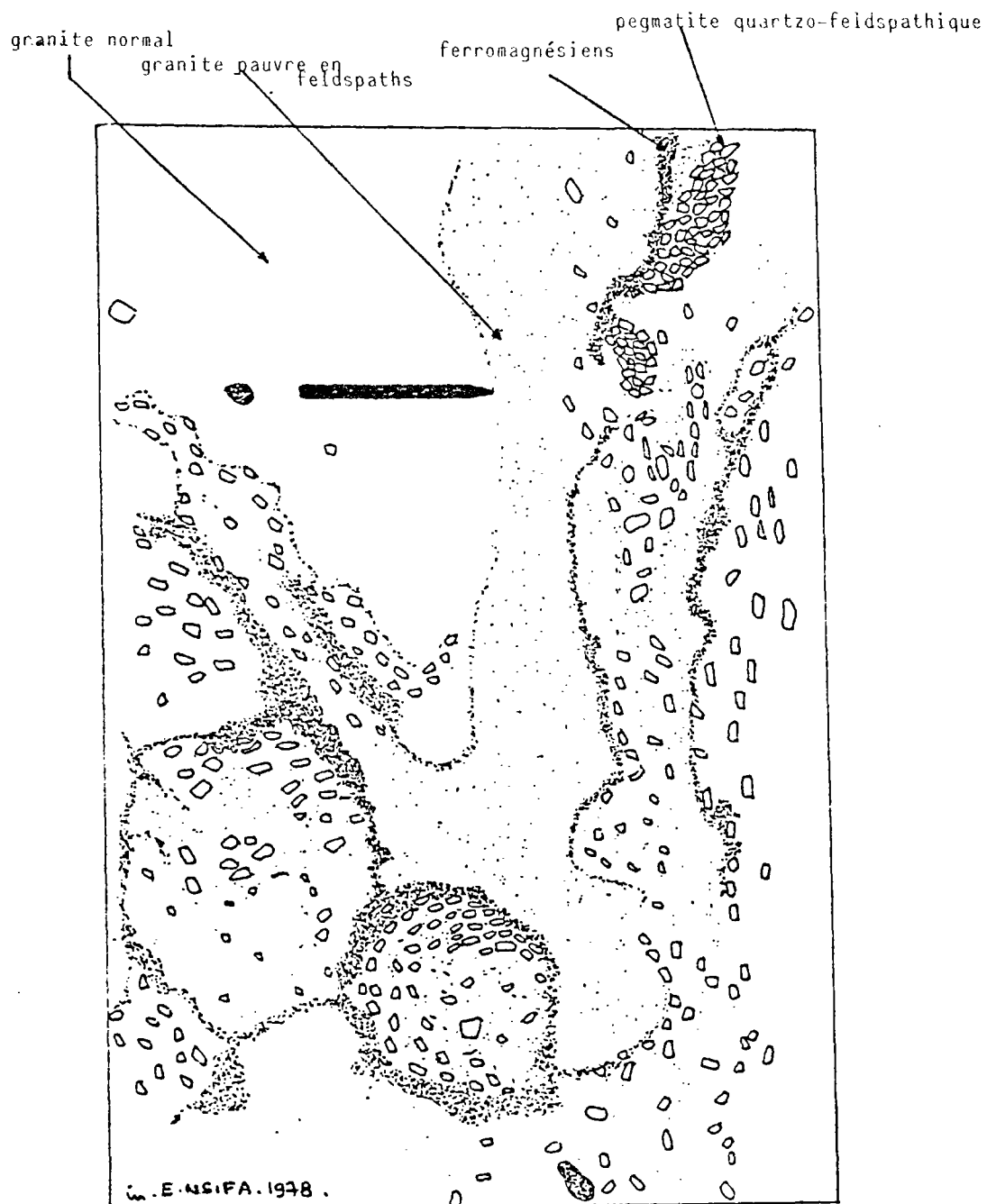
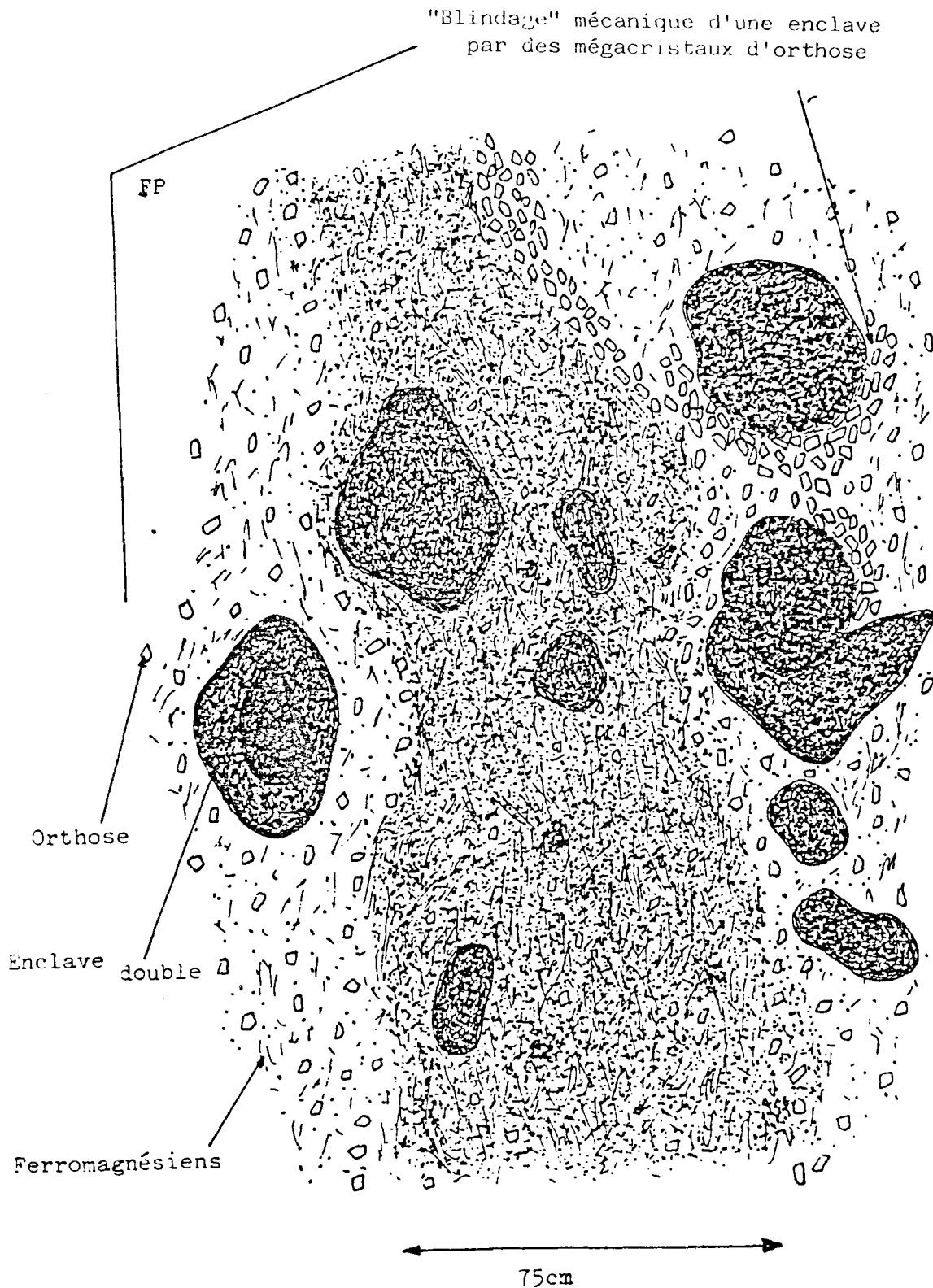


Figure n° 12 : Coupe verticale schématique sur le front de taille d'une carrière ouverte (!) dans une zone d'alimentation.
(in N'SIFA 1978)

Petite carrière à l'Est du chemin de la Roche des Bioquets depuis le Col de Grosse Pierre juste après le dernier chalet. (x = 346.500 ; y = 939.650)



Ces "zones d'alimentation" peuvent avoir des dimensions décamétriques à hectométriques. En général, elles peuvent se détecter par un lever de pétrologie structurale. L'abondance des enclaves (certes!) mais aussi des perturbations aléatoires de la fluidalité planaire permettent de les caractériser, voire de les prévoir.

Il faut s'éloigner de ces zones pour implanter des carrières car elles correspondent à des venues de grosses enclaves et à des perturbations dans le fil de la roche. Malheureusement, la présence de variété noire attirait les granitiers qui ouvrent des carrières, pour constater l'hétérogénéité des variétés, les perturbations du fil et l'abondance des enclaves.

3. Les flammes et les septas (schlieren). (figure n° 13)

Les flammes sont des zones décimétriques à métriques, avec des formes complexes, qui viennent rompre par leur texture et leur teinte, l'harmonie d'un bloc de granite.

Il existe des flammes à dominante quartzo-feldspathique (blanches) où à dominante de minéraux ferro-magnésiens (foncées) et à textures variées (microgrenues ou pegmatitiques). Ces perturbations sont dues par exemple à des accumulations de fluide en fin de cristallisation (flamme blanche) avec des minéraux très grands (pegmatites).

Il existe aussi des septas contournés (schlieren) à minéraux ferro-magnésiens ; ils sont dus à la désorganisation et à l'entraînement par écoulement de lits organisés dans la "chambre magmatique" avant la mise en place.

Ces flammes et septas sont de véritables accidents la plupart du temps totalement imprévisibles. Il convient seulement de remarquer qu'ils sont plus abondants dans certains secteurs (dont il faudra alors se méfier).

4. Les colonnes feldspathiques. (figure n° 14)

Ce sont des colonnes à axe subvertical avec une forme à tendance cylindrique. Elles représentent des zones riches en enclaves et en grandes orthoses qui recourent à l'emporte pièce l'organisation du granite pour le percer vers le haut. Elles étaient sans doute de véritables conduits d'échappement des fluides en fin de cristallisation (tendance pegmatitique, rebroussement des structures litées,...). Le diamètre des colonnes est variable : la plupart du temps plurimétrique, il peut être métrique.

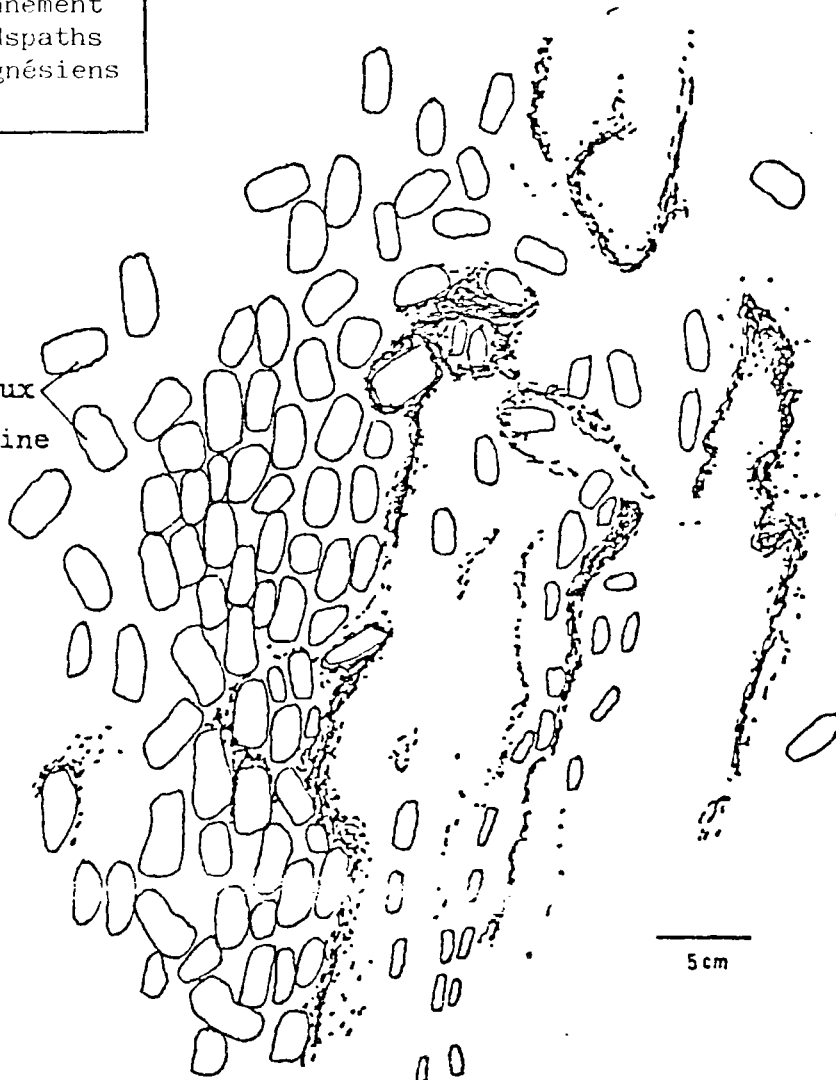
L'organisation de ces colonnes feldspathiques est en cours de travail. Une première étude a été réalisée par F. COTTARD en Galice. Dans le Granite des Crêtes, elles existent aussi. Une telle colonne feldspathique est visible dans la carrière du CHIPAL.

Nous n'avons pas de précision sur leur localisation et leur répartition. Nous pouvons seulement affirmer que, à partir du moment où une colonne a été observée à l'affleurement, elle s'enracine profondément dans le massif avec un axe subvertical (par référence à la verticale - paélo"g", au moment de la mise en place du granite).

A

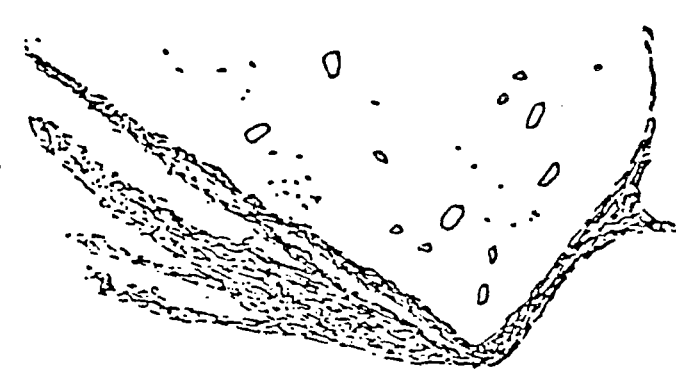
Flamme composite à rubanement de concentration de feldspaths et de minéraux ferro-magnésiens (foncés)

phénocristaux
de microcline



5 cm

C

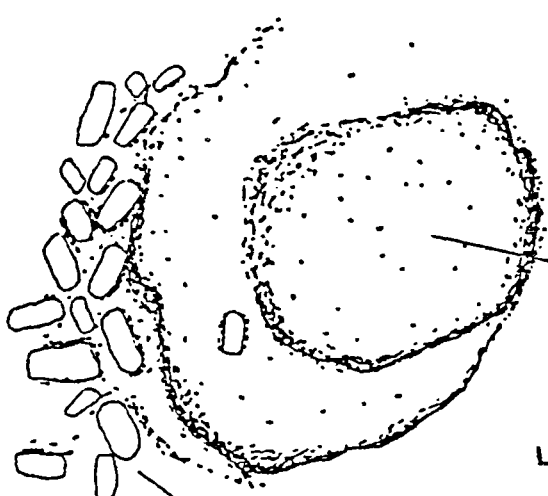


granite sans
phénocristaux

20 cm

B

amas feldspathique



B : Septa de biotite enroulé en forme de tuyau. Sans doute ancien lit de biotite entraîné par l'écoulement magmatique et "roulé en cigare"

C : Septa riche en mica

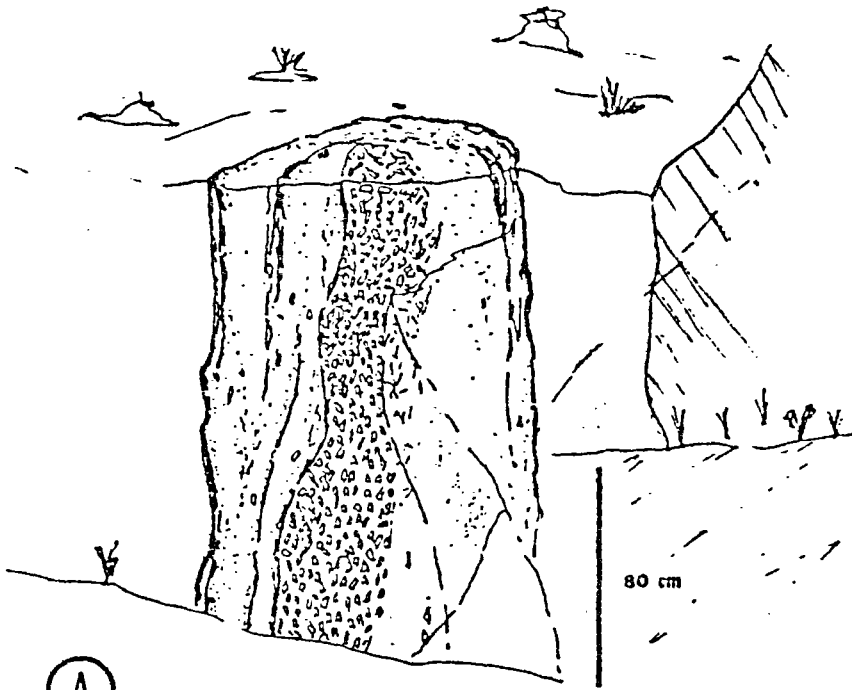
Figure n° 14 : Colonnes feldspathiques (in F. COTTARD - 1976)

A : cylindre magmatique - Colonne feldspathique bordée de layering cylindriques

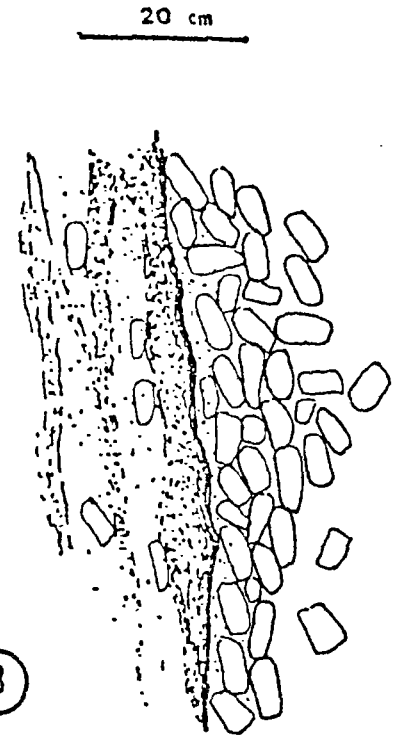
B : Détail de la colonne

C : colonne feldspathique + enclaves microgrenues - vue verticale

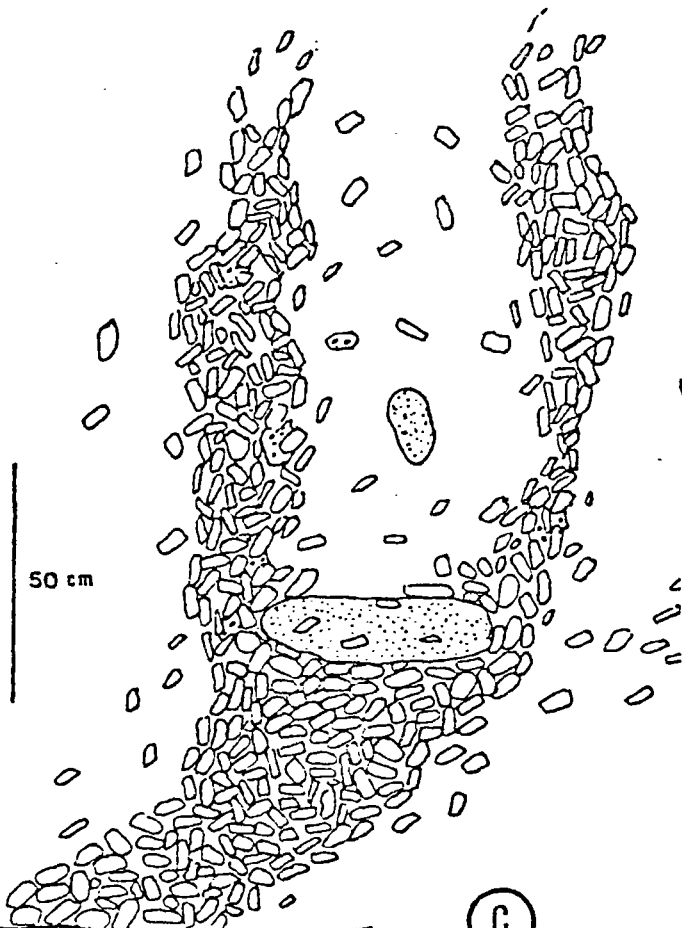
D : "bouffée" feldspathique désorganisant un layering - vue verticale



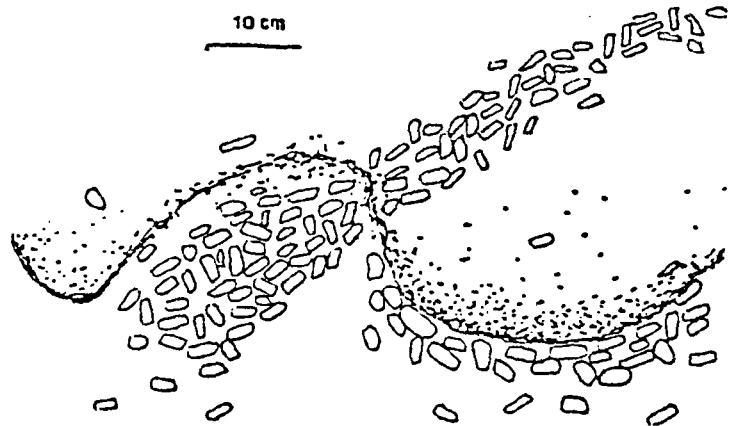
A



B



C



D

5. Les enclaves (figure n° 15)

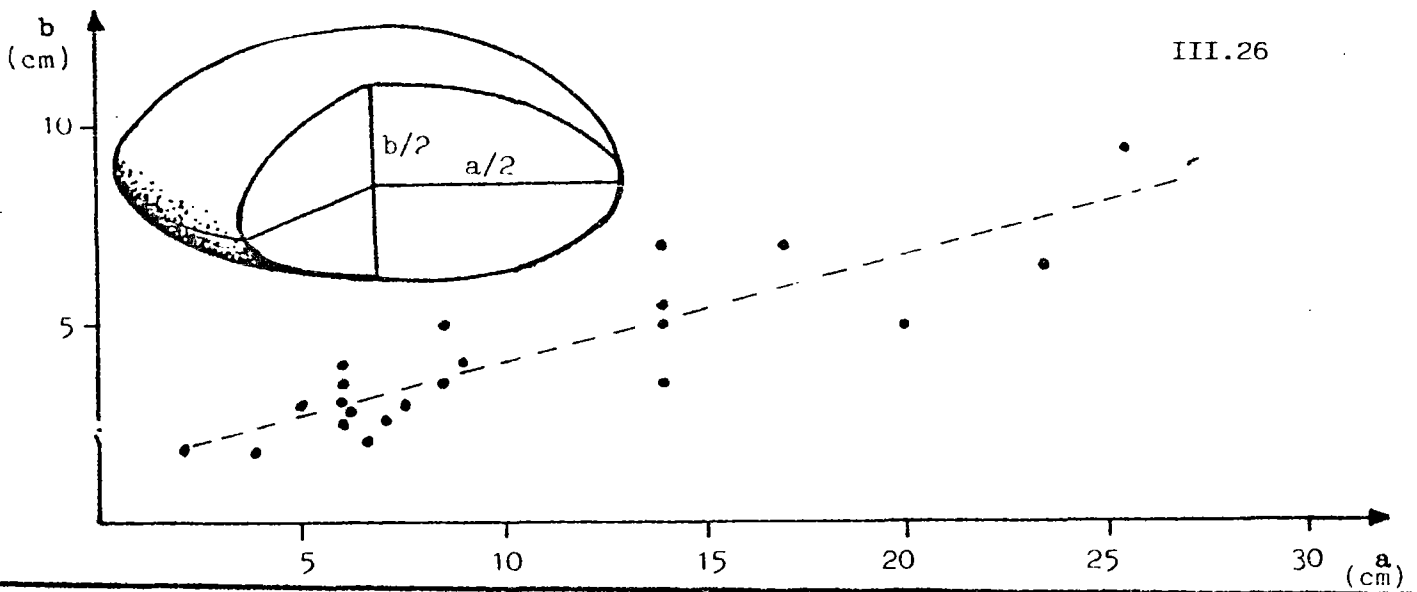
Les enclaves sont de deux origines :

- enclaves enallogènes (étrangères au granite). Ce sont des enclaves arrachées à l'encaissant et entraînées par le magma au cours de sa mise en place. Ce sont des morceaux de gneiss, de micaschistes, etc... Elles ont des formes quelconques, et des tailles variées. Elles sont, en principe, en plus grand nombre vers les bords du massif.
- enclaves homogènes (enclaves formées à partir du même magma). Deux types existent :
 - * Enclaves microgrenues : le magma, au cours de sa mise en place, au contact de l'encaissant froid, a rapidement cristallisé en une roche à grain fin (microgrenue). Puis, le magma, continuant à monter, a arraché et enclavé ces faciès de bordure pour les entraîner plus loin. Ce sont des enclaves souvent arrondies avec des limites nettes avec le granite.
 - * Enclaves de cumulats : Le culot de la chambre magmatique a été désorganisé, fracturé, entraîné par la montée du granite. Comme les matériaux (vaugnérites, durbachites) étaient encore plastiques, ces blocs ont été arrondis. Ils se sont désagrégés, ont été déformés par l'écoulement. Ces enclaves sont particulièrement nombreuses dans les zones d'alimentation qui ont permis au fond de la chambre magmatique de "se vider".

Aucune étude systématique n'a encore été réalisée sur les enclaves des granites des Crêtes et de Senones : sur leur nature, leur répartition, ... c'est dommageable.

6. Les filons

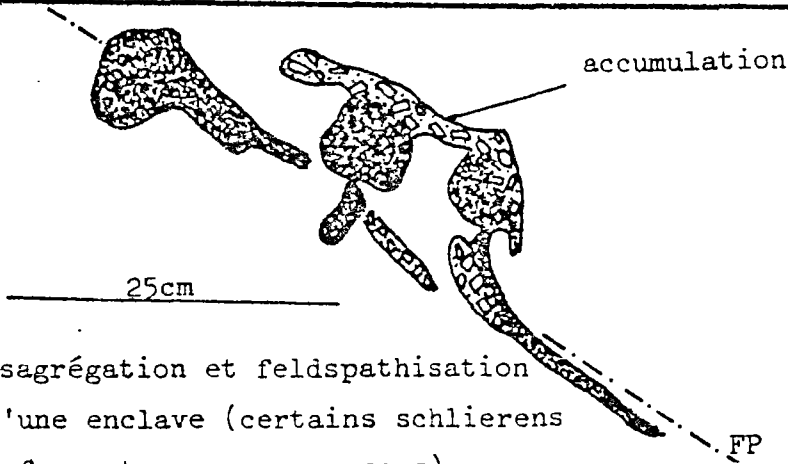
Les filons sont cités ici pour mémoire. Ils vont être traités ultérieurement car leur disposition, leur répartition et souvent leur nature sont en relation avec l'organisation de la fabrique thermique.



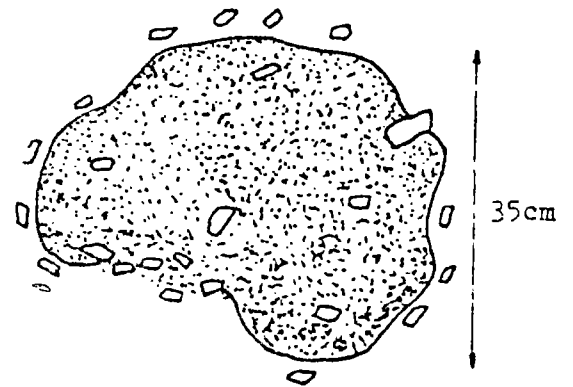
Etude de la taille et de la forme des enclaves du granite des Crêtes. Figure n°15

A)- Relation entre les tailles suivant l'allongement, a, et suivant l'aplatissement à pour équation ; $b = 0.27 a + 1.33$

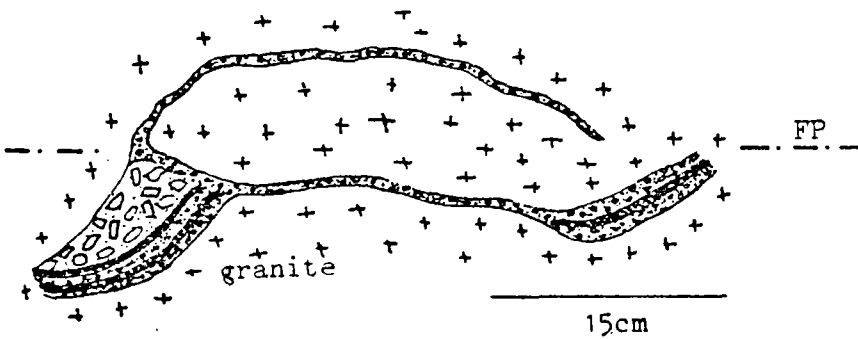
B)- Forme théorique des enclaves étudiées.



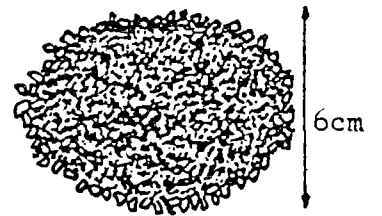
a)- Désagrégation et feldspathisation d'une enclave (certains schlierens se forment par ce processus)



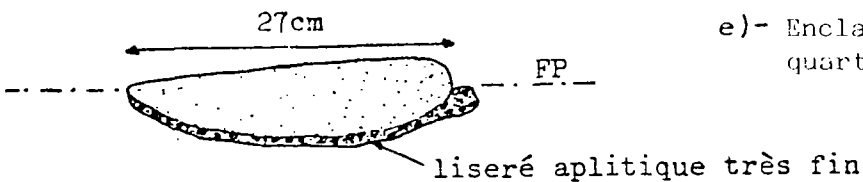
c)- Grosse enclave de forme quelconque dans laquelle se développent quelques mégacrists du granite



b)- Schlieren constitué de fines bandes ferromagnésiennes et aplitiques.



d)- Enclave avec couronne quartzo-feldspathique complète (les minéraux de cette couronne sont xénomorphes)



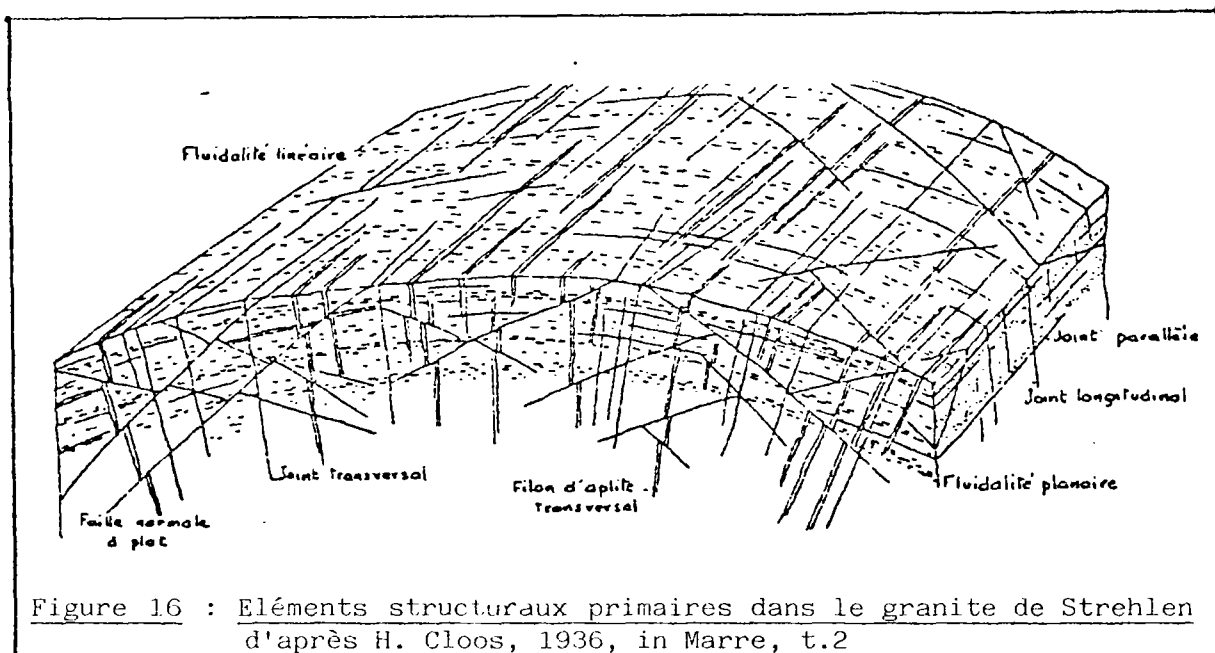
e)- Enclave montrant une couronne incomplète quartzo-feldspathique

V. LA FABRIQUE THERMIQUE : Etude des Joints de fin de Cristallisation

A. Les joints de fin de cristallisation

(Contraction thermique du Granite)

Déjà, au cours de la cristallisation, il y a une contraction normale (les densités des phases minérales étant plus élevées que la densité du magma). Mais, le simple refroidissement du granite entraîne une contraction thermique de l'ordre de 5 à 8 % en volume! C'est donc un phénomène important. Il se produit des "ouvertures" qui se distribuent selon un système de trois plans quasi perpendiculaires entre-eux (ceci est valable pour un massif de granite qui se refroidit en profondeur).



Ces plans, joints de fin de cristallisations, ne s'orientent pas d'une façon quelconque dans la masse du granite en refroidissement. Mais, ils sont dépendants des fluidalités planaires et linéaires acquises au cours de la mise en place. Ces dernières, comme nous l'avons vu, étant elles aussi en relation avec la géométrie de l'encaissant au moment de la mise en place (cf.p.14 et fig.n° 6)

Une nomenclature des joints de fin de cristallisation est utilisée par référence aux fluidalités. On désigne par : fig.n° 16 et 5

- joint parallèle ou joint à plat, le joint parallèle au plan de Fluidalité Planaire
- joint longitudinal, le joint perpendiculaire à la Fluidalité Planaire, mais parallèle à la Fluidalité Linéaire.
- joint transversal, le joint perpendiculaire à la fois à la Fluidalité Planaire et à la Fluidalité Linéaire.

Ces joints, ou plans de discontinuité. ouverts, se répètent parallèlement, avec une certaine périodicité. Ils débitent donc la roche selon des parallélépipèdes qui ont une certaine taille moyenne (bloc unité de la fabrique thermique). Il convient de noter que l'intervention éventuelle d'une tectonique ultérieure peut faire rejouer ces joints et créer d'autres plans de fracture ; cela conduira à une notion de bloc unité s.str. Mais, même sans tectonique, un massif de granite est débité, en blocs, par la contraction thermique.

Ces joints peuvent :

- rester ouverts ; ce sont alors des diaclasses ouvertes ;
- être remplis soit par des aplites ou du quartz, constitués par le magma résiduel qui vient occuper le "vide" qui se crée ; soit par des magmas étrangers venus d'ailleurs (lamprophyre: Kersantite par exemple).

B. Exemple du GRANITE Des CRETES, au Sud du Col de Grosse Pierre (d'après E. N'SIFA - 1978)

Pour illustrer cela, prenons l'exemple du Granite des Crêtes, au Sud du Col de Grosse Pierre, (secteur étudié par E. N'SIFA en 1978).

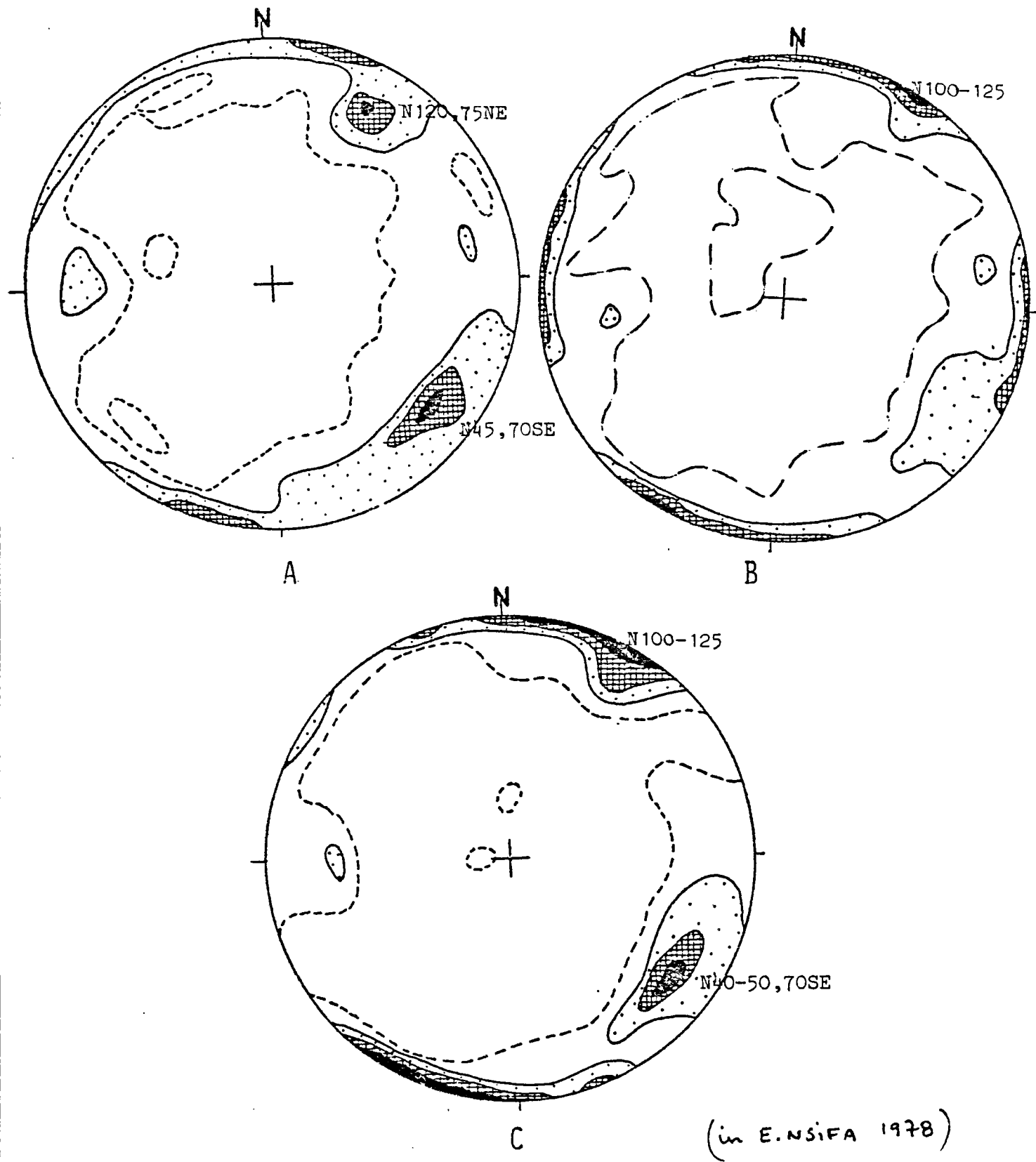
Le granite est déposé en lame orientée en direction vers le Nord Est et plongeant vers le Nord-Ouest. La mise en place s'est faite de bas en haut en direction du Sud Est (N.30E - 30 NW). Cette orientation a été illustrée sur les figures 6 et 9 où ont été précisées les dispositions de la Fluidalité Planaire et de la Fluidalité Linéaire.

1. Le Système de joints de fin de cristallisation figure n° 17

Un relevé des diaclasses et de leur orientation a montré le parallélisme entre ces diaclasses et les fluidalités. Il s'agit de joints de fin de cristallisation (même si ultérieurement certaines diaclasses ont rejoué sous contrainte tectonique extérieure, et montrent soit des stries de déplacements, soit des traces de cisaillement avec broyage).

Il convient de remarquer que le joint parallèle est rarement exprimé par une diaclasses. Cela tient à un effet de tassement et de soudure à chaud, en fin de cristallisation, par des aplites (voir plus loin). Par contre, les joints longitudinaux et transversaux sont bien exprimés.

Fig. n°17 : Orientation des principaux systèmes de diaclases au Sud du Col de Grosse-Pierre.



(in E. NSIFA 1978)

- A - Carrières du Col de Grosse-Pierre (159 mesures)
- B - Route des Carrières (126 mesures)
- C - Sud du Col de Grosse-Pierre: stéréogramme général des diaclases majeurs (taille supérieure à 10m), 180 mesures.

Concentrations: 7-9%; 5-7%; 3-5%; 1-3%;
 (Hémisph. sup. canevas de Schmidt)

2. Chronologie et organisation des filons disposés dans les joints de fin de cristallisation.

E. N'SIFA a pu montrer qu'il y avait une chronologie relative dans l'ouverture (?) et le remplissage filonien éventuel des joints de fin de cristallisation. Ainsi, certains types de filon se disposent préférentiellement dans l'un ou l'autre des joints.

	Mise en place	Joints parallèles (1)	Joints longitudinaux (1)	Joints transversaux (1)	Phénomène
S P R E ↓	Microgranite sombre		+ + +		Alimentation avec compression dans le gisement
	Aplite	+ +	+ +	+ +	Tassement plus contraction thermique
	Quartz Système I Système II	Fermés par tassement	+ + +	+	
	Lamprophyre		Fermés par compression tectonique	+ +	Extension tectonique - Début de cisaillement

(1) Joints définis par référence aux fluidalités planaire et linéaire.

Ce fait prévilégie l'observation des filons dans la recherche du schéma d'organisation du massif granitique. Sans permettre une prévision de la présence ou non de telle ou telle catégorie de filon, la connaissance de ce dispositif engage à être attentif à l'éventualité de ces filons.

Par exemple, dans ce secteur, au Sud du Col de Grosse Pierre où sont implantées de nombreuses carrières, l'orientation générale de la Fluidalité Planaire et de la Fluidalité Linéaire et l'organisation du système filonien font que :

- si on approfondit une carrière, on a toutes les chances de rencontrer parallèlement à la Fluidalité Planaire :

* et des zones à litage magmatique

* et des diaclases (joints parallèles) remplis d'aplite (du type de celle de la figure n°)

(Pour ce point, il est désolant de constater qu'un seul sondage aurait permis de détecter en profondeur des zones à litage magmatique continu qui oblitérèrent totalement l'exploitation rentable par approfondissement de certaines carrières).

- si on poursuit une carrière, parallèlement à la Fluidalité Planaire, on peut rencontrer :

* vers le W-N W, des filons de lamprophyre (pierre de route)

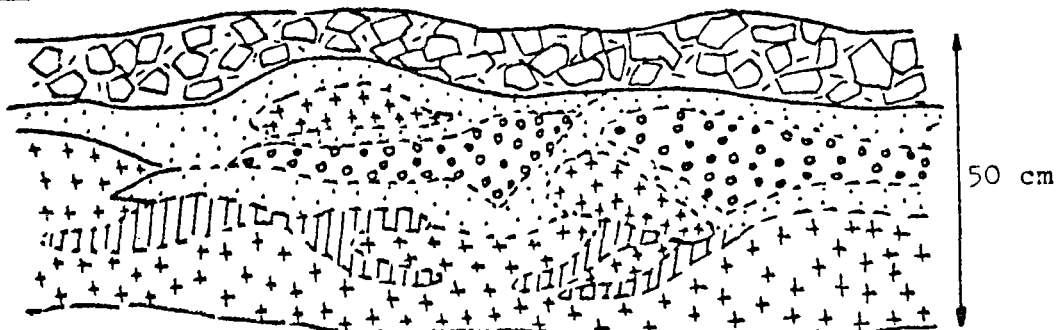
* vers NE, des filons d'aplite.

(notons que souvent un lever géologique permet de détecter ces filons et, connaissant ce type d'organisation, de savoir que ce n'est pas un accident, mais une organisation "normale" bien qu'à caractère accidentel).

Sur les figures 18 à 20 sont représentés quelques exemples de filons.

Figures 18-19-20 : Exemples dans le Système Filonien du Secteur Sud du Col de Grosse Pierre. (in E.N'SIFA 1978)

Figure 18. Dans un joint parallèle

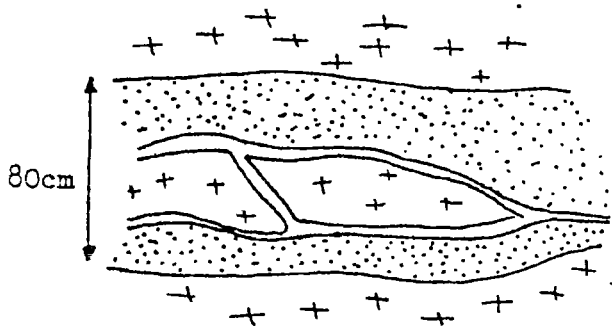


Exemple de structure associée à la fluidalité planaire.

(l'observation est faite sur un bloc de granite non en place)

- lit constitué presque exclusivement de mégacristsaux d'orthose
- lit à grain fin
- lit à texture grenue équante (pas de mégacristsaux)
- niveau à tendance pegmatitique
- granite normal

Figure 19. Dans un joint longitudinal



Relation quartz-aplite (système longitudinal)

(observée au Pré de Froide-Fontaine)

Secteur au sud du Col de Grosse-Pierre.

aplite(6cm)

quartz
(3cm)

granite

Figure 20. Dans un joint transversal



Filon P. NIGGLI en haut et à gauche (grande carrière à 250m au sud de l'hotel du Col de Grosse-Pierre)

coupe horizontale

VI. LA FABRIQUE DIASTROPHIQUE et le problème des fluidalités imbriquées.

A. Introduction

Ce sera une fabrique qui viendra perturber et compliquer la belle organisation (théorique !) de la fabrique magmatique telle qu'elle a été présentée précédemment. Elle sera due à des contraintes internes (poussée du magma qui "bourre" dans son gisement) ou à des contraintes externes (jeu tectonique des terrains encaissants qui sont soumis à une "tectonique régionale").

Il importe de remarquer qu'une fabrique diastrophique est toujours imposée à un moment charnière de l'histoire du massif.

Cela représente un "phénomène relais" entre écoulement magmatique et tectonique au moment où le granite est sur le point de "terminer" sa consolidation. Mais, c'est aussi un "phénomène clef" puisqu'il permet d'enregistrer la "tectonique vivante" en fin de mise en place du massif granitique. De plus, la fabrique diastrophique doit souvent se lier avec la première structuration tectonique.

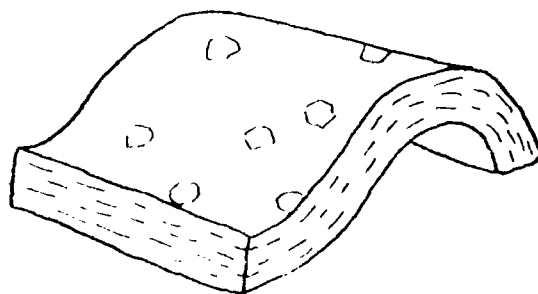
Nous prendrons deux exemples qui intéressent d'ailleurs le secteur étudié du Granite des Crêtes.

B. Plissement

Il peut y avoir des phénomènes de plis d'entraînement (à petite échelle) ou de plissement (à plus grande échelle). On peut étudier ces structures par un lever des fluidalités planaires qui, bien sûr, dessinent l'organisation interne du granite. Mais, ce sont des études difficiles et longues car la "fabrique thermique" n'est plus aussi réglée que dans le cas simple, et souvent, une fracturation postérieure est venue oblitérée l'ensemble.

Figure n° 21

Distribution des fluidalités planaires dans un plissement au cours de la mise en place.



Cet exemple est donc à la limite de la Fabrique Magmatique et de la fabrique diastrophique.

C. Fluidalités Imbriquées (F.I)

C'est sans doute la plus belle preuve de fabrique diastrophique que nous ayons à notre disposition. Elle a été mise en évidence dans le Granite des Ballons (J.Ph. BLANCHARD - 1978) et retrouvée depuis dans de nombreux massifs granitiques.

Pour l'expliquer, nous reprendrons le cas d'une fabrique avec fluidalité planaire horizontale comme sur le bloc diagramme de la figure n° 5 p. 13 .

Supposons que le granite ait alors une viscosité de type BINGHAM, avec une cohésion interne k , il se conduit comme un solide avec une F.P. horizontale "figée" (fig. 22 a)

Supposons qu'il soit alors en cisaillement (selon un mouvement horizontal senestre - contraire du sens des aiguilles d'une montre par rapport au plan P) et que la contrainte soit supérieure à k : Il se déforme et est donc cisailé (fig. 22 b). Dans le "couloir de déformation", la viscosité de Bingham permet la réorientation sans broyage des cristaux marqueurs de la fluidalité planaire qui se disposent alors parallèlement au plan P. Ce sera une fluidalité imbriquée. Comme cela se réalise à chaud, dans un magma alors visqueux, l'ensemble se soude et après refroidissement, on observe une continuité entre les zones à fluidalité planaire d'écoulement magmatique horizontal et la zone à fluidalité imbriquée verticale, selon le plan de cisaillement. (fig 22 c)

Il est intéressant de connaître les fluidalités imbriquées éventuelles car si elles existent :

- elles peuvent être discrètes....
- elles peuvent être très importantes et cela donne des dalles avec des fils très beaux mais se recoupant selon des angles nets (droits ou non) ;
- elles peuvent être parallélisées à des accidents plus importants, mais contemporains qui oblitèrent le massif (zone de broyage, zone à quartz....)

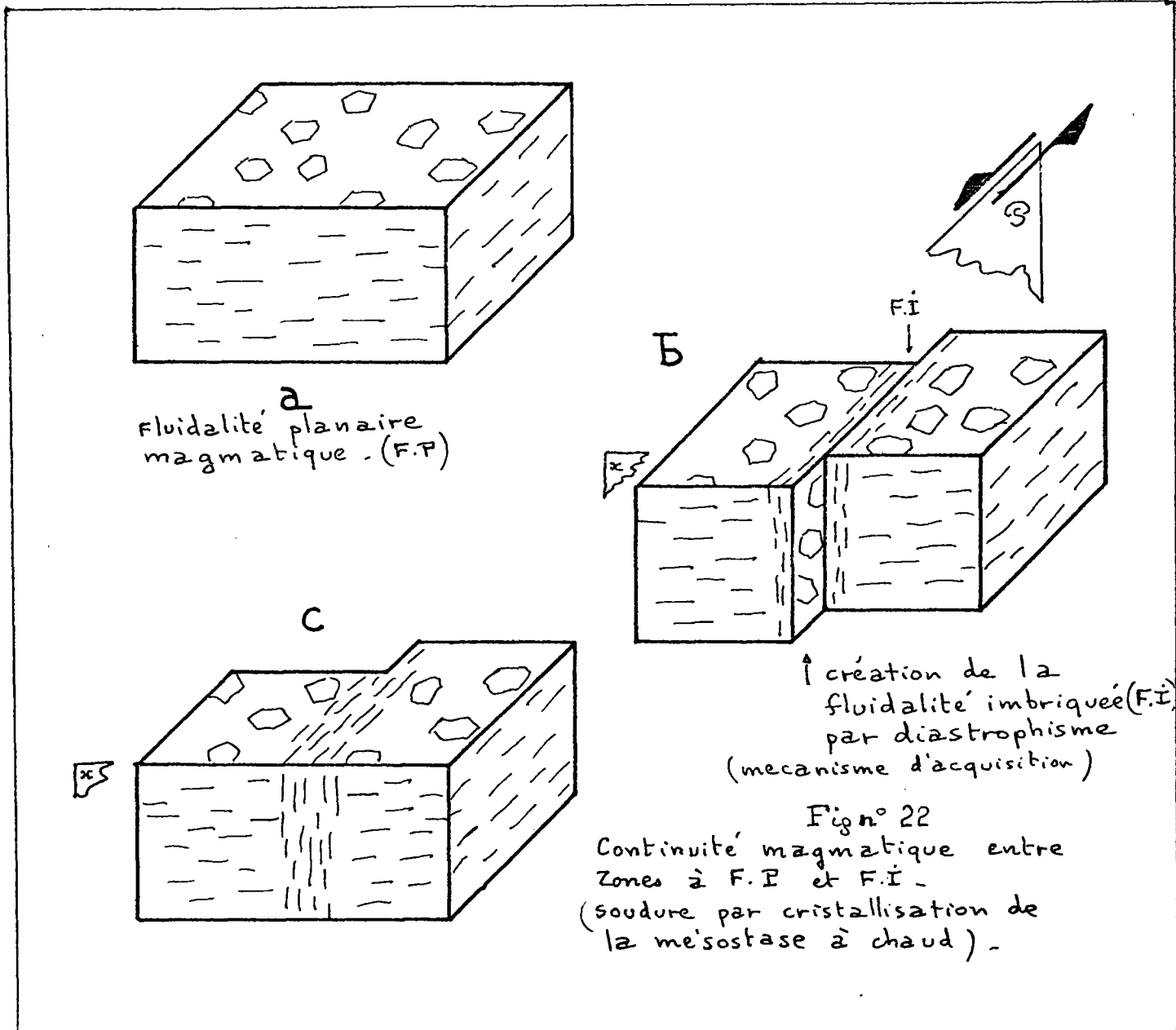
D. Conclusion

Le magma est un excellent enregistreur des événements tectoniques (diastrophisme) qui interviennent :

- soit au cours de la mise en place et/ou en fin de cristallisation
- soit après la mise en place et en fin de consolidation.

Mais, c'est une approche difficile. Elle peut cependant apporter des explications à des phénomènes qui intéressent l'exploitation du granite et bien sûr en prévoir la présence.

- changement brusque du fil de la roche (fluidalité planaire)
- bréchification
- etc....



Les fluidalités imbriquées ont été observées sur le Granite des Crêtes. Une étude de détail est menée actuellement sur le Granite de Barbey-Seroux.

VII FRACTURATION ULTERIEURE : le champ de fractures

Dans le cas du Granite des Crêtes, après sa consolidation, des contraintes tectoniques ont créé un champ de fracture dont l'étude n'était pas de notre compétence dans le cadre de ce travail. Il convient de se référer au rapport de A. THOMAS.

VIII. CONCLUSION

Ce fascicule ne représentait qu'une introduction à certaines méthodes de la Pétrologie Structurale appliquées à un massif de Granite.

Conclure, c'est relire l'introduction : il est certain que la Pétrologie Structurale est un guide dans la prévision plus qu'un outil de diagnostic certain dans l'exploitation d'une carrière.

Enfin, il faut souligner que l'étude de la fabrique magmatique donne des informations "pénétratives" sur l'organisation d'un massif de granite et permet de prévoir l'éventualité (à défaut de pouvoir souvent prévoir la présence effective) de litages magmatiques répétées de fluidalités qui se recourent (fils qui se recourent), de zones d'alimentation, d'orientation de fluidalités (fil qui tourne) ..etc..

B. r. g. m. - SGR/LOR
1, rue du Parc de Brabois
54500 - VANDOEUVRE

ANNEXE 6

DEPARTEMENT des VOSGES

*Recherche de sites exploitables
au sein du Massif des Crêtes et du Massif de Senones*

AUSCULTATION ULTRASONIQUE

J. BONVALLET

80 SGN 243 LOR

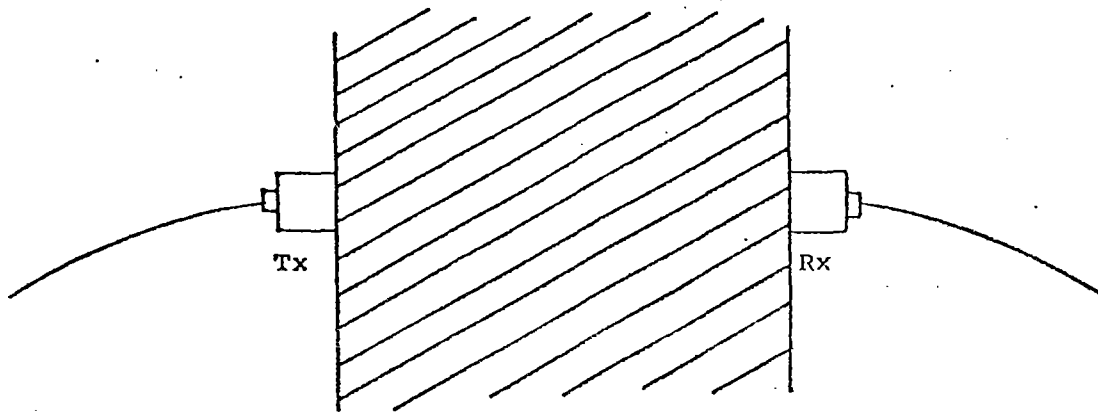


Fig.1a : Transmission directe

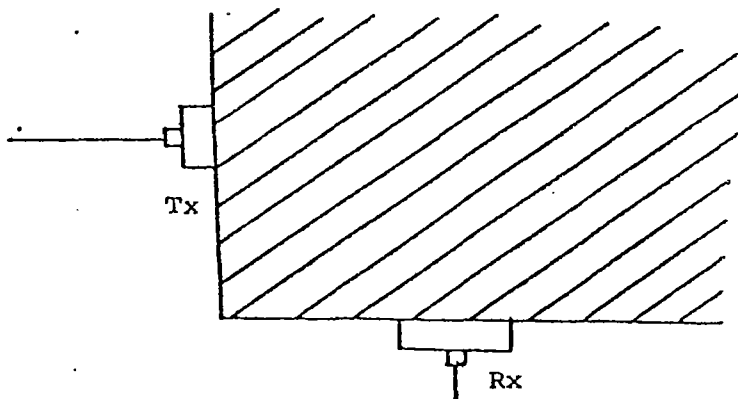


Fig.1b : Transmission semi-directe

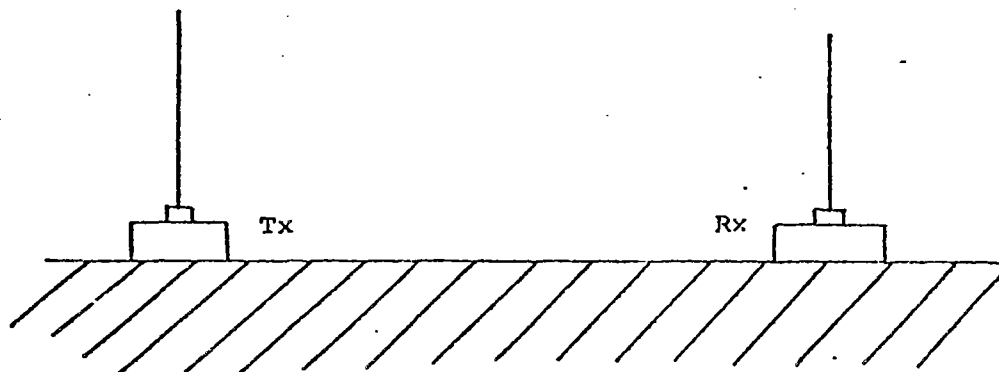


Fig.1c : Transmission indirecte ou transmission de surface

FIG. 1 : METHODE DE PROPAGATION DES ONDES
 ULTRA-SONORES

1 - INTRODUCTION -

1.1. Le granite Vosgien

A la demande des responsables du département des Vosges, le SGR/Lorraine a été chargé d'étudier un plan de relance de l'industrie granitière dans les Vosges.

Pour ce faire, une première étude a effectué un recensement des exploitations anciennes ou existantes. Dans une deuxième phase, certains types de granite ont été étudiés plus en détails en fonction de critères géologiques, économiques et des différentes contraintes.

L'étude actuelle vise à qualifier plus précisément des gisements particuliers à l'échelle de quelques dizaines d'hectares.

1.2. Problème spécifique étudié

Il arrive fréquemment que des fissures, non visibles à l'affleurement, apparaissent dès l'extraction par le jeu de la simple détente.

En outre, certains blocs apparemment non fissurés sont parcourus en profondeur par des discontinuités de faible extension mais suffisantes pour faire chuter la valeur marchande du produit.

Nous recherchons une méthode d'auscultation non destructive permettant d'élaborer un cliché des caractéristiques intrinsèques du matériau.

Une dizaine de blocs et quelques parements de carrière ont fait l'objet d'une expérimentation, à titre méthodologique dont nous présentons ici les principaux résultats qui apparaissent très encourageants.

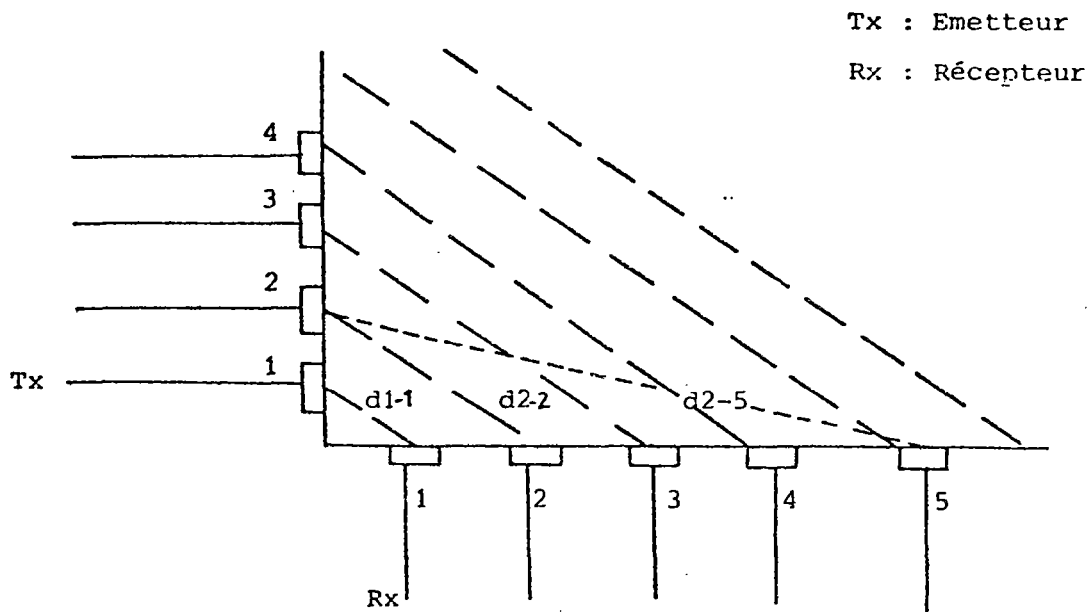


FIG. 2 : POSITIONNEMENT DE Rx ET Tx

2 - PRINCIPE DE LA METHODE -

2.1. Principes généraux

L'auscultation ultrasonique consiste à mesurer le temps de transit d'une onde entre deux transducteurs, piézoélectriques dans le cas présent.

Toute hétérogénéité altère les paramètres de la propagation.

Le temps de transit, l'énergie, l'amplitude de l'onde diminuent largement lorsque la fréquence des discontinuités augmente.

Les méthodes de transmission sont présentées figure 1 ; le fonctionnement respectif des transducteurs dans le cadre d'une auscultation complète se trouve figure 2.

Des analyses effectuées en laboratoire par différents chercheurs ont montré qu'une fracture ouverte artificiellement s'oppose au passage du train d'onde. Le chemin parcouru par celle-ci est alors le plus court conformément au schéma de la figure 3.

Les principes théoriques et méthodologiques de l'auscultation ultrasonique seront présentés en détail dans une prochaine publication.

2.2. Détermination de la vitesse de référence V_r

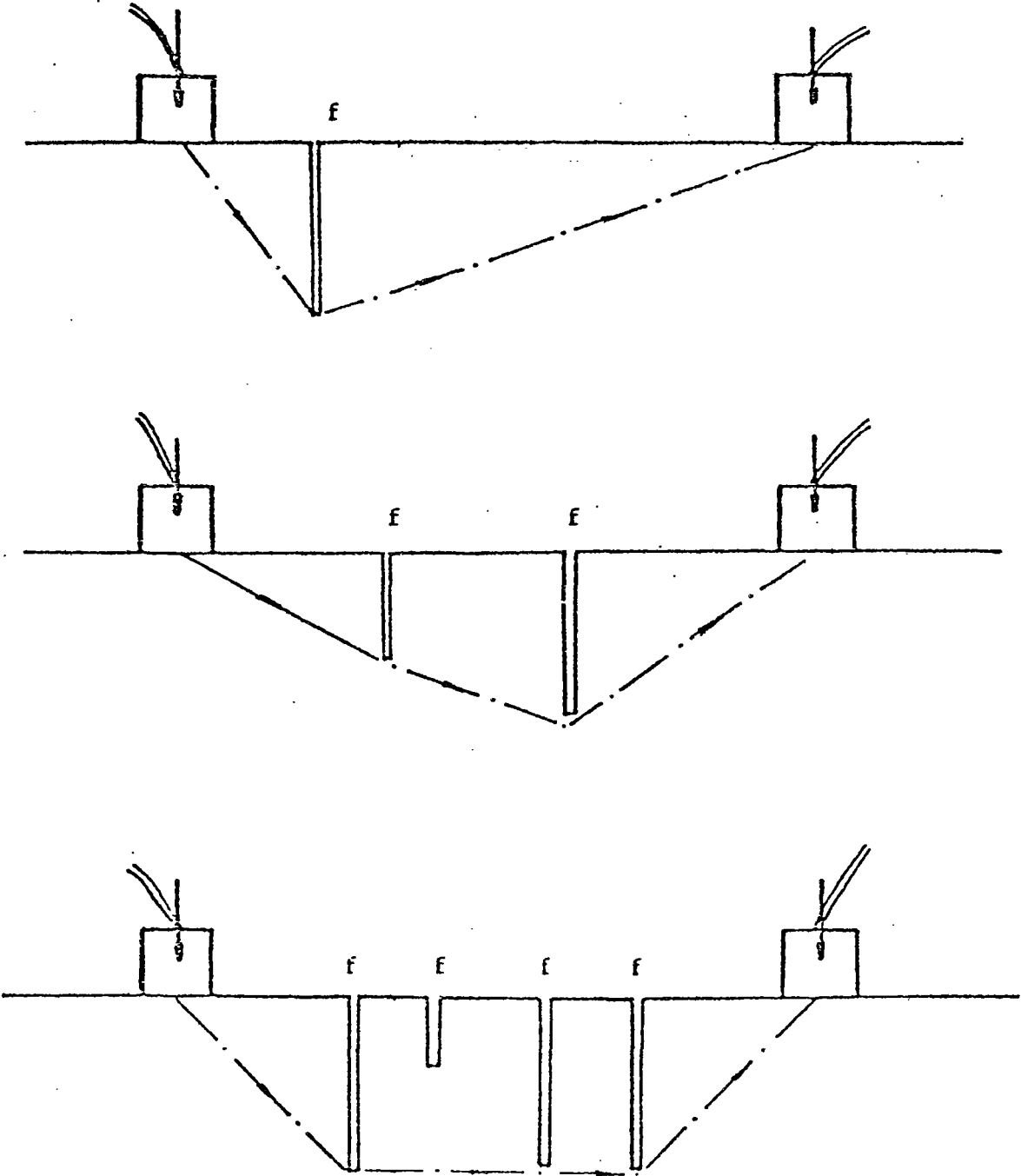
D'une manière générale, les vitesses les plus rapides sont mesurées sur les plus courtes bases. En effet, la présence d'une fissure est d'autant plus probable que la distance d'investigation est élevée.

On prend en général la moyenne des vingt mesures les plus élevées.

Fig. 3 - Influence des discontinuités artificielles sur le chemin parcouru

Emetteur

Récepteur



Dans certains cas, nous avons expérimenté également en laboratoire et mesuré la vitesse sur des éprouvettes.

Les vitesses "théoriques" intégrées aux calculs suivants sont :

Granite des Crêtes : VL = 5 545 m/s
nombre de mesures = 20
écart type = 147 m/s
mesures sur éprouvettes de 12,5 cm
fréquence = 150 KHz

Granite de Senones : VL = 5 667 m/s
nombre de mesure = 30
écart type = 214 m/s
mesures sur bloc in situ
fréquence = 54 KHz

2.3. Mesure de la distance géométrique dg

Nous avons fabriqué un compas en bois constitué de quatre bras articulés permettant une mesure directe sur des bases de 4 m maximum avec une précision de l'ordre du centimètre.

2.4. Calcul de la distance parcourue dij

Compte-tenu des justifications théoriques et méthodologiques, nous admettrons que la vitesse VL est constante dans le milieu, en l'absence de fissures et d'autres discontinuités.

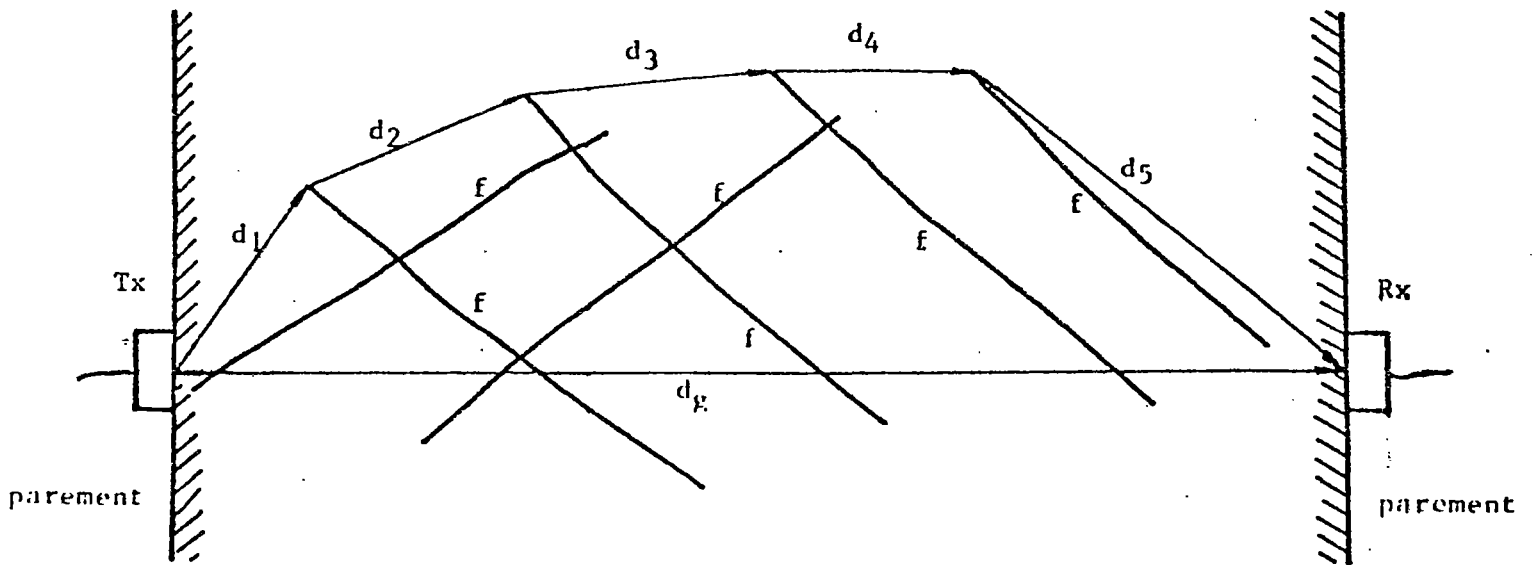
Aussi connaissant t_{ij} , on calcule $d_{ij} =$

$$d_{ij} = t_{ij} V_r.$$

En l'absence de fissures, $d_{ij} = d_g$. Dans le repère $d_{ij} - d_g$ tous les points se projettent sur la première bissectrice.

Figure 4

TRAJET MINIMUM SUIVI PAR LA VIBRATION



d_g : distance géométrique

$\sum d_k = d_{ij}$ trajet effectif

3 - EXPERIMENTATION SUR LE GRANITE VOSGIEN -

3.1. Les sites d'études

Une première expérimentation a porté sur le granite de Senones extrait dans les carrières du Haut de la Forain par l'Entreprise Migliarini.

En-dehors des blocs extraits, nous avons expérimenté sur le front de taille (carrière Alexandre).

La deuxième expérimentation est relative au granite des Crêtes et a été effectuée à la carrière des Bioquets et au Col de Grosse Pierre (carrière Petitjean).

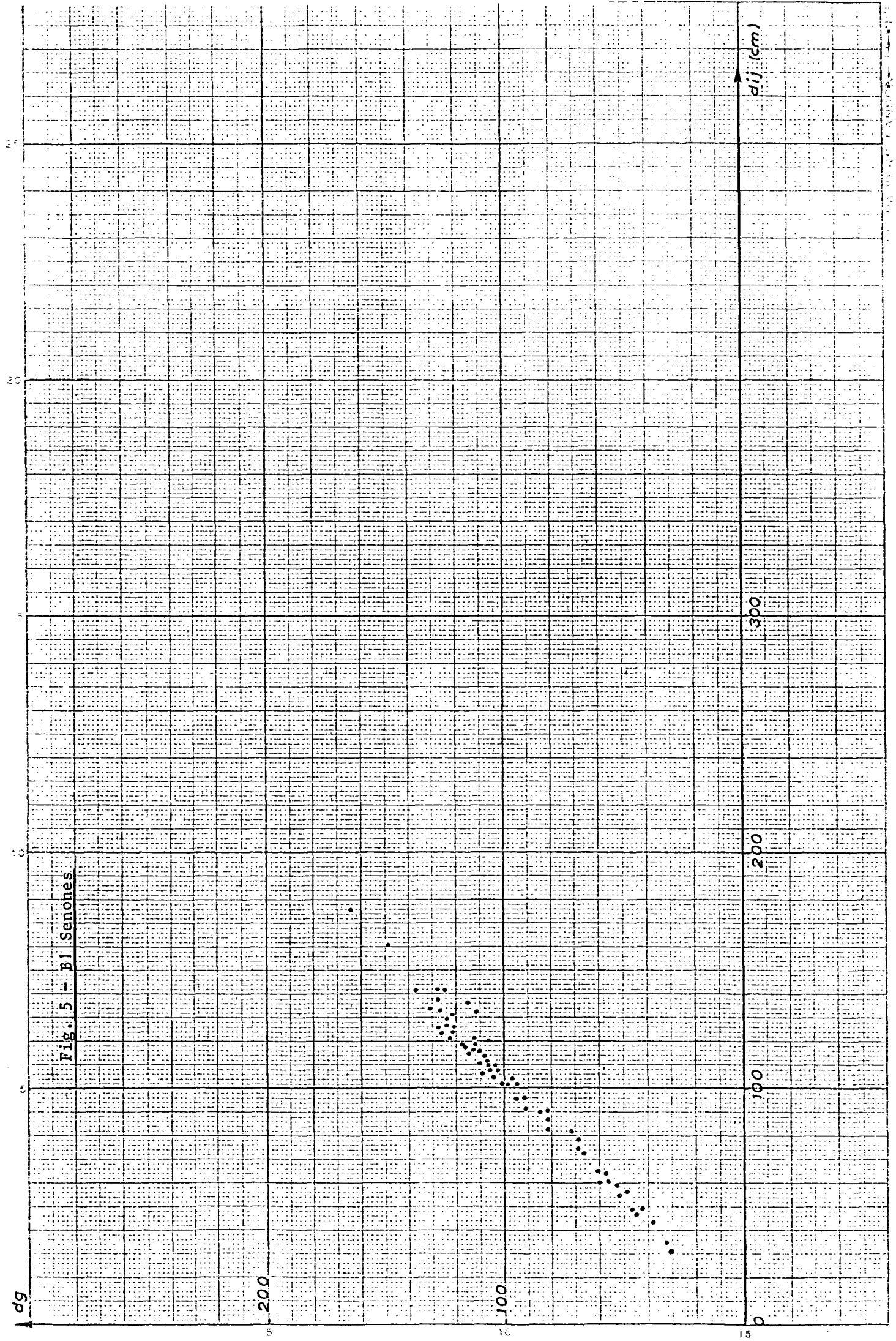
A titre de démonstration, quelques expérimentations complémentaires sur blocs ont été faites devant Monsieur l'Ingénieur subdivisionnaire d'Epinal du Ministère de l'Industrie, Monsieur le Président du Syndicat des Granitiers, représentant l'UNICEM Lorraine.

3.2. Principaux résultats

3.2.1. Auscultation d'un bloc marchand

Le volume ausculté fait approximativement 1,5 x 1,5 x 2 m. Les bases de mesures sont préparées sur les faces de deux dièdres avec un espacement de 20 cm entre chaque point.

Les deux sondes sont positionnées le plus près possible de l'arête et déplacées graduellement vers l'extérieur.



Les mesures relatives à la figure 5 représentant l'auscultation d'un bloc de Senones traduisent la remarquable homogénéité d'un matériau sain, non fissuré, sur une longueur de 2,40 m. Toutes les mesures sont comprises dans le domaine bissecteur, les seules variations notées sont imputables à la dispersion de la vitesse théorique et aux erreurs de mesure sur dg.

Par opposition, l'expérimentation effectuée sur le bloc 1 de la carrière Petitjean, au Col de Grosse Pierre, présente des hétérogénéités (figure 6).

Un certain nombre de points sont centrés sur la première bissectrice mais un grand nombre présentent une dérive, sous l'influence des fissures dont la présence est d'autant plus notable que la distance croît.

Remarques :

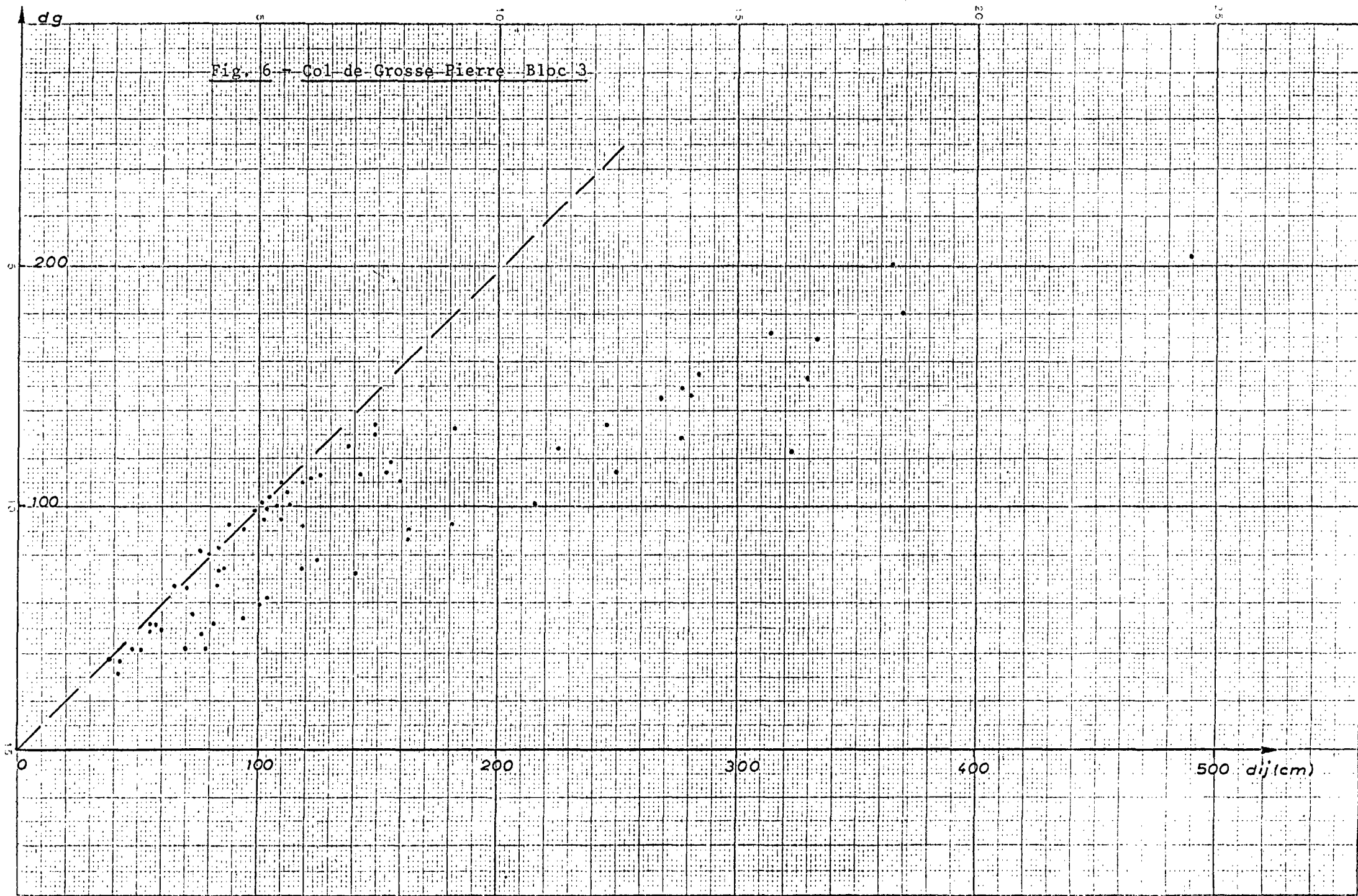
La constante VL au sein du milieu admis comme postulat est critique.

Il est des cas où le milieu est anisotrope du fait de la linéarité, par exemple, due aux cristaux.

A cet égard, l'histogramme des vitesses mentionné figure 7 et concernant un bloc de Senones peut être analysé finement. En effet, il semble y avoir une influence de l'orientation sur VL.

On a analysé les mesures groupées en deux familles correspondant aux transducteurs disposés sur les faces A et B, les faces A et C.

Dispositif	AC	AB
Nombre de mesure	25	37
Moyenne	5 667 m/s	5 275 m/s
Ecart type	214	204



Pour la face AB, on a déterminé trois valeurs faibles de l'ordre de 3 500 m/s qui correspondent à une zone localement fissurée.

On montre par les tests statistiques usuels que les variances sont égales et les moyennes différentes (risque $\alpha = 1/1000$).

Conclusion :

Il y a anisotropie. Les vitesses sont plus fortes suivant AC.

Interprétation :

Il peut s'agir d'une anisotropie de structure ou d'une anisotropie due à la microfissuration.

Analyse d'une discontinuité :

Dans certains cas, une fissure visible en surface peut disparaître vite. En d'autres termes, certains blocs laissés pour compte seraient exploitables si l'on fait abstraction d'une tranche superficielle.

Le bloc 3 de Senones présentait une fissure visible sur une face, raison pour laquelle il a été rejeté.

La figure 7 représente l'histogramme des vitesses calculées ($V_c = dg/t_{ij}$).

Nous distinguerons arbitrairement trois classes :

- $V_L > 4\ 750$ m/s
- $V_L < 3\ 000$ m/s
- $3\ 000 < V_L < 4\ 750$ m/s

Sur la figure 8 où le bloc B3 est représenté sensiblement à l'échelle, nous avons reporté en trois figures les vitesses correspondant à ces trois classes.

Histogramme des vitesses

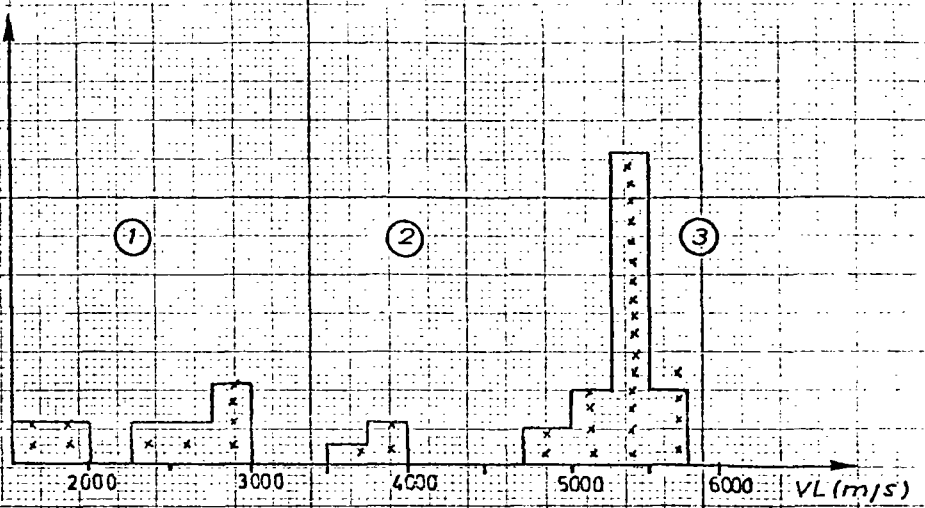
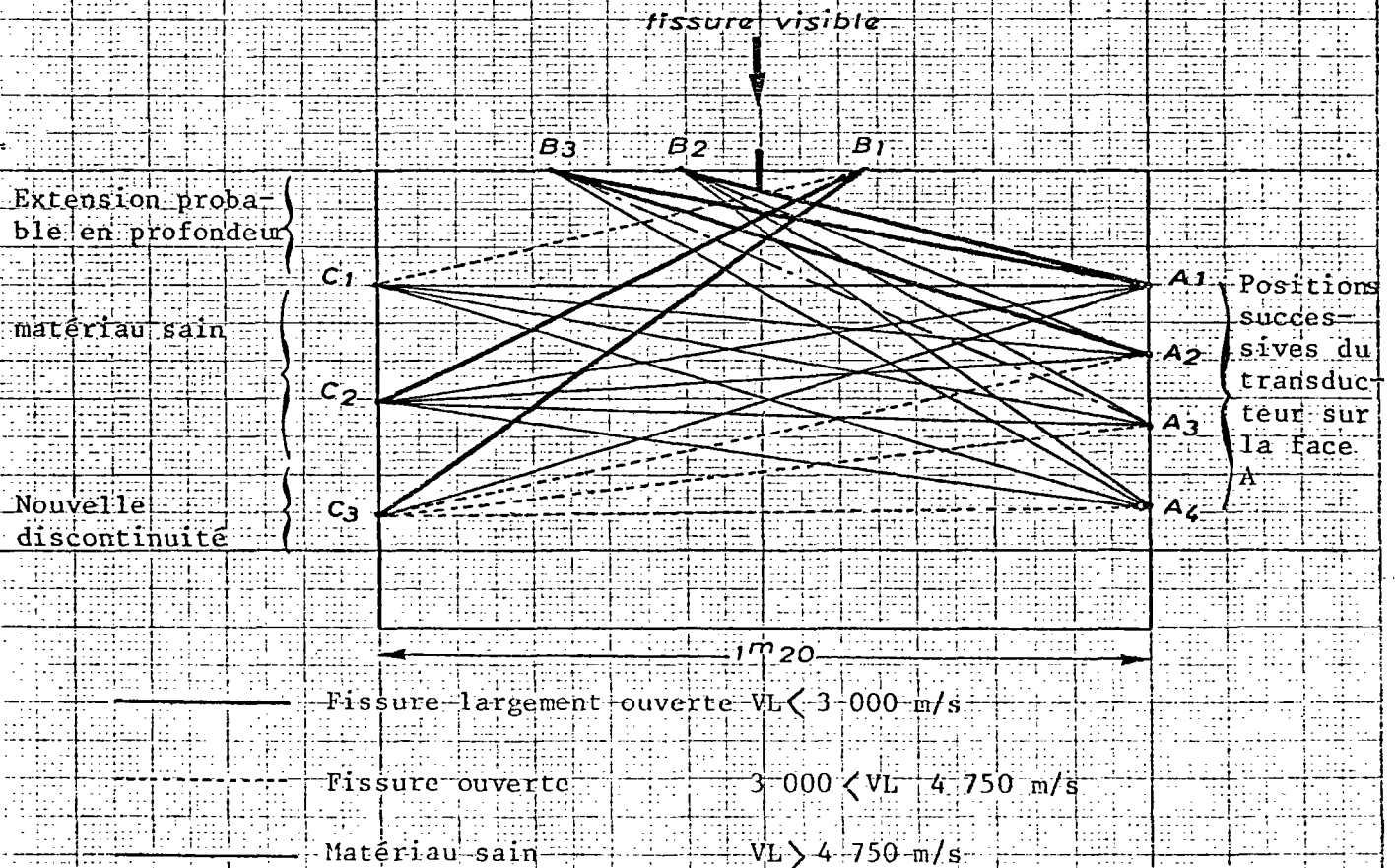


Fig. 7 - Histogramme des vitesses (Bloc B3 - Senones)

$f = 54 \text{ kHz}$

Fig. 8 - Représentation schématique de la géométrie de la fissure



Conclusion :

Il est possible de détecter des fils et des fissures invisibles en surface et bien individualisés uniquement en profondeur. Ces discontinuités "échappent" nécessairement à l'oeil du carrier.

Par ailleurs, l'extension et l'orientation géométrique de ces discontinuités est repérable. La figure 9 représente les mesures obtenues sur un matériau fissuré.

Ces retards notés se traduisent par des décalages correspondant à l'accroissement du chemin parcouru à vitesse constante.

3.2.2. Auscultation d'un parement de carrière

Il est possible d'ausculter les blocs à moitié extraits, ceci dans le but d'estimer le risque de rencontrer une fissure, plus en profondeur.

On peut envisager un cliché de front de taille à intervalles réguliers dans le but d'orienter l'avancement des travaux.

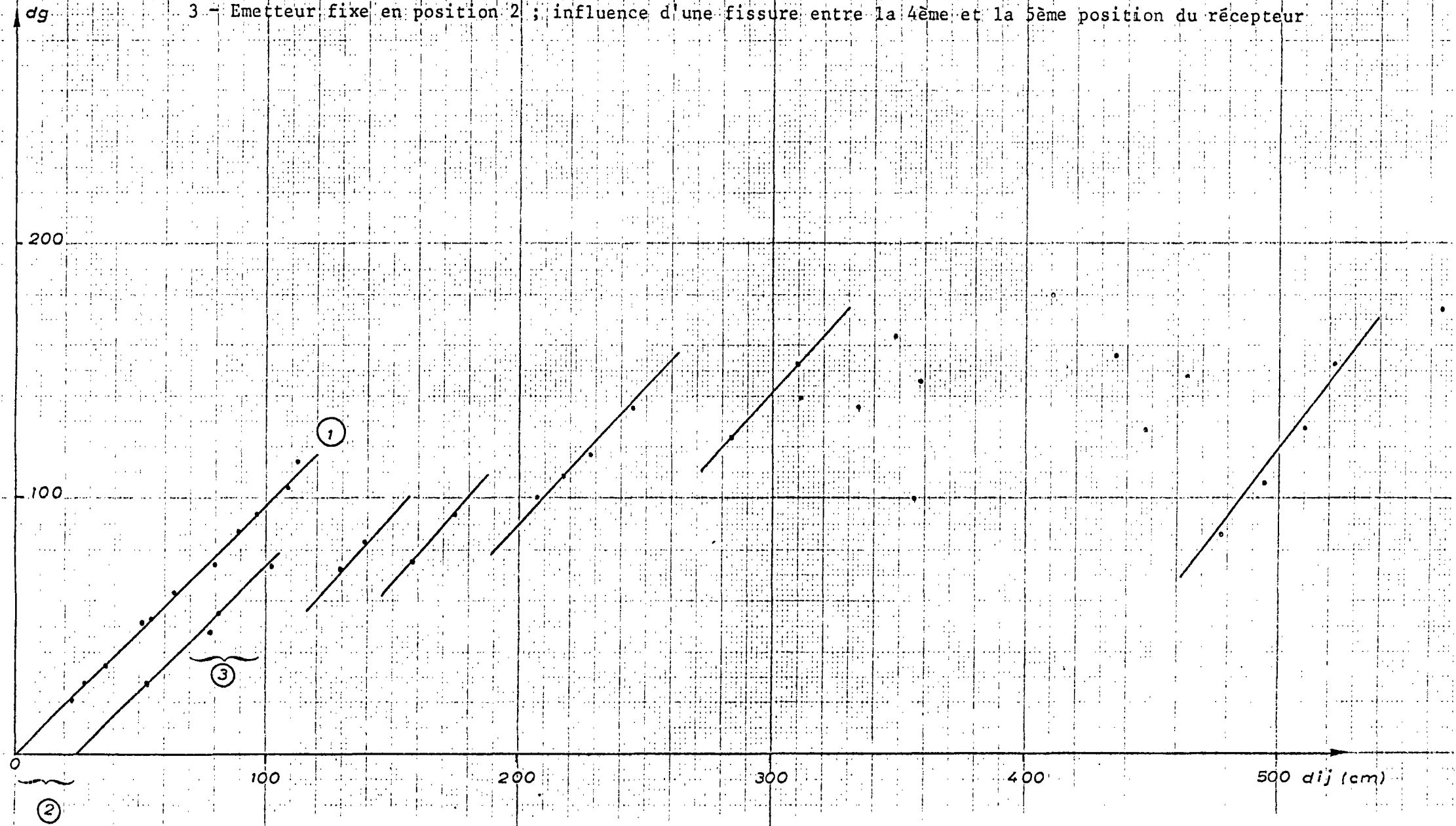
3.3. Perspectives

D'un point de vue méthodologique, les fondements de cette méthode sont bien connus, hormis l'aspect "parement de carrière" où nous avons quelques progrès à réaliser. Il y a lieu de mettre au point définitivement la méthode et les appareils.

On peut envisager, à terme, une assistance technique vis-à-vis de la profession qui pourrait d'ailleurs s'équiper au niveau du Syndicat, par exemple.

Fig. 9 - Influence des fractures

- 1 - Emetteur fixe, 11 positions du récepteur, absence de fissure
- 2 - 2ème position de l'émetteur, retard environ $30,6 \pm 55 \mu s$ \Rightarrow effet de fissure entre les deux positions
- 3 - Emetteur fixe en position 2 ; influence d'une fissure entre la 4ème et la 5ème position du récepteur











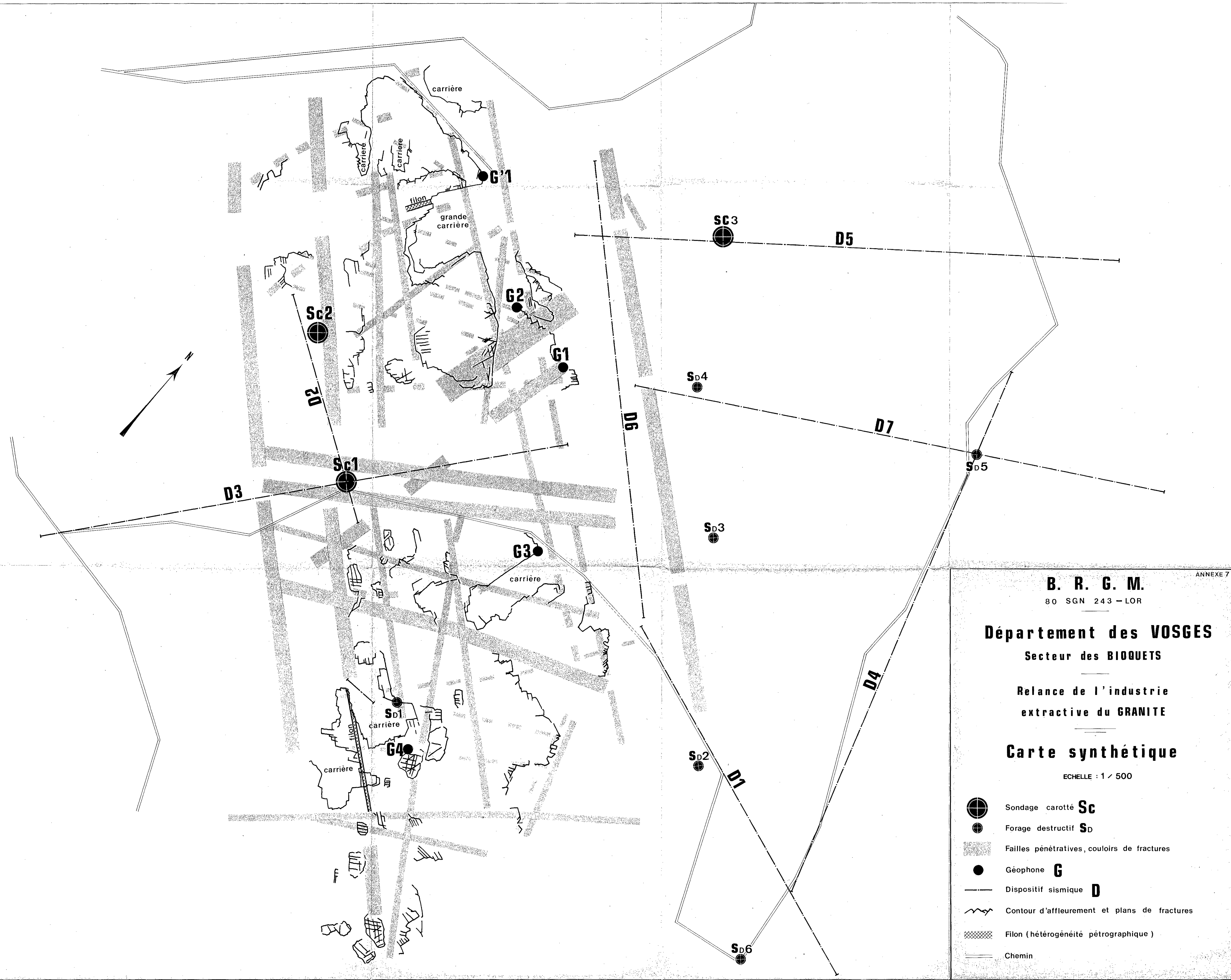
B. R. G. M.
80 SGN 243 - LOR

Département des VOSGES
Secteur des BIOQUETS
Relance de l'industrie
extractive du GRANITE

Carte synthétique

ECHELLE : 1 / 500

-  Sondage carotté **Sc**
-  Forage destructif **Sd**
-  Failles pénétratives, couloirs de fractures
-  Géophone **G**
-  Dispositif sismique **D**
-  Contour d'affleurement et plans de fractures
-  Filon (hétérogénéité pétrographique)
-  Chemin



B. R. G. M.

80 SGN 243-LOR

Département des VOSGES

Secteur de SENONES

Relance de l'industrie
extractive du GRANITE**Carte synthétique**

ECHELLE : 1/2500

LEGENDE

- ⋯⋯⋯ "Crassin"
- Rouge Corail
- Rosé
- Feuille Morte
- Faille ou zone broyée supposée
- ⋯⋯⋯ Zone broyée
- ⋯⋯⋯ Zone marécageuse
- K Kersantite
- D Dispositif sismique
- ⊕ 1 Sondage carotté
- ⊖ 1 Forage destructif

