

COMMISSARIAT A L'ÉNERGIE ATOMIQUE
AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS
31-33, rue de la Fédération - 75015 PARIS

Stockage de déchets radioactifs en formations géologiques

MASSIF DE HUELGOAT

(Finistère)

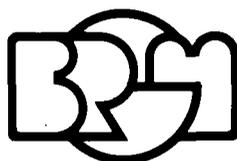
CONFIRMATION DES CARACTÉRISTIQUES FAVORABLES

— 1^{ère} phase, 1^{ère} partie —

ÉTUDES PÉTROGRAPHIQUE ET STRUCTURALE

par

C. CASTAING, P. CHEVREMONT, P. MARTIN



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

**Département carte géologique
et géologie générale**
B.P. 6009
45060 Orléans Cedex
Tél.: (38) 63.80.01

Mission stockages
B.P. 6009
45060 Orléans Cedex
Tél.: (38) 63.80.01

Rapport du B.R.G.M.

83 SGN 827 GEO

Janvier 1984

AVERTISSEMENT

L' Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs a chargé le Bureau de recherches géologiques et minières de l'inventaire et de la sélection technique des sites de stockage de déchets radioactifs en formations géologiques profondes.

La première étape des études a consisté en l'inventaire, sur documents, des formations favorables en vue de la présélection des sites (1982).

L'objet de la deuxième étape est de confirmer les caractères favorables des régions présélectionnées. Cette confirmation est réalisée en deux phases successives :

- La première qui est composée de plusieurs parties comprend les études détaillées des données disponibles et leur vérification in situ par des techniques légères appropriées.

- A la deuxième correspond la reconnaissance des caractéristiques en profondeur par des travaux lourds.

La présente étude a été effectuée dans le cadre des travaux de confirmation de lère phase - lère partie. Elle comprend :

- un rapport géologique : 83 SGN 827 GEO
- un rapport géophysique : 84 SGN 102 GPH.

RESUME

Les études géologiques (pétrographiques, géochimiques et structurales) exposées dans ce rapport font partie d'une première phase de travaux consacrée au massif granitique de Huelgoat (Finistère central, France) dans le cadre des problèmes de stockages profonds de déchets radioactifs.

Cette première phase permet de préciser les différents types de granites constituant le massif et leurs relations génétiques, ainsi que les influences des différentes phases de tectonique cassante l'ayant affecté. Un résumé de l'histoire géodynamique du massif granitique est proposé ; il fait ressortir les faits ayant des incidences pratiques sur les problèmes de stockages, tels que la géométrie d'ensemble, l'enracinement et la fracturation du massif.

Ces travaux géologiques ont été réalisés parallèlement aux interprétations gravimétriques (rapport 84 SGN 102 GPH) dont nous avons tenu compte de manière à éliminer des hypothèses contradictoires.

Les modalités de mise en place du granite plaident en faveur d'une montée diapirique du pluton, lui conférant a priori une forme en montgolfière aplatie. Les études structurales montrent que le massif est moyennement à peu fracturé localement, la fracturation majeure ayant tendance à se regrouper en couloirs N 120° E. Les données de la morphocinématique permettent de mettre l'accent sur les possibilités de fonctionnement en ouverture des familles de fractures N 120 et N 165° E.

En conclusion nous éliminons des zones a priori défavorables sur des critères d'ordre pétrographique, structural et géodynamique et délimitons une zone restreinte pour laquelle nous proposons des travaux complémentaires, de manière à cerner le problème majeur correspondant à la délimitation des grandes discontinuités.

SOMMAIRE

	Pages
RESUME	
INTRODUCTION.....	3
OBJET DES TRAVAUX.....	3
SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU MASSIF.....	3
COMPOSITION DU RAPPORT.....	5
PREMIERE PARTIE - ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE.....	6
1 - GENERALITES.....	8
2 - RESULTATS DE L'ETUDE PETROGRAPHIQUE.....	11
2-1 - LE GRANITE DE HUELGOAT s.s.....	11
2-1-1 - <u>Caractères macroscopiques</u>	11
2-1-2 - <u>Etude microscopique</u>	12
2-1-2-1 - <u>TEXTURE ET COMPOSITION MINERALOGIQUE</u>	12
2-1-2-2 - <u>NATURE DES ENCLAVES MAGMATIQUES</u>	13
2-1-2-3 - <u>ALTERATION DEUTERIQUE A HYDROTHERMALE</u> ...	13
2-1-3 - <u>Conclusions</u>	14
2-2 - LE GRANITE DU CLOITRE.....	15
2-2-1 - <u>Caractères macroscopiques</u>	15
2-2-2 - <u>Etude microscopique</u>	15
2-2-3 - <u>Conclusions</u>	16
2-3 - LE GRANITE DE LA FEUILLEE.....	16
2-3-1 - <u>Caractères macroscopiques</u>	16
2-3-2 - <u>Etude microscopique</u>	17
2-3-2-1 - <u>TEXTURE ET COMPOSITION MINERALOGIQUE</u>	17
2-3-2-2 - <u>ALTERATION DEUTERIQUE ET HYDROTHERMALE</u> ...	18
2-3-2-3 - <u>NATURE DES ENCLAVES MAGMATIQUES</u>	18

2-3-3 - <u>Conclusions</u>	19
2-4 - LES FILONS DE LEUCOGRANITES.....	19
2-4-1 - <u>Caractères macroscopiques</u>	19
2-4-2 - <u>Etude microscopique</u>	20
2-4-3 - <u>Conclusions</u>	20
2-5 - LES FILONS DE MICROGRANITE, DE MICRODIORITE ET DE QUARTZ..	21
2-5-1 - <u>Le filon de microgranite porphyrique greisenisé du bois de Rusquec</u>	21
2-5-2 - <u>Les filons de microdiorite quartzique</u>	21
2-5-3 - <u>Les filons de quartz</u>	21
2-5-4 - <u>Conclusions</u>	22
3 - UTILITE ET PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE.....	23
3-1 - UTILITE DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE.....	23
3-2 - PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE.....	24
3-2-1 - <u>Variations des éléments majeurs</u>	24
3-2-2 - <u>Variations des éléments en traces</u>	24
3-3 - CONCLUSIONS.....	25
4 - ETUDE PETROGRAPHIQUE DES DIFFERENTS TYPES DE CONTACT.....	27
4-1 - CONTACT DES GRANITES DE HUELGOAT s.s. ET DE LA FEUILLEE AVEC LEUR ENCAISSANT.....	27
4-2 - RELATIONS DES DIFFERENTES ENTITES GRANITQUES ENTRE ELLES	27
4-2-1 - <u>Contact entre les granites de Huelgoat s.s. et du Cloître</u>	27
4-2-2 - <u>Contact entre les granites de Huelgoat s.s. et de la Feuillée</u>	29
4-2-3 - <u>Problème des filons de leucogranites</u>	29
5 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE.....	30
DEUXIEME PARTIE - ETUDE STRUCTURALE.....	32
1 - INTRODUCTION.....	33

2 - STRUCTURES MAGMATIQUES DANS LE GRANITE ET DEFORMATIONS DE L'ENCAISSANT SCHISTO-GRESEUX.....	35
3 - STRUCTURES CASSANTES DANS LE GRANITE : ETUDE DE LA MESOFRACTURATION AU SOL.....	38
3-1 - ORIENTATION DE LA MESOFRACTURATION.....	38
3-1-1 - <u>Ensemble du massif</u>	38
3-1-2 - <u>Pour chaque faciès pétrographique</u>	39
3-2 - DENSITE DE LA MESOFRACTURATION.....	39
3-2-1 - <u>Espacement interfractural moyen déterminé par la moyenne arithmétique</u>	39
3-2-2 - <u>Espacement interfractural moyen déterminé grâce à l'histogramme de fréquence</u>	41
3-3 - CONCLUSIONS AUX ETUDES STATISTIQUES DE LA MESOFRACTURATION	43
3-3-1 - <u>Orientation et densité de la mésofracturation</u>	43
3-3-2 - <u>Comparaison entre les différents faciès granitiques</u>	44
3-3-3 - <u>Comparaison entre les différents secteurs géographiques</u>	45
4 - ETUDE MORPHOCINEMATIQUE : RECONSTITUTION DES PHASES DE TECTONIQUE CASSANTE AYANT AFFECTE LE MASSIF.....	47
4-1 - MISE EN EVIDENCE DES DIFFERENTES PHASES TECTONIQUES CASSANTES.....	47
4-2 - CHRONOLOGIE DES TROIS PHASES DE TECTONIQUE CASSANTE.....	48
5 - CONCLUSIONS AUX ETUDES STRUCTURALES.....	50
TROISIEME PARTIE - HISTOIRE GEODYNAMIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT	
PRINCIPAUX RESULTATS ET CONCLUSIONS.....	51
1 - HISTOIRE GEODYNAMIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT.....	53
2 - PRINCIPAUX RESULTATS ET CONCLUSIONS.....	56

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 : Cartes de localisation.
- Fig. 2 : Situation géologique du massif de Huelgoat.
- Fig. 3 : Carte géologique du massif de Huelgoat.
- Fig. 4 : Schlieren de biotite dans le granite de Huelgoat s.s.
- Fig. 5 : Contact granite de Huelgoat s.s. - encaissant.
- Fig. 6 : Contact granite de Huelgoat s.s. - granite du Cloître.
- Fig. 7 : Structures magmatiques du granite de Huelgoat en relation avec son encaissant.
- Fig. 8 : Massif de Huelgoat. Diagramme de densité relative de la fracturation.
- Fig. 9 : Massif de Huelgoat. Rosace des directions de fractures.
- Fig. 10 : Ensemble du massif. Histogramme de fréquence des écartements interfracturaux.
- Fig. 11 : Ensemble du massif. Etude morphocinématique.
- Fig. 12 : Mise en place d'un granite de type Huelgoat.
- Fig. 13 : Sélection d'une zone restreinte en vue d'études de deuxième phase.

LISTE DES ANNEXES HORS TEXTE

- Annexe 1 : Etude des lames minces de roches.
- Annexe 2 : Etude géochimique du massif de Huelgoat.
- Annexe 3 : Diagrammes et histogrammes structuraux.

LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE

- Planche 1 : Carte géologique du massif de Huelgoat et de son encaissant immédiat.
- Planche 2 : Carte structurale.

INTRODUCTION

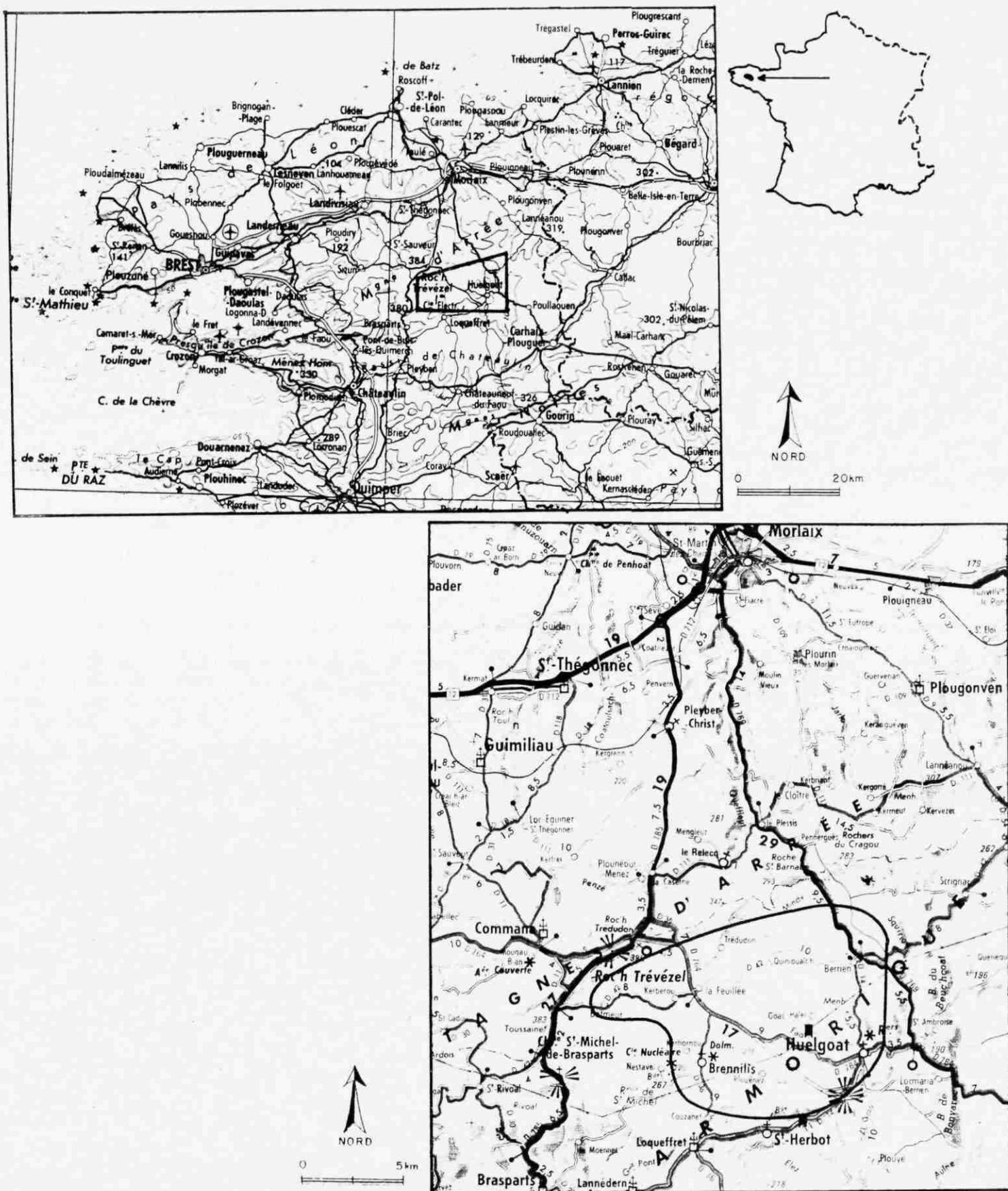


Fig. 1 : cartes de localisation

----- : limite de département

———— : secteur retenu

INTRODUCTION

OBJET DES TRAVAUX

Le massif granitique de Huelgoat a été présélectionné lors d'une première phase d'études sur documents qui a permis de réunir un certain nombre de conditions favorables du point de vue de la recherche d'un site de stockage profond.

Les travaux géologiques actuels (études pétrographiques, géochimiques et structurales) menés en parallèle avec les études géophysiques (gravimétrie), vont permettre de mieux appréhender la géométrie et l'homogénéité du massif, de manière à procéder à un début d'élimination des secteurs les moins favorables pour focaliser les investigations futures sur une zone restreinte.

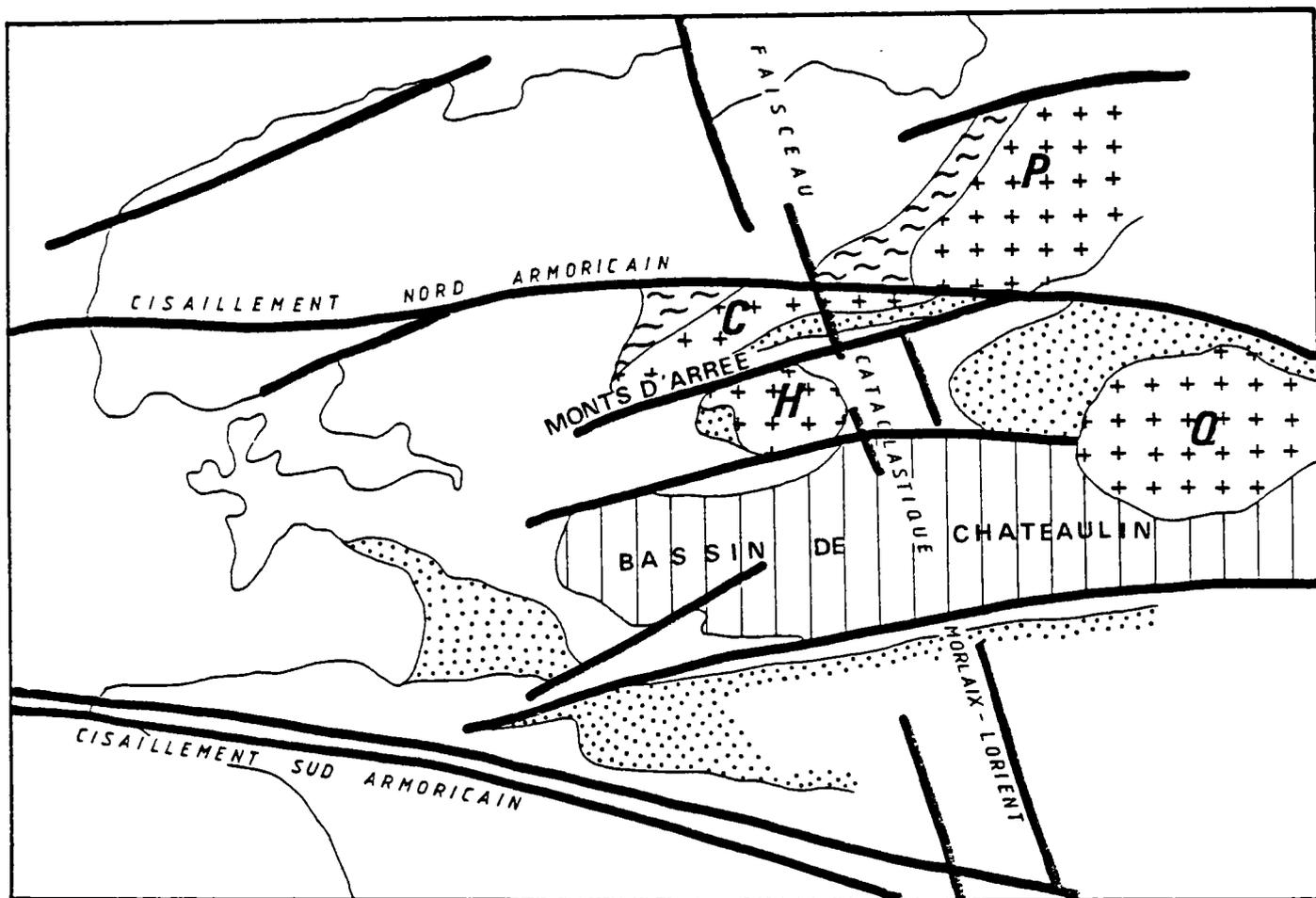
SITUATION GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU MASSIF

Le massif granitique de Huelgoat (fig. 1) est situé dans le département du Finistère, entre les deux grandes entités géomorphologiques de Bretagne centrale que sont l'axe des Monts d'Arrée au Nord et le bassin de Chateaulin au Sud.

Les principales agglomérations sont celles de : Huelgoat, Berrien, Brennilis, La Feuillée, Botmeur. Les principaux axes routiers sont la N 785 passant près de la bordure ouest du granite et la N 164 le traversant de part en part en direction NW-SE.

Ce massif, affleurant sous la forme d'une ellipse de 10 x 15 km (environ 100 km²), présente une configuration topographique particulière : la partie ouest de l'ellipse apparaît en dépression par rapport à l'encaissant tandis que la partie est surplombe les régions avoisinantes. L'altitude moyenne du massif est estimée à 240 m.

D'un point de vue géologique (fig. 2) le massif granitique de Huelgoat fait partie du domaine central armoricain, séparé des domaines nord-armoricain et sud-armoricain par les deux zones de cisaillement majeur que sont les Cisaillements Nord et Sud-armoricains.



- | | | | |
|---|---------------------------------------|----------|----------|
|  | Zones de cisaillement et de cataclase | H | HUELGOAT |
|  | Carbonifère | C | COMMANA |
|  | Paléozoïque inférieur | Q | QUINTIN |
|  | Briovérien | P | PLOUARET |
|  | Orthogneiss | | |
|  | Granites | | |

Figure 2 - SITUATION GEOLOGIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT.

Ces zones de cisaillement majeur sont relayées par des cisaillements secondaires dont deux passent à proximité du granite :

- au niveau des Monts d'Arrée, séparant le granite de Huelgoat de celui de Commana ;
- directement au Sud du massif, le séparant du bassin de Chateaulin.

Le massif est intrusif dans les formations schisteuses et schisto-gréseuses briovériennes, ordoviciennes et siluro-dévonniennes, au coeur d'une structure anticlinale.

COMPOSITION DU RAPPORT

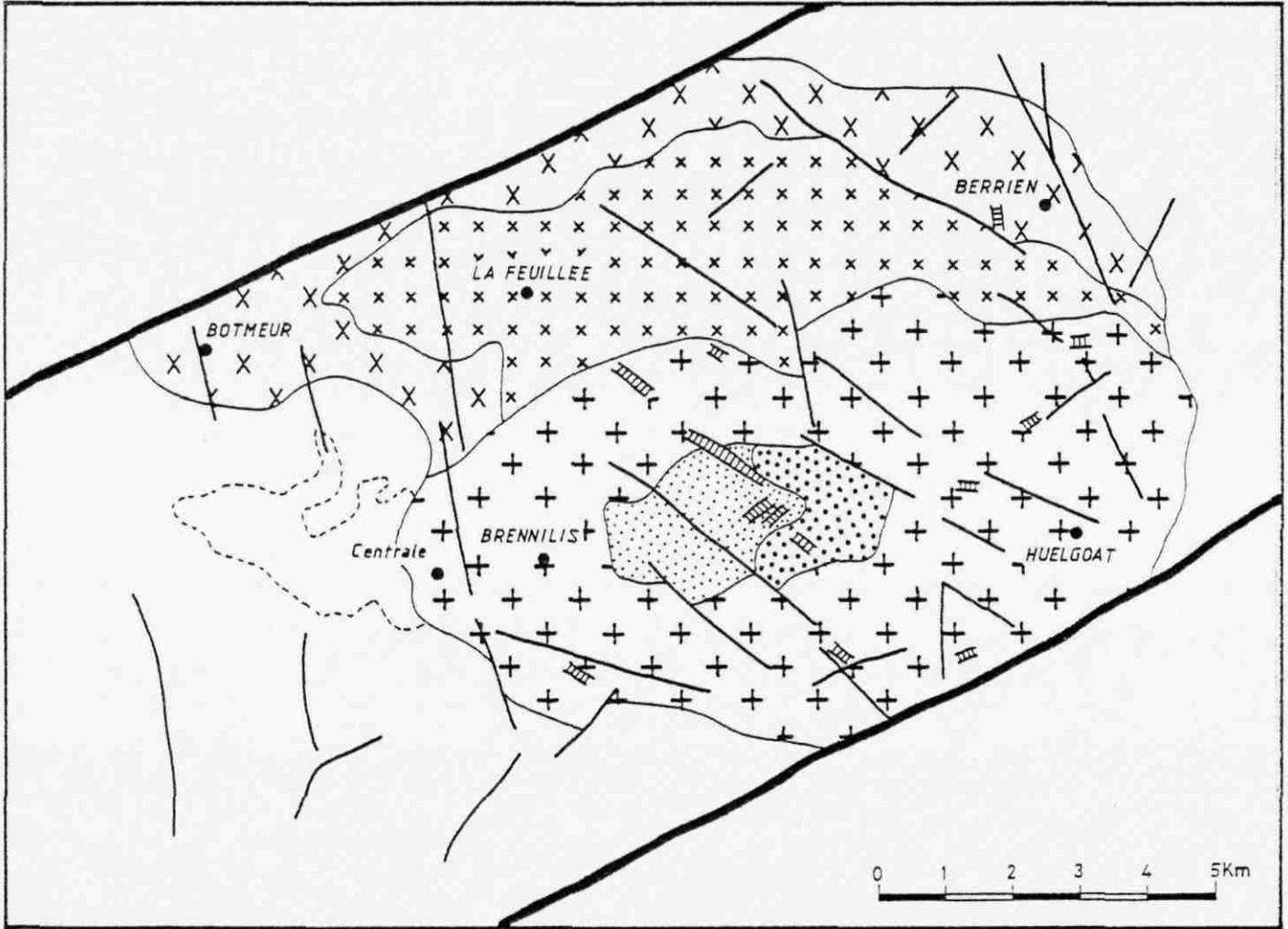
Ce rapport, faisant le point sur les études géologiques (pétrographiques, géochimiques et structurales), est divisé en trois grandes parties :

- la première partie consacrée aux études pétrographiques et géochimiques, permet de préciser la nature des différents types pétrographiques de granites et leurs relations génétiques ;
- la deuxième partie traitant des structures magmatiques et de la fracturation du massif, permet de mettre en évidence le rôle des différentes phases de tectonique cassante ;
- la troisième partie, tenant compte des résultats des deux premières, fait le point sur l'histoire géologique du granite en relation avec le contexte géodynamique armoricain, depuis ses modalités de mise en place jusqu'aux phases de fracturation les plus tardives ; elle permet de mettre en lumière les principaux résultats axés sur les problèmes liés aux stockages profonds, de manière à proposer une poursuite des travaux dans une zone restreinte sélectionnée.

Nous tenons compte dans les conclusions des principaux résultats des études gravimétriques (rapport 84 SGN 102 GPH).

Les planches hors-texte 1 et 2, correspondant aux cartes géologiques et structurales détaillées du massif, peuvent être considérées comme un résumé graphique des résultats.

PREMIERE PARTIE
ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE



GRANITE DE HUELGOAT S.S.



GRANITE DE LA FEUILLEE



A biotite



A biotite - muscovite

GRANITE DU CLOITRE



A biotite



A biotite - muscovite

FILONS



1) Zones de cisaillement

2) Failles probables

Figure 3 - CARTE GEOLOGIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT.

1 - GENERALITES

La surface affleurante du massif granitique de Huelgoat a une forme elliptique, allongée suivant une direction WSW-ENE, et une superficie de 100 km² environ.

Les données antérieures de F. CONQUERE (1969) et de Y. GEORGET (1983) et les travaux actuels montrent que le massif de Huelgoat comprend 4 entités granitiques nettement distinctes (fig. 3, pl. 1) qui sont par ordre de superficie décroissante :

- . le granite de Huelgoat s.s., au Sud, qui affleure suivant une ellipse orientée WSW-ENE, de grand et petit axes respectivement égaux à 11 et 6 km environ ;
- . le granite de La Feuillée, au Nord, adjacent à la bordure septentrionale du granite de Huelgoat s.s. ;
- . le granite du Cloître, situé au coeur du granite de Huelgoat s.s et inscrit dans une petite ellipse, dont le grand axe constitue un segment (de longueur proche de 4,5 km) du grand axe de l'ellipse du granite de Huelgoat s.s., tandis que son petit axe, de longueur proche de 2 km, est légèrement décalé vers le Sud-Sud Ouest par rapport à celui de la grande ellipse ;
- . des filons de leucogranites qui recoupent les trois entités précédentes et sont particulièrement abondants au centre du granite du Cloître, dans la zone de Coat-Mocun.

Quelques filons basiques (microdiorite plus ou moins porphyrique) recoupent la partie centrale de l'ensemble granite de Huelgoat s.s. -granite du Cloître suivant une direction oscillant autour de N 130, tandis que des filons de quartz, d'orientation variable, existent dans l'ensemble du massif granitique et qu'un filon de microgranite porphyrique greisenisé recoupe les schistes dévoniens immédiatement au Sud du granite de Huelgoat s.s. (pl. 1).

Les datations radiométriques réalisées jusqu'à présent ont donné des résultats incohérents :

Méthode	K/Ar	Rb/Sr sur biotite	K/Ar sur feldspath K	Références
granite de Huelgoat s.s.	310 MA ⁽¹⁾	290 MA		DEUTSCH S. et CHAURIS L. (1960)
granite du Cloître	317 MA ⁽¹⁾	280 MA		
granite de La Feuillée	315±15 MA		290±20 MA	LEUTWEIN F. (1968) et al.
massif granitique de Huelgoat	316±16 MA ⁽²⁾			PEUCAT J.J. (1979) et al.

MA : millions d'années (1) sur biotite (2) sur roche totale

L'incohérence de ces résultats montre qu'il était nécessaire d'étudier de près le problème des relations génétiques entre les quatre entités granitiques, distinguées ci-dessus. Ce problème est important dans le cadre du présent travail car l'existence (ou non) d'un lien génétique est un facteur favorable (ou non) à une homogénéité globale du massif et à des contacts bien soudés. Pour résoudre fidèlement ce problème il était indispensable de procéder parallèlement aux études pétrographiques, à une étude géochimique de l'ensemble du massif.

2 - RESULTATS DE L'ETUDE PETROGRAPHIQUE (1) (cf. planche 1 pour localisations)

2-1 - LE GRANITE DE HUELGOAT s.s.

2-1-1 - Caractères macroscopiques

Le granite de Huelgoat s.s. se présente localement en boules, quelquefois énormes (plusieurs dizaines de mètres-cube) : en particulier à l'extrémité orientale du massif, dans le secteur de la ville de Huelgoat, où les chaos granitiques constituent des curiosités touristiques. Cependant la majeure partie du massif est arénisée en surface, notamment dans la zone de Brennilis.

Les principaux caractères observables macroscopiquement sur les affleurements concernent la texture, la composition minéralogique et les enclaves. Les phénomènes spécifiques aux contacts avec l'encaissant métamorphique et avec les autres granites seront examinés plus loin (§ 4-3).

La texture est porphyroïde grenue, caractérisée par la présence de phénocristaux de feldspath potassique, de longueur moyenne proche de 2 cm avec un maximum observé de 5,5 cm (point 7), au sein d'une mésostase qui renferme de gros cristaux de cordiérite et des grains de quartz plus ou moins globuleux dont la taille diminue notablement (de 5 à 2 mm environ) du centre de la périphérie du massif. Localement le granite porphyroïde à cordiérite renferme des bouffées pegmatitiques plus ou moins diffuses, riches en cristaux de feldspath potassique et de cordiérite dont la longueur peut atteindre 6 et 3 cm respectivement. Une autre particularité locale est l'existence de schlieren de biotite (fig. 4).

En ce qui concerne la composition minéralogique, il convient de distinguer d'une part les phénocristaux constitués de feldspath potassique perthitique englobant de petites paillettes de biotite et d'autre part la mésostase constituée de quartz, plagioclase, feldspath potassique, cordiérite, biotite dominante sur la muscovite. De la tourmaline est fréquemment présente, notamment dans la zone de Brennilis et en bordure du granite d'Huelgoat s.s. (point 69, pl. 1). Cette tourmaline se présente d'une part en petits cristaux xénomorphes, interstitiels aux autres minéraux de la mésostase du granite et d'autre part accompagne parfois le quartz, en proportions variables, au sein de veines de 0,2 à 2 cm de puissance qui recoupent le granite. Enfin de petits cristaux de pyrite disséminée ont été observés au point 23.

(1) Seuls les principaux caractères macro- et microscopiques sont décrits dans ce chapitre. Les résultats détaillés de l'étude microscopique figurent dans l'annexe 1 du présent rapport.

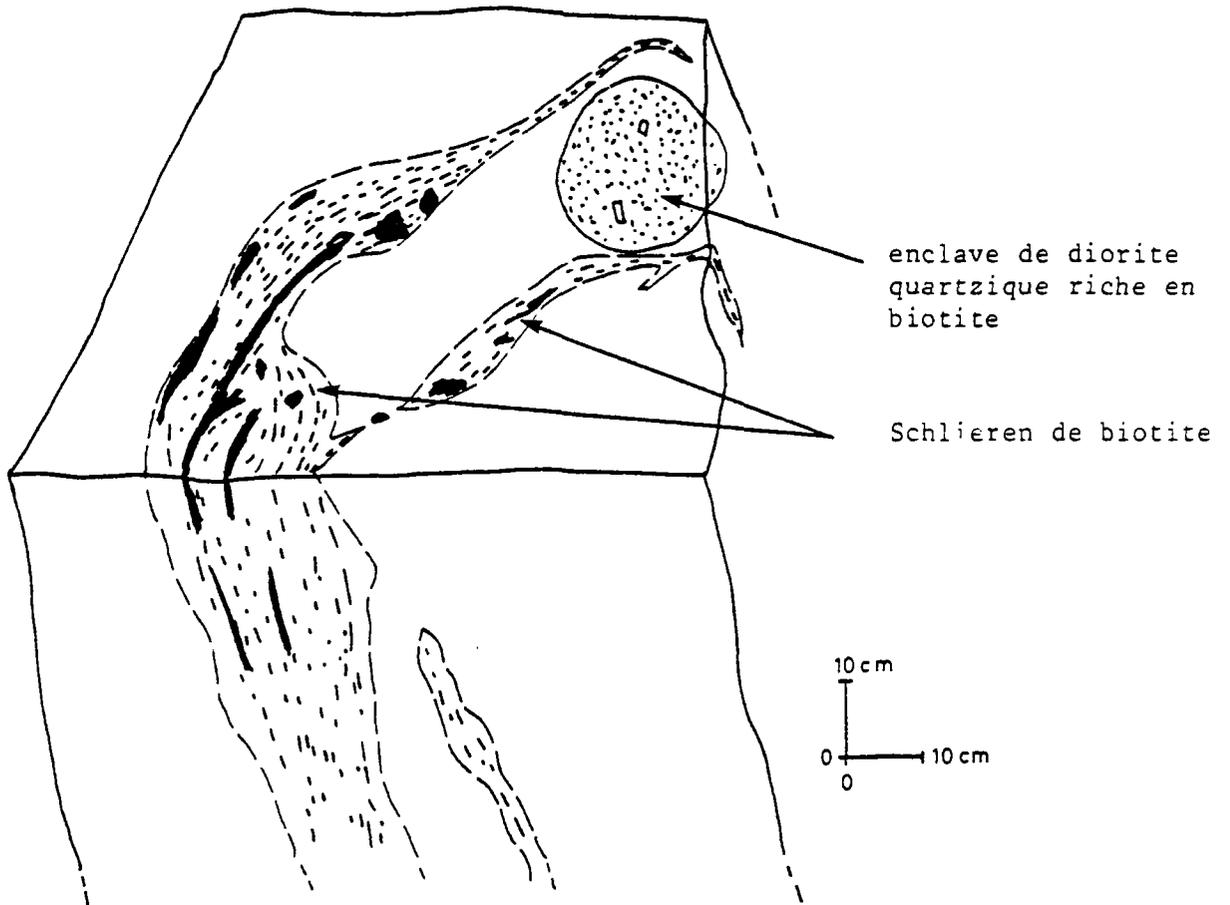


Figure 4 : Schlieren de biotite se moulant sur une enclave de diorite quartzique riche en biotite, au sein du granite de Huelgoat s.s. (Bloc observé dans les déblais de la carrière de Roz Perez, point 25, pl. 1).

Le granite de Huelgoat s.s. renferme des enclaves généralement magmatiques, plus rarement métamorphiques, de taille et d'abondance très variables. Les enclaves magmatiques sont essentiellement constituées de diorite quartzique, finement grenue, riche en biotite ce qui confère aux enclaves une teinte sombre. Dans une zone située au Nord de Brennilis (points 24, 55, 56) ces enclaves sont très abondantes et de taille vraisemblablement importante, difficile à estimer en raison de la mauvaise qualité des affleurements. Au sein de la carrière en exploitation de Roz Perez (point 25), on peut observer des alignements d'enclaves basiques de forme ovoïde, de longueur pluricentimétrique à pluridécimétrique ; un des blocs de granite à cordiérite montre en outre une enclave de section parfaitement elliptique moulée par deux schlieren de biotite (fig. 4). Au sein de cette même carrière a récemment été dégagée une grosse boule de granite finement grenu, renfermant quelques phénocristaux de feldspath potassique de longueur proche du centimètre, de petits prismes de cordiérite pinnitisée, d'abondantes paillettes de biotite et des taches de sulfures parmi lesquels on distingue macroscopiquement de la pyrite et de la pyrrhotite.

Ce granite riche en biotite présente de nombreuses analogie avec le faciès le moins évolué du granite du Cloître (cf. plus loin § 2.2).

Des panneaux de cornéennes, de 200 à 300 m de longueur, ont été observés et même cartographiés (planche 1) lors de travaux antérieurs, à l'extrémité Nord-Est du granite de Huelgoat s.s. près (panneau de la carrière de Roc'hellec, point 34) et au contact (panneau de Tilibrennou) du granite de La Feuillée. Ces cornéennes sont analogues à celles que l'on observe à l'exocontact oriental du granite de Huelgoat s.s. (point 38 et 40, cf plus loin, figure 5 et § 4-1) et constituent probablement des roof-pendants de l'intrusion granitique, c'est-à-dire des lambeaux situés au toit de cette intrusion.

2-1-2 - Etude microscopique

2-1-2-1 - TEXTURE ET COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

La texture du granite de Huelgoat s.s. est porphyroïde grenue ; tous les échantillons étudiés en lames minces montrent une déformation ductile, généralement légère.

Des mégacristaux, subautomorphes à automorphes, de feldspath potassique perthitique se détachent d'une mésostase qui a un grain grossier (5 mm) à moyen (2 mm) et comprend quartz, plagioclase acide, feldspath potassique, albite, biotite, cordiérite, muscovite, plus minéraux accessoires ou d'altération.

La teneur modale en quartz augmente du centre à la périphérie du granite de Huelgoat s.s.

2-1-2-2 - NATURE DES ENCLAVES MAGMATIQUES

Les enclaves magmatiques que renferme le granite de Huelgoat s.s. sont constituées de diorite quartzique riche en biotite. La texture de ces enclaves est finement grenue, parfois légèrement porphyrique (2 % de phénocristaux au maximum). Les phénocristaux, lorsqu'ils sont présents, comprennent des lattes de plagioclase acide, des plages globuleuses de quartz et parfois (échantillon 24 par exemple) des lamelles de biotite. La mésostase est formée essentiellement de plagioclase acide, quartz et biotite (15 à 17 % de la composition modale). De la cordiérite entièrement pinnitisée a été observée dans tous les échantillons étudiés en lames minces (20 B, 24, 25 C) et est même relativement abondante (5 à 7 % de la composition modale) dans l'échantillon 20 B. L'apatite est un minéral accessoire systématiquement présent sous forme de petites et fines aiguilles et/ou de plages globuleuses.

Si l'on fait abstraction de la cordiérite, cette composition minéralogique est typique des vaugnérites acides d'après la définition de H. SABATIER (1980).

De la tourmaline tardive a été observée en faible quantité dans les échantillons étudiés.

Dans la zone de Brennilis les enclaves de diorite quartzique ont subi une altération analogue à celle de leur encaissant.

2-1-2-3 - ALTERATION DEUTERIQUE A HYDROTHERMALE

Le granite de Huelgoat s.s. est généralement peu affecté par les phénomènes d'altération deutérique à hydrothermale suivants : séricitisation du plagioclase ; kaolinisation du feldspath potassique ; développement de muscovite secondaire sur le plagioclase, le feldspath potassique, la biotite et la cordiérite ; chloritisation de la biotite avec exsudation de produits opaques ferrotitanifères ; pinnitisation de la cordiérite.

Par contre l'albite et/ou la tourmaline sont fréquemment présents. L'albite est vraisemblablement toujours d'origine deutérique alors que la tourmaline peut être d'origine deutérique et/ou hydrothermale. Les veines de quartz plus ou moins tourmaline qui recourent franchement le granite de Huelgoat s.s. sont en partie du moins postérieures à la cristallisation de ce granite.

Ces phénomènes d'altération deviennent nettement plus intenses d'une part aux épontes des filons de leucogranites, d'autre part dans la zone de Brennilis. Jusqu'à quelques centimètres des filons de leucogranites qui le recoupent, le monzogranite porphyroïde à cordiérite est fortement affecté par les phénomènes d'altération hydrothermale suivants : muscovitisation, séricitisation, épigénéisation locale du plagioclase par du feldspath potassique ou de l'apatite, chloritisation de la biotite, pinnitisation de la cordiérite, tourmalinisation.

Dans la zone de Brennilis l'arénisation est très poussée et seuls quelques rares affleurements permettent d'échantillonner des roches relativement saines. L'échantillon 24 représente un contact entre un monzogranite porphyroïde à cordiérite et une grosse enclave de diorite quartzique.

Le monzogranite et la diorite quartzique montrent tous deux des phénomènes d'altération deutérique à hydrothermale qualitativement analogues à ceux observés par ailleurs et décrits ci-dessus, mais quantitativement plus importants.

C'est en outre dans cette zone de Brennilis que les filons de quartz plus ou moins tourmaline sont les plus fréquents et les plus abondants.

2-1-3 - Conclusions

Le granite d'Huelgoat s.s. est un monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite, pétrographiquement homogène dans son ensemble, montrant une évolution magmatique, (se traduisant essentiellement par une augmentation de la teneur modale en quartz) du centre à la périphérie du massif et généralement peu affecté par les phénomènes d'altération deutérique à hydrothermale. La zone la moins favorable, sur des critères pétrographiques, pour la recherche d'un site de stockage de déchets radioactifs est la zone de Brennilis (planche 1) à cause de l'abondance des enclaves de diorite quartzique et surtout des altérations endogène et supergène relativement développées, se traduisant en surface par une forte arénisation et des discontinuités liées aux veines de quartz plus ou moins tourmaline. Par contre les panneaux de cornéennes de la zone de Tilibrennous-Roc'hellec (entre Huelgoat et Berrien, planche 1) ne constituent des facteurs d'hétérogénéité que dans une tranche très superficielle située au toit du massif granitique.

2-2 - LE GRANITE DU CLOÎTRE

2-2-1 - Caractères macroscopiques

Sur le terrain le granite du Cloître se distingue aisément du granite d'Huelgoat s.s. par son grain nettement plus fin, l'absence ou la faible abondance de phénocristaux de feldspath potassique, la rareté et la faible taille (longueur ≤ 3 cm) des enclaves de diorite quartzique surbiotitées.

D'Ouest en Est le granite du Cloître présente une évolution magmatique très nette depuis un faciès sombre, plus riche en biotite que le granite de Huelgoat s.s., jusqu'à un faciès clair où la muscovite est le mica dominant. La cordiérite pinnitisée est fréquemment présente dans les faciès sombre (échantillons 19 et 25 D) et moyen (échantillons 11 et 13) sous forme de petits cristaux subautomorphes à automorphes, généralement peu abondants.

Le granite du Cloître est recoupé localement (point 11 en particulier) par des filons de leucogranite et/ou des veines, puissantes de 1 cm, constituées de quartz, feldspath potassique et muscovite.

2-2-2 - Etude microscopique

L'étude microscopique a révélé une texture moyennement à finement grenue, typiquement monzonitique c'est-à-dire caractérisée par des plages de feldspath potassique relativement grandes englobant poecilitiquement de nombreux petits cristaux de plagioclase acide, de biotite, de quartz et même d'apatite (échantillon 11 A) ou de cordiérite pinnitisée (échantillon 13 B). La paragénèse comprend toujours, en proportions variables, quartz, plagioclase acide, feldspath potassique, biotite, muscovite primaire et/ou secondaire. A ces minéraux s'ajoutent fréquemment de la cordiérite pinnitisée, de l'ilménite et plus rarement de l'apatite et/ou un des silicates alumineux suivants : albite, tourmaline, andalousite.

La teneur modale en biotite décroît du faciès sombre (15 % maximum) au faciès clair (4 %) alors que corrélativement la teneur modale en muscovite primaire croît. La chloritisation de la biotite et le développement de muscovite secondaire semblent croître dans le même sens, c'est-à-dire d'Ouest en Est.

En ce qui concerne les enclaves du granite du Cloître il est à signaler que l'échantillon 13 B renferme une enclave très sombre qui se distingue des enclaves du granite de Huelgoat s.s. d'une part par sa très grande

richesse en biotite (50 % de la composition modale) et d'autre part par l'abondance de séricite et de muscovite. Il s'agit donc d'une enclave de vaugnérite moins acide et plus riche en silicates hydroxylés, ce qui est compatible avec le caractère plus ferromagnésien et plus saturé en eau du granite du Cloître.

2-2-3 - Conclusions

Le granite du Cloître évolue, d'Ouest en Est, d'un monzogranite à biotite (15 % maximum) largement dominante sur la muscovite à un leucogranite à muscovite dominante sur une biotite chloritisée représentant moins de 4 % de la composition modale.

Le granite du Cloître à un caractère plus ferromagnésien et plus saturé en eau que le granite d'Huelgoat s.s.

Les relations spatiotemporelles entre ces deux granites seront étudiées plus loin (§ 4-3).

Si l'on excepte les filons de leucogranite et de microdiorite qui le recoupent (cf. plus loin § 2-4 et § 2-5), le granite du Cloître montre sur le plan pétrographique une homogénéité favorable pour la recherche d'un site de stockage.

2-3 - LE GRANITE DE LA FEUILLEE

2-3-1 - Caractères macroscopiques

Sur le terrain le granite de La Feuillée se distingue du granite de Huelgoat s.s. par son grain en moyenne plus grossier, l'absence ou la faible abondance de phénocristaux de feldspath potassique et/ou de schlieren de biotite, la rareté des enclaves magmatiques et de la cordiérite, minéral cantonné dans la zone méridionale, proche du granite de Huelgoat s.s.

Parmi les enclaves magmatiques on distingue d'une part des enclaves sombres riches en biotite (point 31 par exemple) et d'autre part des enclaves claires à texture porphyrique et à composition granitique (point 44). De grands panneaux de cornéennes ont été observés et cartographiés, lors d'études antérieures, au sein de la partie sud-est du granite de La Feuillée dans une zone adjacente à celle du granite d'Huelgoat s.s. qui comprend des panneaux analogues (§ 2-1-1). Rappelons que de tels panneaux ne sont pas défavorables à la recherche d'un site de stockage car ils ne sont que superficiels, situés au toit de l'intrusion granitique.

Le granite de La Feuillée montre une évolution magmatique très nette depuis un faciès mésocrate où la biotite est le mica dominant jusqu'à un faciès leucocrate où la muscovite est largement dominante sur une biotite chloritisée.

Les termes les plus riches en biotite se situent au Sud de la commune de La Feuillée, au milieu de la partie la plus méridionale du granite de la Feuillée et l'évolution se fait de façon centrifuge à partir de cette zone sauf vers le Sud où elle est tronquée par le granite de Huelgoat s.s.

Ces phénomènes de différenciation magmatique apparaissent clairement sur les levés cartographiques réalisés par Y. GEORGET (1983) et reportés sur la planche 1.

Un autre phénomène important est la déformation qui a affecté le granite de La Feuillée et lui a conféré une texture de plus en plus cataclastique et orientée en allant vers le Nord, c'est-à-dire vers la zone de cisaillement qui affecte la bordure méridionale du synclinal des Monts d'Arrée (planche 1). Sur sa bordure septentrionale le granite de La Feuillée est orthogneissifié et localement injecté de filons de pegmatite (zone de Trédudon-le-Moine, point 36) ou très fortement kaolinisé (carrières situées à l'Est-Nord-Est de Berrien).

Le granite de La Feuillée est recoupé par quelques rares filons de leucogranite (points 31 et 53), de puissance pluricentimétrique, et rares veines de quartz à tourmaline (point 31), de 1 à 2 cm de puissance.

Enfin une particularité à signaler est la présence de petits nodules de tourmalinite au point 32. Dans ces nodules, qui ne dépassent pas 4 cm de longueur, la tourmaline est accompagnée de muscovite.

2-3-2 - Etude microscopique

2-3-2-1 - TEXTURE ET COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

La texture du granite de La Feuillée est grenue, fréquemment monzonitique et/ou légèrement porphyroïde. La déformation ductile montre un net gradient croissant du Sud vers le Nord : le quartz qui se présente en cristaux globuleux à extinction moyennement onduleuse dans les échantillons 29 et 52, situés au Sud à proximité du granite de Huelgoat s.s., devient de plus en plus étiré et recristallisé en allant vers la zone de cisaillement située au pied du versant méridional des Monts d'Arrée ; corrélativement les micas et

dans une moindre mesure le plagioclase montrent une déformation croissante des clivages et des macles polysynthétiques respectivement.

La composition minéralogique présente de nombreuses analogies avec celle du granite du Cloître à l'exception des faits suivants :

- l'évolution magmatique ne se fait pas d'Est en Ouest mais de façon radiale et centrifuge à partir d'une zone située au Sud de la commune de La Feuillée (cf. § 2-3-1) ;
- la cordiérite, très fortement pinnitisée, n'a été observée qu'à proximité du granite de Huelgoat s.s. (échantillon 52 par exemple) ;
- le caractère perthitique du feldspath potassique semble diminuer avec l'évolution magmatique alors qu'au contraire l'albite tardive, en petits cristaux indépendants, n'apparaît que dans les faciès leucocrates situés en bordure (échantillon 36 A par exemple) du granite de La Feuillée.

2-3-2-2 - ALTERATION DEUTERIQUE ET HYDROTHERMALE

En plus de la légère albitisation qui vient d'être signalée, l'évolution magmatique se traduit par une augmentation de la chloritisation de la biotite et de l'altération du plagioclase en muscovite et/ou séricite.

En dehors des rares veines de quartz à tourmaline (§ 2-3-1), la tourmaline n'a été observée que dans les échantillons 43, où elle forme de petites plages xénomorphes très tardives, et 52 où elle épigénise, en association avec de l'apatite, le cœur d'un cristal de plagioclase acide.

2-3-2-3 - NATURE DES ENCLAVES MAGMATIQUES

Les enclaves magmatiques observées dans le granite de La Feuillée sont de deux types : diorite quartzique riche en biotite d'une part, microgranite porphyrique à biotite d'autre part.

L'échantillon 31 renferme une petite enclave ovoïde de diorite quartzique, finement grenue et légèrement porphyrique (environ 5 % de phénocristaux). Cette diorite se distingue par une teneur modale en biotite (20 à 25 %) plus élevée que dans les vaugnérites contenues dans le granite de Huelgoat s.s. et moins forte que dans celles contenues dans le granite du Cloître. Cela est compatible avec le fait que le granite de La Feuillée a globalement une teneur modale en biotite intermédiaire entre celles des granites de Huelgoat s.s. et du Cloître.

L'enclave claire que l'on peut observer "sub en place" dans une petite carrière abandonnée (point 44) est constituée d'un microgranite porphyrique à biotite. Les phénocristaux représentent 20 à 25 % du volume de la roche et comprennent plagioclase acide zoné, quartz "rhyolitique", feldspath potassique perthitique, biotite et rare apatite. La mésostase microgrenue est formée de feldspath potassique, quartz, muscovite et rare biotite.

Cette enclave de microgranite porphyrique renferme elle-même une petite enclave ovoïde, de 3 mm x 2 mm en section, constituée de 50 % de biotite plus 50 % de quartz.

2-3-3 - Conclusions

Le granite de La Feuillée est un monzogranite évoluant comme celui du Cloître, mais de façon centrifuge, d'un monzogranite à biotite dominante (11 % maximum) à un leucogranite à muscovite dominante.

Le granite de La Feuillée est peu hydrothermalisé sauf sur sa bordure septentrionale où il est en outre fortement cataclaté.

Le granite de La Feuillée est minéralogiquement beaucoup plus proche de celui du Cloître que de celui de Huelgoat s.s.

En dehors de sa bordure septentrionale le granite de La Feuillée montre sur le plan pétrographique une homogénéité favorable pour la recherche d'un site de stockage.

2-4 - LES FILONS DE LEUCOGRANITES

2-4-1 - Caractères macroscopiques

Des filons de leucogranites recoupent l'ensemble des trois granites précédents. Cependant ces filons ne sont relativement abondants que dans la zone de Coat-Mocun, située au coeur du granite du Cloître, où leur puissance atteint un maximum de 30 à 40 mètres alors qu'ailleurs elle ne dépasse pas 35 centimètres.

Les leucogranites ont un grain homogène, moyen à fin.

Les minéraux suivants sont visibles macroscopiquement : quartz, feldspath, muscovite, biotite plus ou moins chloritisée et/ou tourmaline, rare cordiérite. Le contact (point 13) entre le principal filon de leucogranite de la zone de Coat-Mocun et le monzogranite mésocrate (faciès intermédiaire, à

deux micas, du granite du Cloître ; échantillon 13 A) est progressif : à chacune des deux épontes du filon de leucogranite existe une zone d'environ 20 mètres de puissance, constituée d'un granite leucocrate à subleucocrate dont la composition minéralogique présente des particularités difficilement décelables macroscopiquement, qui seront précisées ci-dessous (§ 2-4-2).

Au point 9 B un liseré de tourmaline, large de 2 à 12 mm, souligne le contact entre un filon de leucogranite de 5 cm de puissance et son encaissant constitué de monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite (granite de Huelgoat s.s.) légèrement hydrothermalisé le long du contact.

2-4-2 - Etude microscopique

Les leucogranites filoniens ont une texture hypidiomorphe, moyennement à finement grenue, montrant parfois une tendance monzonitique (échantillon 9 B).

La composition minéralogique comprend quartz, feldspath potassique, plagioclase acide et tourmaline dans tous les échantillons étudiés et, en faible quantité, un ou plusieurs des minéraux suivants : albite, biotite, cordiérite, andalousite, apatite, ilménite, leucoxène, hydroxydes de fer.

L'étude microscopique de l'échantillon 13 A, provenant de la zone d'hybridation entre un filon de leucogranite et le faciès à deux micas du granite du Cloître (§ 2-4-1), montre qu'il s'agit d'un leucogranite se distinguant de ceux des filons d'une part par la présence de deux silicates d'alumine : la cordiérite pinnitisée, et surtout l'andalousite, et d'autre part par la couleur brun-orangé de la biotite.

2-4-3 - Conclusions

En dehors de leur mode de gisement, les leucogranites filoniens ne se distinguent guère du faciès leucocrate (échantillon 59) du granite du Cloître : la seule différence sensible concerne la biotite qui semble être plus abondante et plus chloritisée dans le cas du faciès leucocrate du granite du Cloître. Ces leucogranites sont homogènes sur le plan pétrographique, mais leur grain relativement fin est un facteur favorisant généralement la fracturation et corrélativement défavorable pour la recherche d'un site de stockage profond, dans les zones où ils sont abondants et/ou épais. D'après les études de surface la seule zone défavorable serait donc celle de Coat-Mocun, situé au coeur du granite du Cloître (planche 1).

2-5 - LES FILONS DE MICROGRANITE, DE MICRODIORITE ET DE QUARTZ

2-5-1 - Le filon de microgranite porphyrique greisenisé du bois de Rusquec

A l'extrémité est de St Herbot le talus nord de la D14 (point 61, planche 1) permet d'observer un filon leucocrate, de direction N 60 et de plusieurs mètres de puissance, qui recoupe des schistes très altérés. Ce filon est fortement fracturé et renferme un réseau de veines et veinules de quartz.

L'observation macroscopique permet de distinguer sur un fond leucocrate microgrenu des cristaux millimétriques de quartz et des lamelles, également millimétriques, isolées ou groupées en petits amas, de muscovite.

L'observation microscopique de l'échantillon 61 montre qu'il s'agit d'un microgranite porphyrique très fortement greisenisé constitué presque exclusivement de quartz et de mica blanc.

Ce filon est probablement lié génétiquement au granite de Huelgoat s.s. dont l'endocontact avec les schistes dévoniens est également greisenisé, localement du moins (cf. plus loin figure 5 et § 4-1).

2-5-2 - Les filons de microdiorite quartzique

Des filons basiques subverticaux, orientés N 110° à N 155°E et puissants de un à plusieurs mètres, recourent à l'emporte-pièce les granites de Huelgoat s.s. et du Cloître au sein d'une bande, orientée N 130°E environ, englobant la zone de Coat-Mocun où les filons de leucogranites sont abondants (cf. planche 1).

Sur un fond mésocrate très finement grenu se détachent d'une part des taches de sulfures de fer (pyrite, pyrrotite) et/ou d'hydroxydes de fer et d'autre part des phénocristaux : petites lattes de plagioclase, plages globuleuses de quartz, amas fibreux d'amphibole et/ou chlorite. Les cavités marolitiques, tapissées ou entièrement remplies de quartz et/ou de carbonates ferrifères ne sont pas rares (points 14 D et 18, planche 1).

2-5-3 - Les filons de quartz

Des filons de quartz de puissance variable recourent aussi bien le massif granitique de Huelgoat que son encaissant. A l'intérieur du massif la plupart des filons ne sont visibles que sous forme de pierres volantes ce qui rend aléatoire leur cartographie. Ces pierres volantes sont particulièrement abondantes à l'Ouest de Berrien (cf. planche 1) dans la par-

tie nord-est du granite de La Feuillée.

Localement, en particulier dans la zone de Brennilis, le quartz est accompagné de tourmaline en proportion variable. Dans cette zone de Brennilis les filons sont cependant individuellement trop petits pour être cartographiés.

2-5-4 - Conclusions

Les filons de microgranite semblent être peu nombreux et ne recouper que l'encaissant du massif granitique de Huelgoat près de sa bordure méridionale.

Les filons de microdiorite quartzique n'ont été observés que dans la partie centrale de l'ensemble granite de Huelgoat - granite du Cloître, ensemble qu'ils recoupent franchement.

Des filons de quartz d'extension variable recoupent tout le massif granitique et en particulier la zone de Brennilis, ainsi que son encaissant métamorphique.

Au sein du massif granitique de Huelgoat les zones où les discontinuités induites par des filons tardi à post-magmatiques sont les plus abondantes sont donc, d'une part, la partie centrale de l'ensemble granite de Huelgoat s.s. - granite du Cloître recoupée par des filons de microdiorite quartzique et de leucogranites (dont les contacts avec les autres granites seront étudiés plus loin, § 4-3-2) et d'autre part, la partie occidentale du granite de Huelgoat s.s. où les filons de quartz sont abondants mais de faible extension.

3 - PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE

3-1 - OBJECTIF DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE

Les phénomènes géologiques concernant les granites d'anatexie sont particulièrement complexes. Dans le cas le plus simple l'histoire d'un granite d'anatexie comprend, par ordre chronologique, les étapes suivantes :

- 1 - fusion crustale (= anatexie), partielle à totale, d'un matériau-source donnant un liquide magmatique et un résidu solide (ou restite) en proportions variables suivant le taux de fusion ;
- 2 - différenciation en profondeur du liquide magmatique par cristallisation fractionnée (1) et (généralement) gravité ;
- 3 - ascension diapirique du magma plus ou moins chargé en cristaux déjà formés ;
- 4 - arrêt de cette ascension à un certain niveau crustal par suite de la chute de température et/ou d'un écran structural.

Cette histoire est fréquemment rendue encore plus compliquée par un des phénomènes suivants : fusions crustales successives à des taux et/ou des niveaux différents, mélange de magmas, assimilation de l'encaissant, altérations hydrothermales,...

Les observations pétrographiques permettent de cerner qualitativement les phénomènes de différenciation magmatique et éventuellement de contamination par l'encaissant, mais ne sont pas suffisantes pour d'une part, quantifier l'ampleur de la différenciation et d'autre part, établir des liens génétiques entre des unités spatialement associées mais pétrographiquement différentes.

Dans le cas du massif granitique de Huelgoat il était en particulier nécessaire de procéder à une étude géochimique pour démontrer l'existence d'un lien génétique ou non entre les quatre entités granitiques spatialement liées que comporte ce massif.

Pour cela 20 échantillons (cf. planche 1 pour localisation) provenant de différents faciès de chacune des 4 entités ont fait l'objet de dosages géochimiques après étude en lames minces (cf. annexe 1 pour descriptions pétrographiques détaillées). Les tableaux d'analyses et les commentaires

(1) C'est l'âge de cette cristallisation qui est donné par les datations radiométriques.

qui en résultent figurent dans l'annexe 2 du présent rapport. Seuls les principaux résultats sont décrits ci-dessous.

3-2 - PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE GEOCHIMIQUE

3-2-1 - Variations des éléments majeurs

Les dosages des éléments majeurs (annexe 2, tableau 1) ont permis d'établir une classification chimico-minéralogique des différents granites du massif de Huelgoat et d'illustrer clairement les phénomènes de différenciation par cristallisation fractionnée.

Dans le cadre du présent travail le résultat le plus important est que tous les granites analysés appartiennent au type alumineux de la classification chimico-minéralogique de F. DEBON et P. LE FORT (1983) et dérivent corrélativement de matériaux métasédimentaires. Cela est un argument favorable à un lien génétique.

Les écarts notables enregistrés par ailleurs sur le plan chimique entre les 4 entités granitiques ne sont que les reflets des écarts concernant d'une part, les phénomènes de différenciation mis en évidence pétrographiquement et cartographiquement et d'autre part, les conditions de mise en place : le granite de Huelgoat s.s. a probablement cristallisé à une température plus élevée et sous une pression totale et une pression partielle d'eau plus faibles, que les granites de La Feuillée et du Cloître.

3-2-2 - Variations des éléments en traces (annexe 2, tableau 3)

Les éléments en traces les plus importants dans le cadre de cette étude sont le rubidium et le strontium. En effet ces éléments sont d'excellents traceurs de la différenciation magmatique par cristallisation fractionnée et permettent en outre de remonter aux matériaux-sources des granites et donc de résoudre fiablement les problèmes de consanguinité entre différentes entités granitiques spatialement liées.

Le diagramme binaire Rb/Sr - Sr (annexe 2, figure 3) permet de conclure que les granites de Huelgoat s.s., de La Feuillée et du Cloître sont liés génétiquement. Sur ce même diagramme les leucogranites filoniens apparaissent nettement différents des autres granites.

3-3 - CONCLUSIONS

L'étude géochimique a montré que les quatre entités granitiques mises en évidence au sein du massif de Huelgoat dérivent par anatexie de matériaux métasédimentaires analogues et qu'il y a donc un lien génétique au niveau de la source. Ce lien génétique est un facteur favorable à une certaine homogénéité de l'ensemble du massif granitique.

4 - ETUDE PETROGRAPHIQUE DES DIFFERENTS TYPES DE CONTACT

4-1 - CONTACT DES GRANITES DE HUELGOAT s.s. ET DE LA FEUILLEE AVEC LEUR ENCAISSANT

Le métamorphisme de contact autour des granites de Huelgoat s.s. et La Feuillée a été étudié en détail lors de travaux antérieurs et notamment par F. CONQUERE (1969). Il n'a été revu que sommairement dans le cadre du présent travail. L'auréole de métamorphisme de contact, incluant des cornéennes et des schistes tachetés, est reportée sur la planche 1. On remarquera son étalement vers l'Est.

Le contact le plus net est celui qui affleure au point 38 (planche 1) au lieu dit le Gouffre. La figure 5 montre clairement que le faciès normal du granite de Huelgoat passe progressivement, en 4 à 5 mètres, par diminution du grain et enrichissement en mica blanc, à un greisen finement grenu. Les schistes dévoniens de l'exocontact ont été transformés en cornéenne à biotite et andalousite. A proximité immédiate du granite, l'andalousite et la biotite sont très fortement altérées en mica blanc et/ou hydroxydes de fer (cf. description pétrographique de l'échantillon 38 C, annexe 1).

4-2 - RELATIONS DES DIFFERENTES ENTITES GRANITIKES ENTRE ELLES

4-2-1 - Contact entre les granites de Huelgoat s.s. et du Cloître

Le contact entre ces deux granites a été bien étudié au sein du talus de la D 764, au point 14 situé (planche 1) à 5,5 km à l'Ouest-Nord Ouest du centre de la ville de Huelgoat. Bien que l'arénisation gêne l'observation, il a été possible d'établir un schéma (figure 6) de ce contact, magmatique et non tectonique, qui se fait suivant un plan de direction N 75 avec un pendage de 80° vers le Sud. La figure 6 montre :

- d'une part que le granite de Huelgoat s.s. pénètre dans le granite du Cloître sous forme d'une pointe de 40 cm de long, ce qui milite en faveur de l'hypothèse d'une intrusion du granite de Huelgoat s.s. dans celui du Cloître, hypothèse déjà émise par F. CONQUERE (1969) ;
- d'autre part que le granite du Cloître renferme, à quelques décimètres du contact, une enclave (de 1,80 m de long sur 0,60 m de large dans la section correspondant au plan d'affleurement), constituée d'un monzogranite porphyroïde hydrothermalisé présentant de nombreuses analogies avec celui observé au contact

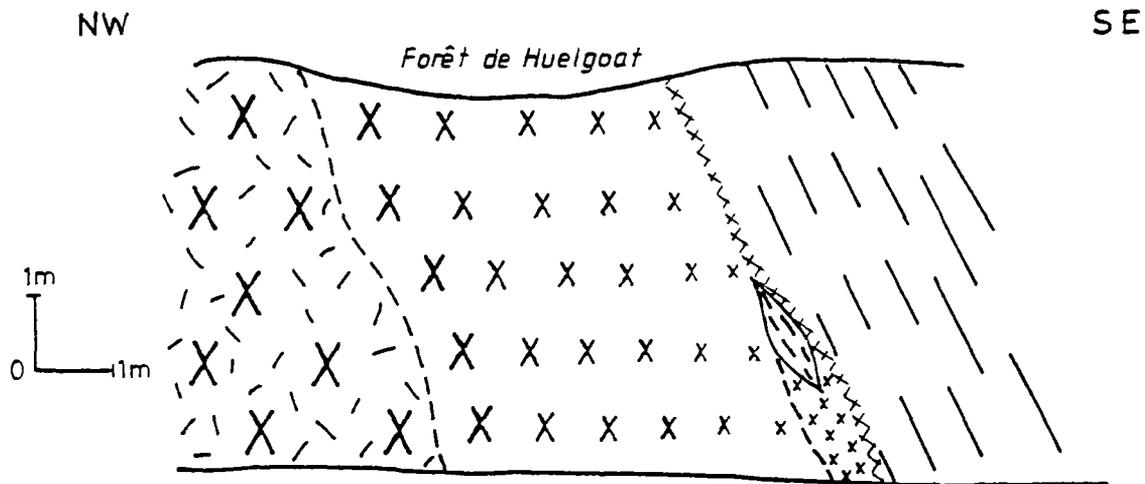


Figure 5: Coupe schématique du contact du granite de Huelgoat s.s. avec son encaissant métamorphique (Talus nord de la N 164, Le Gouffre, point 38 - pl. 1)

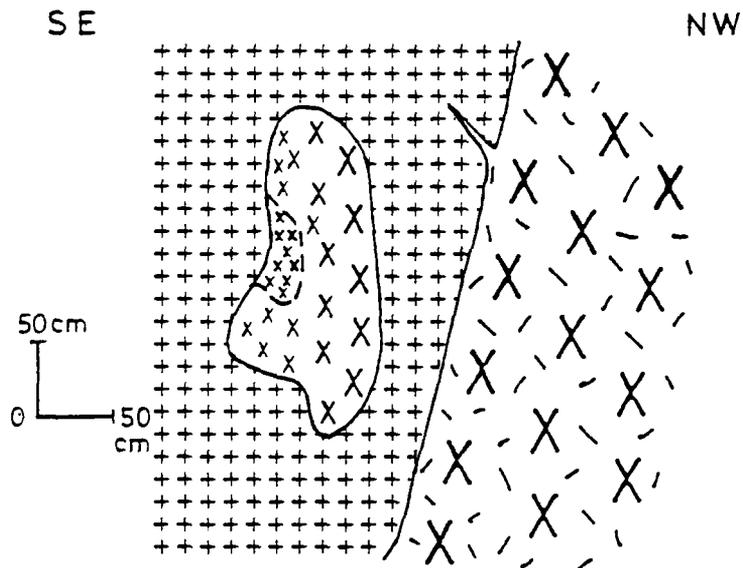
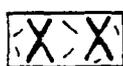
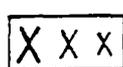
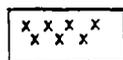
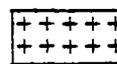
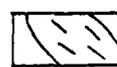


Figure 6: Coupe schématique du contact entre les granites de Huelgoat s.s. et du Cloître. (Talus sud de la D 764, point 14 - pl. 1)

Granite de Huelgoat s.s.

-  faciès normal (monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite)
-  faciès blanchâtre, passant progressivement à un
-  greisen franc finement grenu

Granite du Cloître

-  monzogranite à grain moyen à biotite dominante, fortement arén." data-bbox="640 776 998 805"/>
-  Cornéenne à biotite et andalousite fortement hydrothermalisée
-  zone broyée et altérée

des cornéennes du Gouffre décrit précédemment (§ 4) et figure 6); le monzogranite est blanchi et passe à un greisen dans la partie la plus éloignée du faciès normal : l'enclave a les mêmes caractères pétrographiques que l'endocontact du granite de Huelgoat avec son encaissant métamorphique.

Ces observations conduisent a priori à un paradoxe : si l'on admet, comme Y. GEORGET (1983), que le granite du Cloître est postérieur à celui de Huelgoat s.s. parce qu'il renferme une enclave de ce granite d'Huelgoat s.s., on peut encore à l'extrême rigueur imaginer que cette enclave a des caractères de bordure figée parce que le granite du Cloître a fait intrusion entre le granite d'Huelgoat s.s. et des cornéennes (qui auraient été érodées ou assimilées par le granite du Cloître ?), mais on ne peut aucunement expliquer la première observation dont nous avons vu qu'elle milite au contraire pour une intrusion du granite de Huelgoat s.s. dans celui du Cloître.

Un problème tout aussi ambigu est celui posé par la grosse boule de granite finement grenu récemment dégagée (cf. § 2-1-1) dans la carrière de Roz Perez (point 25, planche 1) implantée au sein du granite de Huelgoat s.s. L'étude pétrographique et géochimique de l'échantillon 25D provenant de cette boule a montré qu'il s'agit d'un monzogranite à biotite tout à fait analogue au faciès le moins évolué du granite du Cloître. Malheureusement l'environnement immédiat de cette boule est constitué d'éboulis et/ou d'altérites de telle sorte qu'il n'est pas possible de savoir s'il s'agit d'une enclave ou au contraire d'une apophyse du granite du Cloître dans le granite de Huelgoat s.s.

Pour expliquer l'ensemble des observations effectuées et corrélativement aux hypothèses contradictoires de F. CONQUERE et Y. GEORGET, il n'y a qu'une seule solution : *les deux granites ont été mis en place en même temps au niveau crustal où on les observe actuellement et ce à un stade où les magmas correspondants étaient déjà suffisamment cristallisés et visqueux pour ne pas se mélanger, mais encore suffisamment plastiques pour que le contact se fasse en souplesse ; le granite de Huelgoat s.s., plus chaud (cf. 3-2-1), s'est refroidi au contact de celui du Cloître avec formation, localement du moins, d'une légère bordure figée et hydrothermalisée, puis lors de l'ascension diapirique synchrone, le contact a pu rejouer localement et chacun des deux granites a pu emballer des morceaux de l'autre.*

4-2-2 - Contact entre les granites de Huelgoat s.s. et de La Feuillée

La planche 1 montre clairement que la pétrostructure (d'après Y. GEORGET, 1983) du granite de La Feuillée est emboutie par celle du granite de Huelgoat s.s. Le contact proprement dit n'a jamais été observé mais :

- d'une part il n'y a aucun argument en faveur d'un contact tectonique ;
- d'autre part le granite de La Feuillée, est chargé de quelques cristaux de cordiérite entièrement pinnitisée jusqu'à 100 mètres au moins (point 52, planche 1) du contact.

Cette cordiérite a pu se développer lors de la mise en contact avec le granite plus chaud du Huelgoat s.s. à un stade où les deux granites étaient encore suffisamment plastiques pour que ce contact ne soit pas tectonisé. Ceci conduit à une explication analogue à la précédente (§ 4-2-1) concernant les granites d'Huelgoat s.s. et du Cloître.

4-2-3 - Problème des filons de leucogranites

Les filons de leucogranites recoupent incontestablement les trois autres entités granitiques et sont le plus abondants dans la région de Coat-Mocun (planche 1) en plein coeur du granite du Cloître. Cependant les épontes des filons leucogranitiques ne sont généralement pas très nettes, notamment (cf. § 2-4-1) au point 13 (planche 1) où le contact avec le granite du Cloître se fait progressivement par l'intermédiaire d'une zone d'hybridisation d'environ 20 mètres de puissance ou au point 9B (planche 1) où le contact avec le granite de Huelgoat s.s. est souligné par un liseré de tourmalinite avec altération deutérique de part et d'autre de ce liseré.

Ceci tend à montrer que les leucogranites filoniens se sont mis en place dans un environnement granitique encore suffisamment chaud (et corrélativement plastique) pour qu'il y ait eu hybridisation aux épontes jusqu'à une distance vraisemblablement proportionnelle à la puissance du filon.

5 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE PETROGRAPHIQUE ET GEOCHIMIQUE

Le massif granitique de Huelgoat comporte 4 entités se distinguant par leurs caractères pétrographiques et géochimiques :

- le granite de Huelgoat s.s. constitué d'un monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite montrant une légère différenciation centrifuge et une pétrostructure décentrée vers le Nord-Est; ce granite est fortement hydrothermalisé dans sa partie occidentale (zone de Brennilis) ;
- le granite de La Feuillée, situé au Nord du granite de Huelgoat s.s., constitué d'un monzogranite à gros grain évoluant d'un pôle mésocrate à biotite dominante (sur la muscovite) à un pôle leucocrate à muscovite dominante voire seule ; la pétrostructure de ce granite est grossièrement symétrique par rapport à un axe NNW-SSE ; le granite de La Feuillée montre un gradient de déformation cataclastique croissant vers sa bordure septentrionale et est fortement kaolinisé localement sur sa bordure orientale ;
- le granite du Cloître, situé au coeur du granite de Huelgoat s.s., constitué d'un monzogranite moyennement à finement grenu, évoluant d'Est en Ouest d'un pôle mésocrate à biotite dominante à un pôle leucocrate à muscovite dominante et tourmaline ;
- des filons de leucogranites où la tourmaline est toujours présente.

Tous les granites ont un caractère alumineux et dérivent de l'anatexie (fusion crustale partielle) de matériaux-source analogues, probablement métasédimentaires. Il y a donc un lien génétique au niveau des matériaux-source. Ce lien est un facteur favorable à une certaine homogénéité d'ensemble du massif granitique de Huelgoat et permet d'extrapoler dans les trois dimensions de l'espace les quelques observations sporadiques de surface qui montrent que les contacts intragranitiques sont parfaitement soudés et ne constituent pas de surfaces de discontinuité.

Sur des critères pétrologiques les zones les moins favorables pour la recherche d'un site de stockage profond sont (figure 13 et planche 1) :

- *d'une part la moitié occidentale de la surface elliptique qui renferme les granites de Huelgoat s.s. et du Cloître, c'est-à-*

dire toute la partie située à l'Ouest du petit axe (1) de cette ellipse ; cette partie est défavorable à cause soit de la présence d'altérations endogène et supergène (zone de Brennilis), soit de l'abondance des filons de microdiorite quartzique et de leuçogranites, roches qui sont compétentes sur le plan de la fracturation à cause de leur grain fin ;

- d'autre part la bordure septentrionale du granite de La Feuillée où existent des discontinuités importantes liées à une déformation cataclastique importante et localement à une kaolinisation intense.*

(1) Ce petit axe correspondant en gros à un segment de droite allant de Kermabilou au Nord à Rosingar au Sud, en passant par Coat-Mocun au centre (cf. planche 1).

DEUXIEME PARTIE

ETUDE STRUCTURALE

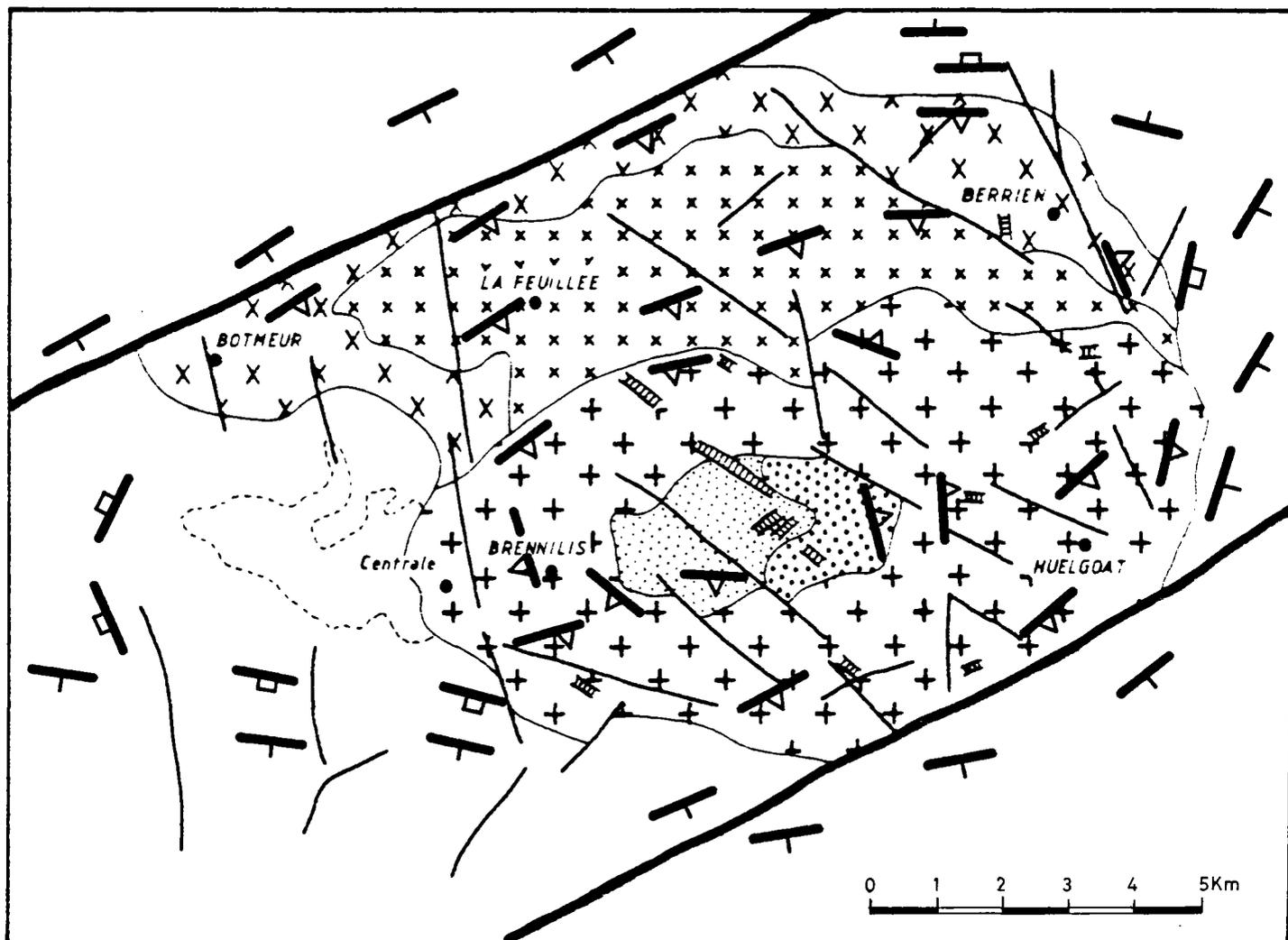
1 - INTRODUCTION

L'étude structurale du massif granitique de Huelgoat se divise en quatre grands chapitres :

- le premier est consacré aux structures primaires du granite et de son encaissant immédiat, structures acquises au cours de la mise en place du pluton ;
- le deuxième expose les résultats de l'analyse structurale effectuée sur le terrain dans laquelle l'accent est mis sur les problèmes de la méso-fracturation (fracturation à l'échelle de l'affleurement) du point de vue de l'orientation et de la fréquence des différentes familles de fractures ;
- le troisième chapitre fait le point sur la cinématique des accidents (morphocinématique) de manière à définir les différentes phases de déformation cassantes subies par le granite et à mettre l'accent sur la possibilité de structures en "ouverture" ;
- le quatrième chapitre tient lieu de conclusions aux études structurales et permet de dégager les points positifs ou négatifs qui devront être testés dans les phases d'études suivantes.

Il faut préciser que le réseau de méga-fracturation proposé sur les documents cartographiques du rapport, provient pour une grande part des levés récents de la carte géologique Huelgoat à 1/50 000 en préparation, et d'une étude photogéologique succincte effectuée dans le cadre du Fichier des massifs granitiques de la moitié occidentale de la France.

Nous reprenons à notre compte ce réseau de méga-fracturation qui s'intègre parfaitement aux résultats des études de la més fracturation présentés dans ce rapport. Ces études nous ont permis d'apporter quelques modifications à ce réseau mais surtout d'en confirmer sa véracité en attendant les études de télédétection.



-  Structure magmatique du granite
-  Schistosité de l'encaissant
-  Stratification de l'encaissant

Figure 7 - STRUCTURES MAGMATIQUES DU GRANITE DE HUELGOAT EN RELATION AVEC SON ENCAISSANT.

2 - STRUCTURES MAGMATIQUES DANS LE GRANITE ET DEFORMATIONS DE L'ENCAISSANT SCHISTO-GRESEUX

Les *structures magmatiques* peuvent être mesurées sur le terrain grâce aux orientations préférentielles des feldspaths potassiques, des enclaves microgrenues et des schlierens de biotites. Elles représentent des *structures d'écoulement du magma* résultant de l'effet conjugué des contraintes régionales et de celles engendrées par l'intrusion. Outre les mesures effectuées sur le terrain, nous avons utilisé les données du D.E.A. de GEORGET (1983). L'essentiel des résultats est reporté sur la carte structurale hors texte (pl.2 et fig. 7).

Le report des *structures magmatiques* sur cette carte montre qu'elles possèdent des orientations assez régulières $N 70^{\circ} E$ dans le Nord du granite de La Feuillée à proximité des Monts d'Arrée, ainsi que dans la bordure Sud-Est du granite de Huelgoat s.s. ; par contre, l'agencement de ces structures est *grossièrement concentrique* dans le coeur des granites de Huelgoat s.s. et du Cloître. La majorité des pendages s'effectue vers le Sud avec une valeur de 40° en moyenne.

Les *déformations de l'encaissant*, et particulièrement la stratification des Grès Armoricaux, soulignent bien la structure anticlinale dans laquelle s'est mise en place l'intrusion granitique. Les schistosités régionales subverticales ainsi que les axes des plissements paraissent se mouler sur le pluton au NW et au SE, avec continuité directionnelle entre les structures magmatiques du granite et les schistosités de l'encaissant. Par contre aux extrémités NE et SW les directions de ces schistosités donnent l'image de "points triples" (convergence des directions de la schistosité à l'échelle cartographique).

Ces données sont en accord avec les travaux de BRUN et PONS (1981) qui décrivent, dans leurs scénari de mise en place des granites de la Sierra Morena (Espagne), un processus correspondant à *l'interférence d'une intrusion granitique diapirique et d'une déformation régionale de type cisaillement ductile décrochant*. Ce cas de figure est caractérisé par :

- une orientation du pluton sub-parallèle aux axes anticlinaux ;
- des schistosités de l'encaissant sub-verticales ;
- des trajectoires des structures magmatiques du pluton hélicoïdales ;
- l'existence d'une composante de cisaillement régionale.

Cette dynamique d'intrusion peut être appliquée au granite de Huelgoat qui se met en place dans un régime tectonique régional cisailant dextre (orogénèse Bretonne, DARBOUX, 1981 ; ROLET, 1983) responsable des plissements du Paléozoïque inférieur et de la montée synchrone du pluton granitique. Ce synchronisme est démontré par les relations : minéraux de métamorphisme de contact - déformations, ces minéraux cristallisant dans les plans axiaux des plis (DARBOUX, 1976).

Ces observations permettent de se faire une idée de la dynamique de mise en place du massif granitique de Huelgoat suggérant une montée diapirique unique (à la manière d'une montgolfière fig. 12) de l'ensemble des quatre entités granitiques qui se font différenciées en profondeur (cf. 1ère partie, § 5). Elles plaident pour une géométrie d'ensemble du massif en forme de montgolfière aplatie possédant un enracinement central.

3 - STRUCTURES CASSANTES DANS LE GRANITE : ETUDE DE LA MESOFRACTURATION AU SOL

La mésofracturation a été étudiée dans les carrières et affleurements du granite représentant les stations de mesures. Ces stations, dont certaines d'entre-elles ont subi des regroupements d'après leur situation géographique, portent des numéros en fonction de l'itinéraire du géologue sur le terrain (cf. pl. 2).

3-1 - ORIENTATION DE LA MESOFRACTURATION

Les différents paramètres structuraux (nature de la structure, direction, pendage, épaisseur, remplissages...) ont été traités par la chaîne de traitement informatisée STAF du B.R.G.M., permettant l'établissement automatique de diagrammes de Schmidt (projection de l'hémisphère inférieur).

3-1-1 - Ensemble du massif

Le diagramme de densité général et la rosace regroupant toutes les stations de mesures (fig. 8 et 9) montrent que la mésofracturation se répartit suivant 4 familles directionnelles de fractures sub-verticales d'orientations moyennes et par ordre d'importance décroissante :

- N 120° E, pendage N 75° E ;
- N 165° E, sub-verticale ;
- N 10° E, pendage E 75° ;
- N 55° E, pendage S 80°.

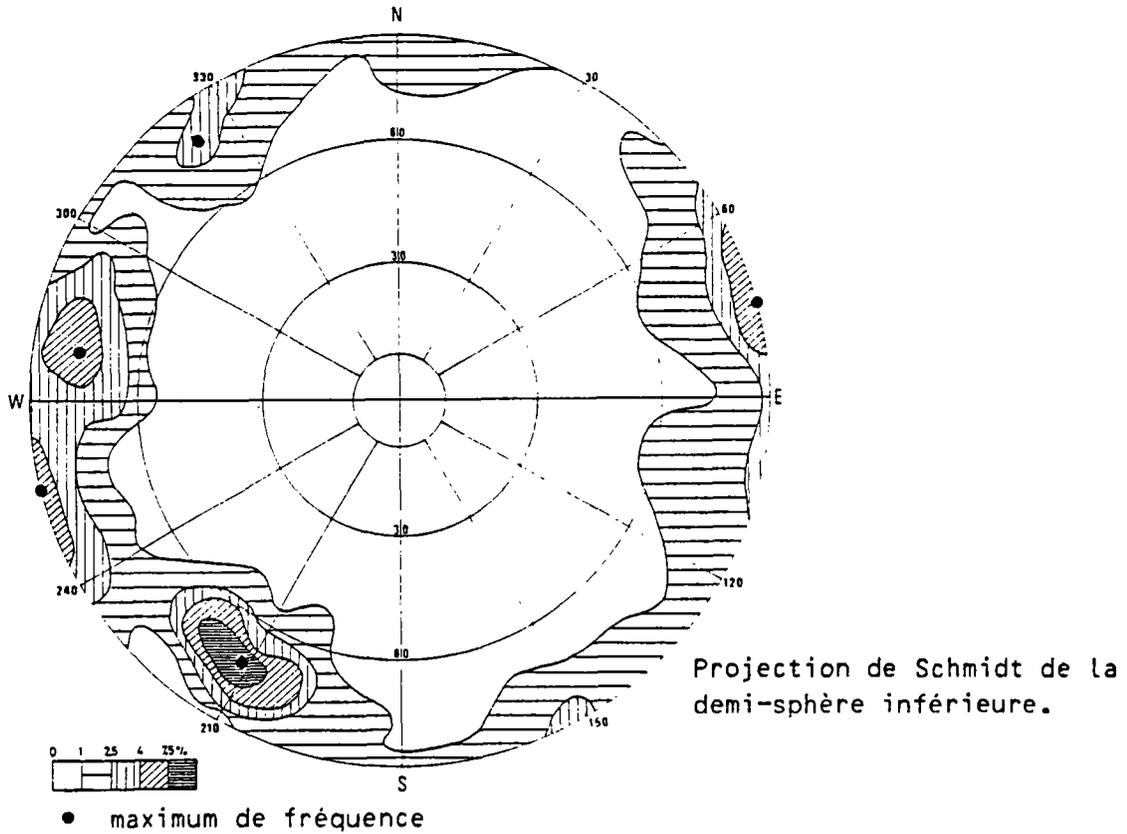


Figure 8 - MASSIF DE HUELGOAT - DIAGRAMME DE DENSITE RELATIVE.
Ensemble des pôles des plans de fractures mesurés (862 mesures).

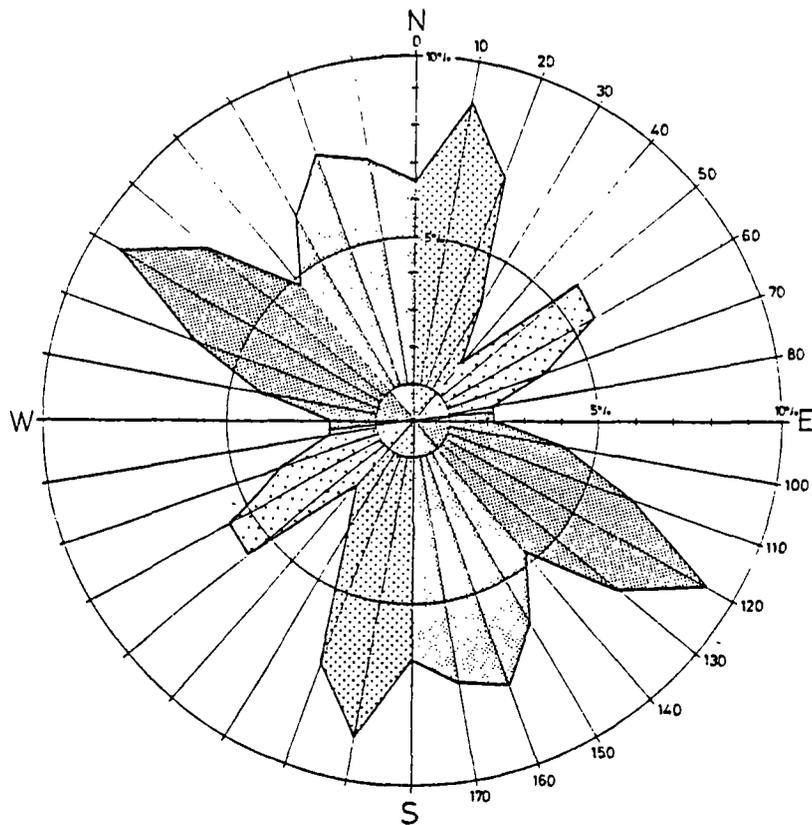


Figure 9 - MASSIF DU HUELGOAT - ROSACE DES DIRECTIONS DE FRACTURES.
Nombre par classe de 10°, de fractures subverticales mesurées (pendage > 60°), total 681 mesures.

3-1-2 - Pour chaque faciès pétrographique (Ann.3)

GRANITE DE LA FEUILLEE

- N 165° E, subverticale ;
- N 10° E, E 80° ;
- N 95° E, S 70° ;
- N 110° E, N 80° ;
- N 60°E, subverticale.

GRANITE DE HUELGOAT S.S.

- N 125° E, N 40° ;
- N 165° E, subverticale.

GRANITE DU CLOITRE

- N 55° E, subverticale ;
- N 120° E, N 75° ;
- N 05° E, subverticale.

LEUCOGRANITES

- N 120° E, N 75° ;
- N 10° E, E 70° ;
- N 65° E? N 85°.

Les résultats laissent apparaître que la fracturation subméri-dien-ne (N 10 et 165° E) prédomine dans le *granite de la Feuillée*, la fracturation N 120° E prédomine dans le *granite de Huelgoat s.s.* et les *leucogranites* tandis que la fracturation N 55° E prédomine dans le *granite du Cloître*.

3-2 - DENSITE DE LA MESOFRACTURATION

L'étude de la densité de fracturation a consisté à déterminer les espacements interfracturaux pour chaque famille directionnelle de fractures.

3-2-1 - Espacement interfractural moyen déterminé par la moyenne arithmétique

La moyenne arithmétique ne permet pas une représentation réelle des espacements interfracturaux mais facilite les comparaisons dans l'ensemble du massif.

- Dans l'ensemble du massif, les écartements moyens sont les suivants :

Famille de fractures	Ecartement interfractural moyen
N 120° E	2,7 m
N 165° E	2,9 m
N 10° E	2,1 m
N 55° E	5,5 m

- Dans chaque faciès pétrographique :

GRANITE DE LA FEUILLEE

N 165° E	1,2 m
N 10° E	1,6 m
N 95 et 110° E	3,3 m
N 60° E	3,3 m

GRANITE DE HUELGOAT s.s.

N 125° E	2,5 m
N 165° E	3,4 m
N 10° E	2,6 m
N 60° E	9 m ?

GRANITE DU CLOITRE

N 55° E	3,7 m
N 120° E	2,7 m
N 05° E	1,6 m

LEUCOGRANITES

N 120° E	0,7 m
N 10° E	0,9 m
N 65° E	1,2 m

3-2-2 - Espacement interfractural moyen déterminé grâce à l'histogramme de fréquence

La manière la plus analytique de représentation des espacements interfracturaux est l'histogramme de fréquence, définissant en abscisse les différentes classes d'écartement (0 à 0,25 m ; 0,25 m à 0,5 m ...) et en ordonnée la fréquence de ces écartements mesurés sur le terrain. Ces histogrammes peuvent se traduire en courbes de fréquence .

Théoriquement trois cas extrêmes peuvent se rencontrer :

- la courbe de fréquence montre un *maximum bien individualisé* pour un certain écartement. Cela signifie que les espacements interfracturaux se rapprochent d'une valeur moyenne proche de la moyenne arithmétique. La fracturation est alors homogène et bien "rythmée", les fractures se rencontrant tous les x mètres.
- la courbe de fréquence ne montre *pas de maximum* bien individualisé et peut être considéré comme "plate". Cela signifie que les divers espacements interfracturaux apparaissent avec une fréquence équivalente. Tous les espacements étant représentés la fracturation n'est plus bien "rythmée" comme précédemment et ne peut présenter des zones intensément fracturées par rapport à des zones très peu fracturées. Dans ce cas, la moyenne arithmétique des espacements interfracturaux n'est pas significative .
- la courbe de fréquence présente *deux maxima* dont un très élevé pour les espacements de faible valeur, l'autre moins élevé pour les grands espacements, avec absence des espacements moyens. Cela signifie obligatoirement que les petits espacements très nombreux localement, séparent de larges zones sans fractures. La fracturation s'organise en "couloirs de fracturation". La moyenne arithmétique des espacements est comprise entre les deux maxima. Plus les valeurs des maxima s'éloignent de celle de la moyenne arithmétique plus le caractère "couloir de fracturation" est prépondérant.

Dans la réalité les choses sont beaucoup moins nettes, surtout du fait de la difficulté d'avoir un échantillonnage uniformément réparti en terrain couvert.

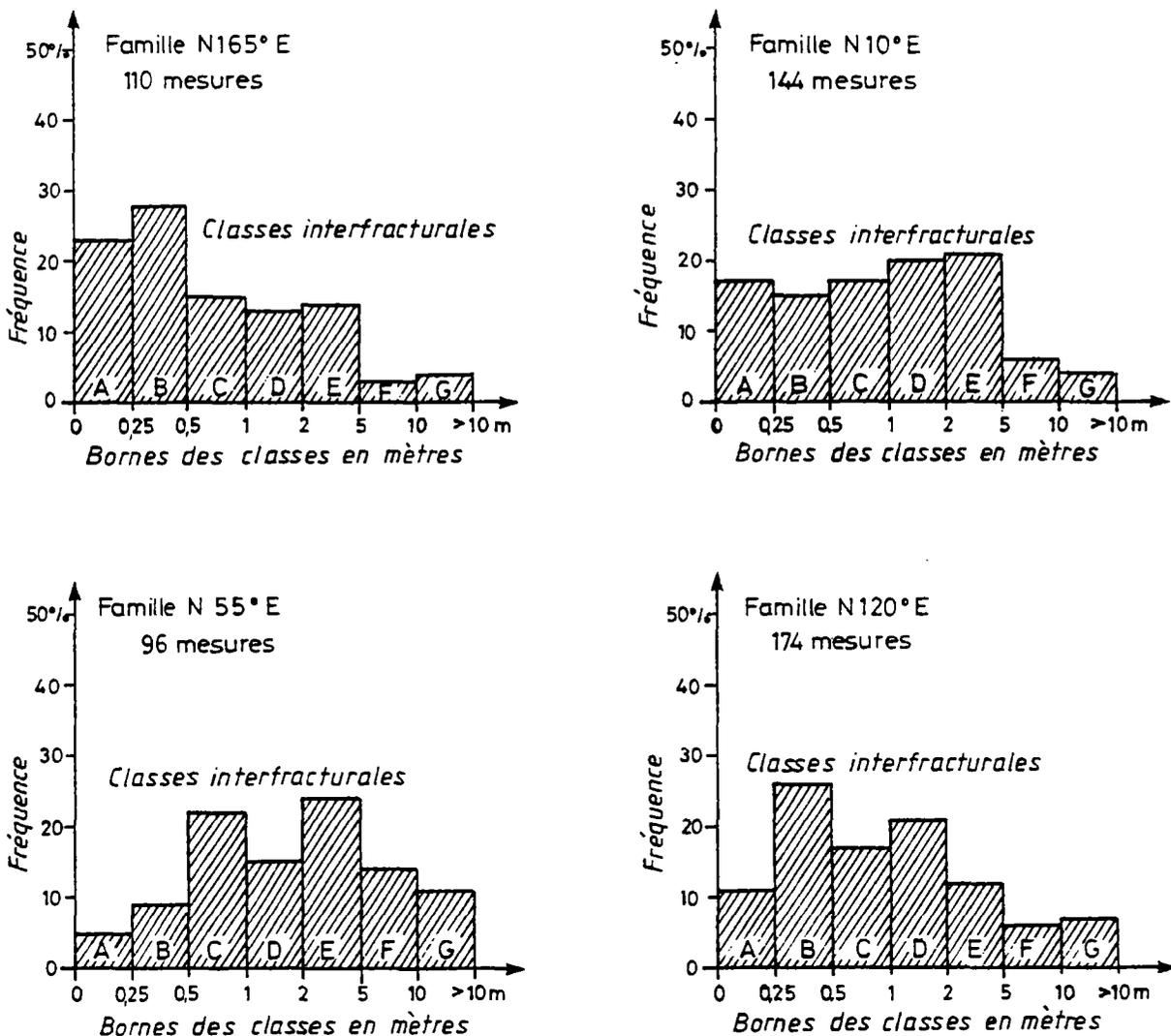


Figure 10 - ENSEMBLE DU MASSIF - Histogramme de fréquence des écartements interfracturaux.

Sur les histogrammes construits pour l'ensemble des mesures, (fig. 10), les familles N 120° E (NW-SE) et N 165° E (NNW-SSE) montrent des maxima pour des espacements interfracturaux assez faibles (entre 0,25 et 2 m); il y a décroissance vers un minima entre 5 et 10 m puis tendance à une augmentation des espacements supérieurs à 10 m. Dans ces deux familles (N120°E et N 165° E), la fracturation a une tendance à l'organisation en "couloirs", se manifestant à l'échelle cartographique par des *alignements* soulignés par la topographie et l'hydrographie, visibles en photogéologie et interprétés sur la carte structurale hors-texte (pl. 2) comme les traces probables du *réseau de mégafracturation*.

Les familles N 10°E (NNE-SSW) et N 55° E (NE-SW) paraissent ne plus présenter ce caractère en couloirs, la première montre une répartition homogène pour les espacements interfracturaux compris entre 0 et 5 m, la deuxième montre une répartition en cloche autour de l'espacement (2 à 5 m) avec un nombre élevé d'espacements supérieurs à 5 m.

3-3 - CONCLUSIONS AUX ETUDES STATISTIQUES DE LA MESOFRACTURATION

3-3-1 - Orientation et densité de la mésofracturation

La *mésofracturation* du granite de Huelgoat se répartit en 4 familles directionnelles d'orientations moyennes, par ordre d'importance décroissante :

- N 120° E ou NW-SE
- N 165° E ou NNW-SSE
- N 10° E ou NNE-SSW
- N 55° E ou NE-SW

A ces 4 familles subverticales il faut rajouter la famille de fractures subhorizontale inhérente à tout massif granitique. Cette famille (existant, comme le démontre Y. GROS, 1982, sur le granite d'Auriat, au moins sur 1000 m de profondeur sans diminution significative de fréquence) est renforcée en surface par les phénomènes de décompression et d'altération se traduisant par l'apparition de joints d'exfoliation, subparallèles à la topographie et provoquant un débit en feuilles bien exprimé dans le granite de La Feuillée.

En ce qui concerne la *densité de la mésofracturation* les mesures sont plus délicates à interpréter et surtout à extrapoler. Généralement dans les massifs de granite, la fracturation ne se répartit pas d'une manière homogène et régulière mais a tendance à s'organiser en "couloir de fracturation" séparant des espaces moins fracturés, ceci étant vrai pour chaque famille directionnelle de fractures. Ces couloirs de fracturation sont empruntés, parfois secondairement par les grands accidents découpant les massifs (BLES J.L. et al., 1983).

Les moyennes arithmétiques permettent de se rendre compte que les familles de fractures N 120° E (NW-SE), N 165° E (NNW-ESE) et N 10° E (NNE-SSW) présentent des densités de fracturation du même ordre de grandeur (les espacements interfracturaux respectifs étant de 2,7 ; 2,9 et 2,1 m) tandis que la famille N 55° E (NE-SW) possède des fractures plus laches, espacés de 5,5 m en moyenne.

Ces valeurs doivent être vues à la lumière des histogrammes de fréquence qui montrent que, dans les deux familles N 120° E (NW-SE) et N 165° E (NNW-ESE), la fracturation a tendance à s'organiser en *couloirs*, les petits espacements très nombreux localement, séparant de larges zones sans fractures. Par contre les familles N 10 (NNE-SSW) et N 55° E (NE-SW) ne possèdent pas ce caractère en "couloirs" et la fracturation s'y organise d'une manière mieux rythmée.

3-3-2 - Comparaison entre les différents faciès granitiques

Nous avons vu que les familles N 10° E (NNE-SSW) et N 165° E (NNW-SSE) prédominaient dans le *granite de La Feuillée*, les familles N 120° E (NW-SE) et N 165° E (NNW-SSE) prédominaient dans le *granite de Huelgoat s.s.* et les *leucogranites*, tandis que la famille N 55° E (NE-SW) était la mieux représentée dans le *granite du Cloître*.

En ce qui concerne la densité de mésofracturation les leucogranites sont nettement les plus fracturés, viennent ensuite par ordre décroissant : le granite de La Feuillée, celui de Huelgoat s.s. et celui du Cloître (tout au moins pour la partie Est). Localement le granite de Huelgoat peut être moins fracturé que celui du Cloître.

3-3-3 - Comparaison entre les différents secteurs géographiques
(cf. pl. 2)

Les secteurs à plus forte densité de fracturation se rencontrent à l'Ouest d'un méridien centré sur Kermorvan-Brennilis et dans les stations situées dans la marge sud du granite de Huelgoat s.s.

Il faut noter, que compte tenu de la difficulté d'obtenir un échantillonnage bien réparti sur toute la superficie du massif en ce qui concerne la mesure des écartements interfracturaux, l'argument "densité de fracturation" doit être manié avec prudence surtout dans son extrapolation spatiale.

- Poles des plans de failles
- ▢ Poles des filons
- Stries de glissement avec plans porteurs
- Stries décrochantes dextres (ou sénestres)
- Stries inverses (vers le centre) ou normales
- ⇨ Directions de compressions ou de distensions

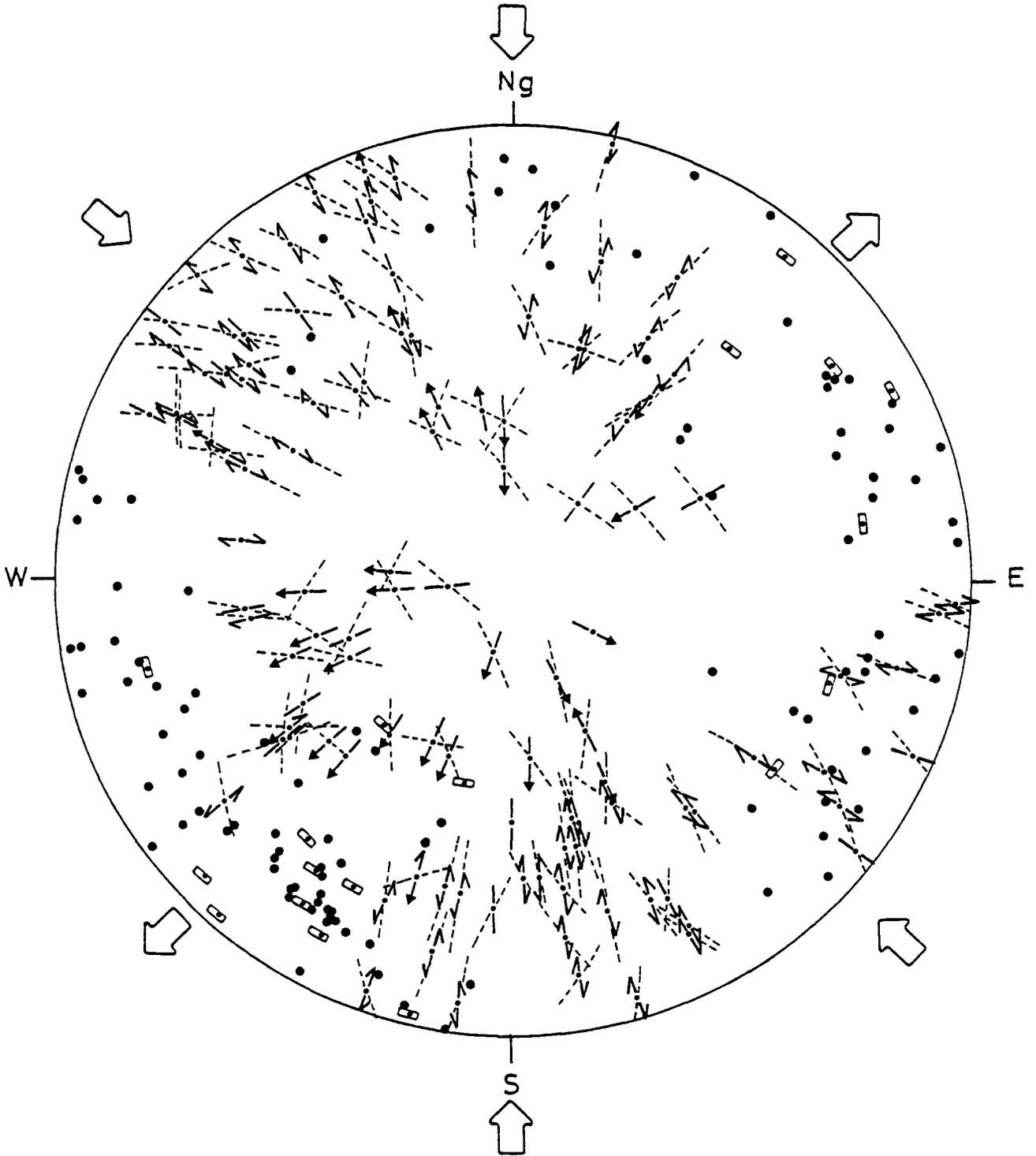


Figure 11 - ENSEMBLE DU MASSIF - Etude morphocinématique.

4 - ETUDE MORPHOCINEMATIQUE : RECONSTITUTION DES PHASES DE TECTONIQUE CASSANTE AYANT AFFECTE LE MASSIF

4-1 - MISE EN EVIDENCE DES DIFFERENTES PHASES TECTONIQUES CASSANTES (fig. 11, ann.3)

La mésofracturation visible sur le terrain correspond dans la majorité des cas à des *diaclasses* dont nous avons étudié les orientations et la densité. Ces diaclasses sont parfois *ouvertes* et soulignées par des filons de quartz conséquences de l'effet de tractions ; parfois elles ont fonctionné en *failles* et apparaissent alors sous la forme de plans lustrés et striés permettant de déterminer le sens des mouvements relatifs des deux compartiments et d'en déduire, le cas échéant, les directions de compression ou de distension.

Le diagramme général (fig. 11) et les diagrammes établis pour les différents faciès pétrographiques (annexe 3), sur lesquels les directions des *stries de glissements* (avec leurs plans porteurs et leurs pôles) et les directions des *filons de quartz*, permettent de mettre en évidence l'existence de 3 épisodes tectoniques cassants distincts :

- un épisode compressif NW-SE se matérialisant par l'apparition de la *fracturation N 120° E*, fonctionnant le plus souvent en décrochements sénestres, mais assez souvent en traction avec ouverture et mise en place de filons de quartz ; on pourrait invoquer un *système de Riedel* où les grands cisaillements régionaux dextres (cisaillement Nord Armoricaïn, cisaillement au niveau des Monts d'Arrée et de la lisière S-SE du granite de Huelgoat), seraient à l'origine de cette fracturation N 120° E ;
- un épisode compressif N-S responsable de la formation et du fonctionnement en décrochements conjugués des *familles de fractures N 165° E (dextre) et N 10° E (sénestre)* ;
- un épisode distensif NE-SW faisant rejouer en failles normales les *familles de fractures N 120° E et N 165° E*.

4-2 - CHRONOLOGIE DES TROIS PHASES DE TECTONIQUE CASSANTE

Les deux phases de tectonique compressive (NW-SE et N-S) sont responsables de la fracturation du massif. Tout concorde pour affirmer que la compression NW-SE est la première à s'être exercée sur le granite et représente les dernières manifestations de l'orogénèse bretonne. Orogénèse pendant laquelle le granite de Huelgoat (336 MA) s'est mis en place dans un contexte cisailant dextre responsable du plissement de l'encaissant Paléozoïque inférieur, schistosé suivant une direction moyenne N 60° E.

Cette phase de compression NW-SE, présidant à la mise en place du granite et le fracturant après sa cristallisation (N 120° E), ne se manifeste pas dans des granites plus récents du domaine central armoricain tels que le granite de Quintin daté à 291 MA (BEURRIER et al., 1979) ; par contre elle existe dans le granite de Pontivy daté à 344 MA (MARCOUX, 1980).

La compression NW-SE est attribuée au Carbonifère inférieur (Strunien, Namurien).

La compression N-S responsable des familles de fractures conjuguées N 165° E et N 10° E correspond à la phase compressive tardi-hercynienne mise en évidence dans les granites de Fougères, Quintin, Château-Gontier, Chemillé, Pontivy et dans tout le Massif central (travaux du B.R.G.M.). D'après MARCOUX (1980) elle est responsable d'un large faisceau de fractures et de cataclase N 150-170° E, cisailant la Bretagne en deux parties depuis Morlaix jusqu'à Lorient, et passant à proximité de la bordure Est du granite de Huelgoat. Cet auteur attribue à cette phase importante (hyperdiaclasses, silicifications, brèches, filons de quartz, coulissages dextres de 2 km) un âge Permien.

Il faut noter, durant cette phase, le rejeu possible en décrochements dextres, de la fracturation N 120° E du massif, absorbant l'essentiel des mouvements en empêchant la formation de zones cataclastiques et la mise en place de filons de quartz comme il en existe dans l'encaissant N-NE du granite sur la carte géologique Morlaix à 1/50 000 (CHANTRAINE et al.). *La kaolinisation de Berrien (bordure NE du granite) pourrait correspondre à une conséquence de cette tectonique.*

La distension NE-SW peut être interprétée comme d'âge Oligocène du fait de l'existence de bassins lacustres Sannoisiens mis en place dans des grabens orientés N 150° E (CHOUX, 1960). Cette phase distensive fait rejouer en failles normales les familles de fractures N 120° E et N 165° E, familles qui sont subparallèles à la contrainte compressive NW-SE actuelle. *Ces directions N120° E et N 165° E peuvent donc jouer un rôle majeur dans l'hydrogéologie et la néotectonique du massif.*

Nous n'avons pas intégré à cette évolution la famille de fracturation N 55° E car elle ne porte pas de tectoglyphes significatives nous renseignant sur sa cinématique. Certainement précoce, elle se manifeste par des couloirs décimétriques de cataclase subparallèles aux directions de cisaillement régionales, et *n'a jamais dû fonctionner en ouverture.*

4-3 - CONCLUSIONS A L'ETUDE MORPHOCINEMATIQUE

La conclusion pratique de ces études réside dans le fait que :

- Les familles N 120° et N 165° E ont fonctionné et peuvent encore fonctionner en extension entraînant des possibilités *d'ouvertures*, d'où leur importance probable en hydrogéologie et en néotectonique ;
- les familles N 10° E et surtout N 55° E ont uniquement fonctionné en *compression*.

5 - CONCLUSIONS AUX ETUDES STRUCTURALES

Après une mise en place syntectonique sous la forme d'un pluton diapirique (forme présumée en *montgolfière aplatie*), le massif granitique de Huelgoat subit les effets des épisodes de tectonique cassante à l'origine d'un *réseau de mésofractures* dont l'espacement interfractural moyen peut être estimé à 2,5 m. Ces mésofractures se regroupent en couloirs empruntés par la mégafracturation, individualisant ainsi des volumes moins fracturés.

La *direction majeure* de fracturation est la direction N 120° E, suivie par des directions subméridiennes (N 165° et N 10° E) puis par la direction N 55° E.

Les études des *densités de fracturation* prouvent que les leucogranites sont nettement plus fracturés que les autres faciès et montrent toutefois une fracturation plus importante du granite de La Feuillée, par rapport aux granites de Huelgoat s.s. et du Cloître.

La reconstitution de la *cinématique des accidents* permet d'attirer l'attention sur les familles de fractures N 120 et N 165° E ayant du fonctionner en distension au cours de l'histoire géologique et pouvant encore le faire du fait de leur orthogonalité sur les directions de compressions actuelles.

En ce qui concerne la recherche d'un site de stockage profond les zones les moins favorables sur des critères structuraux (pl. 2 et fig. 13) correspondent :

- à la zone située à l'Ouest d'un méridien centré sur Kermorvan-Brennilis et à la frange Sud du granite de Huelgoat s.s., ceci pour des raisons de densité de fracturation ;
- aux franges Nord - Nord-Ouest et Sud - Sud-Est du massif ayant fonctionné en cisaillement ;
- à la bordure Est du massif située à proximité de l'axe tectonique Morlaix-Lorient et étant le siège de la kaolinisation de Berrien, et peut être de filons de quartz.

TROISIEME PARTIE

HISTOIRE GEODYNAMIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT
PRINCIPAUX RESULTATS ET CONCLUSIONS

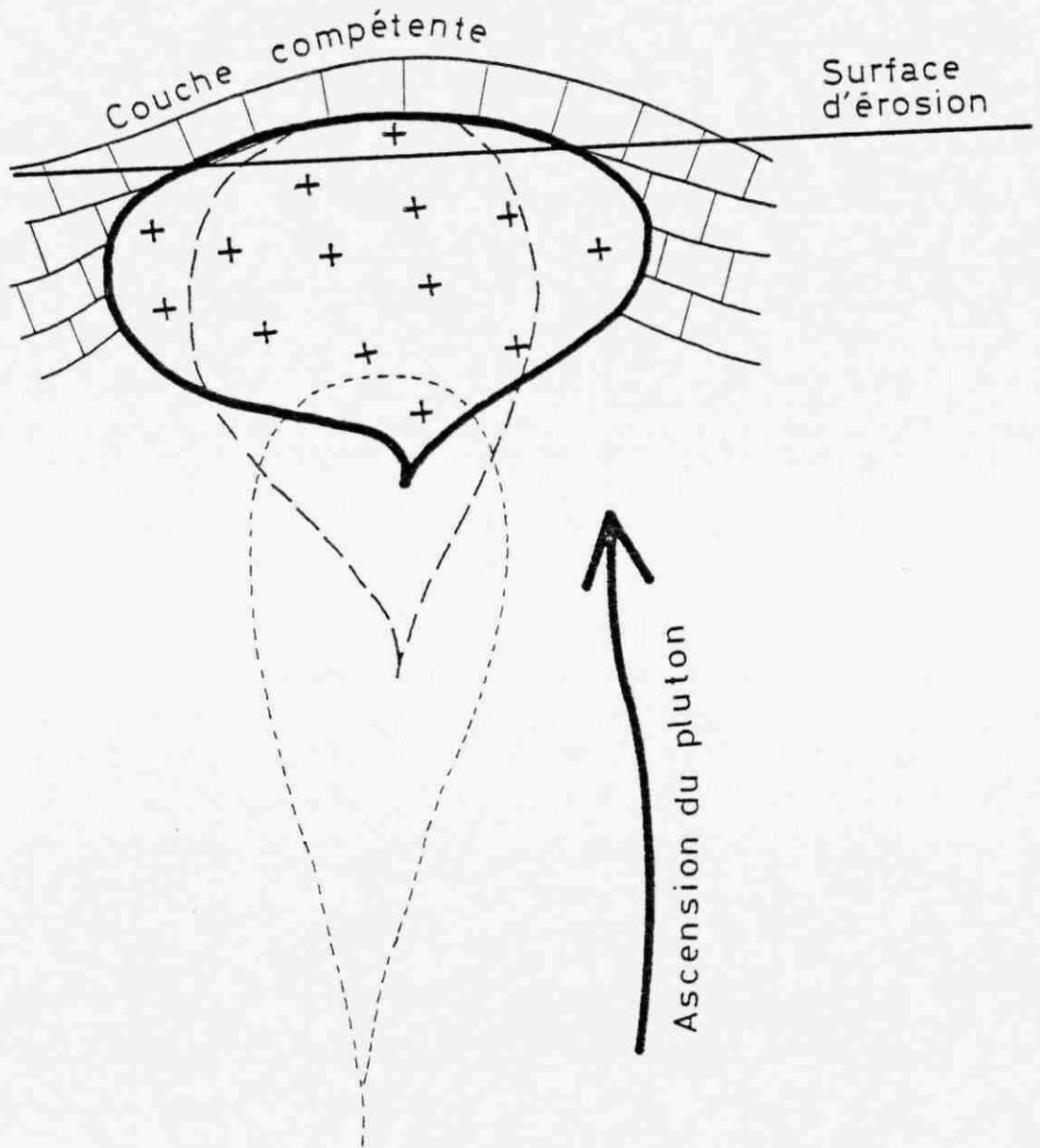


Figure 12 - MISE EN PLACE D'UN GRANITE DE TYPE HUELGOAT.

1 - HISTOIRE GEODYNAMIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT

EN PROFONDEUR, INDIVIDUALISATION DES ENTITES GRANITIKUES

L'ensemble des granites du massif de Huelgoat provient de la fusion partielle d'un matériau d'origine sédimentaire à l'origine d'un magma anatectique, à partir duquel s'individualisent en profondeur :

- le granite de La Feuillée ;
- le granite de Huelgoat s.s. postérieur au précédent et sécant sur sa pétrostructure ;
- le granite du Cloître pouvant être considéré, soit comme un granite légèrement postérieur à celui de Huelgoat s.s., soit comme une enclave témoin d'un granite subcontemporain de celui de La Feuillée ;
- les filons de leucogranite recoupant les trois autres entités granitiques.

Ces quatre unités liées spatialement et génétiquement correspondent à des différenciations légèrement décalées dans le temps, mais pouvant être considérées comme subcontemporaines à l'échelle des temps géologiques.

INTRUSION DIAPIRIQUE VERS UN NIVEAU CRUSTAL SUPERIEUR

L'ensemble des matériaux granitiques ainsi individualisés va commencer à cristalliser, et l'ascension diapirique unique (fig. 12) du futur massif de Huelgoat ne va s'effectuer que lorsque sa viscosité globale avoisinera celles des roches encaissantes, les contrastes de densités et de viscosités régissant les modalités de l'intrusion (RAMBERT, 1963-67 ; DIXON, 1970).

L'intrusion du massif s'effectue dans un régime cisailant dextre responsable du plissement des terrains encaissants du Paléozoïque inférieur (DARBOUX, 1981) et, à partir du Strunien, de la formation du Bassin carbonifère de Chateaulin, avec un volcanisme important en bordure SE du granite de Huelgoat (ROLET, 1983). Ce régime cisailant se traduit par la déformation de la bordure N-NW du granite de La Feuillée, caractérisée par une cataclase importante et un étirement N 70° E des minéraux et notamment du quartz, parallèlement au contact avec la structure des Monts d'Arrée. Cette cataclase est visible en lames minces dans tout le granite de La Feuillée avec un gradient croissant du Sud vers le Nord. La zone décrochante affectant l'encaissant SSE du granite peut être également imputable à ce régime cisailant.

Les structures magmatiques primaires montrent dans le granite de La Feuillée, une orientation généralisée N 70° E avec des pendages Sud, par contre dans les granites de Huelgoat s.s. et du Cloître, elles épousent globalement les contours de ces deux faciès. Cet agencement hélicoïdal central, passant en continuité directionnelle avec les schistosités de l'encaissant sur les bordures NNW et SSE, plaide en faveur d'une mise en place syntectonique, synchrone de la déformation régionale.

L'organisation spatiale de ces structures d'écoulement magmatique résulte de l'effet conjugué des contraintes régionales et de celles engendrées par l'intrusion diapirique, le granite étant monté à la manière d'une *mont-golfière* en "crevant" les séries du Paléozoïque inférieur qui adoptent ainsi une structure anticlinale. Cette ascension a du être ralentie ou stoppée par les couches compétentes des Grès armoricains.

HISTOIRE POST MAGMATIQUE

Les contraintes ayant présidé à la mise en place du granite (compression régionale NW-SE, compte tenu des plissements et du jeu des cisaillements majeurs à l'échelle du Massif armoricain pendant la phase bretonne de l'orogénèse hercynienne au Strunien, époque charnière entre le Dévonien et le Carbonifère) ont continué à s'exercer certainement jusqu'au Namurien. Elles sont responsables de la *fracturation majeure* du massif, N 120° E (NW-SE) guidant la mise en place des filons de quartz et des filons de microdiorite franchement postérieures à l'intrusion.

Cette fracturation majeure ayant tendance à s'ouvrir au cours de l'histoire post-magmatique, est bien représentée à l'échelle de l'affleurement mais également à l'échelle géomorphologique, pour laquelle les dépressions linéaires sont représentatives des directions de mégafracturation (pl. 2). Ces faisceaux de mégafracturation, prenant en écharpe le granite de Huelgoat suivant la direction N 120° E, peuvent être interprétés comme des "couloirs de fracturation" correspondant à des zones à espacements interfracturaux réduits ayant fonctionné en failles, et dans lesquels les processus d'altération se sont développés.

Plus tard (Stéphanien-Permien) un nouveau régime de contraintes fait subir au granite une compression N-S très importante pour ses effets à l'échelle du Massif armoricain. Cette compression est à l'origine d'une fracturation conjuguée N 165° E et N 10° E dont les effets paraissent prépondérants :

- sur une large zone N-S centrée sur le méridien de Kermorvan-Brennilis avec densité de fracturation et arénisation importantes;
- à l'extrémité NE du massif subissant les contre-coups du faisceau cataclastique Morlaix-Lorient pouvant être responsable des phénomènes de kaolinisation de Berrien.

Ce réseau de fracturation hercynien à tardi-hercynien, correspondant à quatre familles directionnelles de fractures subverticales (N 120° E ou NW-SE ; N 165° E ou NNW-SSE ; N 10° E ou NNE-SSW ; N 55° E ou NE-SW, auxquelles il faut rajouter la famille subhorizontale inhérente à tout massif granitique), va fonctionner en failles normales durant les distensions de l'Oligocène particulièrement en ce qui concerne les familles N 120 et 165° E. Il faut attirer l'attention sur le fait que ces deux familles ayant pu fonctionner en ouverture au cours de l'histoire géologique peuvent encore le faire du fait de leur orthogonalité sur les directions de compression actuelles.

Cette histoire géodynamique reconstituée à la lumière des conclusions des études pétrographiques, géochimiques et structurales, va nous permettre de sélectionner un certain nombre de résultats devant être directement pris en compte dans les problèmes de stockages profonds.

2 - PRINCIPAUX RESULTATS ET CONCLUSIONS

HOMOGENEITE DU MASSIF

Les études pétrographiques et géochimiques établissent un lien génétique entre les différentes entités granitiques constituant le massif. Il y a continuité dans le temps et dans l'espace des différents phénomènes, depuis les fusions crustales successives jusqu'à l'ascension diapirique commune. Ces considérations sont en accord avec les quelques observations de terrain montrant que les contacts intragranitiques sont parfaitement soudés (contacts magmatiques) et ne constituent pas de surfaces de discontinuités qui pourraient être défavorables comme le seraient des contacts tectoniques. Dans l'état actuel des connaissances la pluralité des faciès n'apparaît pas comme un handicap aux problèmes de stockages profonds.

Les zones de cisaillement, correspondant au contexte géologique hercynien de mise en place du granite, constituent des structures profondes qui, bien qu'ayant affecté les bordures du pluton, ne traversent pas le massif granitique lui même. Ces structures peuvent toutefois constituer des zones de faiblesse de la croûte en réponse aux contraintes subactuelles, et devront être prises en compte lors des études néotectoniques.

GEOMETRIE ET ENRACINEMENT DU MASSIF

Les conditions sur les modalités de mise en place du granite, tirées des études pétrographiques et géochimiques d'une part, et des relations entre les structures magmatiques et les déformations de l'encaissant d'autre part, plaident en faveur d'une montée diapirique du pluton, lui conférant une géométrie d'ensemble en forme de montgolfière aplatie possédant un enracinement central.

Cette forme générale est en accord avec les données de l'étude gravimétrique actuelle qui montrent un enracinement dans le quart Nord-Est du massif (cf. rapport 84 SGN 102 GPH).

La prise en compte du plongement des structures magmatiques, de l'existence d'enclaves de cornéennes représentant l'encaissant du granite, et de l'extension de l'auréole du métamorphisme de contact, permettent de faire l'hypothèse que la surface d'érosion actuelle se situe plutôt dans la partie supérieure de la coupole granitique (fig. 12).

Cette hypothèse peut être confrontée avec les données de l'interprétation gravimétrique actuelle, qui pour des contrastes de densité encaissant-granite différents, propose des profondeurs d'enracinement différentes. Elle aurait tendance à infirmer le modèle gravimétrique (déjà considéré comme le plus défavorable par les géophysiciens) donnant une profondeur d'enracinement minimale de 1 à 1,5 km au profit d'autres modèles plus optimistes.

FRACTURATION DU MASSIF

Dans son ensemble le massif granitique de Huelgoat paraît moyennement fracturé mais nous ne possédons pas encore toutes les données nécessaires sur la mégafracturation qui découleront des études futures de télédétection.

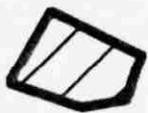
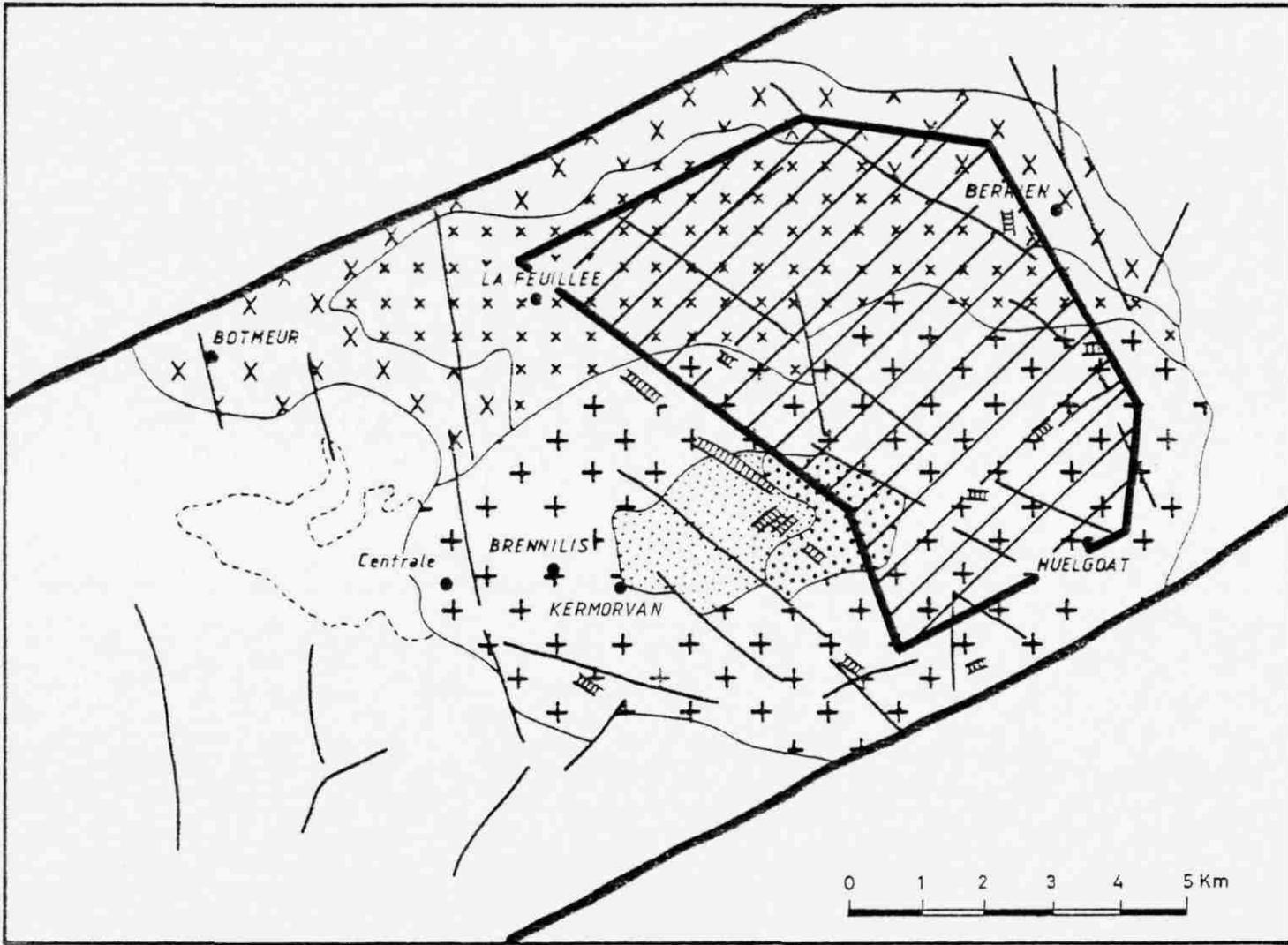
La mésofracturation, et particulièrement la mésofracturation majeure N 120° E - NW-SE, se regroupe en couloirs empruntés par la mégafracturation et libère de ce fait des panneaux moins fracturés.

Les données de la morphocinématique nous amènent à penser que cette fracturation majeure à N 120° E ainsi que celle à N 165° E, ayant parfois fonctionné en ouverture, peuvent avoir des rôles hydrogéologiques et néotectoniques importants.

Il faut souligner les similitudes existant entre l'interprétation structurale du gradient vertical de l'anomalie du Bouguer (cf. rapport BRGM 84 SGN 102 GPH) et les données géologiques, en ce qui concerne l'orientation de la fracturation majeure (N 120° E).

ELIMINATION DES ZONES

Les résultats de cette première phase de travaux effectués sur le granite de Huelgoat permettent donc une meilleure connaissance de la géométrie, de l'enracinement et de la fracturation du massif. De ce fait il est possible d'éliminer un certain nombre de zones paraissant les moins favorables.



ZONE RESTREINTE

Figure 13 - SELECTION D'UNE ZONE RESTREINTE EN VUE D'ETUDES DE DEUXIEME PHASE.

POUR DES RAISONS D'ORDRE PETROGRAPHIQUE :

- la zone située à l'Ouest du méridien de Kermorvan-Brennilis du fait de l'existence d'altérations hydrothermales ainsi que d'altérations météoriques importantes ;
- la région du granite du Cloître incluant les filons de leucogranites et des filons basiques.

POUR DES RAISONS DE DENSITE DE FRACTURATION :

- la zone située à l'Ouest du méridien de Kermorvan-Brennilis ;
- la frange Sud du granite de Huelgoat s.s.

POUR DES RAISONS DE STRUCTURES CATACLASTIQUES :

- la frange Nord - Nord Ouest du granite de La Feuillée.

POUR DES RAISONS DE TECTONIQUE REGIONALE :

- les franges Nord - Nord Ouest et Sud - Sud Est du massif ayant fonctionné en cisaillement.
- la bordure Est proche de l'axe tectonique Morlaix-Lorient, étant le siège de la kaolination de Berrien et peut être de filons de quartz.

L'élimination de ces différents secteurs nous permet de cerner une zone restreinte (fig. 13) sur laquelle la majorité des investigations futures seront localisées.

TRAVAUX A EFFECTUER

Les travaux à effectuer doivent permettre la valorisation des études de la première phase exposées dans ce rapport pour la partie géologie, et dans le rapport 84 SGN 102 GPH pour la partie géophysique, de manière à caler la profondeur d'enracinement du granite et à obtenir une connaissance précise et détaillée de la zone restreinte.

Le point important réside dans la localisation des grandes discontinuités de la zone restreinte ainsi que dans l'étude des mécanismes d'altérations, endogènes ou supergènes, qui leur sont liés ; ces mécanismes étant étroitement liés aux possibilités de colmatages du réseau des discontinuités.

Pour ce faire, et parallèlement aux études à venir de néotectonique et d'hydrogéologie, nous établissons le plan d'un programme de travaux communs, géologie-géophysique-téledétection, en sept points :

1) TELEDETECTION

Etude des images Landsat et Seasat en vue de la mise en évidence de linéaments pouvant représenter des discontinuités majeures. Etude de la photofracturation pour préciser les données de la cartographie géologique.

2) GEOLOGIE 1

Contrôle géologique détaillé de la zone restreinte en vue de la localisation précise des discontinuités de surface : contacts géologiques, accidents, champs filoniens..., de manière à permettre l'implantation des forages.

3) GEOPHYSIQUE 1

Etude des relations géométriques granite - encaissant à l'aide de profils magnétiques de manière à mieux cerner la forme du massif.

Investigation des épaisseurs d'altération superficielle de la zone restreinte et localisation des discontinuités de sub-surface à l'aide de sondages et trainés électriques en vue de l'implantation des forages.

4) FORAGES

Suite aux travaux 1, 2, 3, implantation de quelques forages carottés et orientés de 200 à 300 m de profondeur, dans la zone restreinte.

Les objectifs de ces forages correspondent à la reconnaissance en profondeur des grandes discontinuités affectant le massif et à la définition de leur rôle dans les circulations hydrogéologiques du fait des remplissages des fractures. L'étalonnage pour les modélisations gravimétriques demandera au moins un forage dans l'encaissant du granite.

5) GEOLOGIE 2

Etudes pétrographique et structurale des carottes de sondage en vue de la localisation précise des discontinuités en profondeur : contacts géologiques, accidents, champs filoniens... Synthèse avec les données de surface (géologie 1), de subsurface (géophysique 1) et de télédétection.

Etude des altérations et des remplissages des fractures en surface et sur les carottes de sondage, de manière à évaluer les possibilités de colmatage du réseau de discontinuités. Relations avec les futures études hydrogéologiques.

6) GEOPHYSIQUE 2

Modélisation gravimétrique tridimensionnelle du massif au vu du nouvel échantillonnage sur carottes de sondage et calage de la profondeur d'enracinement.

7) SYNTHESE

Géologie, géophysique, télédétection, hydrogéologie et néotectonique, et évaluation du potentiel de possibilité de stockage offert par la zone restreinte du massif de Huelgoat. Choix d'un site pour forage profond (1 000 m).

BIBLIOGRAPHIE

- BARRIERE M. et al. (1977) : Sur l'activité structurante du batholite hercynien médio-armoricain. C.R.A.S. Paris t. 284
- BARRIERE M. et al. (1983) : Le magmatisme marqueur de l'évolution orogénique en domaine hercynien Ouest-armoricain. C.R.A.S. Paris t. 296.
- BEURRIER M. et al. (1979) : Etude de la partie occidentale du massif granitique de Quintin. Pétrographie, géochimie, fracturation. Bull. BRGM. Section 1, n° 4.
- BLES J.L. et al. (1982) : La fracturation du granite de Bassiès. Etude des densités de fracturation à différentes échelles. Collo. Wati en hommage à G. CASTANY.
- BLES J.L. et al. (1983) : Etude structurale de la fracturation du granite de St Sylvestre. Rapport B.R.G.M. - 83 SGN 426 GEO.
- BRUN J.P. and PONS J. (1981) : Strain patterns of pluton emplacement in a crust undergoing non-coaxial deformation, Sierra Morena, Southern Spain. Journal of Struc. Géol. Vol. 3, n° 3 pp. 219-229.
- CASTAING Ch., RABU P. (1982) : Geological contributions in Building-Stone Research and Extraction. Industrie Minérale. Les Techniques.
- CHAURIS L. (1967) : Mémoires BRGM n° 52.
- CONQUERE F. (1969) : Le massif granitique de Huelgoat (Nord-Finistère). Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle. Série C, Tome XXI , fasc. 1, 42 p.
- DARBOUX J.R. (1981) : Caractérisation du régime cisailant de la déformation hercynienne dans les Mts d'Arrée (Massif armoricain, France). C.R.A.S. Paris D 292, p. 1497-1500.
- DEBON F. et LE FORT P. (1983) : A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences, 73 (for 1982), 1983, pp. 135-149, 7 figs, 3 tabl.
- DEUTSCH S. et CHAURIS L. (1960) : Mesure de l'âge absolu du granite de Huelgoat . CR. Acad. Sc. Paris, 250, pp. 1298-1300.
- DUTHOU J.L. (1977) : Chronologie Rb-Sr et géochimie des granitoïdes d'un segment de la chaîne varisque, relations avec le métamorphisme : le Nord-Limousin. Thèse de doctorat es sciences. Annales scientifiques de l'Université de Clermont-Ferrand n° 63, 294 p.
- GEORGET Y. (1983) : Le massif granitique de Huelgoat (Finistère Nord) - Hétéromorphisme ou polygénèse ? Granites de type I ou de type 3 ? Rapport de DEA - Université de Rennes I, 28 p. + annexes.

- GROS Y. (1982)** : Distribution de la fracturation d'un massif granitique sur 1000 m de profondeur (Auriat-Creuse). Collo. Nat. en hommage à G. CASTANY.
- HERROUIN Y. et al. (1977)** : Nouvelles données lithostratigraphiques de Bretagne centrale (Monts d'Arrée). 5ème R.A.S.T. Rennes - p. 272.
- JOUBERT M. (1978)** : Etude pétrographique, structurale et métallogénique de la Châtaigneraie (Secteur de Veinazès, Cantal). Thèse Université de Clermont II, n° 561.
- LA ROCHE de H. (1980)** : Granites chemistry through multicationic diagrams. Sc. de la Terre Inf. Geol. 13, pp. 65-63.
- LEUTWEIN F., SONET J., ZIMMERMAN J.L. (1968)** : Géochronologie et évolution orogénique précambrienne et hercynienne de la partie Nord-est du Massif armoricain. Sci. Terre, Nancy, n° 11, 84 p.
- MARCOUX E. (1980)** : Le district de Pontivy. Sa place dans la métallogénie plombo-zincifère du Massif armoricain. Thèse 3ème cycle Clermont II.
- PEUCAT J.J., CHARLOT R., VIDAL A., CHANTRAINE J., AUTRAN A. (1979)** : Définition géochronologique de la phase bretonne en Bretagne centrale. Etude Rb-Sr des granites du domaine centre armoricain. Bull. BRGM, 2ème série, Section I, n° 4, pp. 319-356.
- ROLET J. (1983)** : Graben lorangiques (pull-apart) en régime de décrochement. Le rôle des coulissements hercyniens dans l'individualisation des bassins carbonifères du Massif armoricain. Société géologique du Nord.
- SABATIER H. (1980)** : Vaugnérites et granites : une association particulière de roches grenues acides et basiques. Bull. Minéral. n° 103, pp. 507-522.
- VIGNERESSE J.L. (1978)** : Gravimétrie et granites armoricaines. Thèse docteur-ingénieur. Rennes.

A N N E X E S

ANNEXE 1

Étude des lames minces de roches

Filon de leucogranite à muscovite, biotite chloritisée et tourmaline et éponte de monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite hydrothermalisé.

1) Filon de leucogranite (20 cm de puissance)

Texture : hypidiomorphe à grain relativement fin de l'ordre du millimètre; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, peu à moyennement séricitisé, localement corrodé par du quartz; les mâcles polysynthétiques sont rarement déformées; au contact du monzogranite porphyroïde un cristal de plagioclase renferme de petites plages de leucoxène;
- feldspath potassique xénomorphe, parfois mâclé microcline, présentant localement des flammèches de perthite, partiellement kaolinisé, muscovitisé et/ou corrodé par du quartz;
- quartz xénomorphe, à extinction onduleuse, en plages fréquemment polycristallines; rares inclusions de séricite;
- albite tardive en petites lattes interstitielles aux minéraux précédents ;
- muscovite soit primaire en plages très xénomorphes interstitielles aux feldspaths et au quartz, englobant poécilitiquement de petits cristaux de quartz, soit secondaire se développant en petites paillettes sur les feldspaths;
- biotite entièrement rétrotransformée en chlorite verte plus produits opaques ferrotitanés, très peu abondante (moins de 1 % de la composition modale);
- rare cordiérite entièrement pinnitisée, représentée par un amas circonscrit de paillettes enchevêtrées de muscovite et de chlorite verte;

.../...

- tourmaline relativement abondante (2 à 3 % de la composition modale) fortement pléochroïque (incolore à brun orangé), en plages très xénomorphes, interstitielles aux feldspaths et au quartz, englobant poeciliquement de petits cristaux de quartz tout comme la muscovite primaire; quelques rares inclusions de zircon avec halo de radioactivité;
- rares oxydes métalliques et leucoxène.

2) Eponte de monzogranite porphyroïde hydrothermalisé

Texture : porphyroïde grenue, légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Mégacristsaux :

- feldspath potassique subautomorphe à automorphe, très perthitique (en bandelettes et taches), englobant quelques petites lattes de plagioclase acide; altération: développement plus ou moins important de tâches de muscovite et/ou de gouttelettes de quartz;

- cordiérite subautomorphe, pinnitisée à 75 %, renfermant de la biotite très fraîche

- Mésostase :

- quartz en grandes plages globuleuses, polycristallines, à extinction onduleuse ; certaines plages englobent de petites lamelles de biotite chloritisée ou non, et/ou de petits amas de cordiérite entièrement pinnitisée;

- plagioclase acide automorphe, à zonage oscillatoire plus ou moins prononcé, fortement altéré en muscovite -séricite notamment au coeur des cristaux d'une part et/ou au contact du leucogranite d'autre part; inclusions de petites paillettes de biotite plus ou moins chloritisée ;

- feldspath potassique xénomorphe, perthitique, peu abondant;

- albite tardive, se développant essentiellement au contact des mégacristsaux de feldspath potassique et de cordiérite, sous forme d'agrégats de microlattes;

- biotite généralement entièrement chloritisée et/ou muscovitisée avec d'abondantes aiguilles de rutile mâclées sagénite en épitaxie sur les sections basales;

- muscovite secondaire se développant au détriment des feldspaths et de la biotite, en particulier au contact du leucogranite;

- tourmaline présentant les mêmes caractéristiques que dans le leucogranite à l'exception d'une plus grande richesse en inclusions de zircon et du fait que certaines plages englobant des paillettes de biotite chloritisée;

- minéraux opaques et sphène associés à la biotite et à la tourmaline.

Ech. PHC 83 HUEL 3 - LM B 55 756

Monzogranite porphyroïde à biotite, cordiérite et muscovite.

Texture : porphyroïde grenue, mégacristsaux de feldspath potassique et de cordiérite atteignant respectivement 1,5 et 1 cm de longueur.

Composition minéralogique :

- Phénocristsaux :

- feldspath potassique subautomorphe à automorphe, très riche en bandelettes de perthite, mâclé Carlsbad, englobant de petites lattes de plagioclase acide, de petites lamelles de biotite et/ou de rare muscovite, et même des fragments de mésostase; le feldspath potassique est légèrement kaolinisé, localement corrodé par du quartz.

- Mésostase :

- quartz en grandes plages globuleuses polycristallines à texture engrenée, englobant poecilitiquement des cristaux de plagioclase et de biotite;

- plagioclase acide en cristaux de taille variable, subautomorphes à automorphes, présentant fréquemment un zonage oscillatoire auquel se superpose un zonage d'altération, le coeur étant plus séricitisé que la bordure; rares bourgeonnements myrmékites quartz-albite en bordure de certains cristaux au contact de feldspath potassique;

- feldspath potassique xénomorphe, perthitique, peu abondant;

- biotite généralement très fraîche, fortement pléochroïque (incolore à brun rouge) en lamelles aux contours déchiquetés, fréquemment criblées de petits cristaux de zircon avec un halo radioactif bien développé; rarement chloritisée, voire muscovitisée;

- cordiérite automorphe, pinnitisée(à 40 %) en bordure, le long des clivages et de microfissures;

- muscovite soit primaire en petits amas lamellaires très tardifs, soit secondaire se développant au détriment des feldspaths ou de la biotite;

- albite très tardive apparaissant sous forme de petits amas de microlattes dans les interstices ou au sein de phénocristsaux de feldspath potassique;

- minéraux accessoires : apatite et oxydes métalliques situés dans ou au voisinage immédiat de lamelles de biotite.

Ech. PHC 83 HUEL 7 - LM B 55 757

Monzogranite porphyroïde à biotite, cordiérite, muscovite.

Cet échantillon est analogue au précédent (LM B 55 758) à l'exception ;

- d'une taille légèrement supérieure des mégacristaux de feldspath potassique et de cordiérite pouvant atteindre respectivement 2 et 1,5 cm;
- d'une légère déformation ductile se traduisant par une extinction onduleuse du quartz et une torsion locale des mâcles polysynthétiques du plagioclase et des clivages des micas;
- de la pauvreté des phénocristaux de feldspath potassique en inclusions (cantonnées en bordure) de petits cristaux de plagioclase et de biotite;
- d'une pinnitisation plus développée de la cordiérite;
- d'une altération un peu plus fréquente de la biotite en chlorite et/ou muscovite.

Ech. PHC 83 HUEL 9 B - LM B 55 758

Filon de leucogranite à muscovite et tourmaline avec son éponte de monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite hydrothermalisé.

1) Filon (5cm de puissance) de leucogranite à muscovite et tourmaline

Texture : hypidiomorphe finement grenue; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz en plages xénomorphes de taille variable, mono à polycristallines, à extinction onduleuse, englobant de rares petites lattes de plagioclase acide;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, piqueté de produits sériciteux cryptocristallins, englobant localement de petites lattes de plagioclase plus précoce;

- feldspath potassique en plages xénomorphes de taille variable dont les plus grandes sont les moins kaolinisées et englobent poecilitiquement de petites lattes de plagioclase;

- muscovite essentiellement primaire en petites lamelles interstitielles aux feldspaths et au quartz, légèrement déformées, plus rarement secondaire sous forme de taches au sein des feldspaths;

- tourmaline brun-orangé, très tardive, occupant des interstices entre les cristaux de feldspath ou de quartz, abondante à l'éponte du filon de leucogranite, beaucoup plus rare à l'intérieur;

- minéraux accessoires : apatite globuleuse, hydroxydes de fer.

2) Eponte de monzogranite porphyroïde hydrothermalisée.

Texture : porphyroïde grenue, mégacristaux de feldspath potassique et de cordiérite pinnitisée de longueur inférieure ou égale à 1 cm ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénocristaux :

- feldspath potassique subautomorphe, maclé Carlsbad, riche en bandelettes de perthite, englobant poecilitiquement des lattes de plagioclase plus ou moins séricitisé et des paillettes de biotite plus ou moins chloritisée;

.../...

- Mésostase :

- quartz en grandes plages globuleuses, polycristallines à texture engrenée, englobant poecilitiquement quelques cristaux de plagioclase et/ou de biotite fraîche;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant parfois un zonage oscillatoire, piqueté d'une part de très abondantes lamelles de muscovite et paillettes de séricite et d'autre part de tâches sporadiques de feldspath potassique; apatite, tourmaline et/ou quartz se sont également développés au sein de certains cristaux de plagioclase;

- feldspath potassique xénomorphe, peu abondant, moins perthitique que celui des phénocristaux;

- biotite fortement à entièrement chloritisée (à l'exception des paillettes blindées par le quartz), avec abondante exsudation de produits opaques ferrotitanés et formation de leucoxène, jusqu'à environ 1 cm du contact avec le leucogranite; abondantes inclusions de zircon avec halo pléochroïque très développé;

- cordiérite automorphe, entièrement pinnitisée;

- muscovite uniquement secondaire, se développant essentiellement sur le plagioclase et plus rarement sur le feldspath potassique ou la biotite;

- tourmaline brun-orangé, xénomorphe, colmatant des interstices et des microfissures à partir du contact avec le leucogranite; quelques inclusions de zircon avec halo de radioactivité;

- apatite xénomorphe, globuleuse, épigénisant des cristaux de plagioclase dans la zone, riche en tourmaline, adjacente au leucogranite.

Ech. PHC 83 HUEL 10 A - LM B 55 759

Monzogranite porphyroïde à biotite, cordiérite, muscovite et tourmaline.

Texture : porphyroïde grenue, mégacristsaux de feldspath potassique et de cordiérite de longueur atteignant 1,6 et 1 cm respectivement ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénocristsaux :

- feldspath potassique subautomorphe à automorphe, très riche en bandelettes et taches de perthite, englobant poecilitiquement des cristaux de plagioclase et/ou de biotite et même, dans un des mégacristsaux, un fragment de mésostase constitué de cordiérite partiellement pinnitisée, quartz et biotite

- Mésostase :

- quartz en plages globuleuses polycristallines, à texture engrenée et à extinction onduleuse, englobant quelques paillettes de biotite et/ou lattes de plagioclase;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant fréquemment un zonage oscillatoire et quelquefois des inclusions de plagioclase plus précoce ou de la biotite; l'altération deutérique à hydrothermale est généralement faible sauf dans une zone à tourmaline où le plagioclase est criblé de petites lamelles de muscovite et de paillettes de séricite et où un des cristaux contient même de petites plages de chlorite, oxydes métalliques, calcite, zoïsite, leucoxène;

- feldspath potassique xénomorphe, interstitiel au plagioclase et au quartz, moins perthitique que celui qui constitue les mégacristsaux;

- biotite très fortement pléochroïque (brun-crème à brun-rouge), en lamelles aux contours déchiquetés, ayant tendance à former de petits amas (amorce de schlieren?); la biotite est criblée d'inclusions de zircon avec halo de radioactivité bien développé; elle n'est chloritisée et/ou muscovitisée que dans la zone où le plagioclase est également altéré (cf. ci-dessus);

- cordiérite en cristaux automorphes de taille variable, dont le plus gros présente une magnifique macle en roue; le taux de pinnitisation varie de 20 à 100 % suivant les individus;

.../...

- muscovite probablement toute secondaire, se développant, par ordre d'abondance et de taille décroissante, autour des cristaux de cordiérite et le long des clivages de ce minéral, au sein des amas de biotite, sur le plagioclase et sur le feldspath potassique;

- albite tardive, formant de petits amas de microlattes, interstitielles aux cristaux de feldspaths et de quartz ;

- tourmaline brun-orangé, très tardive, colmatant des interstices et envahissant des cristaux de plagioclase à partir de microfissures, dans une zone très restreinte, caractérisée par une altération deutérique à hydrothermale bien développée du plagioclase, de la biotite et de la cordiérite;

- minéraux accessoires : apatite et oxydes métalliques généralement liés à la biotite.

Ech. PHC 83 HUEL 11 A - LM B 55 760

Monzogranite moyennement grenu à biotite dominante, cordiérite, muscovite et tourmaline

Texture : monzonitique, moyennement grenue ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz en plages globuleuses, polycristallines, à texture engrenée et à extinction onduleuse, englobant de petites lattes de plagioclase et/ou de petites lamelles de biotite;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant fréquemment un zonage oscillatoire, à degré d'altération en muscovite-séricite généralement faible, mais localement intense; des bourgeons myrmékitiques apparaissent fréquemment en bordure de cristaux de plagioclase partiellement à totalement englobés par le feldspath potassique; à signaler un cristal de plagioclase épigénisé par de l'épidote et de la chlorite;
- feldspath potassique en grandes plages xénomorphes, très riche en flammèches, veinules et taches de perthite, englobant d'abondants cristaux de plagioclase, biotite, quartz et apatite (texture monzonitique typique);
- biotite plus abondante et moins fortement pléochroïque (brun-rosé à brun-rouge) que dans les monzogranites porphyroïdes, en lamelles isolées ou groupées en petits amas, généralement très fraîches, mais localement altérées en muscovite ou en chlorite quelquefois accompagnée de carbonates voire de pistachite; inclusions peu abondantes de zircon et de rare allanite avec halos de radioactivité;
- cordiérite entièrement pinnitisée c'est-à-dire pseudomorphosée en un agrégat fibreux de séricite plus muscovite plus rare chlorite;
- muscovite essentiellement secondaire comme produit d'altération des feldspaths, de la cordiérite et de la biotite, rarement primaire, en lamelles interstitielles aux cristaux de feldspath et de quartz;
- tourmaline jaune-orangé, très tardive, en plages interstitielles cantonnées dans une zone restreinte où elle semble se développer en partie du moins, au détriment de la biotite;
- minéraux accessoires : oxydes métalliques et apatite toujours proches de lamelles de biotite.

Leucogranite à deux micas, tourmaline et rare cordiérite pinnitisée.

Texture : hypidiomorphe finement grenue, à tendance monzonitique ;
légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz en plages globuleuses polycristallines, à texture engrenée et à extinction légèrement onduleuse;

- plagioclase acide en cristaux subautomorphes à automorphes piquetés de séricite et parfois corrodés par du quartz, englobant rarement de petites lattes de plagioclase plus précoce; rares bourgeonnements myrmékites au contact de cristaux de feldspath potassique; légère déformation ductile des macles polysynthétiques;

- feldspath potassique plus ou moins kaolinisé en plages xénomorphes de taille variable, les plus grandes englobant des cristaux de plagioclase de biotite très altérée et de quartz; certaines plages seulement sont perthitiques (en bandelettes et/ou veinules);

- biotite peu abondante (moins de 1 % de la composition modale), plus fréquemment fraîche, brun-rougeâtre, qu'altérée en chlorite et/ou muscovite; légère déformation des clivages;

- cordiérite entièrement pinnitisée;

- muscovite relativement abondante, soit primaire en lamelles légèrement déformées, interstitielles, plus ou moins poecilitiques, soit secondaire, se développant en compagnie de séricite au détriment des feldspaths, de la biotite et de la cordiérite;

- tourmaline jaune-citron à jaune-orangé, relativement abondante en plages tardives et xénomorphes comme celles de muscovite primaire

- minéraux accessoires : rares apatite, ilménite et leucoxène associé.

Ech. PHC 83 HUEL 13 A - LM 55 762

Leucogranite à 2 micas, tourmaline, cordiérite pinnitisée et andalousite

Texture : hypidiomorphe grenue, légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction onduleuse, en plages xénomorphes mono à polycristallin
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, légèrement zoné, renfermant parfois de la biotite en petite(s) lamelle(s); en dehors du piquetage par de la séricite cryptocristalline, l'altération est relativement faible et se traduit par quelques tâches de muscovite, de feldspath potassique et/ou de quartz ainsi que par quelques rares bourgeonnements myrmékistiques au contact des cristaux de feldspath potassique;
- feldspath potassique xénomorphe, perthitique (en veinules et tâches), englobant poecilite quelques petites lattes de plagioclase, localement corrodé par du quartz;
- albite très tardive, en microlattes interstitielles aux autres feldspaths et au quartz;
- biotite brun-orangé, peu abondante (moins de 1 % de la composition modale), xénomorphe, parfois partiellement muscovitisée ou totalement chloritisée; rares inclusions de zircon caractérisées par leur halo noir;
- muscovite soit primaire, tardive, interstitielle aux cristaux de quartz, plagioclase acide et feldspath potassique, soit secondaire comme produit d'altération des feldspaths, de la cordiérite ou de la biotite;
- cordiérite (environ 1 % de la composition modale) entièrement pinnitisée, se présentent sous forme de petits amas circonscrits de lamelles et/ou fibres enchevêtrées de muscovite, séricite, chlorite;
- andalousite en petits cristaux
- tourmaline jaune-orangé, très tardive, en plages xénomorphes, interstitielles aux et pénétrant dans les cristaux de plagioclase acide, feldspath potassique et quartz;
- minéraux accessoires : apatite et oxydes métalliques.

Ech. PHC 83 HUEL 13 B - LM B 55763

Monzogranite moyennement grenu à biotite dominante, muscovite et cordiérite pinnitisée

Texture : monzogranitique moyennement grenue, légèrement porphyroïde ; faible déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Quartz en plages globuleuses mono à polycristallines, à extinction onduleuse, avec inclusion de petites lattes de plagioclases et/ou lamelles de biotite très fraîche ;
- plagioclase acide : d'une part en un phénocrystal subautomorphe de 0,6 cm de long, maclé Carlsbad, piqueté de séricite, corrodé par du quartz, englobant des paillettes de biotite partiellement chloritisée, et à la périphérie, de petites lattes de plagioclase plus précoce ;
 - d'autre part en cristaux plus petits, subautomorphes à automorphes, à zonage oscillatoire, au coeur généralement plus séricitisé et/ou muscovitisé que la bordure, renfermant quelques rares paillettes de biotite brune et présentant parfois des bourgeonnements myrmékites en bordure au contact de feldspath potassique ;
- feldspath potassique perthitique (en veinules et taches) en grandes plages xénomorphes englobant poecilitiquement (texture typiquement monzonitique) de petits cristaux de plagioclase acide zoné, de biotite, de quartz et même de cordiérite pinnitisée ;
- biotite (8 à 10 % de la composition modale) fortement pléochroïque (brun-crème à brun-rouge) en lamelles de taille variable, généralement très fraîches, quelquefois partiellement chloritisée avec exsudation de produits opaques ferrotitanés ; inclusions de zircon avec halo de radioactivité nettement moins abondantes que dans les monzogranites porphyroïdes à gros grain ;
- muscovite soit primaire, très tardive, interstitielle aux feldspaths et au quartz, soit secondaire se développant au détriment des feldspaths et de la cordiérite ;

.../...

-cordiérite complètement pinnitisée se présentant en petits amas circonscrits de petites lamelles et micropaillettes enchevêtrées de muscovite, séricite, chlorite.

- Enclave surmicacée (de 0,7 x 0,1 cm) à texture granoblastique, constituée de biotite brun-orangé (environ 50 % de la composition modale) avec rares inclusions de zircon, muscovite, séricite, rare plagioclase acide et quartz.

Ech. PHC 83 HUEL 14 A-LM B 55 764

Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite

- Texture : porphyroïde grenue, orientation planaire des mégacristaux de feldspath potassique et de cordiérite de taille atteignant 1,6 et 1,1 cm respectivement ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénoscristaux de feldspath potassique subautomorphe, orienté, maclé Carlsbad, riche en flammèches et taches de perthite, englobant poecilitiquement de petits cristaux non orientés de plagioclase acide et de biotite plus ou moins chloritisée ; altération en muscovite à partir de microfissures ; un des phénocristaux de feldspath potassique a été brisé et recimenté par du quartz et de l'albite ;

- Mésostase

- quartz moins abondant que dans les autres échantillons de monzogranite porphyroïde, en grandes plages globuleuses, polycristallines, à extinction onduleuse, englobant de petits cristaux de plagioclase acide, biotite et même d'apatite ;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, à zonage oscillatoire fréquent, faiblement à moyennement séricitisé et/ou muscovitisé englobant parfois de petites lattes de plagioclase plus précoce et/ou des paillettes de biotite brune, et présentant localement quelques bourgeonnements myrmékites au contact du feldspath potassique ;

- feldspath potassique xénomorphe, interstitiel au plagioclase et au quartz, moins perthitique que celui des phénocristaux ;

- albite tardive, ou petites lattes colmatant des interstices ou des microfissures ;

- biotite (environ 10 % de la composition modale de la mésostase) fortement pléochroïque (rose-crème à brun-rouge), rarement muscovitisée et/ou partiellement à totalement chloritisée avec

exsudation de produits opaques ferrotitanés, généralement très fraîche, criblée d'inclusion de zircon avec halo radioactif bien développé et renfermant quelques rares prismes d'apatite,

- muscovite rarement primaire, tardive, essentiellement secondaire comme produit d'altération des feldspaths, de la biotite et de la cordiérite ;

- cordiérite représentée dans la lame par un seul cristal automorphe pinnitisé sur sa périphérie et le long des clivages et des microfissures, et englobant une plage de biotite ;

- minéraux accessoires : apatite globuleuse et rares oxydes métalliques.

Ech. PHC 83 HUEL 14 B - LM 55 765

Contact entre un monzogranite porphyroïde à biotite muscovite et cordiérite et un monzogranite finement grenu à biotite dominante, muscovite et rare cordiérite .

1) Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite .

- Texture : porphyroïde grenue ; taille des mégacristaux de feldspath potassique et de cordiérite respectivement inférieure ou égale à 1,2 et 0,6 cm ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénocristaux de feldspath potassique subautomorphe, riche en flammèches et veinules de perthite, englobant poecilitiquement de petits cristaux de plagioclase acide, de biotite et/ou de quartz, corrodé par du quartz vermiculaire et maculé de petites lamelles de muscovite ;

- Mésostase :

- Quartz à extinction onduleuse, en plages globuleuses polycristallines de taille variable, dont les plus grandes englobent de petites lattes de plagioclase et/ou des paillettes de biotite ;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, à zonage oscillatoire, plus ou moins microfissuré et éricitisé, englobant parfois de la biotite et présentant localement des bourgeonnements myrmékitiques au contact du feldspath potassique ;

- feldspath potassique analogue, en dehors de son caractère xénomorphe, à celui des phénocristaux ;

- albite très tardive, interstitielle aux autres feldspaths ;

- biotite brun-rouge, en lamelles isolées ou groupées en petits amas rarement partiellement chloritisée et/ou muscovitisée avec

../...

crystallisation de leucoxène près du contact avec le monzogranite plus fin, criblée d'inclusions de zircon avec halo de radio-activité ;

légère déformation locale des clivages ;

- muscovite soit primaire près du contact avec le monzogranite plus fin, soit secondaire comme produit d'altération des feldspaths et de la biotite ;

- cordiérite pinnitisée, non représentée dans la lame ;

- minéraux accessoires : apatite relativement abondante en cristaux globuleux associés à des lamelles de biotite, rares oxydes métalliques .

2) Monzogranite finement grenu à biotite dominante, muscovite et et rare cordiérite

- Texture monzonitique finement grenue ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction onduleuse en plages interstitielles mono à polycristallines, dont les plus grandes englobent de petits cristaux de plagioclase zoné et séricitisé et/ou de biotite ;

- plagioclase acide en cristaux subautomorphes à automorphes de taille variable, à zonage de composition oscillatoire auquel se superpose fréquemment un zonage d'altération se traduisant par un coeur très fortement séricitisé ; certains cristaux présentent des inclusions de biotite, d'autres montrent des bourgeonnements myrmékitiques au contact du feldspath potassique ;

- feldspath potassique légèrement perthitique en plages xénomorphes relativement grandes englobant poecilitiquement des cristaux de plagioclase acide, biotite et quartz ;

- biotite abondante (environ 12 % de la composition modale), fortement pléochroïque (jaune-crème à brun-rouge), généralement très fraîche, en petites paillettes isolées ou formant de petits amas ; les inclusions de zircon sont fréquentes mais beaucoup moins abondantes que dans le monzogranite porphyroïde adjacent ;

../...

- muscovite soit primaire au voisinage du monzogranite porphyroïde, soit secondaire comme produit d'altération des feldspaths, de la cordiérite et de la biotite ;
- cordiérite entièrement pinnitisée, représentée par des amas circonscrits de muscovite, biotite, chlorite, séricite ;
- minéraux accessoires : rare apatite associée à la biotite.

Ech. PHC 83 HUEL 19 - LM B 55 766

Monzogranite moyennement grenu à biotite dominante, muscovite, cordiérite pinnitisée et tourmaline

- Texture monzonitique moyennement grenue ; faible déformation ductile.

Composition minéralogique

- quartz à extinction onduleuse en plages globuleuses mono- à polycristallines, englobant des paillettes de biotite et plus rarement des petites lattes de plagioclase acide ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant un zonage de composition oscillatoire auquel se superpose fréquemment un zonage d'altération séricitique ; localement les cristaux de plagioclase montrent des bourgeonnements myrmékitiques au contact du feldspath potassique ;
- feldspath potassique peu perthitique en grandes plages xénomorphes englobant de très nombreux cristaux de plagioclase acide et de biotite ;
- mésoperthite feldspath potassique - plagioclase acide représentée par une seule plage ;
- biotite (12 à 15 % de la composition modale) fortement pléochroïque (rose-crème à brun-rouge) en paillettes isolées ou formant de petits amas, rarement chloritisée, muscovitisée ou tourmalinisée ;
inclusions relativement peu abondantes de zircon avec halo de radioactivité ;
- muscovite rarement primaire, généralement secondaire se développant sur les feldspaths, la biotite et la cordiérite ;
- cordiérite entièrement pinnitisée représentée par des amas circonscrits de petites lamelles et fibres de muscovite, biotite, séricite ;
- tourmaline brun-orangé, en plages très xénomorphes et poecilites dont certaines épigénisent des lamelles de biotite ;
- minéraux accessoires : apatite associée à la biotite.

../...

Ech. PHC 83 HUEL 20 B - LM B 55 767

Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite avec enclave de microdiorite quartzique à biotite abondante et cordiérite

1) Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite

- Texture : porphyroïde grenue
légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénocristaux de feldspath potassique (non représentés dans la lame)

- Mésostase :

- quartz en grandes plages polycristallines à extinction onduleuse, interstitielles aux cristaux de plagioclase acide, renfermant quelques inclusions de biotite ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant un zonage de composition oscillatoire auquel se superpose parfois un zonage d'altération en séricite ; inclusions fréquentes de biotite, inclusions plus rares de plagioclase plus précoce ; des bourgeonnements myrmékites apparaissent en bordure de certains cristaux au contact du feldspath potassique ;
- feldspath potassique relativement peu perthitique (en flamèches) en plages xénomorphes, quelquefois maclées Carlsbad, englobant poecilitiquement de nombreuses petites lattes de plagioclase et des paillettes de biotite ;
- cordiérite en cristaux subautomorphes de taille et de degré de pinnitisation variables, essentiellement présents au voisinage de l'enclave de microdiorite ;
- biotite très fraîche, fortement pléochroïque (brun-crème à brun-rouge) en lamelles xénomorphes, criblées d'inclusions de zircon avec halo de radioactivité bien développé ;
- muscovite rarement primaire en plages interstitielles très tardives, généralement secondaire, se développant au détriment des feldspaths, de la cordiérite ou de la biotite ;
- rares minéraux opaques.

../...

2) Enclave de diorite quartzique à biotite abondante et cordiérite

- Texture finement grenue, légèrement porphyrique ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénoscristaux (1 %)

- quartz représenté par une plage globuleuse, polycristalline, à extinction onduleuse, englobant des lamelles de biotite ;

- plagioclase acide automorphe zoné, au coeur piqueté de muscovite en petites paillettes et de séricite cryptocristalline.

- Mésostase :

- quartz en plages xénomorphes, mono à polycristallines, à extinction onduleuse, interstitielles au plagioclase ;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, zoné, avec une bordure albitique limpide et un coeur plus calcique, fréquemment muscovitisé et/ou séricitisé et localement potassifié,

- biotite brune abondante (environ 15 % de la composition modale de la mésostase), moins fortement pléochroïque et nettement moins riche en inclusions de zircon que la biotite du monzogranite renfermant l'enclave ; localement dans la zone où le plagioclase est potassifié en son coeur, la biotite est partiellement à entièrement chloritisée avec exsudation de produits opaques ferrotitanés, apparition de leucoxène et, dans les sections basales, d'aiguilles de rutil mâclées sagénite ;

- cordiérite relativement abondante (5 à 7 % de la composition modale de la mésostase) en plages xénomorphes de taille et de degré de pinnitisation variables ;

- muscovite uniquement secondaire se développant sur les feldspaths, la cordiérite ou la biotite ;

- minéraux accessoires : apatite soit en cristaux subautomorphes relativement trapus, soit en abondantes petites aiguilles, zircon en inclusion dans la biotite, rare tourmaline verdâtre formant de petits amas aciculaires.

Ech. PHC 83 HUEL 24 - LM B 55 768

Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite hydrothermalisé
et enclave de diorite quartzique également hydrothermalisée.

1) Monzogranite porphyroïde hydrothermalisé

- Texture : porphyroïde grenue, importante recristallisation du quartz.

Composition minéralogique :

- quartz en grandes plages xénomorphes constituées de nombreux petits cristaux engrenés à extinction onduleuse et englobant quelques lamelles de biotite chloritisée en bordure ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, zoné, fortement altéré en muscovite et séricite, voire potassifié (taches de feldspath potassique), renfermant quelques lamelles de biotite chloritisée ;
- feldspath potassique riche en taches et films de perthite, en grandes plages xénomorphes kaolinisées et piquetées de paillettes de muscovite et englobant poecilitiquement de petites lattes de plagioclase séricitisé et des lamelles de biotite chloritisée, corrosion et colmatage de microfissures par du quartz ;
- cordiérite en gros cristaux subautomorphes entièrement pinnitisés ;
- biotite complètement altérée (sauf lorsqu'elle est blindée par du quartz) en chlorite plus ou moins muscovite plus ou moins produits opaques ferrotitanés ; inclusions reliques de zircon avec halo pléochroïque bien développé ;
- muscovite uniquement secondaire, se développant au détriment des feldspaths, de la cordiérite et de la biotite ;
- tourmaline brun-orangé, très tardive, englobant poecilitiquement de petits cristaux de plagioclase et de quartz et colmatant des microfissures.

../...

2) Enclave de diorite quartzique hydrothermalisée

- Texture finement grenue, légèrement porphyroïde ; légère déformation ductile.

Compositon minéralogique :

- Phénoscristaux (2 %) :
- Plagioclase acide automorphe, zoné avec une bordure albitique limpide et un coeur plus calcique très fortement séricitisé, renfermant de rares lamelles de biotite partiellement chloritisée ;
- Quartz en plages globuleuses polycristallines, renfermant des paillettes de biotite fraîche ;
- biotite xénomorphe, fortement chloritisée.

Mésostase :

- plagioclase acide en petites lattes généralement zonées avec un coeur fortement séricitisé ;
- quartz en petites plages à extinction onduleuse, xénomorphes, interstitielles aux lattes de plagioclase, généralement monocristallines, englobant des paillettes de biotite plus ou moins chloritisée ,
- biotite abondante (15 à 17 % de la composition modale de la mésostase), rarement fraîche, en général fortement à entièrement chloritisée avec abondante exsudation de produits opaques ferrotitanés et développement d'aiguilles de rutile maclées sagénite en épitaxie sur les sections basales ;
- cordiérite totalement pinnitisée représentée par des amas xénomorphes de fibres et lamelles plus ou moins enchevêtrées de séricite, chlorite, muscovite ;
- minéraux accessoires : apatite en petits cristaux plus ou moins aciculaires.

Ech. PHC 83 HUEL 25 A - LM B 55 769

Monzogranite porphyroïde à biotite, cordiérite, muscovite et tourmaline

- Texture: porphyroïde grenue; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénocristaux de feldspath potassique riche en flammèches et taches de perthite, englobant de nombreux petits cristaux de plagioclase acide, plus ou moins zoné et séricitisé, et de biotite, et de rares plages xénomorphes de feldspath potassique ; altération en muscovite et corrosion par du quartz ;
- Mésostase :
 - quartz à extinction onduleuse en plages xénomorphes, polycristallines, de taille variable, englobant quelques paillettes de biotite ;
 - plagioclase acide subautomorphe à automorphe, zoné, pas à peu séricitisé, formant de petites accumulations locales ; quelques rares cristaux montrent un bourgeonnement myrmékitique en bordure au contact du feldspath potassique ; localement les mâcles polysynthétiques sont légèrement déformées ;
 - feldspath potassique perthitique peu abondant, en plages xénomorphes, présentant parfois les macles du microline, englobant de petits cristaux de plagioclase acide et/ou de biotite ;
 - cordiérite en grands cristaux subautomorphes, pinnitisée à environ 30 % le long des clivages essentiellement ;
 - biotite généralement très fraîche, relativement peu pléochroïque (brun-rosé à brun-orangé), en lamelles xénomorphes fréquemment criblées d'inclusions de zircon avec halo de radioactivité bien développé ;
 - albite tardive en microlattes interstitielles aux feldspaths précédents ;
 - muscovite rarement primaire, en plages interstitielles, essentiellement secondaire, se développant en taches de taille

../...

et d'abondance variables sur les feldspaths, la cordiérite et la biotite ;

- tourmaline vert-orangé, peu abondante, en plages interstitielles très tardives, renfermant localement de petites gerbes de muscovite ;

- rares oxydes de fer et/ou titane essentiellement associés à la biotite.

Ehc. PHC 83 HUEL 25 C - LM B 55 770

Bouffée pegmatitique riche en feldspath potassique et cordiérite avec enclave de diorite quartzitique riche en biotite.

1) Bouffée pegmatitique

- Texture pegmatitique : la longueur des mégacristaux de feldspath potassique et de cordiérite atteint 2 et 1,5 cm respectivement ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- feldspath potassique très abondant en mégacristaux subautomorphes mâclés Carlsbad, très riches en bandelettes et flammèches de perthite, englobant poecilitiquement de nombreux petits cristaux, généralement disposés parallèlement aux faces du cristal-hôte, de plagioclase acide, zoné et plus ou moins séricitisé, et de biotite ; faible altération ou muscovite et corrosion par du quartz ; microfissures colmatées par du quartz, de l'albite et de la muscovite ;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, zoné, plus ou moins piqueté de séricite cryptocristalline, essentiellement en inclusion dans le feldspath potassique au contact duquel apparaissent localement (en bordure du plagioclase) des bourgeonnements myrmékitiques ;

- cordiérite en grands cristaux automorphes, pour la plupart pinnitisés uniquement en bordure et le long des clivages ; rares inclusions de biotite ;

- quartz à extinction onduleuse soit en plages xénomorphes polycristallines interstitielles aux silicates précédents, soit en colmatage de microfissures ;

- biotite brun-orangé, plus ou moins chloritisée, essentiellement en inclusion dans le feldspath potassique ou la cordiérite, renfermant elle-même quelques inclusions de zircon avec halo pléochroïque ;

- muscovite uniquement secondaire se développant sur la cordiérite ou le feldspath potassique ;

../...

- rares oxydes de fer et/ou titane.

2) Enclave de diorite quartzique à biotite abondante et cordiérite

Cette enclave est analogue à celle de l'échantillon HUEL 20 B (LM B 55 767) à l'exception de la présence d'une petite plage xénomorphe de tourmaline brun-orangé au sein d'un phénocrystal de plagioclase acide.

Ech. PHC 83 HUEL 25 D - LM B 55 771

Monzogranite finement grenu à biotite abondante et cordiérite pinnitisée

- Texture monzonitique, finement grenue ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction onduleuse en plages polycristallines de taille variable englobant de petites lattes de plagioclase et des paillettes de biotite ;
- plagioclase acide en cristaux automorphes de taille variable, présentant un zonage de composition plus ou moins oscillatoire auquel se superpose fréquemment un zonage d'altération en séricite ; localement existent des taches d'altération en feldspath potassique et/ou une corrosion par du quartz ; quelques bourgeonnements myrmékitiques apparaissent au contact des cristaux de feldspath potassique ;
- feldspath potassique modérément perthitique en grandes plages xénomorphes englobant poecilitiquement de petits cristaux de plagioclase acide ou de biotite ;
- biotite abondante (10 à 12 % de la composition modale), généralement très fraîche de couleur brun-orangé, localement muscovitisée et/ou chloritisée avec exsudation de produits opaques ferrotitanés et développement de leucoxène ; inclusions, plus ou moins abondantes suivant les sections, de zircon avec halo de radioactivité ;
- cordiérite entièrement pinnitisée représentée par des amas interstiels de lamelles phylliteuses enchevêtrées ;
- muscovite uniquement secondaire, se développant sur les feldspaths la cordiérite et la biotite.

Ech. PHC 83 HUEL 29 - LM B 55 772

Granite grossier légèrement porphyroïde à biotite altérée

- Texture : hypidiomorphe grenue, légèrement porphyroïde ; les mégacristaux de feldspath potassique atteignent 1 cm de longueur tandis que les plages globuleuses de quartz atteignent 0,8 cm de diamètre et ont une extinction onduleuse très prononcée, témoignant d'une déformation ductile plus prononcée que dans les échantillons de monzogranites à cordiérite et/ou biotite.

Composition minéralogique :

- quartz soit en grandes plages globuleuses, polycristallines, à extinction onduleuse, englobant des paillettes de biotite et/ou muscovite, soit en petits cristaux à extinction faiblement onduleuse au sein des feldspaths
- feldspath potassique riche en flammèches et film de perthite, en plages xénomorphes à subautomorphes de taille variable, parfois maclées Carlsbad, partiellement kaolinisé, englobant poecilitiquement de petites lattes fréquemment orientées de plagioclase plus ou moins séricitisé et des paillettes de biotite plus ou moins chloritisée ; corrosion locale par du quartz ;
- plagioclase acide généralement automorphe, présentant un zonage de composition oscillatoire auquel se superpose un zonage d'altération en séricite ; rares inclusions de biotite ;
- biotite rarement fraîche (lorsqu'elle est blindée par du quartz, voire du plagioclase) généralement très altérée, décolorée et/ou chloritisée ; abondantes aiguilles de rutile maclées sagénite en épitaxie sur les sections basales ;
- muscovite rarement primaire, essentiellement secondaire se développant au détriment de la biotite ou du plagioclase acide.

Ech. PHC 83 HUEL 31 - LM B 55 773

Granite grossier à deux micas avec enclave de diorite quartzique très riche en biotite

1) Granite à deux micas

- Texture grenue, légèrement porphyroïde à tendance monzonitique déformation ductile se traduisant essentiellement par une extinction fortement onduleuse et une recristallisation du quartz.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction fortement onduleuse en grandes plages polycristallines moulant les cristaux de feldspath et de biotite ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, légèrement zoné, pas à moyennement séricitisé ; quelques inclusions de petits cristaux de plagioclase plus précoce et/ou de biotite ; bourgeonnements myrmékitiques relativement fréquents au contact du feldspath potassique ;
- feldspath potassique riche en bandelettes et taches de perthite, en plages xénomorphes à subautomorphes englobant des cristaux de plagioclase acide et/ou de biotite ;
- biotite généralement très fraîche, fortement pléochroïque (brun-crème à brun-rouge) en lamelles non orientées, aux contours déchiquetés, renfermant des inclusions de zircon en abondance très variable suivant les sections, et présentant des clivages légèrement déformés ;
- muscovite soit primaire en grandes lamelles légèrement déformées généralement associées à des lamelles de biotite, soit, plus rarement, secondaire comme produit d'altération des feldspaths ou de la biotite ;
- minéraux accessoires : oxydes de fer et/ou titane et rare apatite associés à la biotite.

../...

2) Enclave de diorite quartzique très riche en biotite.

- Texture : finement grenue, légèrement porphyrique ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- Phénocristaux (environ 5 %)
- Plagioclase en grands cristaux automorphes, isolés ou groupés en syneusis , fréquemment criblés de petites paillettes de biotite et/ou de petits cristaux de quartz ;
- quartz en grandes plages globuleuses polycristallines à extinction onduleuse.

Mésostase :

- plagioclase en petits cristaux subautomorphes peu séricitisés renfermant parfois des micropaillettes de biotite ;
- quartz en petites plages interstitielles à extinction faiblement onduleuse, fréquemment criblées de fines aiguilles d'apatite ;
- biotite très abondante (20 à 25 % de la composition modale de la mésostase) en petites paillettes blastiques très fraîches, relativement peu pléochroïques (brun-orangé à brun-rouge), formant de petites accumulations locales ; rares inclusions de zircon ;
- minéraux accessoires : apatite sous forme de petites aiguilles criblant toute la roche et en particulier les cristaux de quartz.

Ech. PHC 83 HUEL 33 - LM B 55 774

Leucogranite à muscovite et rare biotite

- Texture : hypidiomorphe grenue, monzonitique, déformation ductile se traduisant essentiellement par une extinction onduleuse et une recristallisation du quartz.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction onduleuse soit en plages polycristallines de taille variable englobant des cristaux de feldspath et/ou de micas, soit, beaucoup plus rarement, en petits cristaux au sein des feldspaths ;
- feldspath potassique perthitique (en flammèches et taches) en plages xénomorphes, parfois maclées microcline, englobant quelques petites lattes de plagioclase acide ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, piqueté de séricite et parfois de taches de feldspath potassique, renfermant quelques rares petites lattes de plagioclase plus précoce ;
- muscovite soit primaire en grandes lamelles interstitielles aux minéraux précédents, soit secondaire se développant au détriment des feldspaths ou de la biotite ;
- biotite brune très peu abondante (moins de 1 % de la composition modale), faiblement altérée, en lamelles xénomorphes renfermant quelques inclusions de zircon avec halo pléochroïque ; quelques aiguilles de rutile en épitaxie sur les sections basales.

Ech. PHC 83 HUEL 36 A - LM B 55 775

Leucogranite à deux micas partiellement cataclaté et hydrothermalisé

- Texture : hypidiomorphe grenue, monzonitique, partiellement oblitérée par une forte déformation ductile du quartz.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction fortement onduleuse, essentiellement en grandes plages étirées constituées de nombreux petits cristaux engrenés, accessoirement en petites plages mono à polycristallines au sein des feldspaths ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, zoné avec un coeur plus calcique et plus séricitisé, englobant quelques petits cristaux de plagioclase plus précoce, de muscovite ou de biotite plus ou moins chloritisée ;
- feldspath potassique perthitique (en taches et flammèches) en plages xénomorphes de taille variable englobant des cristaux de plagioclase acide, quartz, muscovite et biotite chloritisée ,
- albite tardive en petites lattes interstitielles aux minéraux précédents ;
- muscovite soit primaire en grandes lamelles interstitielles aux feldspaths et au quartz, associées à la biotite ou non, soit secondaire comme produit d'altération des feldspaths ou de la biotite ;
- phyllosilicates ferromagnésiens peu abondants (moins de 5% de la composition modale) : biotite brune fréquemment chloritisée et/ou muscovitisée en bordure, et chlorite verte, souvent maculé de produits opaques ferrotitanés voire de taches de feldspath potassique, provenant en majeure partie ou en totalité de l'altération de biotite.

Ech. PHC 83 HUEL 38 C - LM B 55 776

Cornéenne très altérée

- Texture granoblastique à porphyroblastique oblitérée par l'altération hydrothermale.

Composition minéralogique :

- andalousite très automorphe, piquetée de produits opaques cryptocristallins, épigénisée par de la séricite en bordure ou complètement ;
- biotite blastique complètement altérée en hydroxydes de fer et/ou muscovite ;
- muscovite en lamelles blastiques de taille variable ;
- quartz en petits cristaux xénomorphes à extinction onduleuse très abondant dans un ruban où les cristaux d'andalousite sont totalement absents.

Ech. PHC 83 HUEL 43 - LM B 56 079

Granite légèrement porphyroïde à biotite dominante sur la muscovite et à rare tourmaline.

- Texture hypidiomorphe grenue, monzonitique, légèrement porphyroïde : le granite renferme quelques mégacristsaux de feldspath potassique atteignant 2 cm de longueur ; déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction onduleuse, essentiellement en grandes plages xénomorphes plus ou moins recristallisées moulant des cristaux de plagioclase et de biotite, rarement en petits cristaux plus ou moins vermiculaire au sein des lattes de plagioclase acide ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant un zonage oscillatoire complexe auquel se superpose fréquemment un zonage d'altération en séricite ; quelques inclusions de plagioclase plus précoce et/ou de biotite plus ou moins chloritisée ; bourgeonnements myrmékites en bordure de certains cristaux au contact du feldspath potassique ;
- feldspath potassique soit en phénocristaux automorphes (non représentés dans la lame) soit en plages xénomorphes, moirées, perthitiques (en taches et films), englobant poecilitiquement de petites lattes de plagioclase acide ou des paillettes de biotite ;
- biotite généralement fraîche, relativement peu pléochroïque (brun-crème à brun-orangé), localement chloritisée et/ou muscovitisée le long des clivages ou en bordure, en lamelles interstitielles aux cristaux de quartz et de plagioclase acide isolées ou formant de petits amas ; inclusions de zircon plus ou moins abondantes suivant les sections ;

../...

- muscovite quelquefois primaire en grandes lamelles associées à des lamelles de biotite, généralement secondaire se développant en paillettes de taille variable sur les feldspaths et la biotite ;

- minéraux accessoires : rares apatite et oxydes de fer et/ou titane associés à la biotite, rare tourmaline vert-orangé, xénomorphe, très tardive.

Ech. PHC 83 HUEL 44 - LM 56 080

Microgranite porphyrique à biotite

- Texture microgrenue porphyrique ; légère déformation ductile du quartz

Composition minéralogique :

- Phénoscristaux (20 à 25 % de la roche en volume)
- Plagioclase acide automorphe, présentant un zonage de composition oscillatoire auquel se superpose localement un zonage d'altération en séricite ;
- quartz "rhyolitique" à extinction onduleuse en cristaux automorphes montrant fréquemment des golfes de corrosion en bordure.
- feldspath potassique automorphe, plus ou moins perthitique (en flammèches et films) suivant les sections, englobant parfois de petites lattes de plagioclase acide et/ou des lamelles de biotite ;
- biotite relativement peu pléochroïque (brun-crème à brun-orangé) en lamelles automorphes, déchiquetées ou non en bordure, renfermant quelques inclusions de zircon avec halo de radioactivité ;
- rare apatite en petits cristaux globuleux associés à de la biotite ou indépendants.

Mésostase :

- feldspath potassique xénomorphe ;
 - quartz xénomorphe ;
 - muscovite en petites paillettes ;
 - rare biotite décolorée en petites lamelles blastiques.
- Enclave surbiotitée (3 X2 mm) à texture xénomorphe finement grenue, composée de biotite brune en lamelles plus ou moins orientées et de quartz .

Ehc. PHC 83 HUEL 45 - LM B 56 081

Leucogranite à muscovite et rare chlorite

- Texture : grenue, monzonitique ; nette déformation ductile du quartz.

Composition minéralogique :

- quartz à extinction onduleuse en plages xénomorphes de taille variable moulant partiellement à totalement des cristaux de plagioclase acide et/ou de biotite chloritisée ;
- plagioclase acide généralement automorphe, parfois zoné, piqueté de micropaillettes de séricite, voire de paillettes de muscovite (se développant essentiellement au coeur des cristaux zonés) ;
- feldspath potassique relativement peu perthitique, en plages xénomorphes englobant poecilitiquement de petites lattes de plagioclase acide et plus rarement de petits cristaux de quartz et/ou de biotite chloritisée ;
- muscovite soit primaire en grandes lamelles interstitielles au quartz et aux feldspaths, soit en petites paillettes se développant sur le plagioclase acide essentiellement ;
- chlorite chargée de produits opaques ferrotitanés, pseudomorphosant probablement de la biotite ;
- minéraux accessoires : rare apatite craquelée.

Ech. PHC 83 HUEL 51 A - LM B 56 082

Granite légèrement porphyroïde à biotite dominante sur la muscovite

- Texture : grenue, monzonitique, légèrement porphyroïde ; forte déformation ductile du quartz

Composition minéralogique :

- Phénocristaux de feldspath potassique perthitique, automorphes maclés Carlsbad, renfermant de nombreux cristaux orientés de plagioclase acide et de biotite ;

Mésostase:

- quartz à extinction fortement onduleuse (en lanières) en plages de taille variable constituées de nombreux petits cristaux engrenés, englobant des lattes de plagioclase acide et des paillettes de biotite ;

- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, à zonage plus ou moins oscillatoire et à degré de séricitisation variable suivant les cristaux ; quelques inclusions de plagioclase plus précoce et/ou de biotite ;

- feldspath potassique perthitique, xénomorphe, maclé microcline renfermant de petits cristaux de plagioclase acide de quartz et/ou de biotite ;

- biotite généralement fraîche, relativement peu pléochroïque (brun-crème à brun-orangé), en lamelles ayant tendance à s'orienter ; altération locale en muscovite et/ou chlorite ; inclusions de zircon d'abondance variable suivant les lamelles ;

- muscovite soit primaire en grandes lamelles associées à des lamelles de biotite ou non, soit secondaire se développant au détriment de la biotite ou du plagioclase acide.

Ehc. PHC 83 HUEL 52 - LM B 56 083

Granite légèrement porphyroïde à biotite, muscovite et cordiérite pinnitisée

- Texture : grœne, monzonitique, légèrement porphyroïde, le granite renferme quelques phœnoscristaux de feldspath potassique atteignant 1,2 cm de longueur , dœ deformation ductile du quartz.

Composition minœralogique :

Phœnoscristaux de feldspath potassique riche en bandelettes et taches de perthite, subautomorphe, maclœ Carlsbad, renfermant de petits cristaux, frœquemment orientœs parallœlement aux faces du phœnoscrystal-hôte, de plagioclase acide, biotite, quartz.

Mœsostase :

- quartz à extinction fortement onduleuse en plages polycristallines plus ou moins globuleuses de taille variable englobant quelques petites lattes de plagioclase acide et/ou paillettes de mica(s) ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, plus ou moins zonœ selon les sections, piquetœ de sœricite cryptocristalline, renfermant quelques rares inclusions de plagioclase acide plus prœcoce et/ou de biotite, et formant de petites accumulations locales ; certains cristaux prœsentant des bourgeonnements myrmœkitiques sur leur bordure au contact du feldspath potassique, à signaler un cristal renfermant en son coeur un petit amas constituœ de muscovite, tourmaline orangœe, biotite dœcolorœe et apatite ; les macles polysynthœtiques sont lœgœment dœformœes localement ;
- feldspath potassique analogue , à l'exception de son caractœre xœnomorphe, à celui des phœnoscristaux ;
- biotite peu abondante (5 % de la composition modale de la mœsostase) soit trœs fraœche, moyennement plœochroïque (brun-crœme à brun-rouge), soit partiellement à totalement dœcolorœe, chloritisœe et/ou muscovitisœe, avec exsudation plus ou moins abondante de produits opaques ferrotitanœs ; inclusions, d'abondance trœs variable selon les lamelles, de zircon avec halo de radioactivitœ bien dœveloppœ ; lœgœre

../...

déformation des clivages ;

- muscovite soit primaire en lamelles très xénomorphes associées à des lamelles de biotite ou non, soit secondaire se développant en paillettes de taille variable sur les feldspaths, la cordiérite et la biotite ;

- cordiérite très fortement pinnitisée représentée par des amas circonscrits de paillettes plus ou moins enchevêtrées de muscovite, chlorite, biotite, séricite, amas renfermant quelques reliqués de cordiérite fraîche ;

- minéraux accessoires : apatite en cristaux globuleux relativement gros adjacents à des lamelles de biotite qui apparaissent en association avec de la tourmaline au coeur du plagioclase signalé ci-dessus.

Ech. PHC. 83 HUEL 59 - LM B 56 084

Leucogranite à muscovite dominante, biotite, chlorite, tourmaline et andalousite

- Texture : hypidiomorphe moyennement grenue à tendance monzonitique ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique :

- quartz soit en plages de taille variable, généralement polycristallines à extinction fortement onduleuse, interstitielles aux feldspaths, soit en petits cristaux, à extinction faiblement onduleuse au sein des feldspaths ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, zoné avec un coeur plus calcique et plus altéré en séricite ; rares bourgeonnements myrmékistiques en bordure au contact de feldspath potassique ;
- feldspath potassique moyennement perthitique (en flammèches et films), xénomorphe, englobant de petits cristaux de plagioclase acide et/ou de biotite plus ou moins chloritisée ; développement localement important de muscovite, voire de tourmaline ;
- albite tardive en petites lattes formant des amas interstitiels aux minéraux précédents ;
- muscovite soit primaire en grandes lamelles très xénomorphes, interstitielles aux feldspaths et au quartz qu'elle englobe parfois poeciliquement, soit secondaire se développant sur les feldspaths ou la biotite ;
- biotite peu abondante (environ 4 % de la composition modale) soit très fraîche, de couleur brun-orangé, avec quelques inclusions de zircon, soit partiellement à totalement altérée en chlorite, avec exsudation de produits opaques ferrotitanés, et/ou en muscovite ;
- tourmaline orangée en petites plages très xénomorphes, interstitielles aux feldspaths et au quartz, se digitant parfois dans les feldspaths ;
- andalousite en petits cristaux globuleux ;
- amas circonscrit de fibres enchevêtrées de phyllosilicates représentant vraisemblablement une cordiérite entièrement pinnitisée ;
- minéraux accessoires : apatite et oxydes de fer et/ou titane.

Ech. PHC 83 HUEL 61 - LM B 56 085

Microgranite porphyrique greisenisé

- Texture : microgrenue porphyrique ; légère déformation ductile.

Composition minéralogique

Phénocristaux (environ 10 %) :

- quartz en plages subautomorphes à automorphes, généralement monocristallines, présentant parfois des golfes de corrosion en bordure et/ou des inclusions de muscovite dont une renferme elle-même un cristal de zircon ;
- muscovite en lamelles automorphes de taille variable, montrant localement une légère déformation des clivages ;
- amas rectangulaires de muscovite-séricite pseudomorphosant probablement des lattes de plagioclase acide

Mésostase :

- quartz en petits cristaux xénomorphes à extinction faiblement onduleuse ;
- muscovite en petites paillettes blastiques.

Ech. PHC 83 HUEL 69 - LM B 56 086

Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite

- Texture : Porphyroïde grenue ; déformation ductile.

Composition minéralogique :

Phénoscristaux de feldspath potassique (non représentés dans la lame).

Mésostase

- quartz abondant, soit en grandes plages globuleuses polycristallines à extinction onduleuse, englobant de petites lamelles de biotite et plus rarement de petits cristaux de plagioclase ou de muscovite, soit en petits cristaux criblant les feldspaths et la cordiérite ;
- plagioclase acide subautomorphe à automorphe, présentant un zonage oscillatoire auquel se superpose un zonage d'altération en séricite ; corrosion par du quartz ; déformation locale ;
- feldspath potassique riche en films et taches de perthite, xénomorphes, montrant parfois le quadrillage du microcline englobant poecilitiquement de petites lattes de plagioclase acide et des paillettes de biotite ;
- albite tardive en microlattes formant fréquemment de petits amas ;
- cordiérite automorphe, pinnitisée (à environ 50 %) le long des clivages, de microfissures et en bordure, corrodée par du quartz ;
- biotite en lamelles aux contours déchiquetés, généralement très fraîche, moyennement pléochroïque (brun-rosé à brun-rouge), avec d'abondantes inclusions de zircon, localement décolorée, muscovitisée et/ou chloritisée ;
- muscovite soit primaire, en lamelles très xénomorphes, interstitielles au quartz et aux feldspaths, soit secondaire comme produit d'altération des feldspaths, de la biotite et de la cordiérite ;
- minéraux accessoires : oxydes de fer et/ou titane associés à la biotite, rare apatite.

ANNEXE 2

Etude géochimique du massif de Huelgoat

N° éch.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	P.F.	
1A	74,90	0,05	13,95	0,63	< 0,20	< 0,02	< 0,20	0,49	4,00	4,30	0,25	0,68	leucogranites filoniens
9A	79,90	0,04	13,70	0,32	0,36	0,02	< 0,20	0,45	4,40	4,05	0,33	0,54	
12	73,80	0,05	14,70	0,13	0,65	0,03	< 0,20	0,62	5,10	3,65	0,22	0,23	
3	72,20	0,31	14,60	0,32	1,65	0,03	0,52	1,20	3,70	4,00	0,21	0,55	granite de Huelgoat s.s.
7	72,50	0,26	14,20	0,26	1,50	0,03	0,47	1,00	3,60	4,30	0,21	0,50	
10A	73,40	0,26	14,40	0,27	1,60	0,04	0,44	1,00	3,60	4,30	0,21	0,31	
14A	71,70	0,30	14,70	0,31	1,70	0,03	0,48	1,20	4,40	4,10	0,20	0,56	
25A	73,00	0,17	14,20	0,12	1,30	0,04	0,30	0,97	4,20	3,90	0,21	0,58	
25B	71,00	0,12	15,50	0,09	1,20	0,04	0,32	0,81	3,80	5,30	0,25	0,58	
69	72,70	0,26	14,20	0,02	1,80	0,06	0,71	1,00	3,15	4,10	0,22	0,86	
31	73,10	0,25	14,50	0,01	1,45	0,03	0,31	1,05	3,15	4,30	0,18	0,80	granite de La Feuillée
43	71,20	0,37	14,80	0,20	2,00	0,05	0,80	1,65	3,10	3,95	0,10	0,60	
45	75,30	0,18	14,00	0,22	0,85	0,02	< 0,20	0,37	3,25	3,95	0,15	1,10	
51	72,20	0,34	14,70	0,19	1,85	0,05	0,98	1,50	3,20	4,15	0,07	0,53	
52	73,00	0,21	14,30	0,06	1,15	0,03	0,61	0,82	3,00	4,70	0,18	1,05	
11	71,00	0,34	14,70	0,25	< 0,20	0,04	0,98	1,55	3,80	3,80	0,17	0,74	granite du Cloître
19	69,80	0,43	15,20	0,60	0,36	0,04	1,20	1,80	3,60	3,60	0,17	0,63	
13B	71,00	0,35	15,40	0,49	0,65	0,04	0,92	1,30	3,70	3,90	0,26	0,96	
25D	68,90	0,49	15,20	0,15	2,70	0,05	1,50	1,90	3,05	3,85	0,16	0,97	
59	74,70	0,09	14,20	0,06	0,72	0,03	< 0,20	0,47	3,35	4,10	0,30	0,92	

Annexe 2 Tableau 1 : Teneurs (en %) en éléments majeurs de 20 échantillons du massif granitique d'Huelgoat

ETUDE GEOCHIMIQUE DU MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT
(cf. planche 1 pour localisation des échantillons analysés)

I - GENERALITES

20 échantillons provenant des différents types et faciès du massif granitique de Huelgoat ont fait l'objet de dosages géochimiques après étude en lames minces (cf. annexe 1 pour descriptions pétrographiques détaillées)⁽¹⁾.

Les éléments majeurs (tableau 1) et le rubidium (tableau 3) ont été dosés par fluorescence X. 25 éléments en traces ont été dosés au spectromètre à émission de plasma (méthode ICP) mais seules les teneurs en 14 de ces éléments (Li, Be, B, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Ba, Ce, Pb) figurent dans le tableau 3 (en plus de la teneur en Rb) car les 11 éléments restants ont des teneurs systématiquement inférieures aux seuils de détection:

élément	Co	Y	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	La	W	Bi
seuil de détection (en ppm)	5	20	20	5	0,2	2	10	10	10	10	10

Le tableau 2 donne les paramètres multicationiques de H. de LA ROCHE (1980) parmi lesquels :

$$Q = Si/3 - (K + Na + 2 Ca/3) ;$$

$$P = K - (Na + Ca) ;$$

$$A = Al - (K + Na + 2 Ca) ;$$

$$B = Fe + Mg + Ti ;$$

$$F = 555 - (Q + B).$$

Si, Ti, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K étant calculés à partir des teneurs en éléments majeurs et exprimés en atomes-grammes $\times 10^3$.

(1) L'échantillon 25 B, dosé géochimiquement, provient de la même bouffée pegmatitique l'échantillon 25 C mais ne renferme pas d'enclave.

N° éch.	Q	P	A	B	F	Na+K	K/(Na+K)	Mg/(Mg+Fe)	Q %	B %	F %	
1A	190	- 47	36	< 16	> 349	220	0,41	< 0,33	34,2	< 2,9	> 62,9	leucogranites filoniens
9A	183	- 64	25	< 14	> 358	228	0,38	< 0,36	33	< 2,5	> 64,5	
12	161	- 97	24	< 16	> 378	242	0,32	< 0,31	29	< 2,9	> 68,1	
3	183	- 55	40	44	328	204	0,42	0,32	33	7,9	59,1	granite de Huelgoat s.s.
7	183	- 43	35	39	333	207	0,44	0,33	33	7	60	
10A	189	- 43	39	41	325	207	0,44	0,29	34	7,4	58,6	
14A	156	- 76	17	43	356	229	0,38	0,31	28,1	7,8	64,1	
25A	176	- 69	26	39	340	218	0,38	0,27	31,7	7	61,3	
25B	149	- 24	40	30	376	236	0,48	0,31	26,8	5,4	67,8	
69	203	- 33	53	46	306	189	0,46	0,42	36,6	8,3	55,1	
31	200	- 30	53	31	324	193	0,47	0,28	36,0	5,6	58,4	granite de La Feuillée
43	190	- 49	40	55	310	184	0,46	0,40	34,2	9,9	55,9	
45	222	- 31	69	< 21	> 312	192	0,44	< 0,26	40,0	< 3,8	> 56,2	
51	192	- 42	43	56	307	191	0,46	0,46	34,6	10,1	55,3	
52	199	- 12	53	35	321	197	0,51	0,47	35,9	6,3	57,8	
11	172	- 70	28	58,5	328,5	214	0,38	0,45	30,7	10,5	58,8	granite du Cloître
19	173	- 71	41	72	310	193	0,40	0,45	31,2	13	55,8	
13B	177	- 59	54	57	321	202	0,41	0,43	31,9	10,3	57,8	
25D	180	- 50	35	82	293	180	0,46	0,49	32,1	14,8	52,8	
59	223	- 29	67	< 17	> 315	195	0,45	< 0,31	40,2	< 3,1	> 56,7	

Annexe 2 Tableau 2 : Paramètres multicationiques de 20 échantillons du massif granitique de Huelgoat

2 - CLASSIFICATION CHIMICO-MINÉRALOGIQUE DES DIFFÉRENTS GRANITES

F. DEBON et P. LE FORT (1983) ont mis au point une classification chimico-minéralogique relativement simple, qui utilise les paramètres multicationiques de H. de LA ROCHE (1980, par exemple) et différents diagrammes binaires ou triangulaires.

L'ensemble des échantillons analysés appartient au type alumineux ($A > 0$) de cette classification. Cependant il existe des différences notables entre les 4 entités granitiques distinguées sur des critères pétrographiques : il apparaît en particulier que le granite de Huelgoat s.s. est nettement différent des granites du Cloître et de La Feuillée, proches l'un de l'autre sur le plan chimico-minéralogique. En effet le tableau 2 et les figures 1 et 2 montrent clairement que :

- Le granite de Huelgoat s.s. est un monzogranite (ou adamellite) subleucocrate (figure 1) caractérisé par le fait qu'au cours de l'évolution magmatique⁽¹⁾, le paramètre B⁽²⁾ reste pratiquement constant alors que les paramètres A (figure 1) et Q (figure 2) montrent un gradient croissant relativement important et que le rapport $K/(Na + K)$ (tableau 2) augmente de 0,38 à 0,46. Du centre à la périphérie du massif, le granite d'Huelgoat s.s. passe donc progressivement d'un monzogranite faiblement alumineux, pauvre en quartz et sodique (échantillon 14A), à un monzogranite fortement alumineux, riche en quartz et sodipotasique (échantillon 69).

La teneur relativement forte en MgO (tableau 1) de l'échantillon 69 ne peut s'expliquer que par une contamination par un matériau pélimitique provenant de l'encaissant proche.

(1) l'échantillon 25B ne doit pas être pris en compte pour l'évolution générale car il représente une bouffée pegmatitique c'est-à-dire un phénomène très particulier et très localisé.

(2) le paramètre B traduit la teneur modale en minéraux colorés, ferromagnésiens et/ou titanés : biotite, cordiérite et ilménite en l'occurrence.

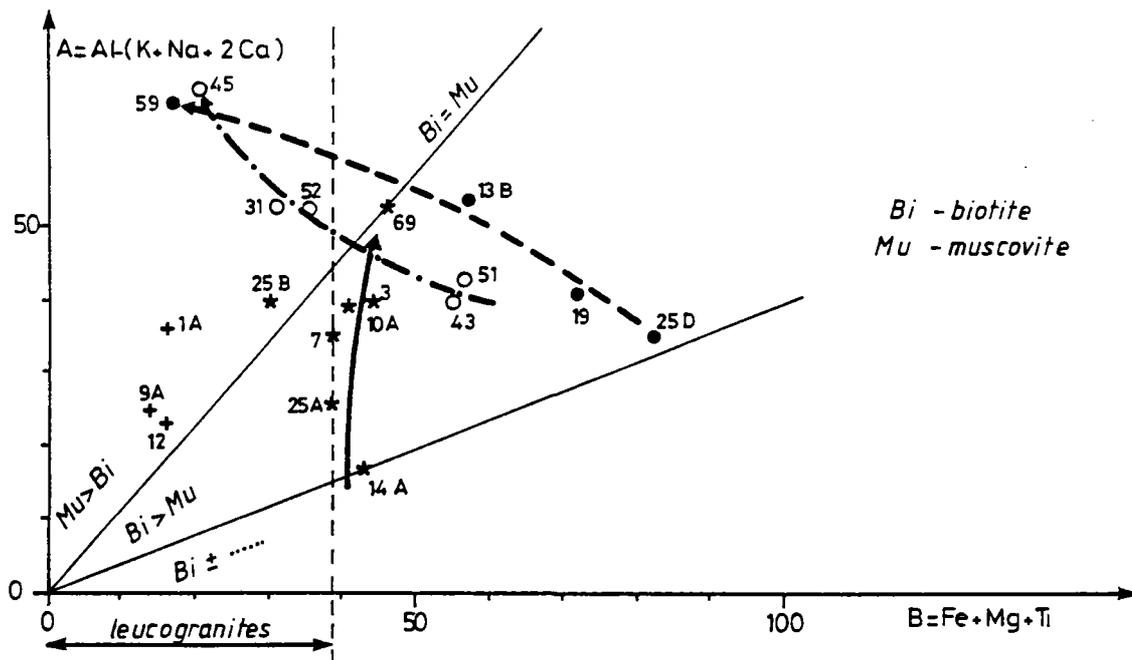


Figure 1 : Diagramme binaire A-B de classification des associations magmatiques (d'après F. DEBON et P. LE FORT, 1983)

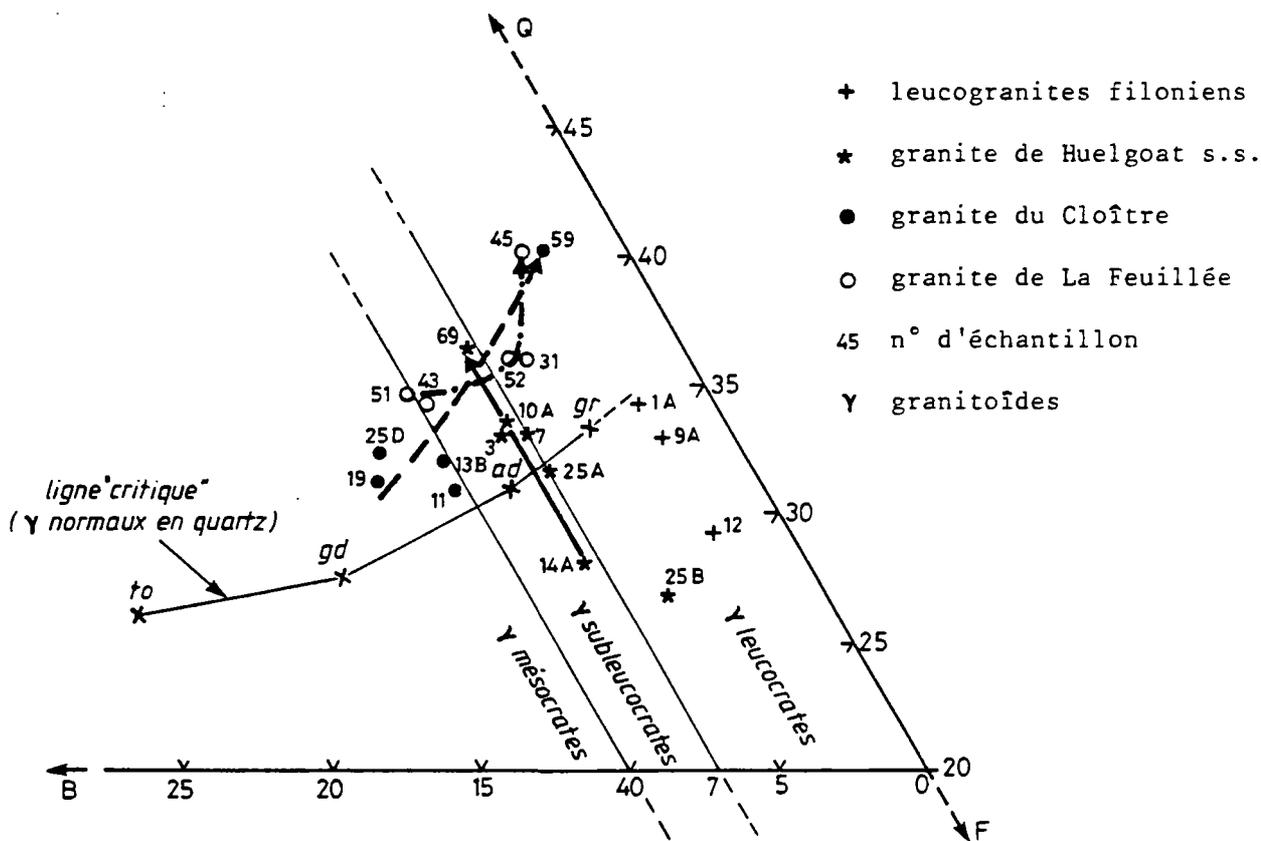


Figure 2 : Diagramme triangulaire Q-F-P appliqué à la classification du groupe alumineux des associations magmatiques (d'après F. DEBON et P. LE FORT, 1983)

Points représentatifs des compositions types :

- | | | | |
|----|-----------------------------|----|----------------|
| gr | : granite | gd | : granodiorite |
| ad | : adamellite (monzogranite) | to | : tonalite |

Enfin la faible perte au feu à 1000° C traduit une sous-saturation en eau du magma ayant donné naissance au granite d'Huelgoat s.s., ce qui est compatible avec la présence de cordiérite dans ce granite.

- Le granite du Cloître est un monzogranite riche en quartz, évoluant d'un pôle mésocrate à un pôle franchement leucocrate (échantillon 59) avec forte diminution du paramètre B (figures 1 et 2) et augmentation des paramètres A (figure 1) et Q (figure 2) et du rapport $K/(Na + K)$ qui varie de 0,38 à 0,45 ⁽¹⁾ (tableau 2), c'est-à-dire presque exactement dans la même gamme que pour le granite d'Huelgoat s.s.
- Le granite de La Feuillée est un monzogranite riche en quartz ayant une évolution semblable à celle du granite du Cloître mais avec des paramètres A et B (figure 1) moins élevés pour les termes mésocrates à subleucocrates et un rapport $K/(Na + K)$ nettement plus élevé, variant de 0,44 à 0,51 (tableau 2), traduisant un caractère nettement plus potassique.
- Les leucogranites filoniens se distinguent des leucogranites correspondant aux faciès les plus évolués des granites du Cloître et de La Feuillée par des valeurs nettement plus faibles des paramètres A (figure 1) et Q (figure 2). En outre les trois échantillons analysés ont un rapport $K/(Na + K)$ faible (0,32 à 0,41) traduisant un caractère sodique.

(1) dans l'échantillon 25D le rapport $K/(Na + K)$ est de 0,46 mais cet échantillon est en enclave dans le granite d'Huelgoat s.s. et a probablement subi un rééquilibrage géochimique.

N° éch.	Li	Be	B	V	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Ba	Ce	Pb
1A	12	- 2	691	- 10	- 10	- 10	- 5	17	- 20	270	35	- 20	113	- 10	29
9A	61	- 2	50	- 10	- 10	- 10	12	15	- 20	370	8	- 20	13	- 10	15
12	178	17	152	- 10	- 10	- 10	- 5	23	- 20	185	64	34	527	- 10	47
3	133	7	11	20	20	- 10	6	62	- 20	220	95	95	486	41	40
7	189	7	38	16	15	- 10	6	46	- 20	240	84	76	477	30	27
10A	215	7	114	17	17	- 10	6	52	- 20	250	91	74	532	31	24
14A	126	11	26	20	19	- 10	- 5	46	22	200	105	100	647	41	36
25A	231	7	51	12	14	- 10	6	39	32	230	88	51	456	18	38
25B	238	15	93	- 10	- 10	- 10	- 5	32	20	250	93	41	750	- 10	36
69	138	6	- 10	18	22	- 10	6	50	21	255	81	88	261	33	28
31	123	5	23	15	18	- 10	- 5	55	- 20	250	115	89	463	36	41
43	18	2	- 10	31	29	12	8	49	- 20	150	270	99	542	42	42
45	11	7	- 10	13	15	- 10	17	14	- 20	200	82	49	246	14	37
51	19	2	- 10	26	25	11	6	46	- 20	155	264	87	510	39	45
52	56	6	- 10	12	15	- 10	- 5	47	- 20	250	98	76	412	30	42
11	126	6	45	30	35	15	7	45	26	195	203	98	894	37	49
19	108	4	14	35	38	15	8	46	- 20	195	235	116	1013	47	37
13B	170	4	21	29	33	13	6	42	25	215	168	85	876	35	38
25D	51	4	- 10	42	43	16	16	52	- 20	200	280	120	726	48	27
59	95	11	130	- 10	11	- 10	- 5	22	33	330	42	31	191	- 10	30

Annexe 2 Tableau 3 : Teneurs (en ppm) en 15 éléments en traces de 20 échantillons du massif granitique d'Huelgoat

3 - VARIATIONS DES TENEURS EN ELEMENTS EN TRACES (tableau 3)

Les teneurs en V, Cr et Ni diminuent d'une part dans le sens granite du Cloître - granite de La Feuillée - granite de Huelgoat s.s. - leucogranites filoniens, ce qui traduit une augmentation corrélative du caractère acide, et d'autre part, pour les granites du Cloître et de La Feuillée, dans le sens de l'évolution magmatique c'est-à-dire parallèlement au paramètre B.

Les teneurs en bore reflètent les teneurs modales en tourmaline qui est un silicate boré, alumineux et ferromagnésien. C'est ainsi que les échantillons les plus riches en bore sont des leucogranites à tourmaline (cf. annexe 1) soit filoniens (échantillons 1A et 12), soit situés en fin d'évolution magmatique du granite du Cloître (échantillon 59). L'échantillon 10A provenant du granite d'Huelgoat s.s. est également relativement riche en bore et en tourmaline (cf. annexe 1).

Le granite de Huelgoat s.s. se distingue des autres granites par des teneurs globalement plus élevées en lithium et, dans une moindre mesure, en beryllium. Comme d'une part le monzogranite porphyroïde à cordiérite renferme fréquemment de l'albite tardive (cf. 1ère partie § 2-1-2) et que d'autre part les échantillons les plus riches en Li sont presque tous parmi les plus riches en bore, il faut admettre que l'enrichissement en Li et en Be a eu lieu à un stade probablement deutérique, contemporain de la démixion de fluides borés.

Enfin parmi les éléments en traces qui ont été dosés il convient d'examiner avec un soin particulier les variations du rubidium et du strontium, éléments qui sont d'excellents traceurs des phénomènes de différenciation magmatique et qui permettent surtout d'avoir une bonne idée des matériaux-sources des granites et corrélativement, d'étudier les problèmes de consanguinité entre différentes entités granitiques spatialement liées.

En ce qui concerne les phénomènes de différenciation magmatique, la figure 3 montre clairement que pour chacune des trois entités granitiques principales, l'évolution par cristallisation fractionnée se traduit tout à fait normalement par une corrélation linéaire (à cause des coordonnées logarithmiques) négative entre Rb/Sr et Sr. La longueur du "segment de différenciation" décroît dans le sens granite du Cloître - granite de La Feuillée - granite de Huelgoat s.s.

Le cas des leucogranites filoniens ne peut pas être interprété fidèlement car d'une part les teneurs en Sr sont faibles et d'autre part Rb est

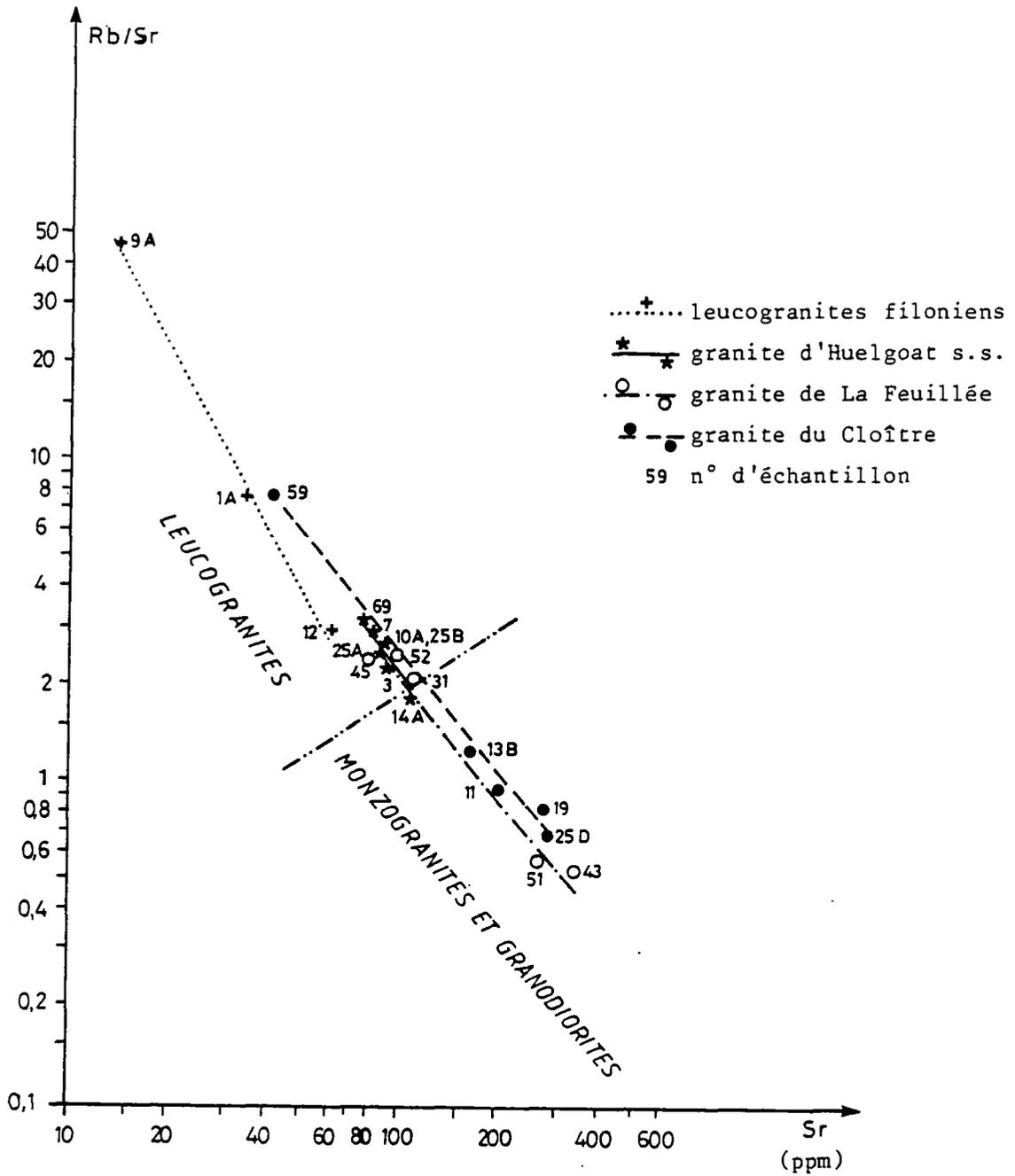


Figure 3 : Diagramme binaire Rb/Sr - Sr (en coordonnées logarithmiques)

.....+..... Limite entre le champ des leucogranites et celui des monzo-
granites et granodiorites pour le Massif central français
(d'après J.L. DUTHOU, 1977).

un élément qui s'incorpore facilement à des phases fluides, souvent abondantes dans les leucogranites, de telle sorte que ces leucogranites peuvent être considérablement soit enrichis, soit au contraire appauvris en Rb par ces phases fluides.

4 - PROBLEME DU COGENETISME DES DIFFERENTES ENTITES GRANITIKES

Sur la figure 3 le champ du granite d'Huelgoat s.s. se situe dans le prolongement de celui du granite de La Feuillée, les deux champs se recouvrant mutuellement dans une zone correspondant aux termes subleucocrates à leucocrates du granite de La Feuillée. Le granite du Cloître a une courbe moyenne d'évolution parallèle à celle de La Feuillée - Huelgoat s.s. mais légèrement décalée vers la droite par suite d'une plus grande richesse globale en Sr, compatible avec la plus grande richesse en V, Cr, Ni, voire Ba.

Le champ et la courbe moyenne d'évolution de l'ensemble des leucogranites filoniens sont différents de ceux des autres granites mais cela ne prouve pas, en vertu des raisons évoquées ci-dessus, qu'ils ne sont pas cogénétiques des autres granites.

Ces considérations amènent à conclure que les granites de Huelgoat s.s., de La Feuillée et du Cloître sont issus de la fusion partielle de matériaux-source analogues et qu'il y a donc un lien génétique au niveau de cette source. Cependant, à partir d'un même matériau-source peuvent se former des granites chimico-minéralogiquement différents car deux facteurs, entre autres, contrôlent l'histoire d'un granite d'anatexie : le taux de fusion du matériau-source et les conditions thermodynamiques (température, pression totale, pression partielle d'eau, ...) qui gouvernent les phénomènes de différenciation et de mise en place du magma granitique issu de cette fusion partielle.

5 - CONDITIONS DE MISE EN PLACE DES TROIS ENTITES GRANITIKES PRINCIPALES

Le diagramme Fe_2O_3 - MgO (figure 4) montre clairement que le caractère calco-alcalin augmente dans le sens granite de Huelgoat s.s. - granite de La Feuillée - granite du Cloître ce qui est compatible avec d'une part l'augmentation dans le même sens de la richesse globale en silicates ferromagnésiens hydroxylés (c'est-à-dire en biotite) et d'autre part la présence constante (dans le granite d'Huelgoat s.s.), de cordiérite, impliquant une sous-saturation en eau et également une température de cristallisations élevée.

Y. GEORGET (1983) donne les températures (T) et pressions (P) de mise en place suivantes :

Granite de Huelgoat s.s.	$P < 3 \text{ kbar}$	$650 < T < 820^\circ \text{ C}$
Granite du Cloître	$P < 3 \text{ kbar}$	$640 < T < 700^\circ \text{ C}$
Granite de La Feuillée	$P < 3 \text{ kbar}$	$640 < T < 800^\circ \text{ C}$

En conclusion le granite de Huelgoat s.s. a probablement cristallisé dans un environnement plus chaud et moins profond, et sous une pression partielle d'eau plus faible, que les granites de La Feuillée et du Cloître. Le granite du Cloître se distingue par une température d'équilibre des minéraux nettement plus faible que pour les granites de Huelgoat s.s. et de La Feuillée et son grain nettement plus fin implique une vitesse de refroidissement beaucoup plus rapide.

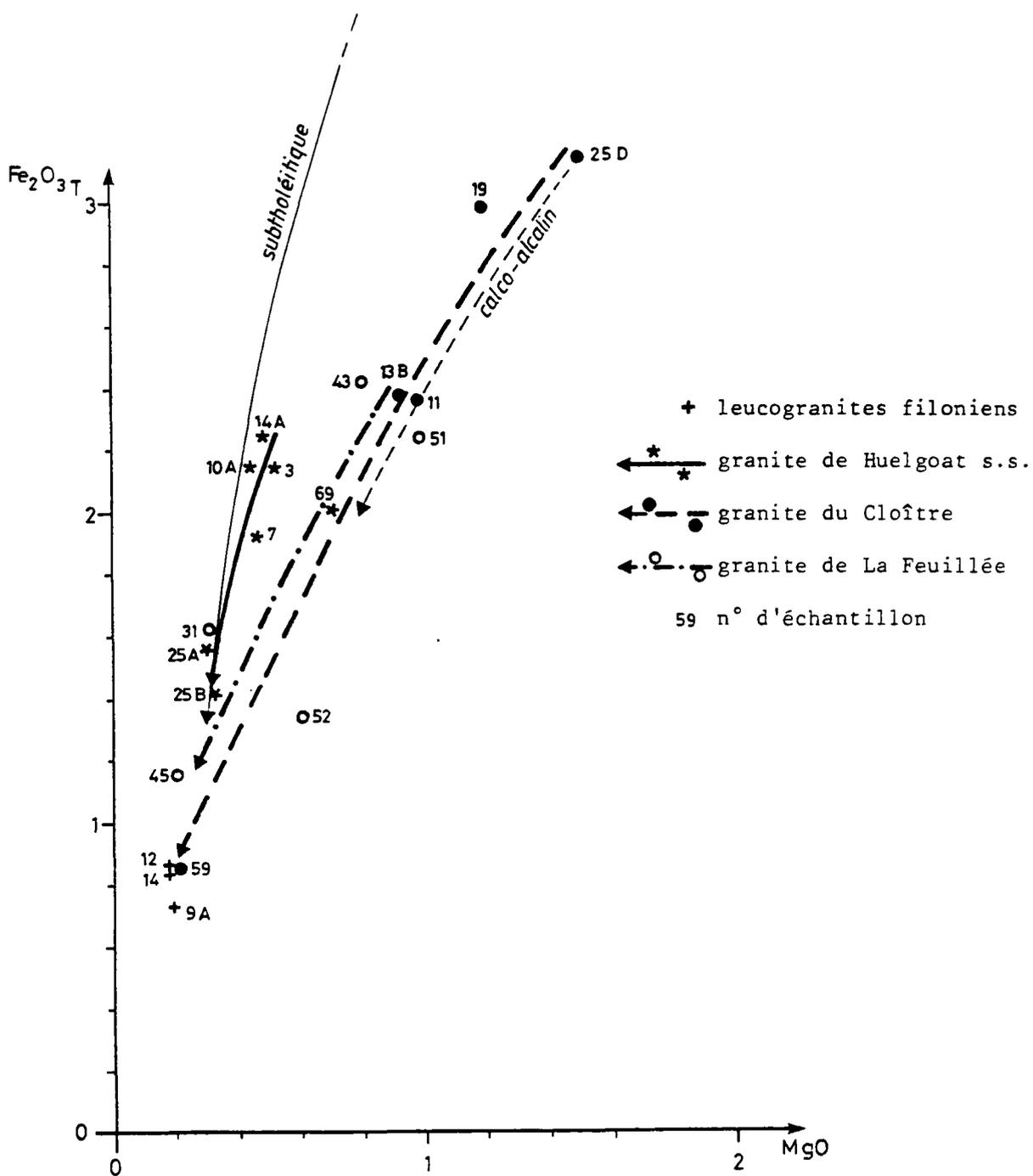


Figure 4 : Diagramme binaire $Fe_2O_3T - MgO$

Trends de référence

subtholéitique (Salau, Pyrénées)
(FONTEILLES M., 1976)

calco-alcalin (Veinazès, Massif central)
(d'après les données de JOUBERT M., 1978)

ANNEXE 3

Diagrammes et histogrammes structuraux

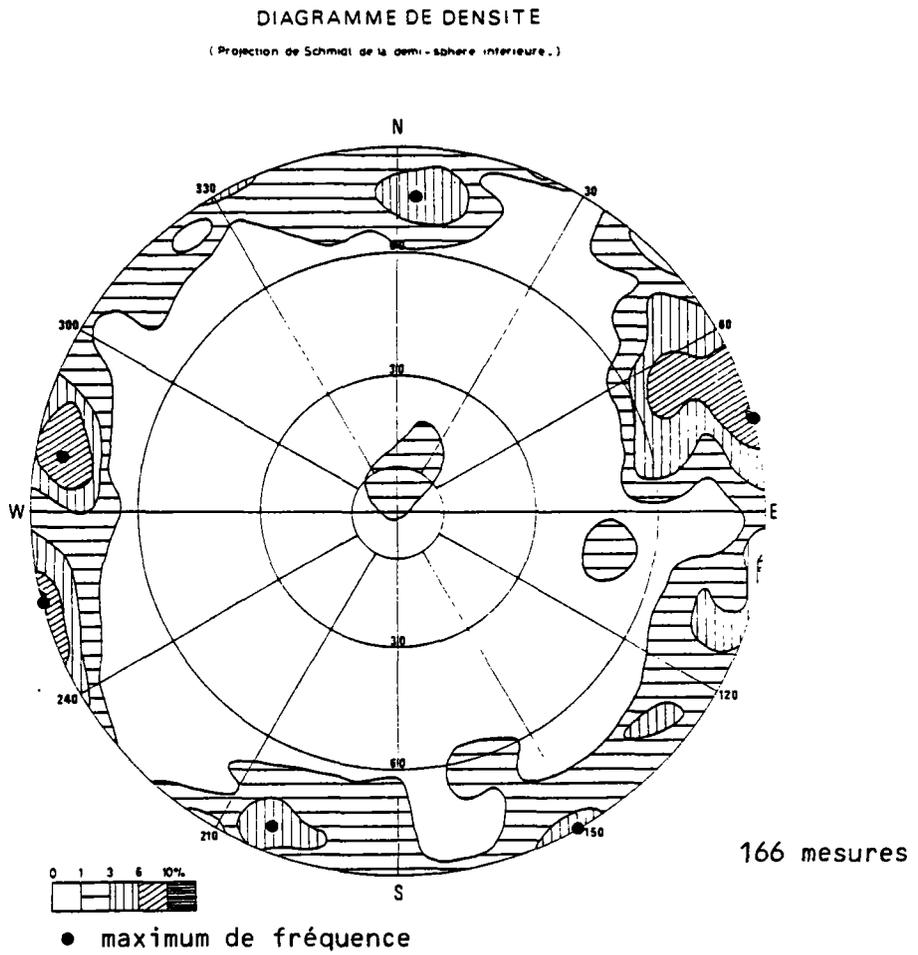


Figure 1 - GRANITE DE LA FEUILLEE - Diagramme général.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere interieure.)

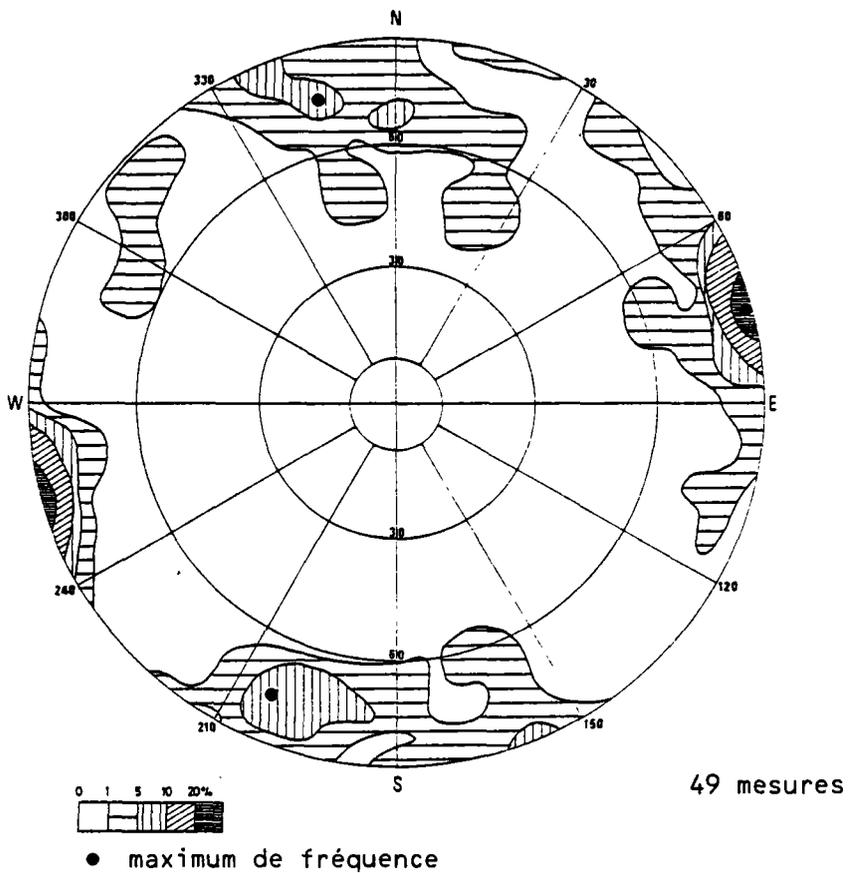


Figure 2 - GRANITE DE LA FEUILLEE - Stations 2 et 29.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere intérieure.)

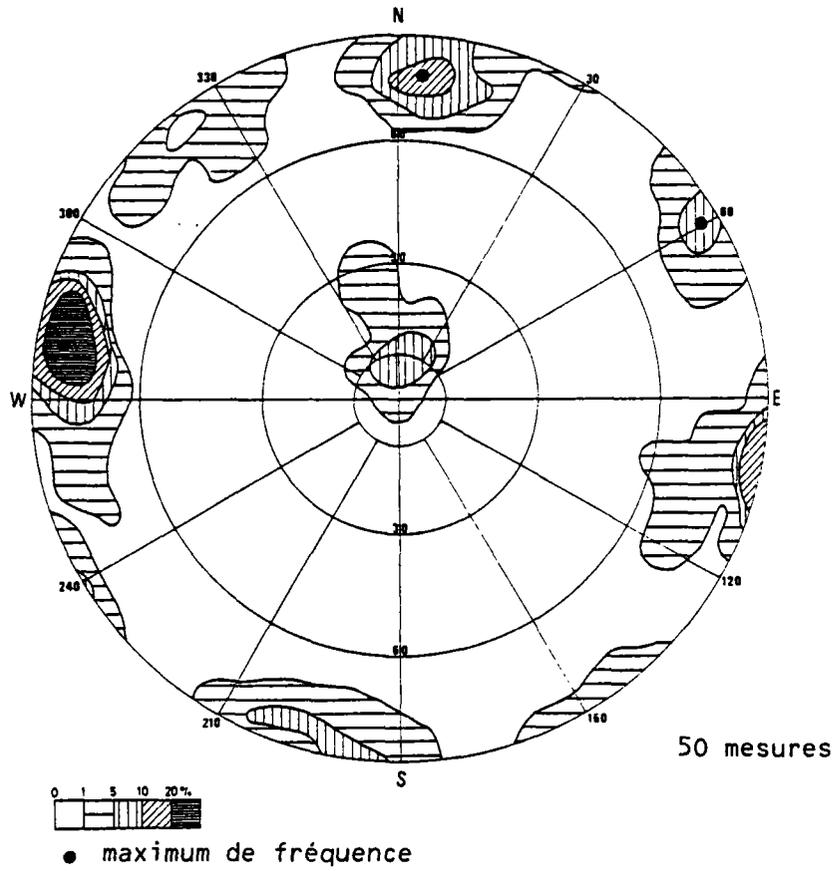


Figure 3 - GRANITE DE LA FEUILLEE - Stations 7, 8 et 9.

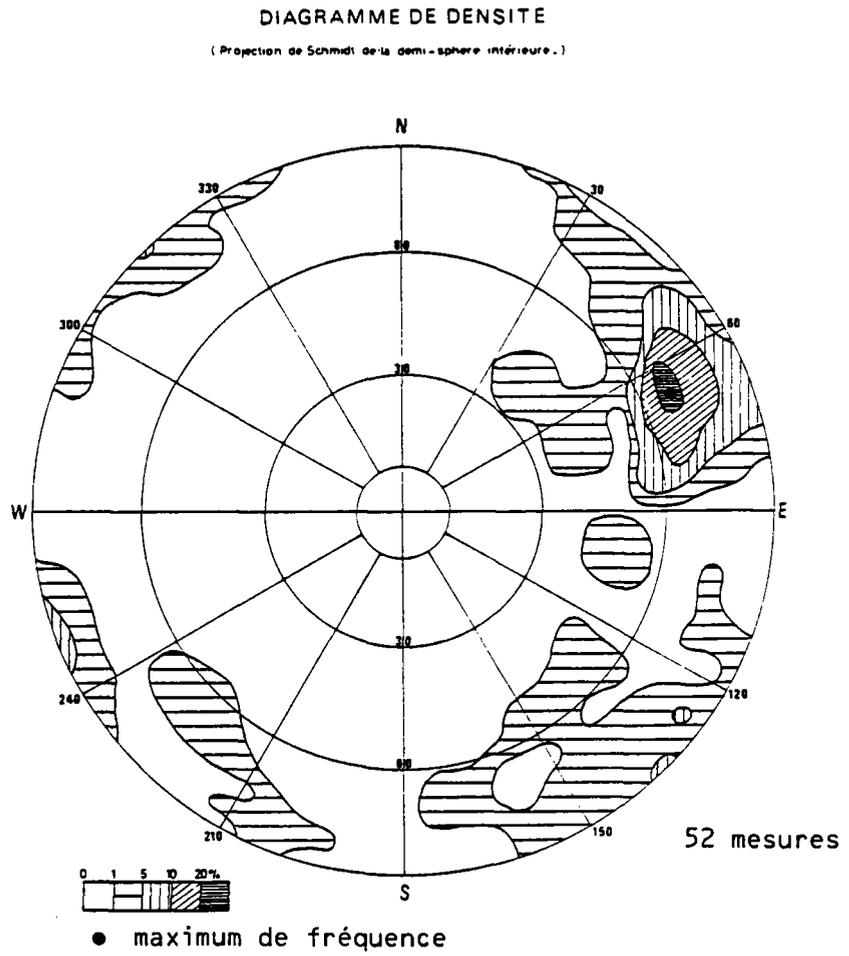


Figure 4 - GRANITE DE LA FEUILLEE - Stations 24 et 25.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere interieure.)

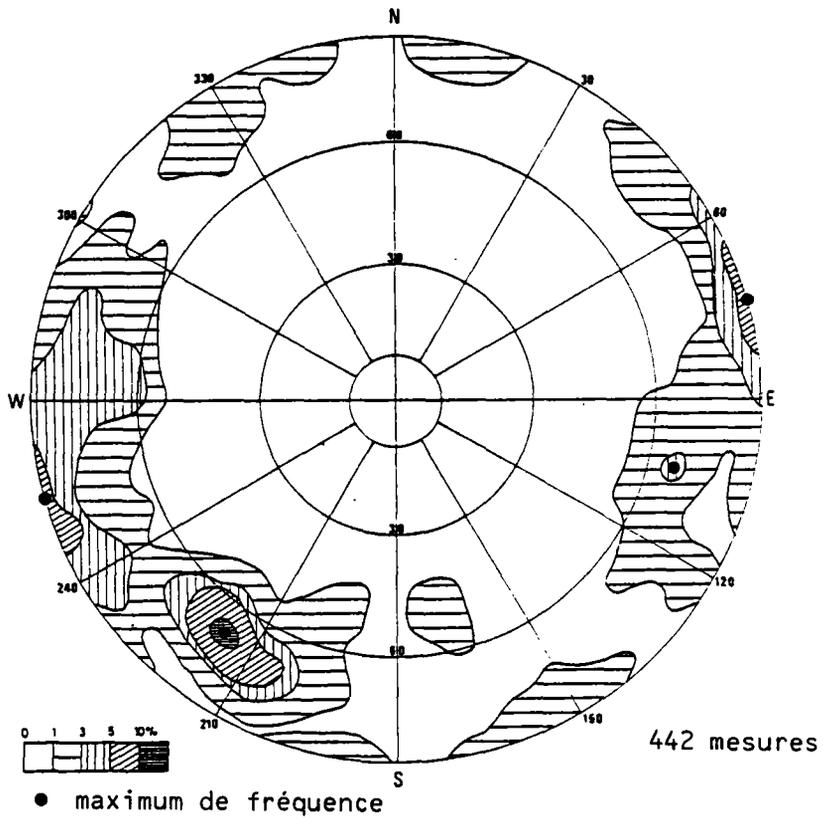


Figure 5 - GRANITE DE HUELGOAT - Diagramme général.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere intérieure.)

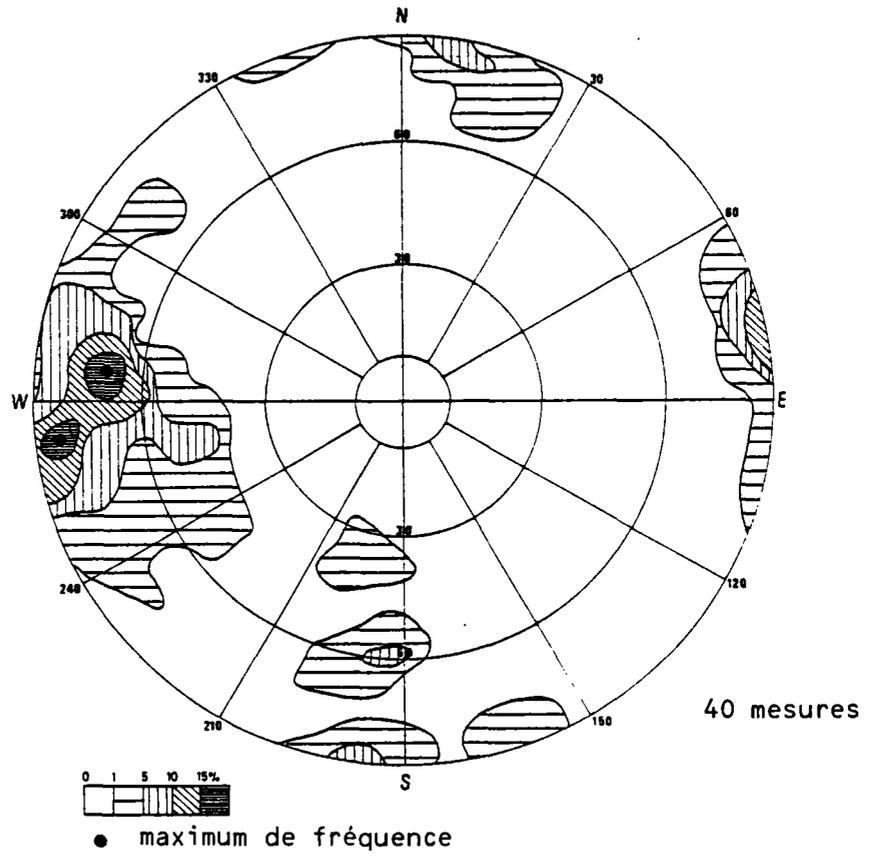


Figure 6 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 18.

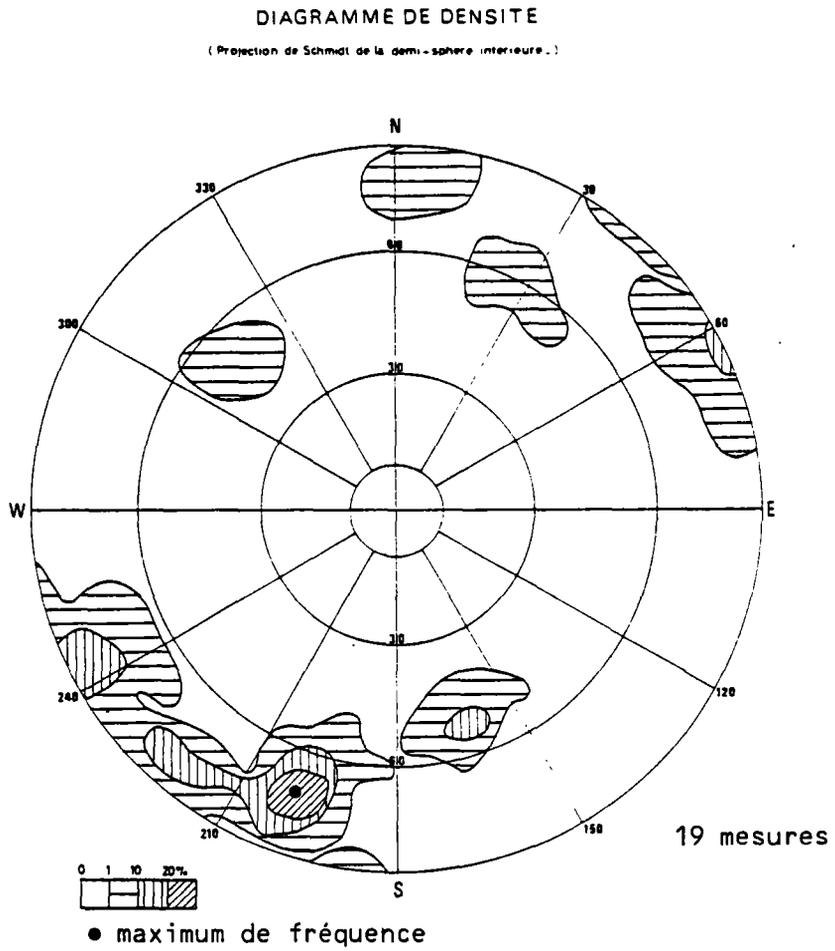


Figure 7 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 20.

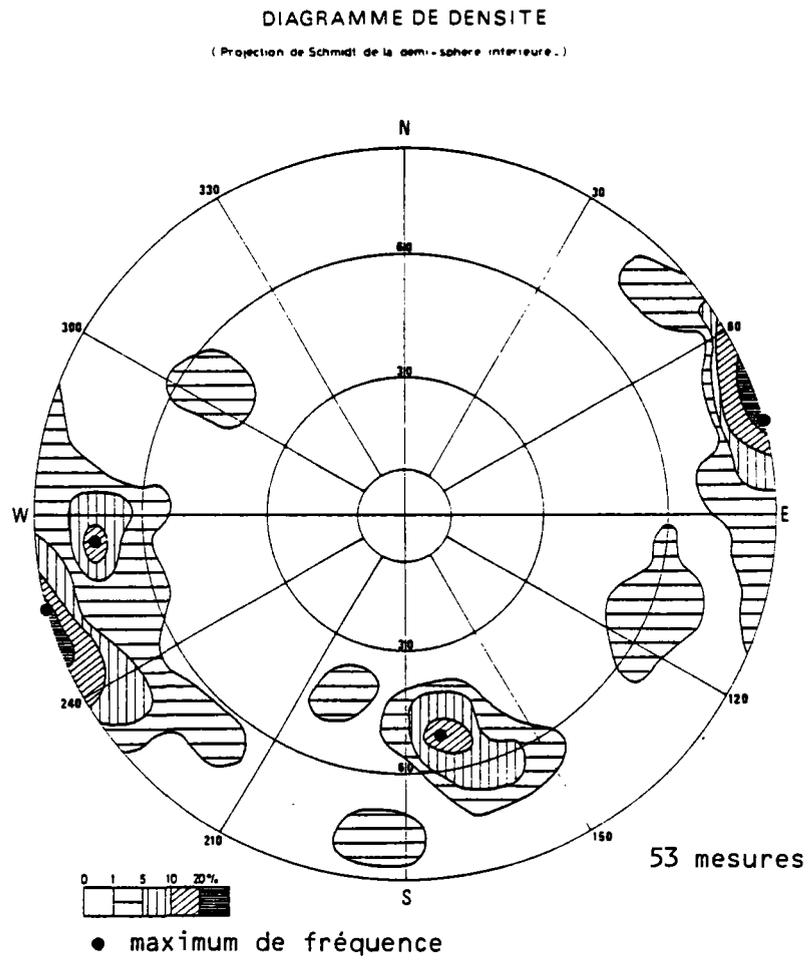


Figure 8 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 21.

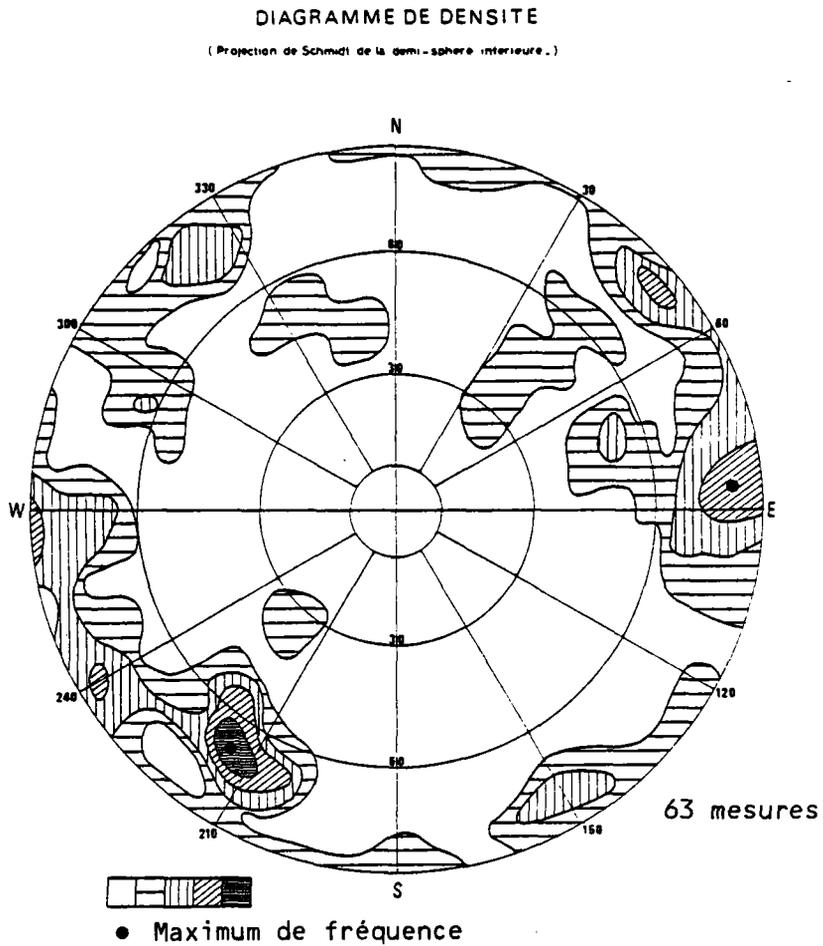


Figure 9 - GRANITE DE HUELGOAT - Stations 22, 30 et 32.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere intérieure.)

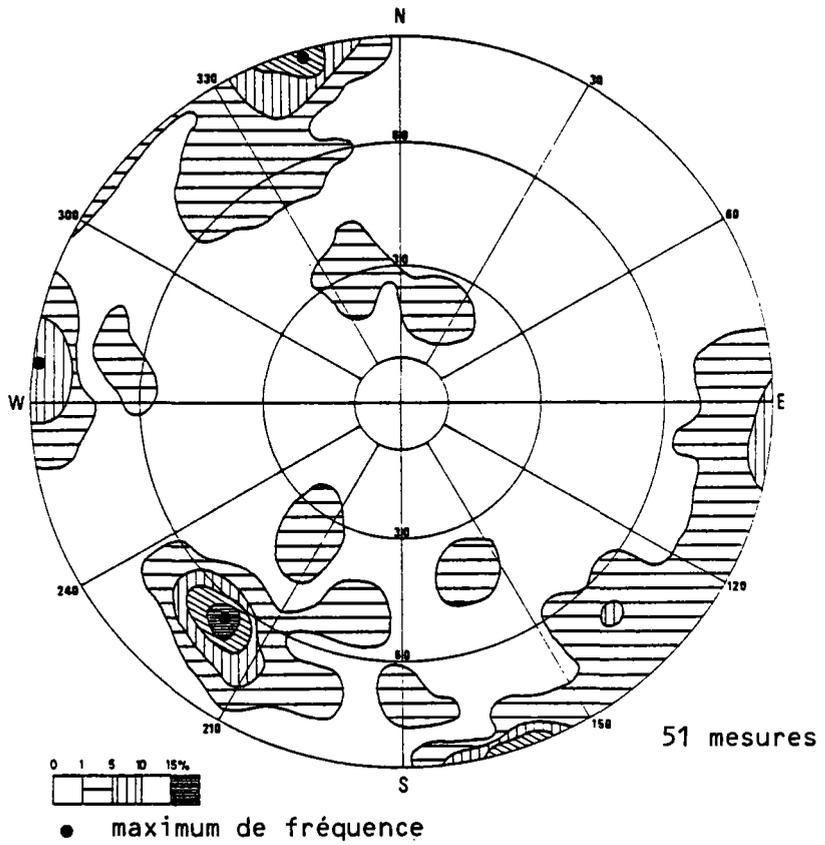


Figure 10 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 31.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmat de la demi-sphere intérieure.)

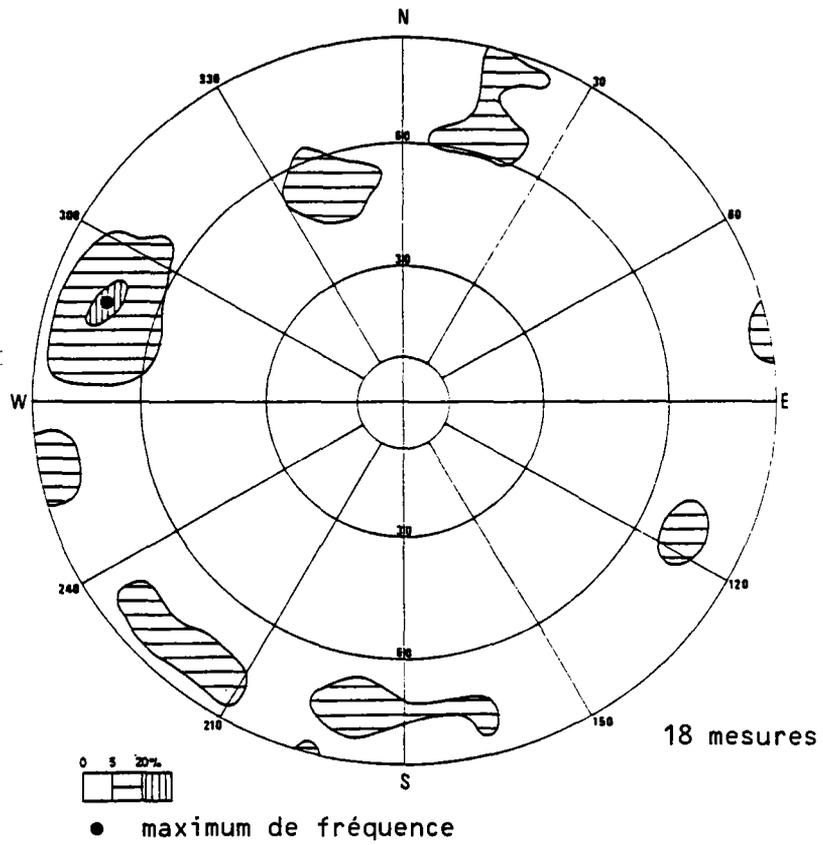


Figure 11 - GRANITE DE HUELGOAT - Stations 39, 57 et 58.

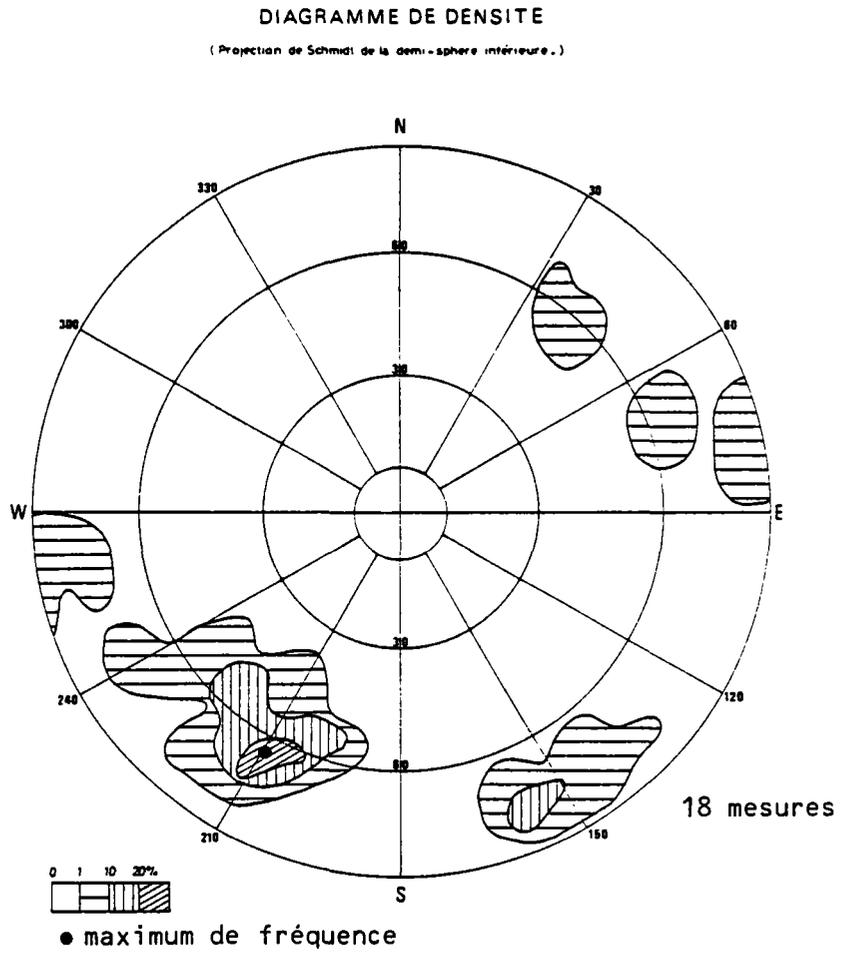


Figure 12 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 48.

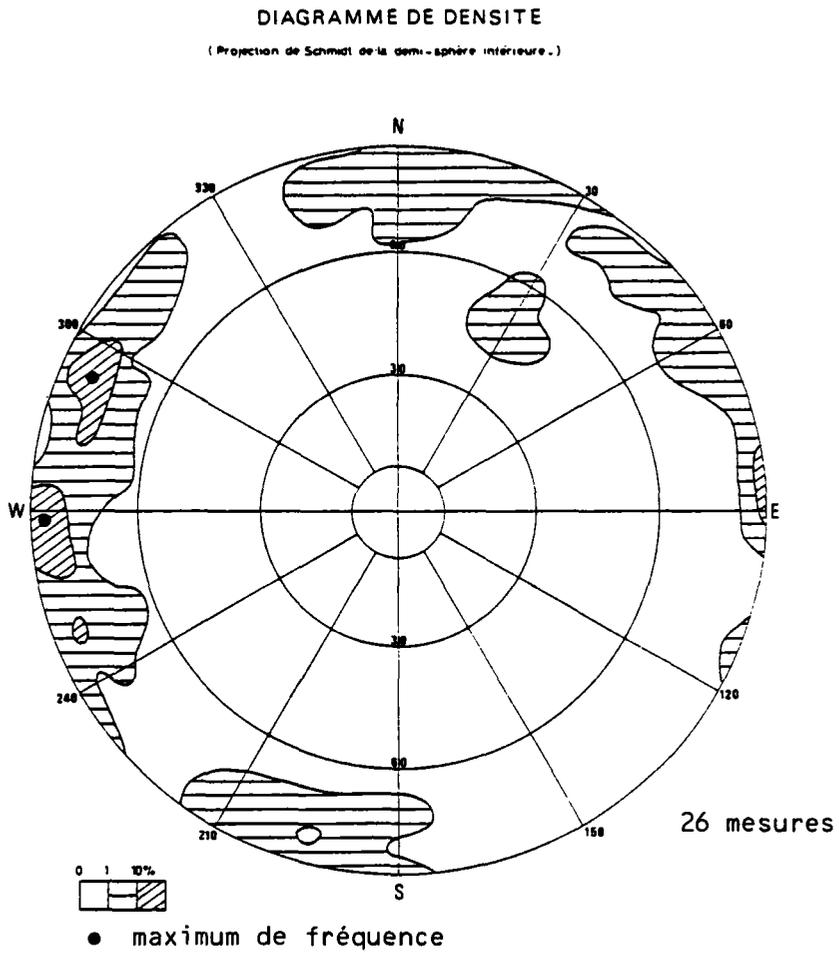


Figure 13 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 51.

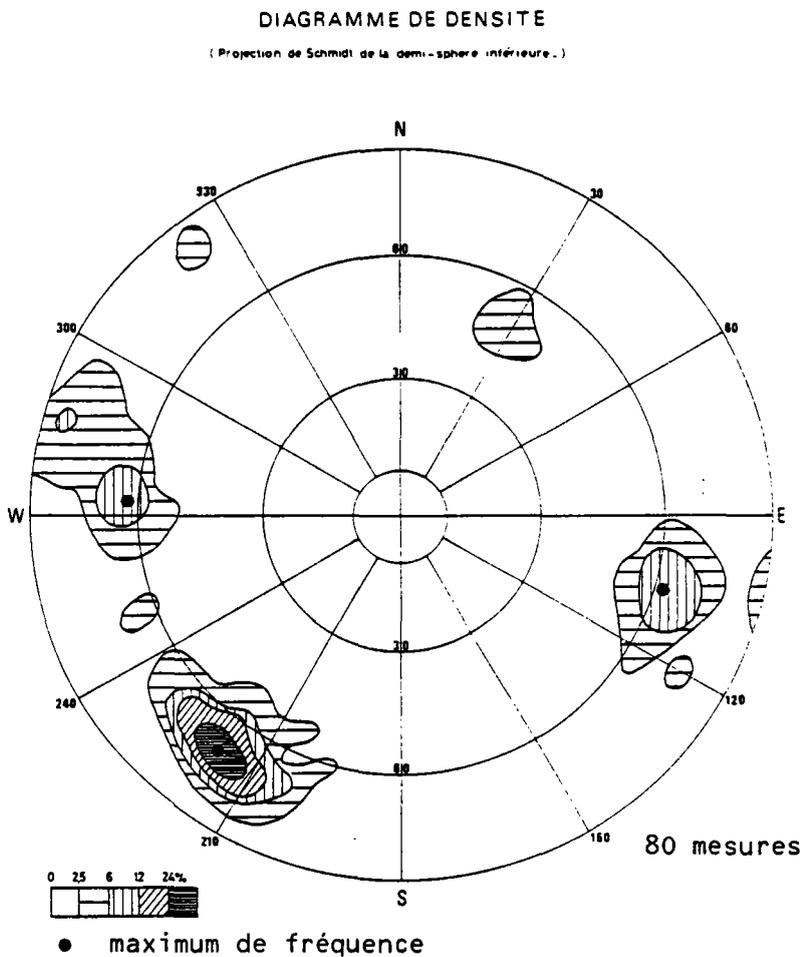


Figure 14 - GRANITE DE HUELGOAT - Station 56.

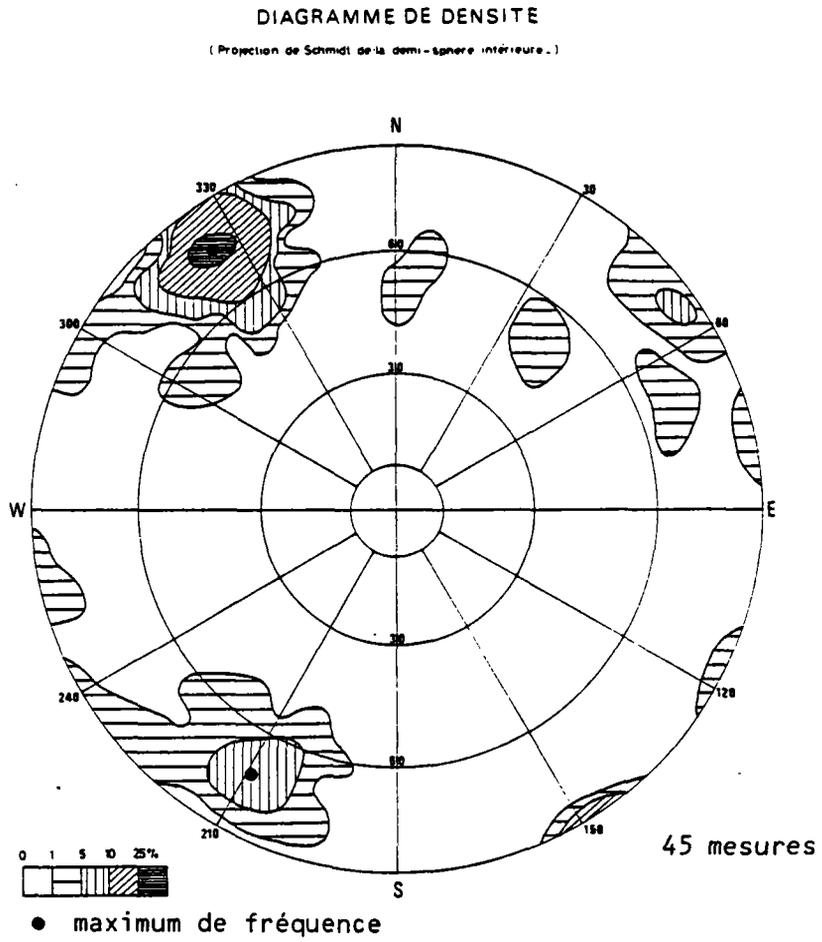


Figure 15 - GRANITE DU CLOITRE - Station 38.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphère inférieure.)

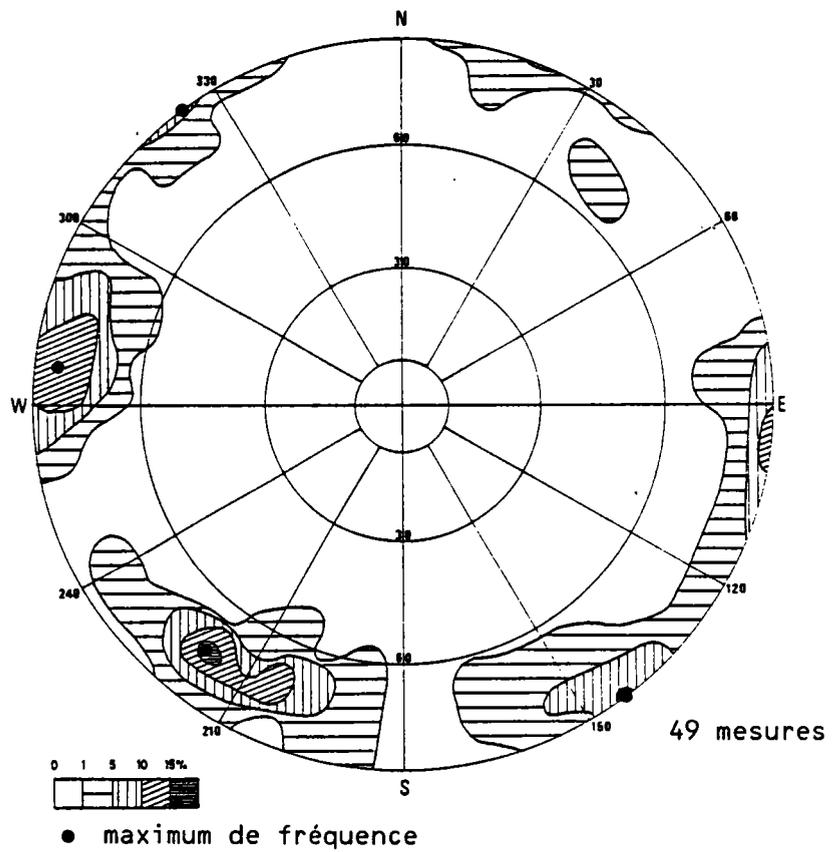


Figure 16 - GRANITE DU CLOITRE - Station 53.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere inferieure.)

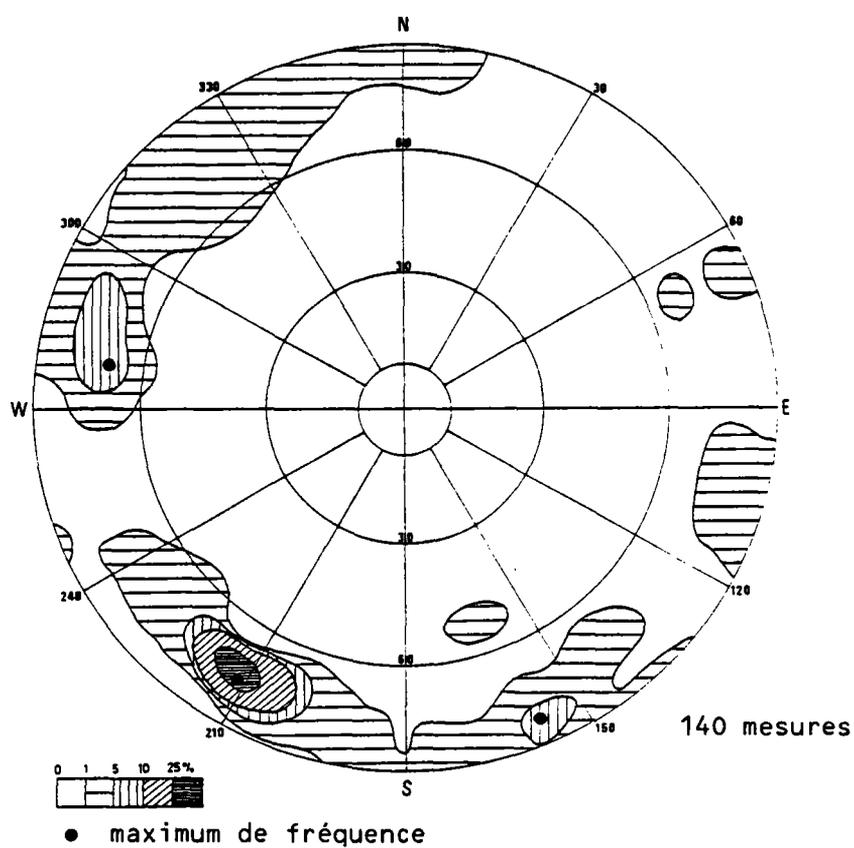


Figure 17 - LEUCOGRANITES - Diagramme général.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere intérieure.)

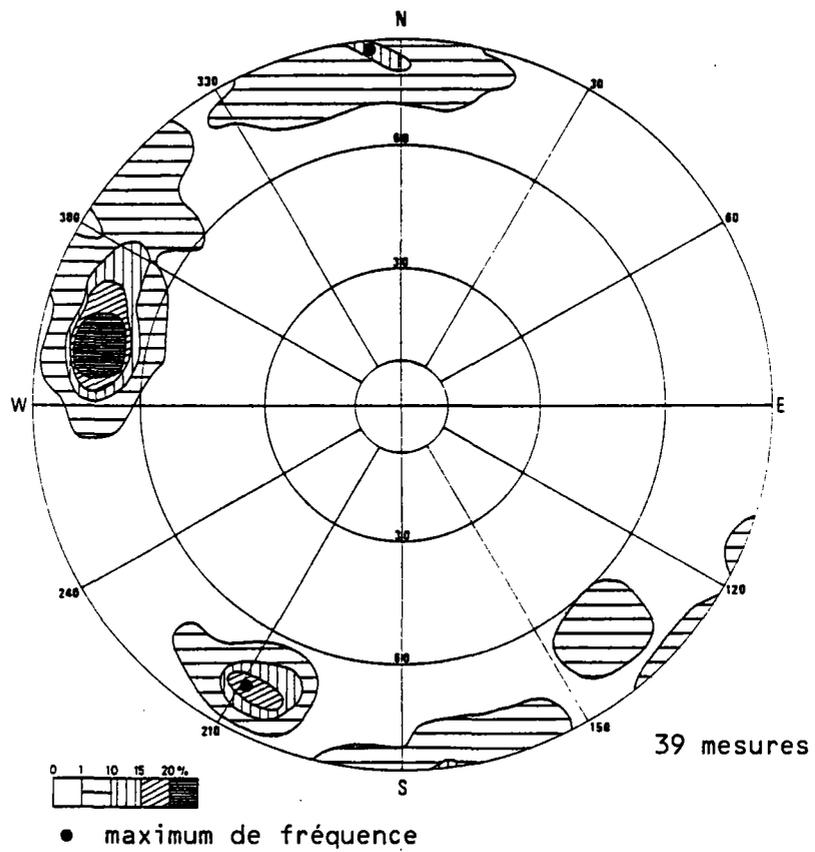


Figure 18 - LEUCOGRANITES - Station 35.

DIAGRAMME DE DENSITE

(Projection de Schmidt de la demi-sphere interieure .)

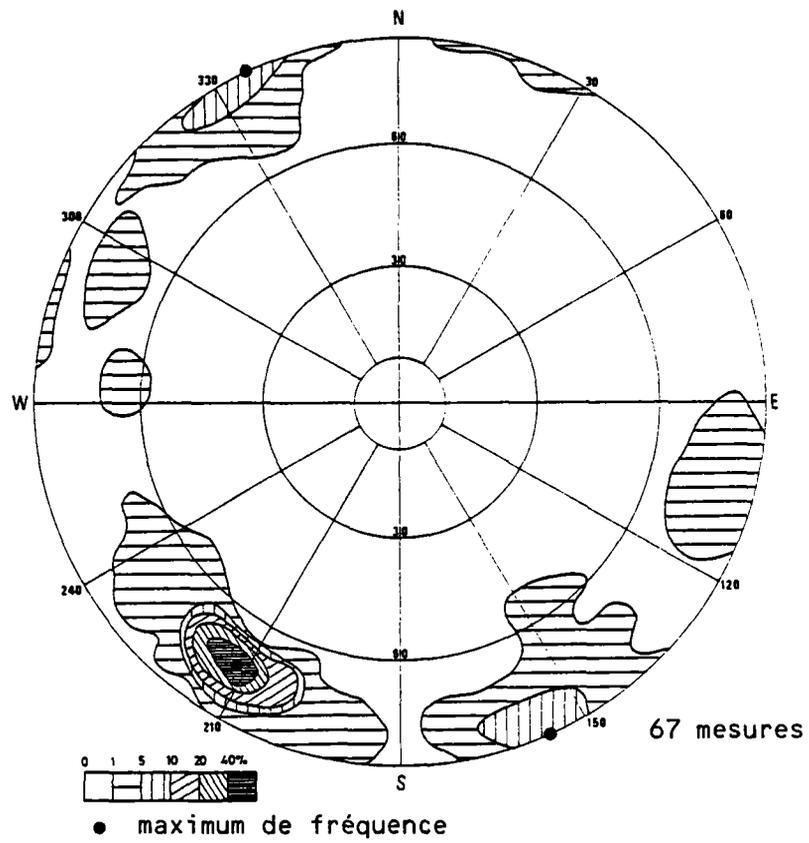


Figure 19 - LEUCOGRANITES - Station 36.

GRANITE DE LA FEUILLÉE

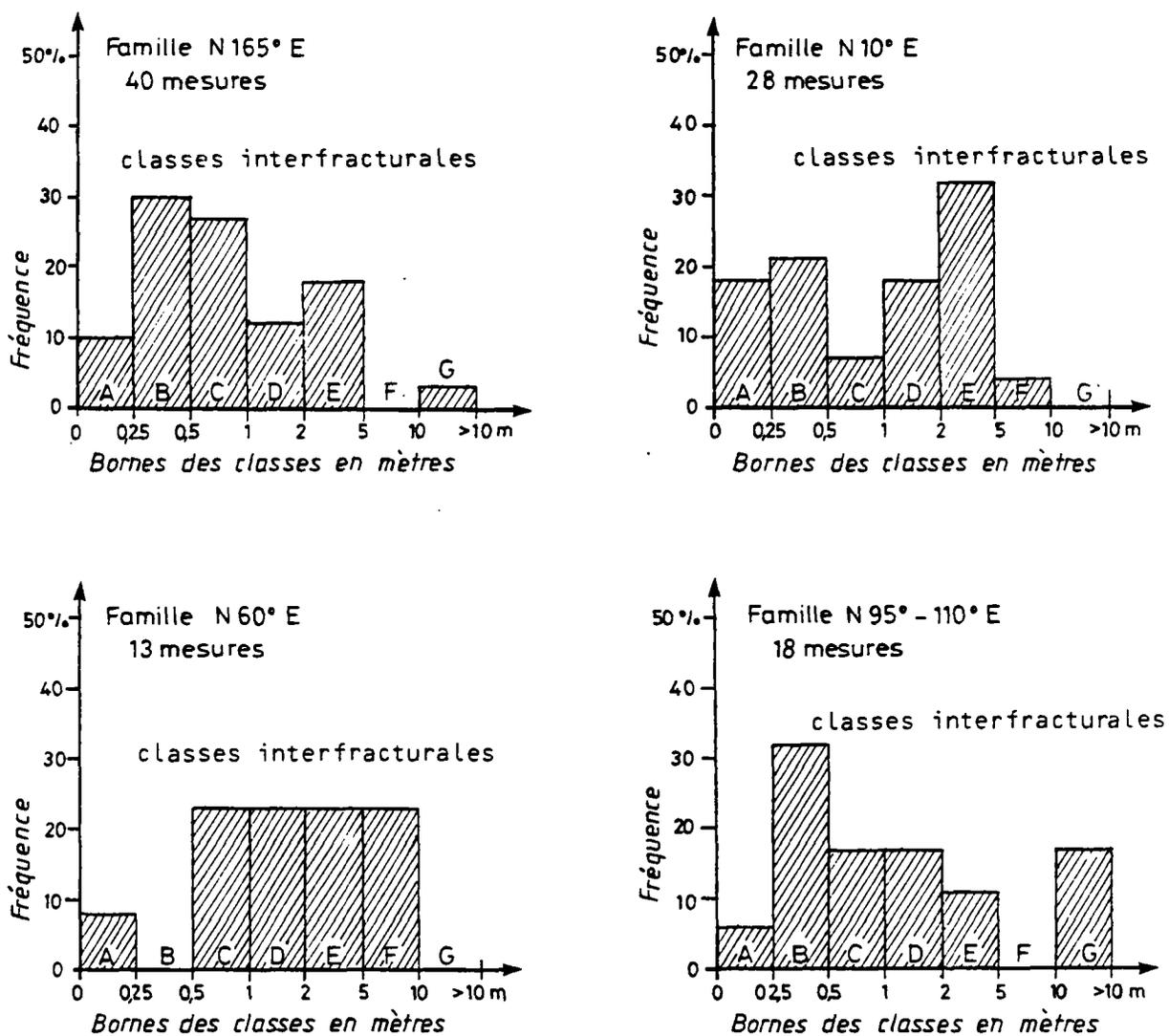


Figure 20 - GRANITE DE LA FEUILLÉE - Histogramme de fréquence des écartements interfracturaux.

GRANITE DE HUELGOAT S.S.

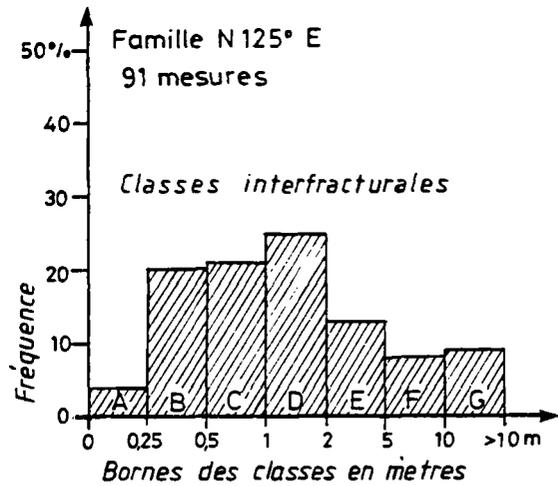
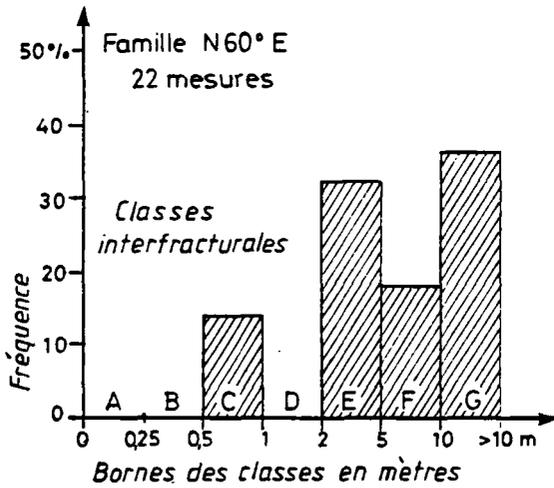
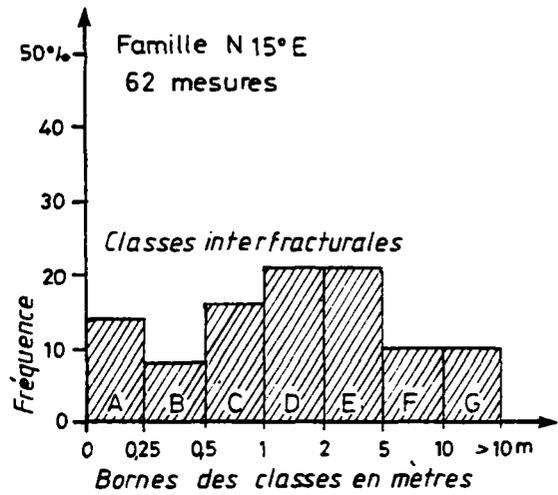
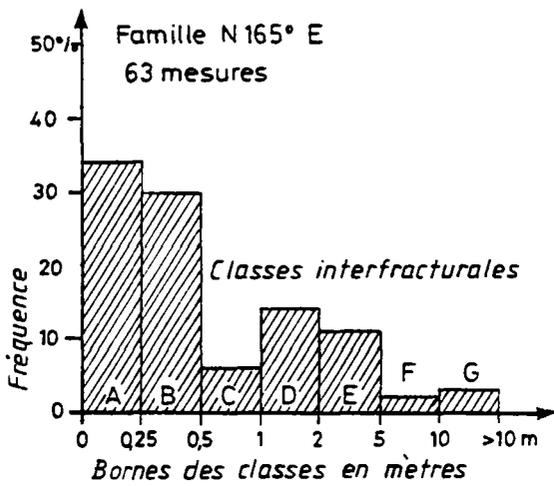
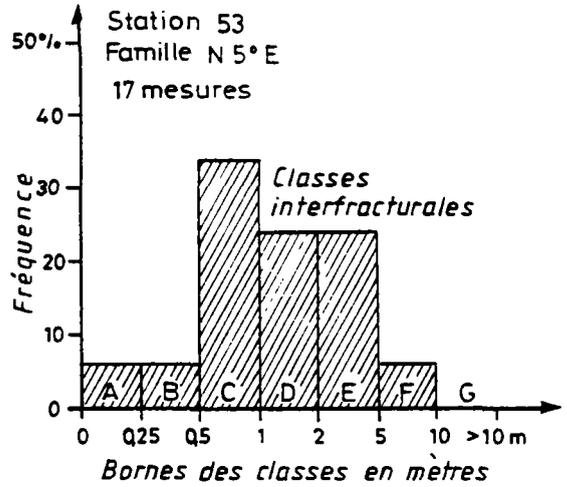
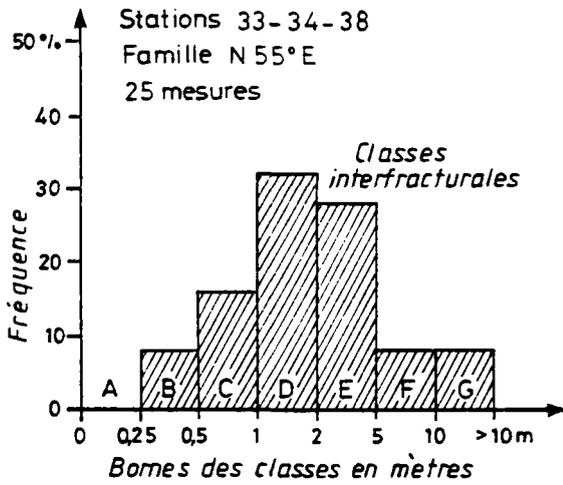


Figure 26 - GRANITE DE HUELGOAT s.s. - Histogrammes de fréquence des écartements interfracturaux.

GRANITE DU CLOÎTRE



- GRANITE DU CLOÎTRE - Histogrammes de fréquence des écartements interfracturaux.

LEUCOGRANITE

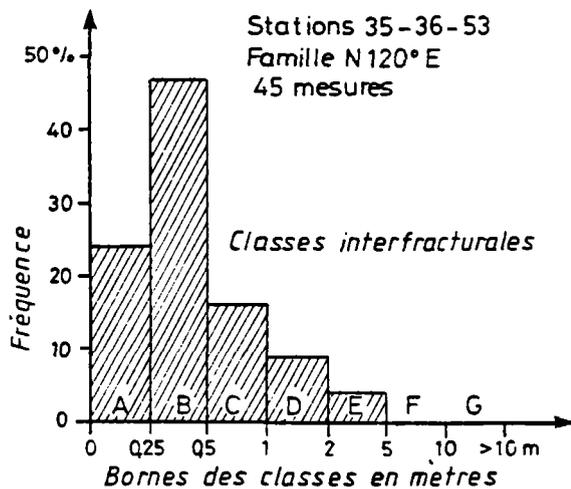
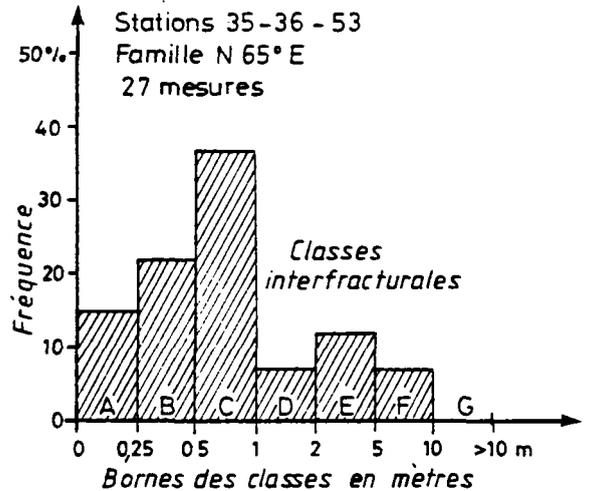
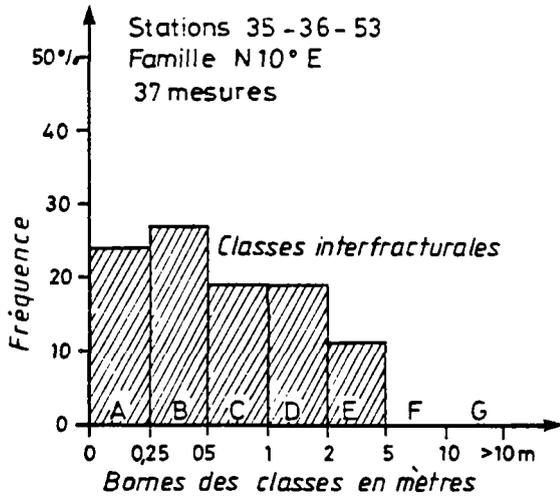


Figure 22 - LEUCOGRANITE - Histogrammes de fréquence des écartements interfracturaux.

LEGENDE DES DIAGRAMMES MORPHOCINEMATIQUES

(projection de Schmidt dans la demi-sphère inférieure)

- ⊠ Pôle de plan de filon de quartz
 - Pôle de plan de faille
 -  strie de faille sans détermination du sens du mouvement
 -  strie de faille dextre
 -  strie de faille senestre
 -  Strie de faille inverse
(flèche dirigée vers le centre du diagramme)
 -  Strie de faille normale
(flèche dirigée vers l'extérieur du diagramme)
- } La flèche indique le sens du déplacement du compartiment supérieur

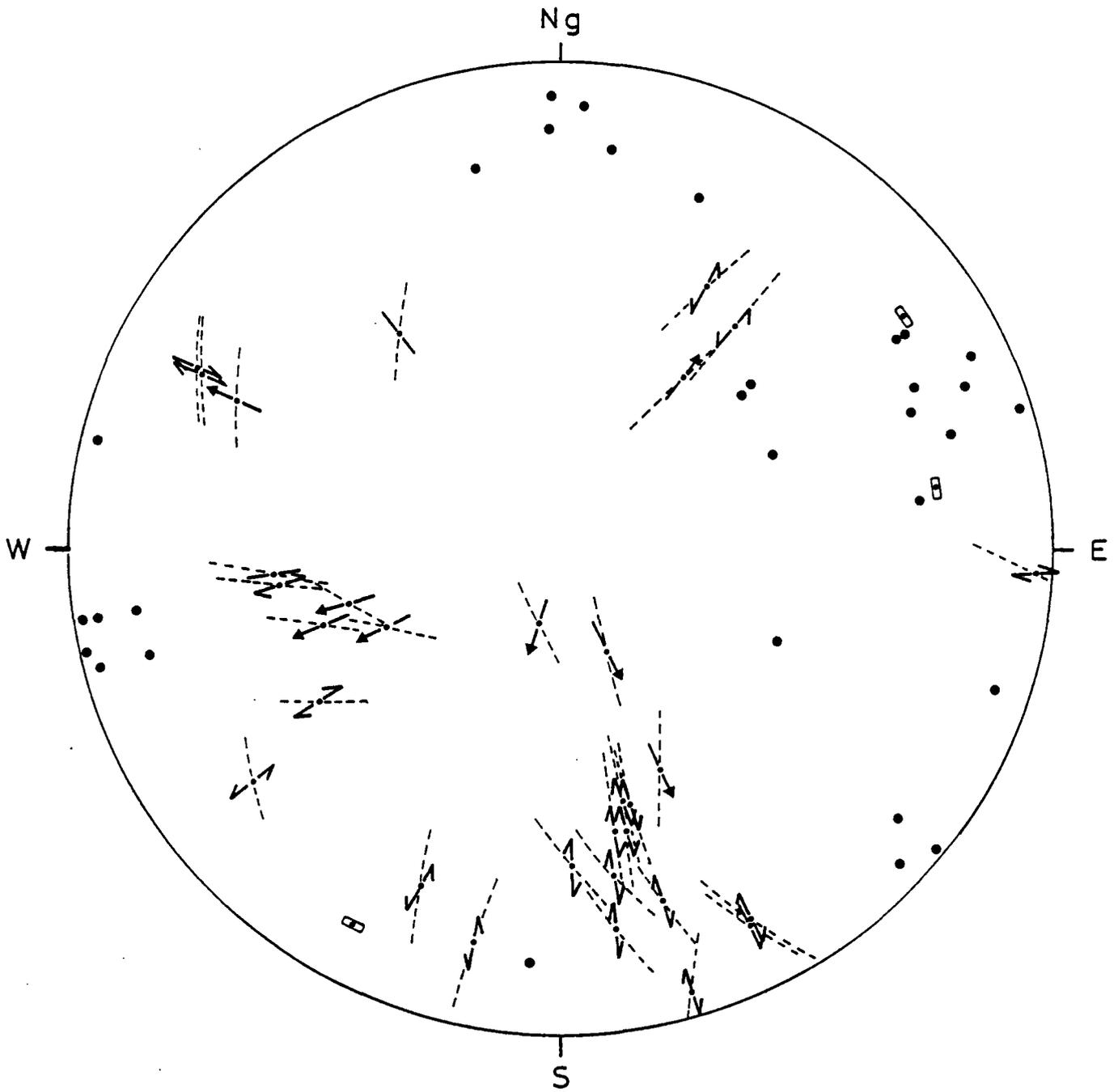


Figure 23 - GRANITE DE LA FEUILLEE - Etude morphocinématique.

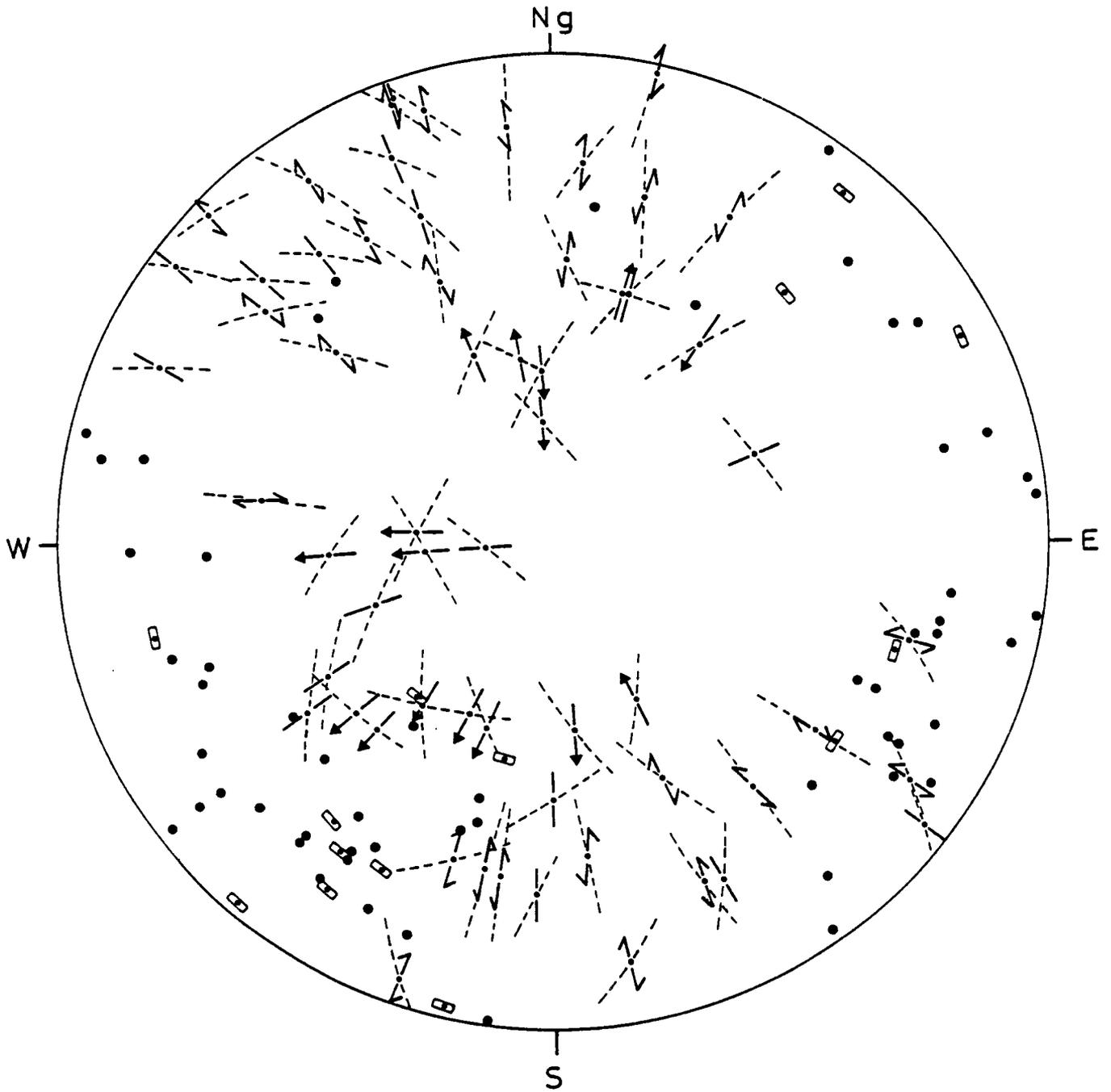


Figure 24 - GRANITE DE HUELGOAT s.s. - Etude morphocinématique.

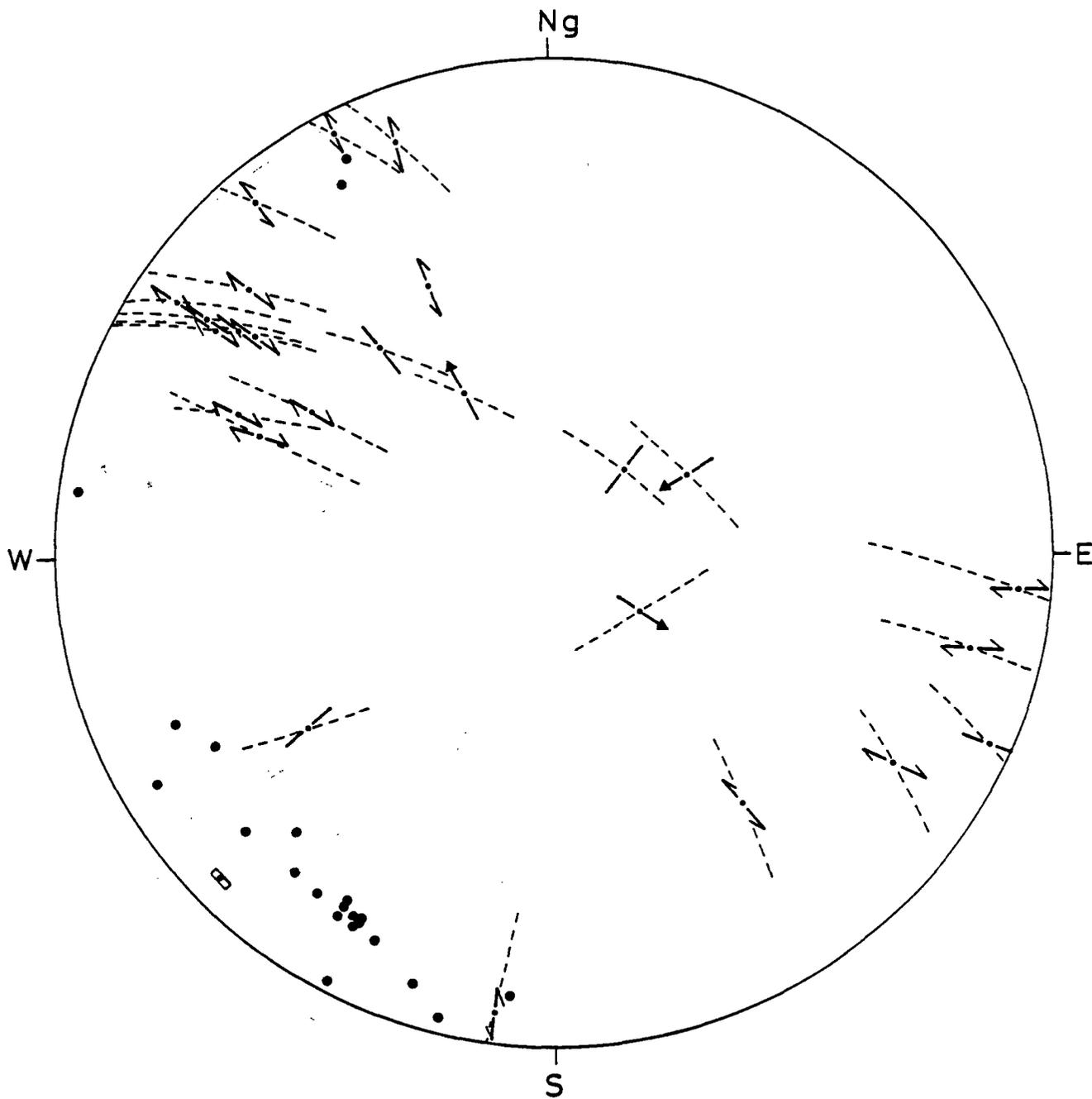


Figure 25 - GRANITE DU CLOÎTRE - Etude morphocinématique.

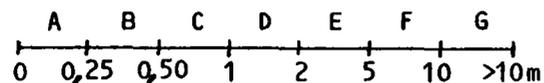
Tableau 2 - ESPACEMENTS INTERFRACTURAUX DANS LES UNITES GRANITIQUES

UNITES GRANITIQUES	FAMILLES DIRECTIONNELLES			
	N 10° E	N 55° E	N 120° E	N 165° E
LA FEUILLE	E (2 à 5 m)		B (0,25 à 0,5 m)	<u>BC</u> (0,25 à 1 m)
HUELGOAT s.s.	DE (1 à 5 m)	E et <u>G</u> (2 à 5 m et > 10 m)	D (1 à 2 m)	<u>AB</u> (0 à 0,5 m)
LE CLOITRE	<u>C</u> ⁽¹⁾ (0,5 à 1 m)	<u>DE</u> ⁽²⁾ (1 à 5 m)		
FILON DE LEUCOGRANITE	<u>AB</u> (0 à 0,5 m)	C (0,5 à 1 m)	B (0,25 à 0,5 m)	
DIAGRAMME GENERAL	<u>EDCAB</u> (0 à 5 m)	<u>E</u> et C (2 à 5 m 0 à 1 m)	<u>B</u> et D (0,25 à 0,5 m 1 à 2 m)	<u>BA</u> (0 à 0,5 m)

(1) dans le faciès à biotite et muscovite

(2) dans le faciès à biotite seule.

Classes d'espacements et bornes en mètre.



Cases blanches : nombre de mesures insuffisant.

Nota : Si dans une unités granitique l'histogramme de fréquence des espacements interfracturaux d'une famille directionnelle ne présente pas de classe dominante bien individualisée, on a indiqué les classes qui possèdent des pourcentages voisins et souligné la plus importante d'entre elles.

Tableau 1 - ORIENTATIONS DES PRINCIPALES FAMILLES DIRECTIONNELLES DE FRACTURES.

FACIES GRANITIQUE		N° de la station et nombre de mesures	ORIENTATION						
GRANITE DE LA FEUILLEE	GRANITE A BIOTITE	2 - 29 (49 mesures)				75°S 8%	75°N 8%		90° 28,5%
	GRANITE A	7 - 8 - 9 (50 mesures)	80°E 30%				80°S 12%		
	BIOTITE ET MUSCOVITE	26 (15 mesures)		90° 40%					
		24 - 25 (52 mesures)			90° 6%				70°W 23%
GRANITE DE HUELGOAT	GRANITE	18 (40 mesures)	70°E 17,5%						80°E 17,5%
		20 (19 mesures)					70°N 21%		
	PORPHYROIDE	21 (53 mesures)				50°N 13%			90° 26,5%
		51 (26 mesures)	85°E 15,5%	80°E 19%					70°E 11,5%
	A CORDIERITE	31 (51 mesures)	90° 10%			85°S 12%		65°N 19,5%	
		48 (18 mesures)					65°N 28%		
		22-30-32 (63 mesures)					70°N 12,5%		80°W 8%
		56 (80 mesures)	65°E 8,5%	65°W 11%			80°N 36%		
	39-57-58 (18 mesures)		80°E 22%						
LEUCOGRANITE	35 (39 mesures)	70°E 28%			85°S 10,5%		75°N 18%		
	36 (67 mesures)				90° 7,5%		85°N 48%		
GRANITE DU CLOITRE	GRANITE FIN A BIOTITE ET MUSCOVITE	53 (49 mesures)	80°E 14,5%		90° 10%		80°E 16,5%		
	GRANITE FIN A BIOTITE	38 (45 mesures)			75°S 29%		70°N 9%		
DIAGRAMME GENERAL (862 mesures)			75°E 5%		80°S 3%		75°N 10,5%	90° 5,5%	

Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques

MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT

CONFIRMATION DES CARACTÉRISTIQUES FAVORABLES
 1^{ère} phase 1^{ère} partie

CARTE GÉOLOGIQUE

ECHELLE : 1/25 000
 RAPPORT BRGM 83 SGN 827 GEO
 DESSINE A ORLEANS JANVIER 1984
 PLANCHE 1

LEGENDE

KAOLIN



FILONS SUBVOLCANIQUES OU HYDROTHERMAUX

- Quartz (filon en place)
- Quartz (pierres volantes)
- Microdiorite
- Microgranite porphyrique

MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT

- Filon de leucogranite
- GRANITE DE HUELGOAT S.S.**
- Monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite
- GRANITE DE LA FEUILLEE**: Monzogranite différencié à gros grain
- à muscovite dominante
- à deux micas
- à biotite dominante
- GRANITE DU CLOÛTRE**: Monzogranite différencié à grain moyen à fin
- à deux micas
- à biotite ± cordiérite

Informations ponctuelles:
 Enclaves de diorite quartzique à biotite:

- très abondantes
- abondantes
- peu abondantes

Enclave de microgranite porphyrique à biotite

Panneau de cornéenne (roof -pendant probable)

To Tourmaline visible macroscopiquement

GRANITE DE COMMANA

Granite à deux micas, granite porphyroïde à biotite

ENCAISSANT

- Dévonien sup.: Schistes indifférenciés
- Siluro-Dévonien: Schistes et quartzites de Plougastel
- Ordovicien: Grès armoricains et schistes
- Briovérien: Micascistes

Limites de l'aurole de métamorphisme de contact

SYMBOLES DIVERS

- Zone de cisaillement
- Faille probable
- Carrière ne figurant pas sur le fond topographique

Localisation et numérotage des points d'observation * / - échantillonnage

SYMBOLE + NUMERO	TRAVAUX EFFECTUES		
	observation	lame mince	analyses géochimiques
● 53	x	x	x
● 29	x	x	
● 22	x		



Stockage des déchets radioactifs en formations géologiques

MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT

CONFIRMATION DES CARACTÉRISTIQUES FAVORABLES
 1^{ère} phase 1^{ère} partie

CARTE STRUCTURALE

ECHELLE : 1/25.000
 RAPPORT BRGM 83 SGN 827 GEO
 DESSINÉ A ORLEANS Janvier 1984
 PLANCHE 2



LEGENDE

- Contacts géologiques (confère carte géologique)
- Accidents probables } 1 - Zone de cisaillement
 } 2 - Faille probable
- Structure magmatique du granite
- Stratification de l'encaissant
- Schistosité majeure de l'encaissant
- Deuxième phase de schistosité
- Filons de quartz
- Stations de mesures microtectoniques avec :
 - 12 N° de la station
 - mésosfracturation majeure
 - mésosfracturation mineure
 - jeu en décrochement (pas d'ouverture)
 - jeu en faille inverse (pas d'ouverture)
 - jeu en faille normale (ouverture)
 - mésosfracturation avec filons de quartz (ouverture)
- 2,5 Espacement interfurcal moyen en mètres