

**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS  
EUROPÉENNES**

Direction Générale de la  
Science, de la Recherche  
et du Développement  
200, rue de la Loi  
B - 1049 BRUXELLES  
Belgique

**COMMISSARIAT A L'ENERGIE  
ATOMIQUE**

Institut de Protection  
et de Sûreté Nucléaire

B.P. n° 6  
92260 FONTENAY-AUX-ROSES  
France

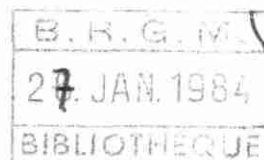
**BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

Service Géologique National

B.P. 6009  
45060 ORLÉANS CEDEX  
France

CONTRAT N° 148-80-7 WAS-F (RS)  
*FRACTURATION PROFONDE  
DES MASSIFS ROCHEUX GRANITIQUES*

**RAPPORT D'AVANCEMENT DES TRAVAUX**  
2<sup>e</sup> semestre 1982



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 859 STO**

Décembre 1983

## AVERTISSEMENT

---

Dans un milieu granitique les circulations de fluide ne peuvent se faire qu'à la faveur de fractures petites ou grandes. Aussi est-il indispensable pour évaluer les migrations à partir d'un éventuel site de stockage profond de définir aussi précisément que possible la distribution des fractures dans les trois dimensions de l'espace. En pratique, la connaissance que l'on peut avoir du réseau des fractures n'est que partielle : les données que l'on pourra recueillir sur un site candidat seront localisées en surface ou dans quelques rares forages.

La présente recherche se propose de mettre en évidence les relations existant dans un massif granitique entre la fracturation observée en surface et la fracturation en profondeur.

Ainsi cette recherche doit contribuer à la mise au point d'un ensemble de méthodes d'études structurales et statistiques visant à définir au mieux l'état de fracturation d'un site dont on désire apprécier l'aptitude au stockage.

\*  
\* \*

Ces travaux sont réalisés dans le cadre d'un contrat à frais partagés entre la Communauté Européenne de l'Energie Atomique (1), le Commissariat à l'Energie Atomique et le Bureau de recherches géologiques et minières (contrat n° 148.80.7-WAS-F-RS) et relatif aux actions de recherche et de développement de ces organismes en matière de stockage de déchets radioactifs en formations géologiques profondes.

\*  
\* \*

Le présent rapport rend compte des travaux réalisés durant le deuxième semestre 1982.

\*  
\* \*

(1) Actions indirectes de la Commission des Communautés Européennes.

## S O M M A I R E

1. INTRODUCTION .....	1
2. HISTOIRE DE LA FRACTURATION .....	1
2.1. Fracturation précoce .....	1
2.2. Fracturation tectonique .....	2
3. FAMILLES DIRECTIONNELLES DE PETITE FRACTURATION .....	3
4. EVOLUTION DES FAMILLES DIRECTIONNELLES DE FRACTURES AVEC LA PROFONDEUR .....	3
5. ETUDE DE LA DENSITE DE FRACTURATION .....	3
5.1. Espacements interfracturaires .....	4
5.2. Résultats .....	4
6. CONCLUSIONS .....	5

## 1 - INTRODUCTION

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un contrat à frais partagés entre :

- la Communauté Européenne de l'Energie atomique ;
- le Commissariat à l'Energie atomique ;
- le Bureau de recherches géologiques et minières.

- - -

Le but de cette étude est de comparer l'état de fracturation dans un granite en surface et en profondeur afin de dégager des guides d'extrapolation en profondeur des données de surface.

L'attention a été particulièrement portée sur les orientations et les densités des petites fractures.

Ces fractures ont été analysées dans des stations de mesure et d'observation réparties en surface et dans les galeries accessibles des mines de Fanay-Augères et de Margnac (figure 1).

## 2 - HISTOIRE DE LA FRACTURATION

### 2-1 - Fracturation précoce (figure 2) :

Le granite de St-Sylvestre s'est mis en place il y a 326 MA, à la fin du Viséen.

Ce granite a été affecté par des fractures précoces de direction NNE-SSW, qui peuvent être, sub-verticales, sub-horizontales ou obliques

(pendages est et pendages ouest). Ces fractures qui suivent de près la mise en place du granite sont remplies par des aplites et des pegmatites.

Ensuite, des fractures NNE-SSW à pendage moyen de 45° vers l'Ouest, ainsi que quelques fractures subverticales ont été injectées par des microgranites et par des lamprophyres ou minettes). La mise en place de ces minettes est datée du Stéphanien (285 MA).

## 2-2 - Fracturation tectonique :

Le granite de St Sylvestre a été affecté par une tectonique cassante d'âge tardi-hercynien (figure 3) :

### . une compression WNW-ESE a d'abord créé :

- des failles de décrochement dextres E-W ;
- des failles de décrochement senestres NW-SE ;
- des fractures d'extension ont pu apparaître suivant la direction WNW-ESE ;

### . une compression N-S a ensuite fait apparaître :

- des failles dextres NNW-SSE ;
- des failles sénestres NNE-SSW ;
- des fractures d'extension ont pu apparaître suivant la direction N-S.

Les grandes failles sont minéralisées en uranium dont la fin de mise en place est datée de 240 MA, c'est-à-dire du Permien.

Les directions des fractures apparues au cours de ces compressions tardi-hercyniennes rejoignent :

- en failles normales, au cours de distensions permienues et mésozoïques ;
- en failles inverses et en décrochements, au cours des compressions tertiaires (pyrénéennes et alpines).

Le tracé des grandes failles est bien connu grâce au relevé en mine et en surface de la Cogema (figure 4 : failles du système de compression WNW-ESE et failles du système de compression N-S).

Ainsi la fracturation du granite de St Sylvestre résulte de phénomènes précoces liés à la mise en place du granite et de phénomènes tectoniques régionaux principalement tardi-hercyniens.

### 3 - FAMILLES DIRECTIONNELLES DE PETITE FRACTURATION :

Les familles de fractures ont été définies dans chaque station, en surface et en profondeur, à l'aide de diagrammes "stéréographiques" de densité.

Au niveau général des secteurs de Fanay-Augères et de Margnac, les familles sub-verticales ont été définies à l'aide d'histogrammes sur lesquels ont été portés le nombre et les valeurs cumulées des maxima de fréquence de chaque famille définie dans les différentes stations (figures 5 et 6).

On définit ainsi les familles : NNE-SSW, NE-SW, ENE-WSW, WNW-ESE, NW-SE, NNW-SSE et N-S.

Ces directions correspondent à celles des fractures de décrochement ou d'extension créées par les compressions WNW-ESE et N-S (figure 7) ; les directions NNE-SSW et NE-SW correspondent en outre à celles des fractures précoces.

### 4 - EVOLUTION DES FAMILLES DIRECTIONNELLES DE FRACTURES AVEC LA PROFONDEUR :

En allant de la surface vers la profondeur on retrouve sensiblement les mêmes directions de petites fractures.

Seules les fréquences de ces directions varient d'une station à l'autre.

### 5 - ETUDE DE LA DENSITE DE FRACTURATION :

On a surtout étudié l'évolution des fréquences de familles de fractures en fonction de la profondeur et en fonction de la proximité des grandes failles.

### 5-1 - Espacements interfracturaux :

Pour cela on a mesuré l'espace interfractural des fractures de chaque famille, prises deux par deux (figure 8).

Dans toutes les stations, l'espace interfractural représentatif de chaque famille est défini au moyen d'un histogramme de fréquence (figure 9).

L'espace le plus fréquent est considéré comme représentatif de la famille directionnelle étudiée.

### 5-2 - Résultats :

Dans chaque secteur, la fréquence des fractures sub-verticales ne varie pas avec la profondeur, et ce jusqu'à 300 m (figure 10).

Il en est de même pour les fractures obliques.

De plus, le faciès pétrographique ne semble pas avoir d'influence sur la fréquence des fractures (figure 10 : stations 54 et 57 dans granite fin et stations 56 et 59 dans le granite moyen à grossier).

On a donc cherché à étudier l'influence de la proximité des grandes failles sur la fréquence des petites fractures.

Pour cela, les stations de mesures ont été implantées sur une même verticale à égale distance d'une grande faille (figure 11).

Les fractures les plus fréquentes et qui sont constamment représentées sur une même verticale, sont parallèles aux grandes failles les plus proches (figure 12).

Il est possible de faire la même observation pour une faille N 160° E appartenant au système de compression N-S (figure 13A et 14).

Toutefois, ces grandes failles peuvent être distantes de 150 à 200 m des stations de mesure dans lesquelles domine la petite fracturation de même direction.

Ces distances importantes laissent penser que ce ne sont pas les grandes failles qui ont induit les petites fractures de même direction. Au contraire, la petite fracturation d'origine tectonique serait apparue en premier, en constituant des zones de plus ou moins grande densité.

Au cours d'une même phase tectonique les grandes failles ne seraient apparues qu'ensuite en empruntant pour leur tracé les zones à forte densité de petites fractures.

A titre d'exemple il est possible d'utiliser le schéma de répartition des grandes failles et des fractures d'échelle inférieure obtenue dans le granite de Bassiès (Pyrénées ariégeoises) (figure 15).

Sur ce schéma, ont été représentées trois sortes de zones à densité différente de fractures hectométriques à décamétriques, de direction WNW-ESE : les zones à forte densité sont colorées en rouge, les zones à densité moyenne sont en jaune et on a laissé en blanc les zones à faible densité. Les grandes failles dextres WNW-ESE sont représentées par des traits épais continus, les failles NNW-SSE sénestres conjuguées correspondent aux traits épais discontinus et les pointillés représentent des failles N-S dextres apparues ultérieurement.

On observe que les grandes failles relient généralement les zones les plus fracturées. Toutefois, elles traversent également des zones moyennement fracturées et même des zones peu fracturées.

Ce schéma de répartition obtenu en plan reste certainement valable en coupe, c'est-à-dire de la surface vers la profondeur.

## 6 - CONCLUSIONS

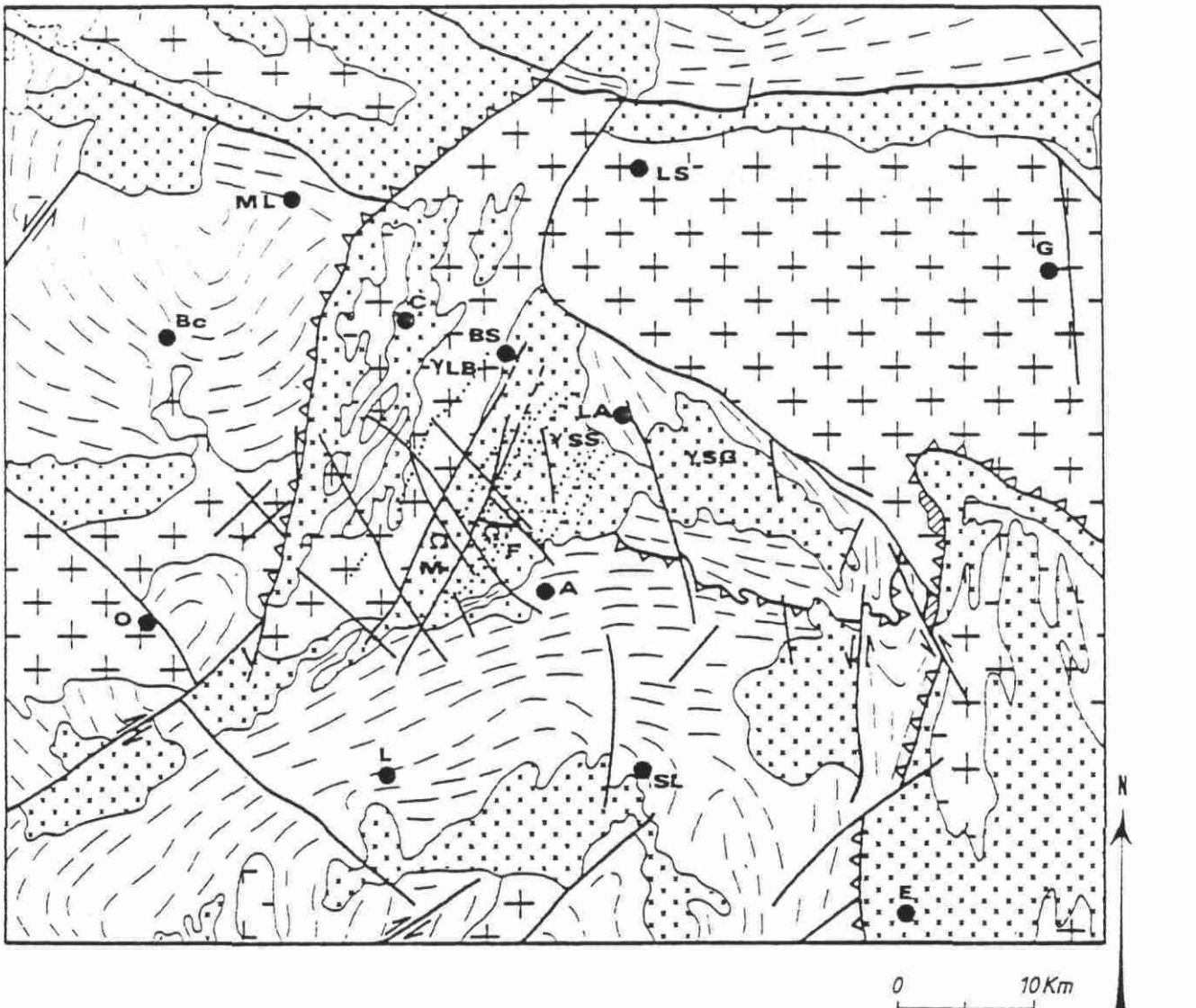
En conclusion, on retiendra les observations suivantes :

- à partir des données de surface il est possible de connaître les orientations de fractures en profondeur ;
- les densités de fracturation seront globalement les mêmes en profondeur qu'en surface ;



- il n'est pas possible de prévoir ces densités dans le détail, à partir de la surface car :

- . bien que les zones à forte densité de fractures soient généralement situées le long des grandes failles ;
- . il est possible de rencontrer des zones à fortes densités de fracturation en dehors du tracé de ces grandes failles ;
- . et il peut se produire que des zones à faible ou très faible densité de fracturation cotoient localement les grandes failles (comme cela peut être observé dans le forage d'Auriat par exemple).



Ω mines Cogema

- limites de la couverture post-hercynienne
- ..... filons de microgranite et filons de lamprophyre
- ▨ Stéphanien
- ▲▲▲ failles inverses et chevauchements

- ▤ granites hercyniens
- ⊕ granites et diorites dévoniennes
- ▬ schistes cristallins (métamorphisme dévonian)
- 〰 décrochements dextre et senestre

Localités : A = Ambazac ; Bc = Bellac ; Bs = Bessines ; C = Châteauponsac ; E = Eymoutiers ; F = Mine de Fanay ; G = Guéret ; LA = Laurière ; LS = La Souterraine ; L = Limoges ; ML = Magnac-Laval ; M = Mine de Margnac ; O = Oradour-sur-Glane ; SL : St Léonard-de-Noblat.

Granites : γLB = granite de La Brême ; γSS = granite de St-Sylvestre ; γSG = granite de St Goussaud.

Figure 1 - SITUATION GEOLOGIQUE DU GRANITE DE St-SYLVESTRE A 1/500 000.

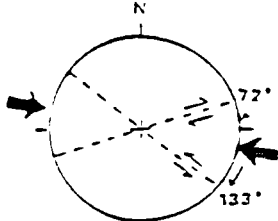
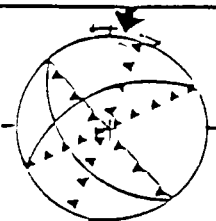
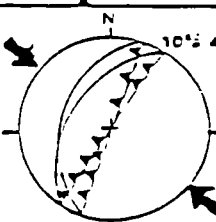
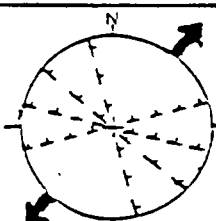
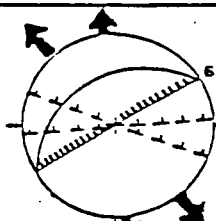
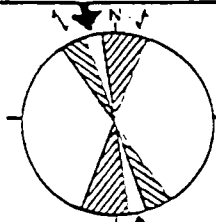
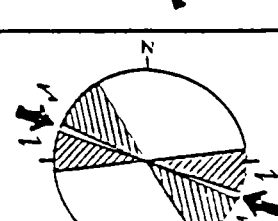
Figure 2 - SUCCESSION DES DEFORMATIONS PRECOSES DANS LE GRANITE DE SAINT-SYLVESTRE.

MISE EN PLACE DES FILONS DE MICROGRANITE PUIS DES FILONS DE LAMPROPHYRE = 285 MA		
<p>3</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3B = DEBUT DE FORMATION des fractures sub-verticales E-W et NW-SE</li> <li>- 3A = OUVERTURE des fractures NNE-SSW obliques, à pendage ouest.</li> </ul>	STEPHANIEN OU WESTPHALIEN
MISE EN PLACE DES FILONS D'APLITE ET DE PEGMATITE dans fractures : - sub-horizontales - obliques NNE-SSW - sub-verticales NNE-SSW		
<p>2</p>	FORMATION DES FRACTURES PRIMAIRES : <ul style="list-style-type: none"> <li>- fractures sub-horizontales et fractures obliques NNE-SSW (NNW-SSE à NE-SW)</li> </ul>	NAMURIEN
<p>1</p>	COMPRESSION NE-SW : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 1B = Fractures sub-verticales N-S à NNE-SSW (rupture cassante)</li> <li>- 1A = Protofailles NNE-SSW dextres (cisaillement ductile)*</li> </ul>	NAMURIEN
MISE EN PLACE DES LEUCOGRANITES DE SAINT-SYLVESTRE ET DE SAINT-GOUSSAUD = 326 MA fluidalités magmatiques orientées N 110° E*		
	COMPRESSION NE-SW : <ul style="list-style-type: none"> <li>- plis droits NW-SE dans les schistes cristallins</li> </ul>	VISÉEN

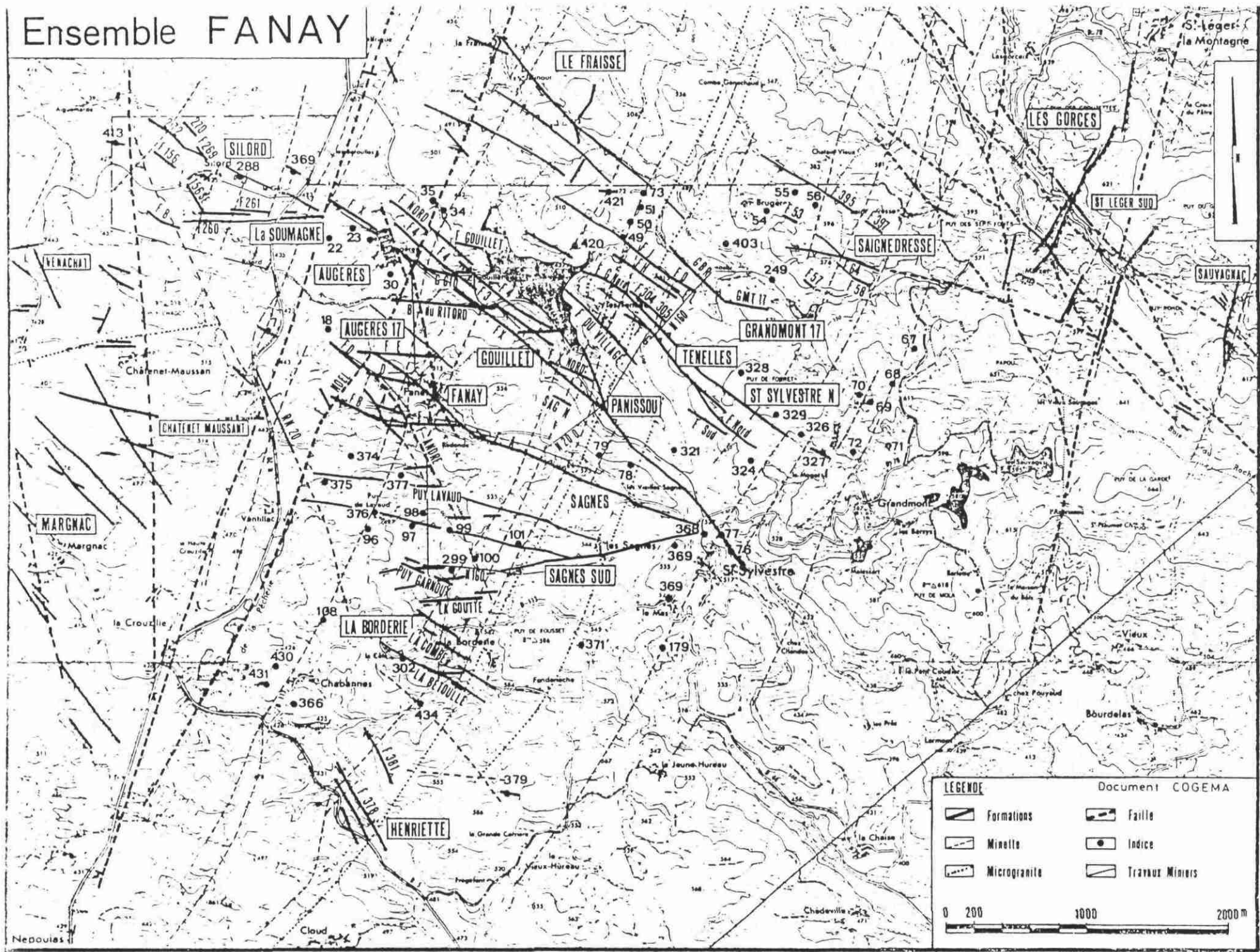
\* d'après MOLLIER et BOUCHEZ, 1982.

Figure 3

Figure 3 - SUCCESSION DES PHASES TECTONIQUES CASSANTES AFFECTANT LE GRANITE DE SAINT-SYLVESTRE.

		Age probable
7		<p>COMPRESSION E-W rejeu des décrochements de la compression WNW-ESE</p> <p>MIOCÈNE SUPÉRIEUR (phase alpine)</p>
6		<p>ÉOCÈNE INFÉRIEUR A MOYEN (phase pyrénéenne)</p>
5		
4		<p>DISTENSION NE-SW rejeu en failles normales des décrochements de la compression WNW-ESE</p> <p>MÉSOZOÏQUE</p>
3		<p>DISTENSION N-S à NW-SE failles normales NE-SW et rejeu en failles normales des décrochements de la compression WNW-ESE</p> <p>FIN DE L'AUTUNIEN A SAXONIEN</p>
		<p>Fin de la mise en place de l'uranium = 240 MA</p>
2		<p>COMPRESSION N-S à NNW-SSE décrochements NNW-SSE dextres et N-S à NNE-SSW sénestres.</p> <p>AUTUNIEN</p>
1		<p>COMPRESSION WNW-ESE décrochements E-W dextres et NW-SE sénestres.</p> <p>STÉPHANIEN TERMINAL</p>
		<p>Mise en place des filons de lamprophyre = 285 MA.</p>

# Ensemble FANAY



Document COGEMA

LEGENDE	
	Formations
	Minette
	Microgranite
	Faille
	Indice
	Travaux Miniers

0 200 1000 2000 m

Figure 4

Figure 5

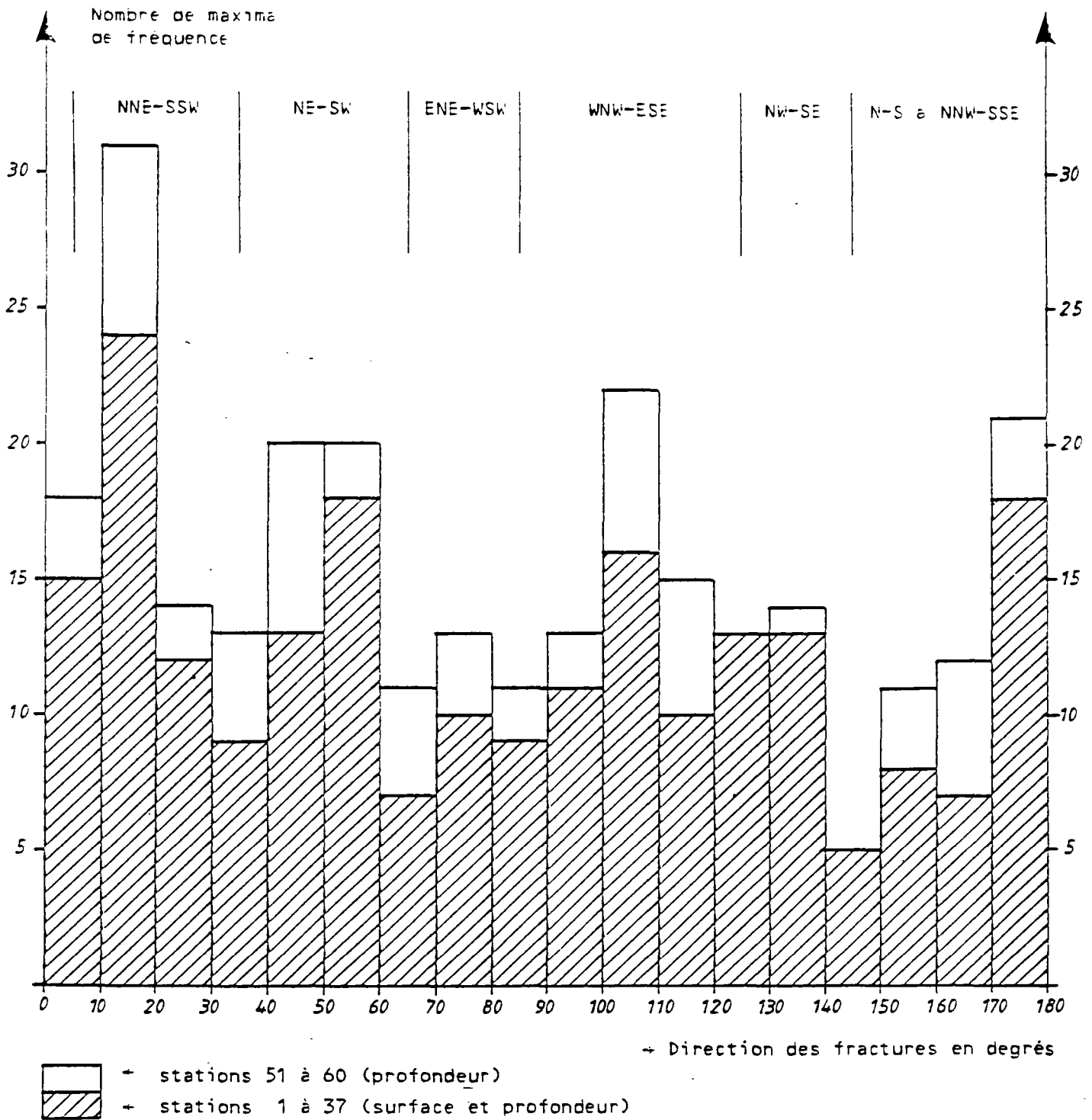
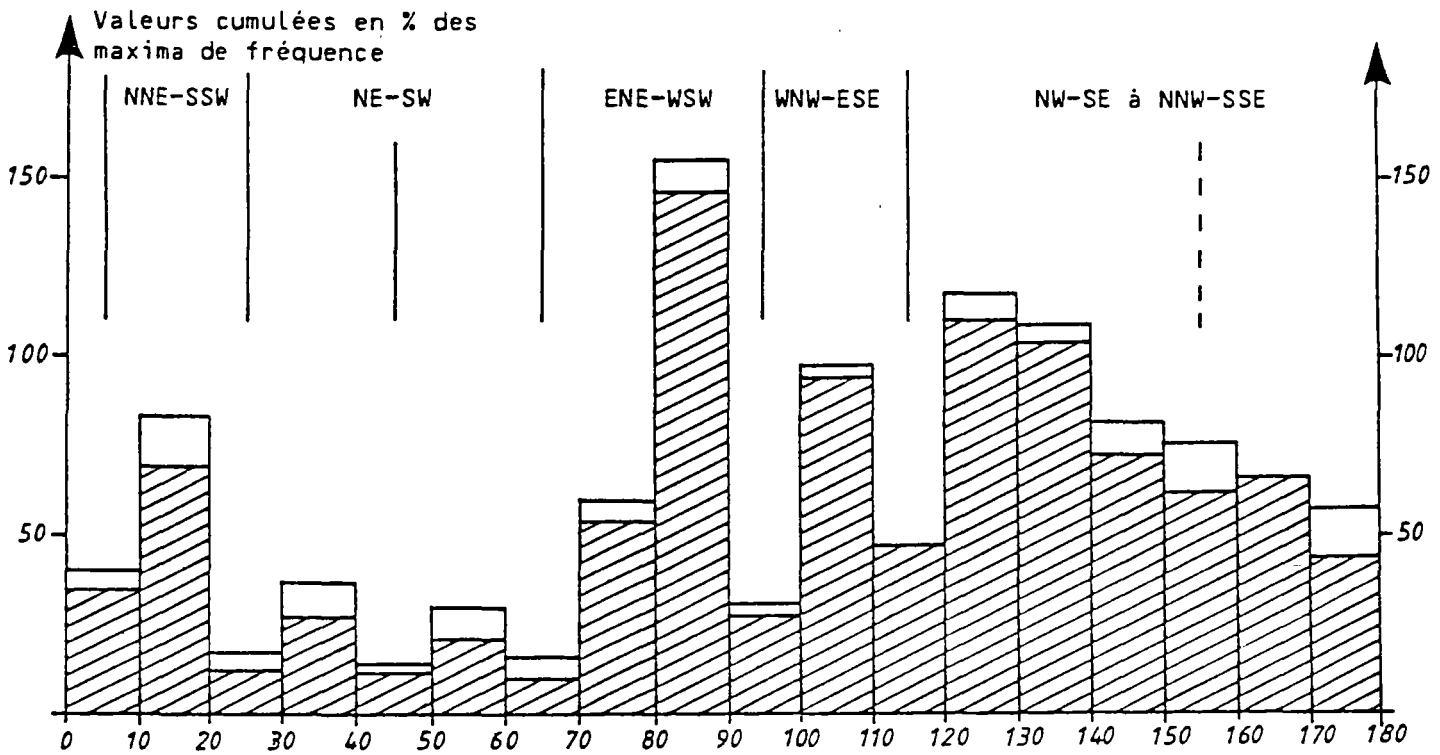
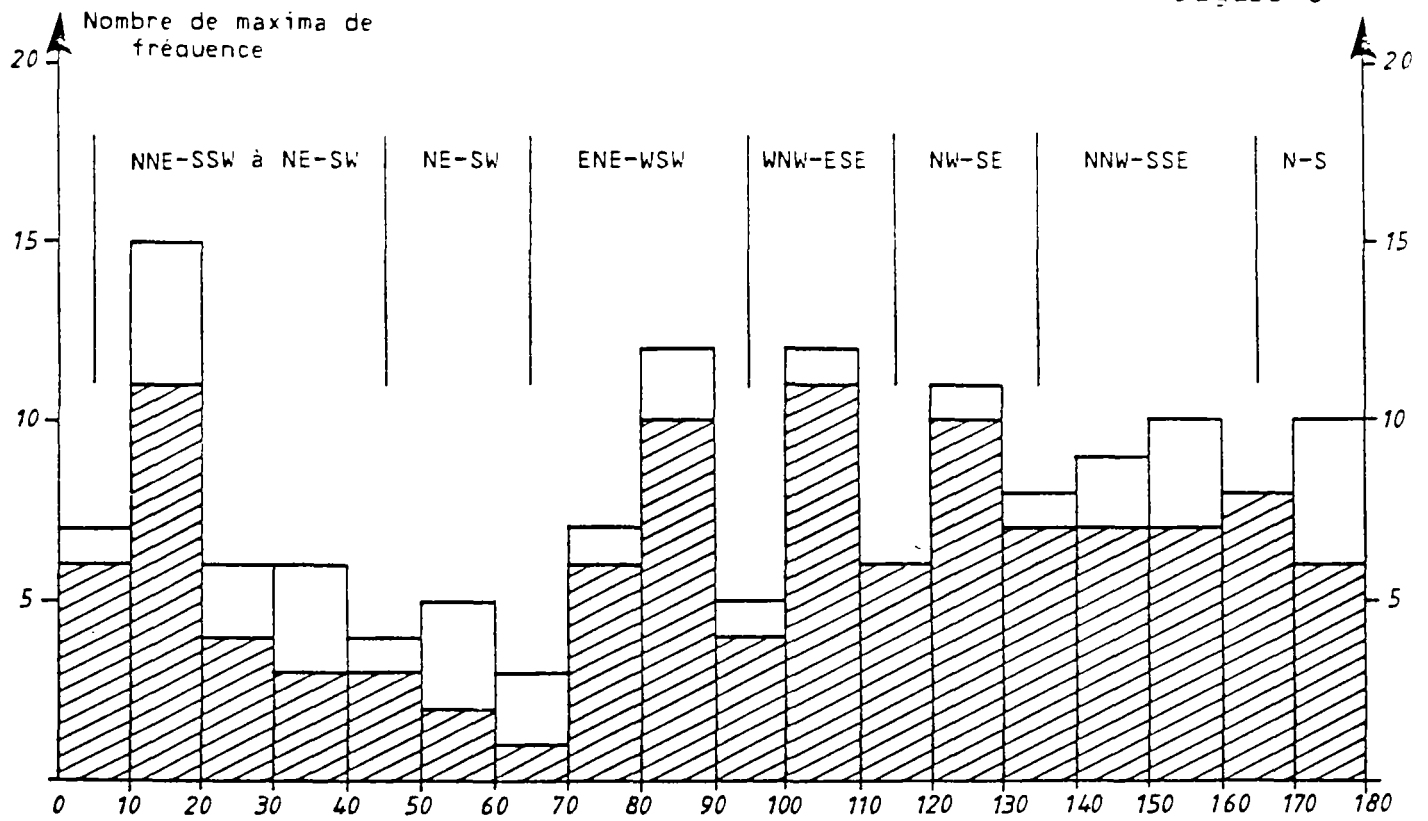


Figure 5 - FAMILLES DIRECTIONNELLES DE FRACTURES DANS LA MINE DE FANAY-AUGERES.  
 (Histogramme du nombre des maxima de fréquence de fractures).

Figure 6

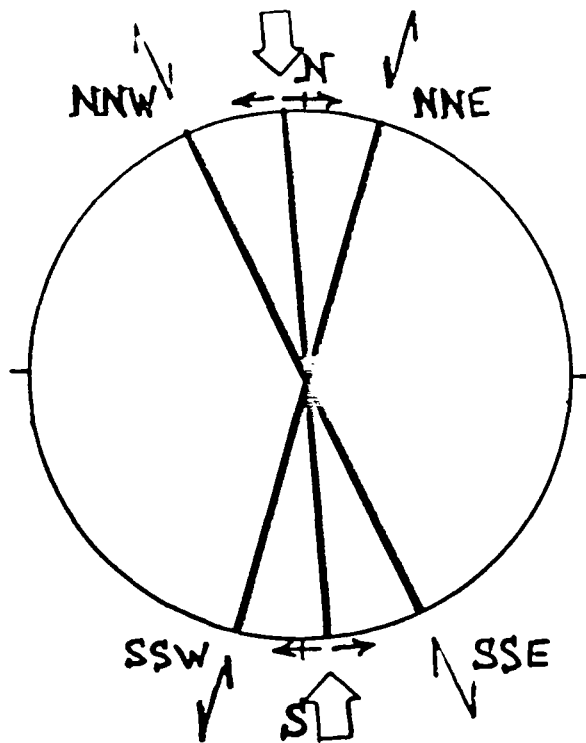


→ Direction des fractures en degrés

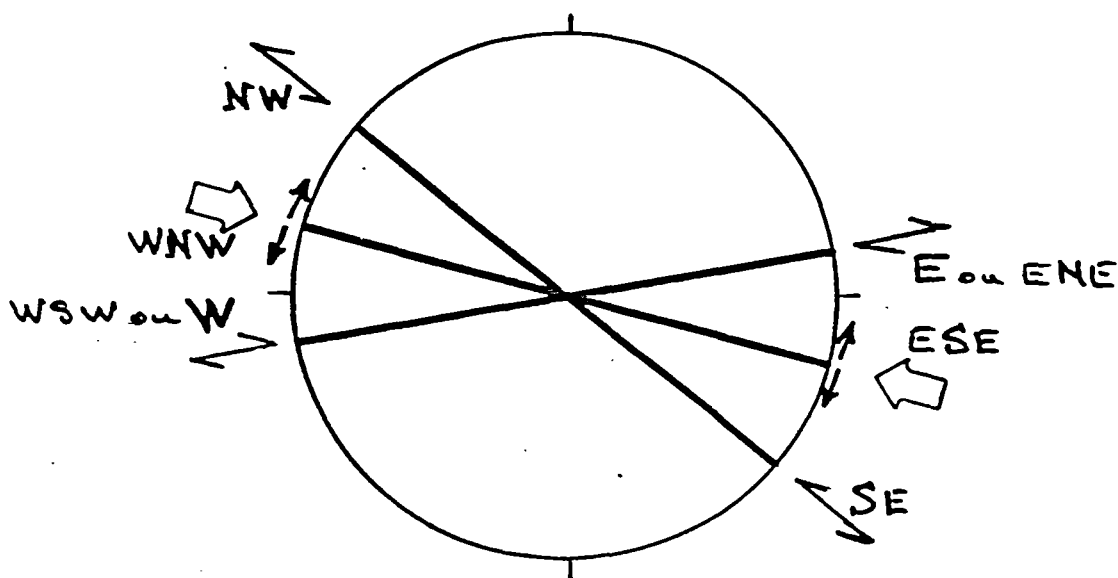
- + fractures obliques et à pendage faible ( $< 60^\circ$ )
- + fractures à pendage fort ( $\geq 60^\circ$ ).

Figure 6 - FAMILLES DIRECTIONNELLES DE FRACTURES DANS LA MINE DE MARGNAC (25 stations).

Figure 7 - MINES DE FANAY-AUGERES ET MARGNAC - COMPRESSIONS TARDI-HERCINIENNES.



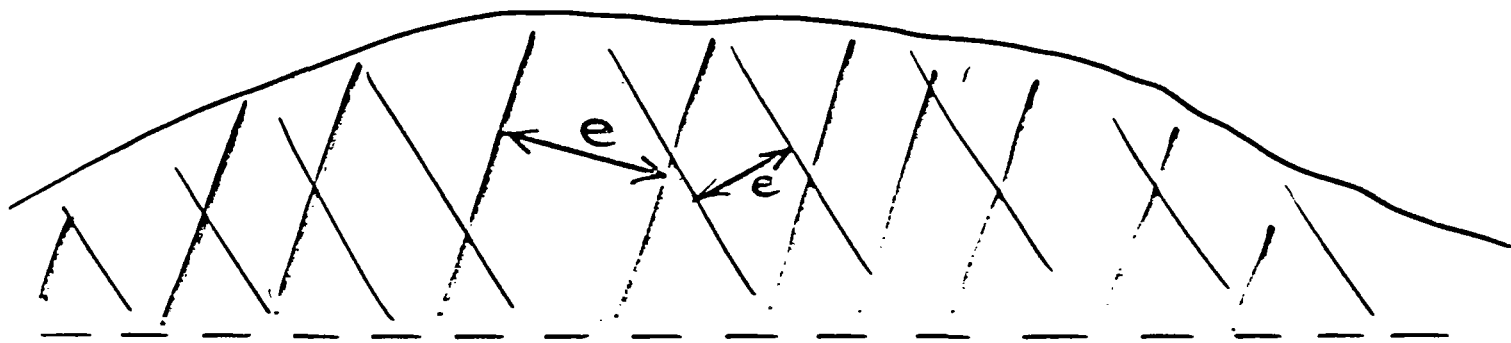
2 - COMPRESSION N-S.



1 - COMPRESSION WNW-ESE.

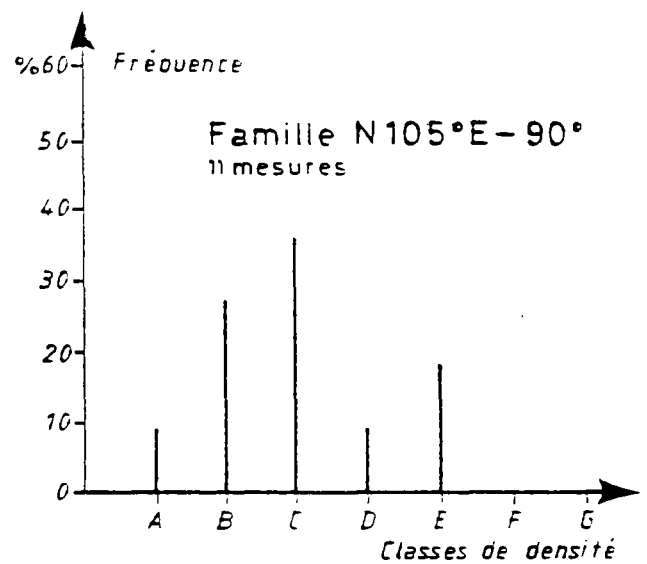
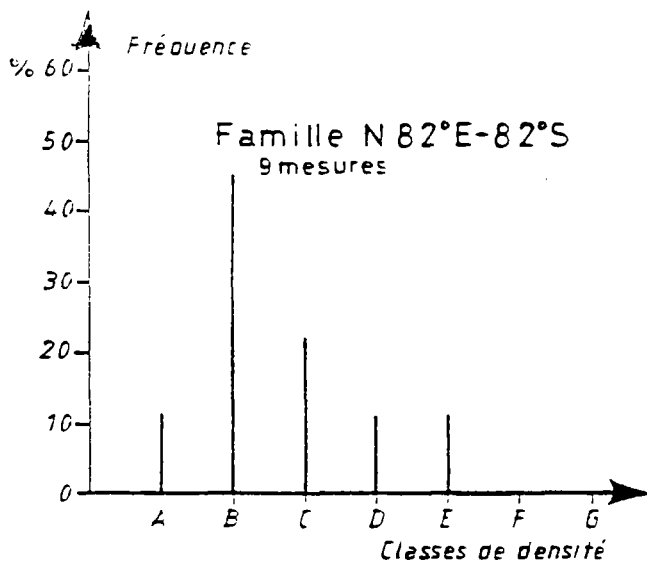


DEFINITION DE L'ESPACEMENT INTERFRACTURAL SUR UN AFFLEUREMENT.



- , fractures appartenant à la même famille directionnelle
- autre famille directionnelle
- e**      espacement interfractionnel

Figure 9



- Classe A :  $e < 0,2$  m
- Classe B :  $0,2 < e < 0,5$  m
- Classe C :  $0,5 < e < 1$  m
- Classe D :  $1 < e < 2$  m
- Classe E :  $2 < e < 5$  m
- Classe F :  $5 < e < 10$  m
- Classe G :  $10$  m  $< e$ .

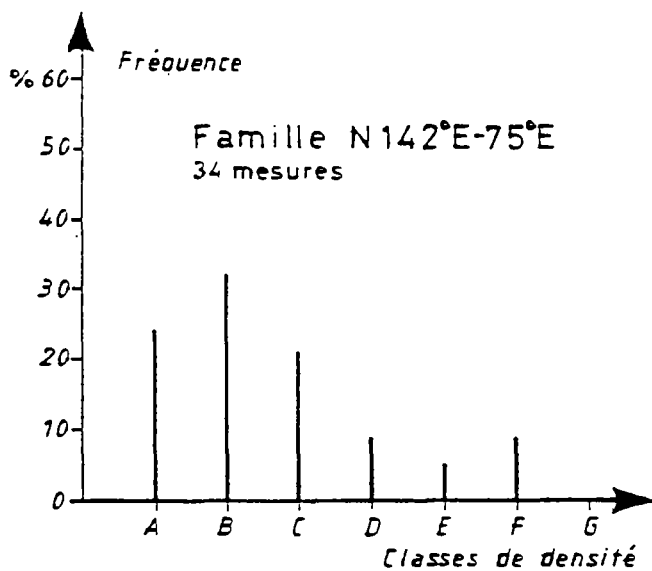


Figure 9 - HISTOGRAMMES DE DENSITE DE FRACTURATION DE LA STATION 14. Secteur : Puits Margnac ; niveau : - 225 m ; direction et longueur du relevé : N 75° E , 50 m.

FAMILLES DIRECTIONNELLES DE FRACTURES SUB-VERTICALES							
	Famille N-S à NNW-SSE N150° à 5°E	Famille NNE-SSW N5° à 25°E	Famille NE-SW N25° à 55°E	Famille ENE-WSW N55° à 90°E	Famille WNW-ESE N90° à 120°E	Famille NW-SE N120° à 150°E	Fractures obliques (NNW-SSE à N-S)
Station 54 Niveau - 200 m Ep. couv. = 80 m					<b>A</b> N115°E-88°S		
Station 56 Niveau - 240 m Ep. couv. = 90 m				<b>E</b> N88°E-65°N	<b>B</b> N118°E-88°S		<b>B</b> N164°E-45°W
Station 57 Niveau - 280 m Ep. couv. = 150 m	<b>A</b> N178°E-70°E				<b>B</b> N105°E-85°N	<b>A</b> N120°E-85°NE	<b>B et E</b> N172°E-45°W
Station 59 Niveau - 320 m Ep. couv. = 170 m		<b>A</b> N15°E-90°	<b>A et D</b> N40°E-80°SW	<b>B</b> N78°E-82°N	<b>B</b> N107°E-85°N		<b>B</b> N155°E-32°E

Classes d'espacement interfractural (Ei) :

- Classe A :  $E_i \leq 0,2$  m
  - Classe B :  $0,2 < E_i \leq 0,5$  m
  - Classe C :  $0,5 < E_i \leq 1$  m
  - Classe D :  $1 < E_i \leq 2$  m
  - Classe E :  $2 < E_i \leq 5$  m
  - Classe F :  $5 < E_i \leq 10$  m
  - Classe G :  $E_i > 10$  m
- Cases blanches = nombre de fractures inférieur à 10.  
- Ep. couv. = épaisseur de couverture (morts-terrains).

Figure 10 - MINE DE FANAY-AUGERES : ESPACEMENTS INTERFRACTURAIRES DANS LES STATIONS 54, 56, 57 ET 59 (Secteur au Sud du puits d'Augères).

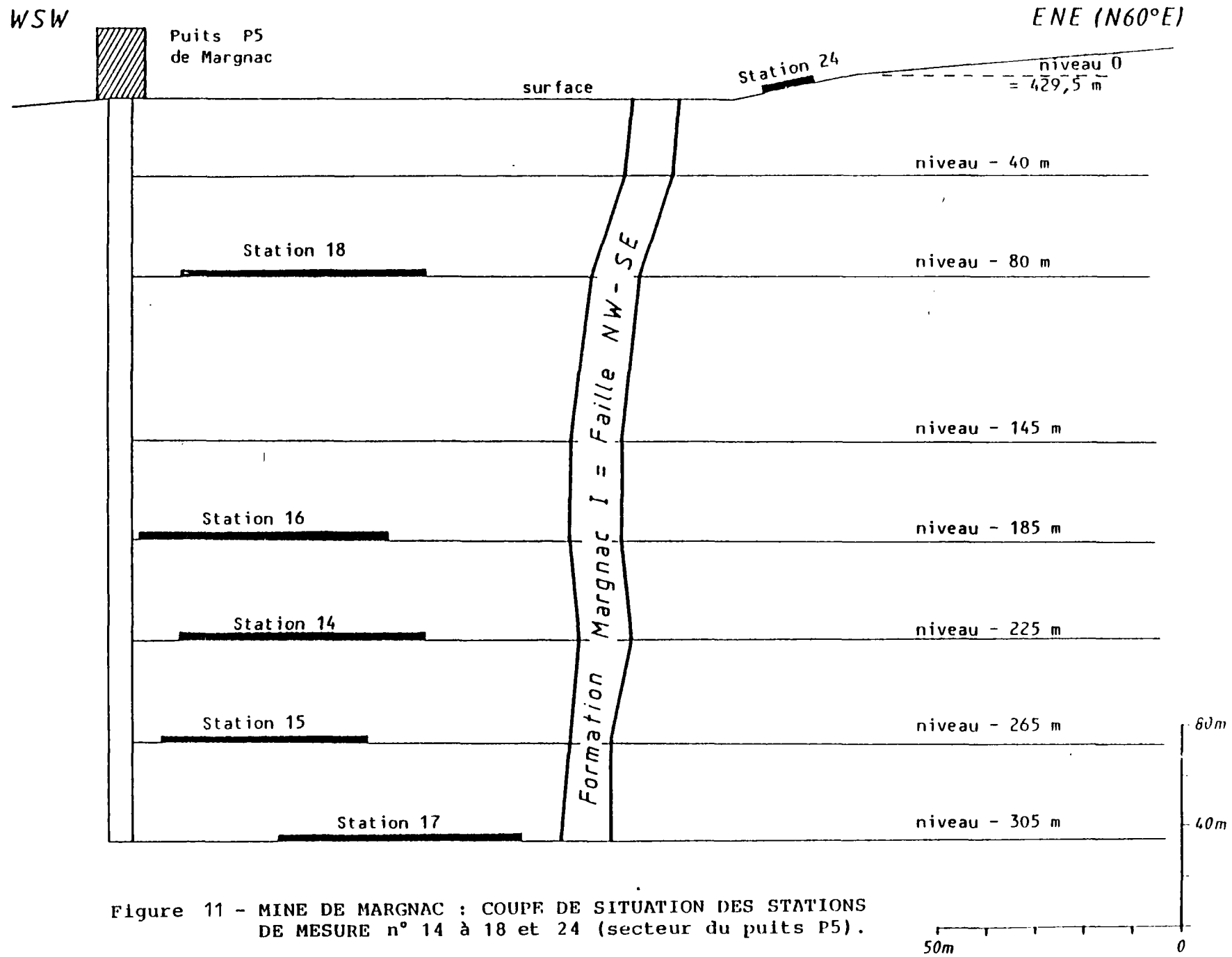


Figure 11 - MINE DE MARGNAC : COUPE DE SITUATION DES STATIONS DE MESURE n° 14 à 18 et 24 (secteur du puits P5).

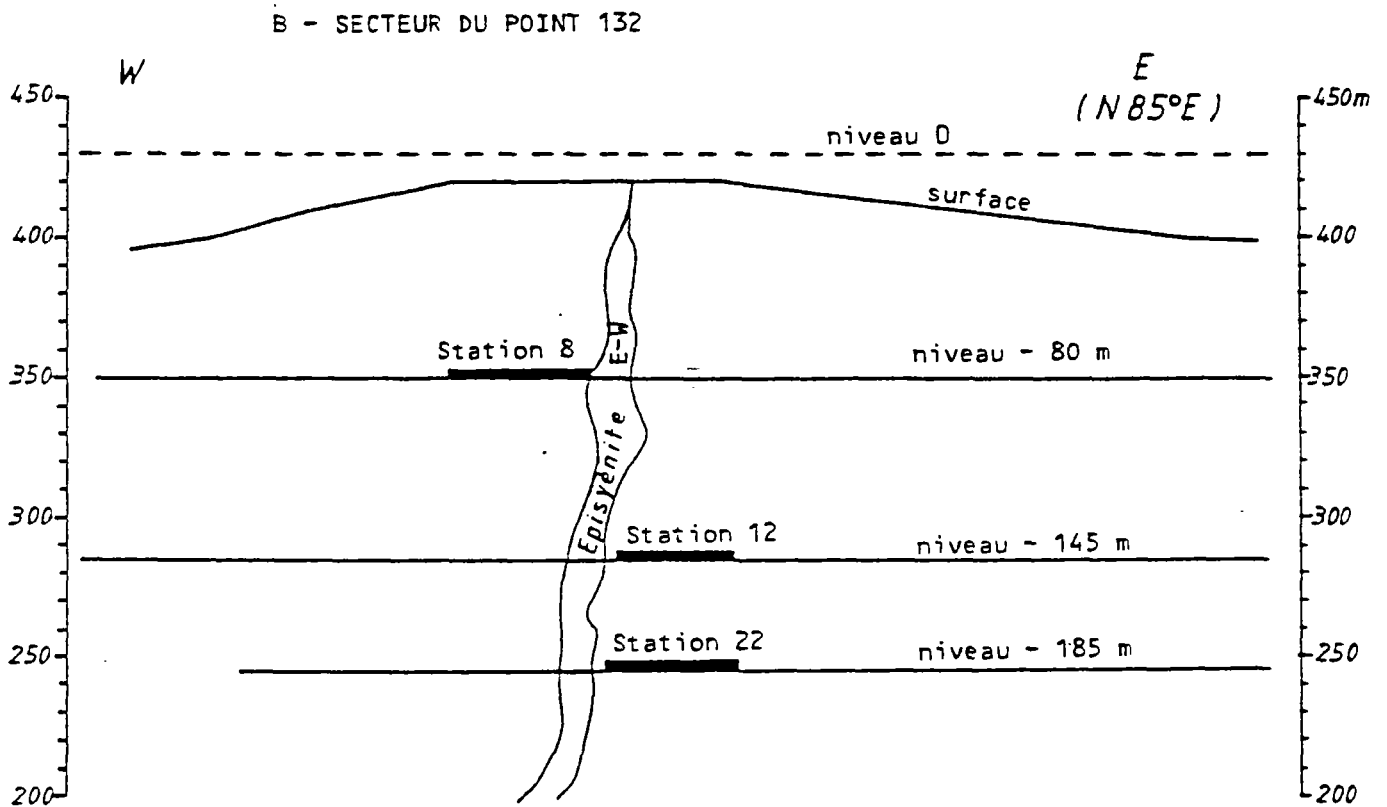
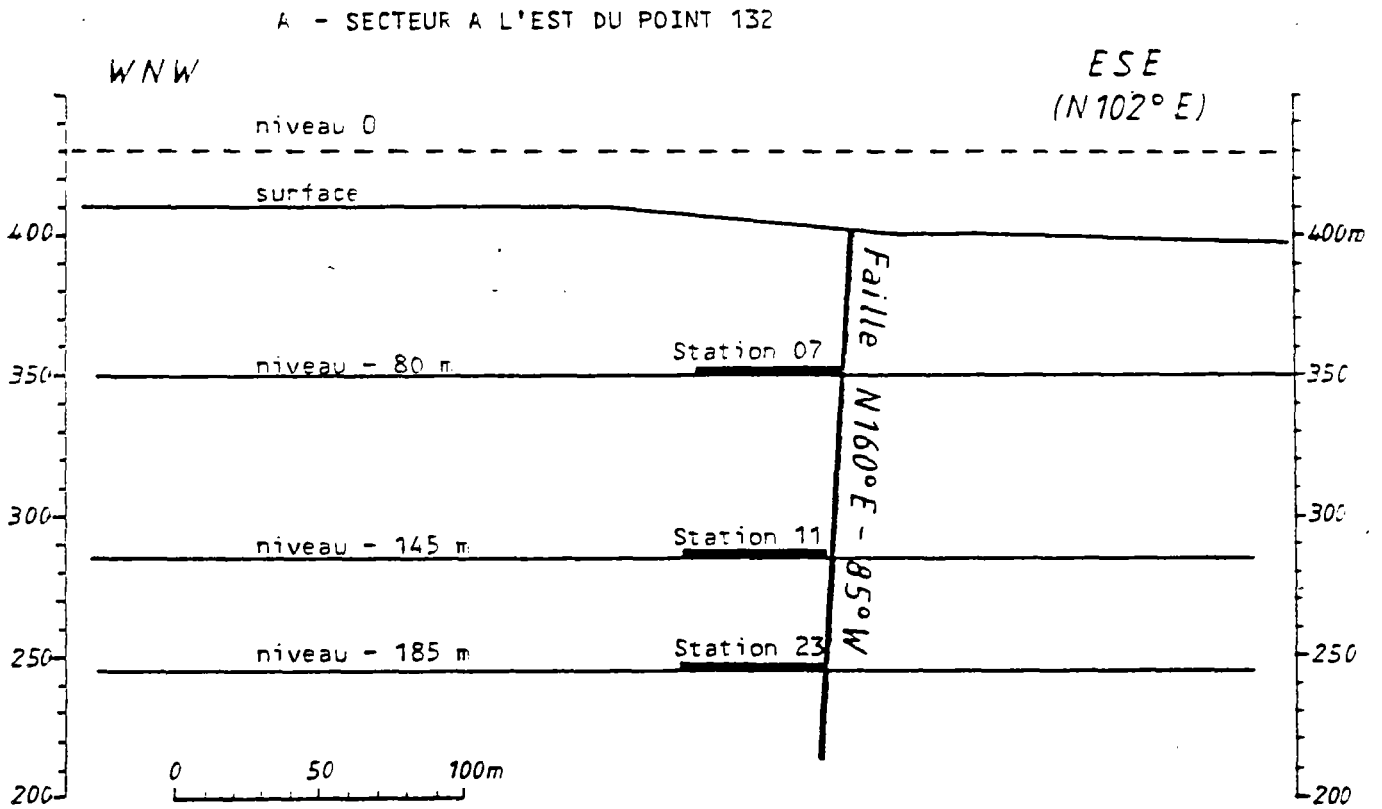
	Famille N-S à NNW-SSE N155° à 5°E	Famille NNE-SSW N5° à 25°E	Famille NE-SW N25° à 65°E	Famille ENE-WSW N65° à 95°E	Famille WNW-ESE N95° à 115°E	Famille NW-SE N115° à 155°E
Station 24 Surface	<b>B</b> N178°E-85°W			<b>B et E</b> N63°E-78°NW		
Station 18 Niveau - 80 m Ep. Couv. = 70 m		<b>B</b> N17°E-78°E			<b>A</b> N110°E-68°S	<b>B</b> N135°E-88°SW
Station 16 Niveau - 185 m Ep. couv. = 175 m						<b>B et E</b> N127°E-88°SW
Station 14 Niveau - 225 m Ep. couv. = 215 m				<b>B</b> N82°E-82°S	<b>C</b> N105°E-90°	<b>B</b> N142°E-75°NE
Station 15 Niveau - 265 m Ep. couv. = 255 m		<b>B</b> N10°E-70°E				<b>B</b> N132°E-80°NE
Station 17 Niveau - 305 m Ep. couv. = 295 m	<b>B</b> N163°E-87°E				<b>B</b> N113°E-75°N	<b>B</b> N128°E-80°SW

Classes d'espacement interfractural (Ei) :

- Classe A :  $E_i \leq 0,2$  m
  - Classe B :  $0,2 < E_i \leq 0,5$  m
  - Classe C :  $0,5 < E_i \leq 1$  m
  - Classe D :  $1 < E_i \leq 2$  m
  - Classe E :  $2 < E_i \leq 5$  m
  - Classe F :  $5 < E_i \leq 10$  m
  - Classe G :  $E_i > 10$  m
- Cases blanches = nombre de fractures inférieur à 10.  
- Ep. couv. = épaisseur de couverture (morts-terrains).

Figure 12 - MINE DE MARGNAC : ESPACEMENTS INTERFRACTURAIRES DANS LES STATIONS 14 à 18 et 24 (Secteur du puits P5).

Figure 13 - MINE DE MARGNAC : COUPES DE SITUATION DES STATIONS DE MESURE n° 7, 11, 23 et n° 8, 12 et 22.



	Famille N-S à NNW-SSE N155° à 5°E	Famille NNE-SSW N5° à 25°E	Famille NE-SW N°25° à 65°E	Famille ENE-WSW N65° à 95°E	Famille WNW-ESE N95° à 115°E	Famille NW-SE N115° à 155°E
Station 7 Niveau - 80 m Ep. couv. = 55 m	<b>B</b> N160°E-75°W			<b>C</b> N75°E-85°S		
Station 11 Niveau - 145 m Ep. couv. = 120 m	<b>B</b> N163°E-60°W					<b>B</b> N152°-88°SW
Station 23 Niveau - 185 m Ep. couv. = 160 m	<b>A</b> N157°E-80°W			<b>B</b> N85°E-70°N		

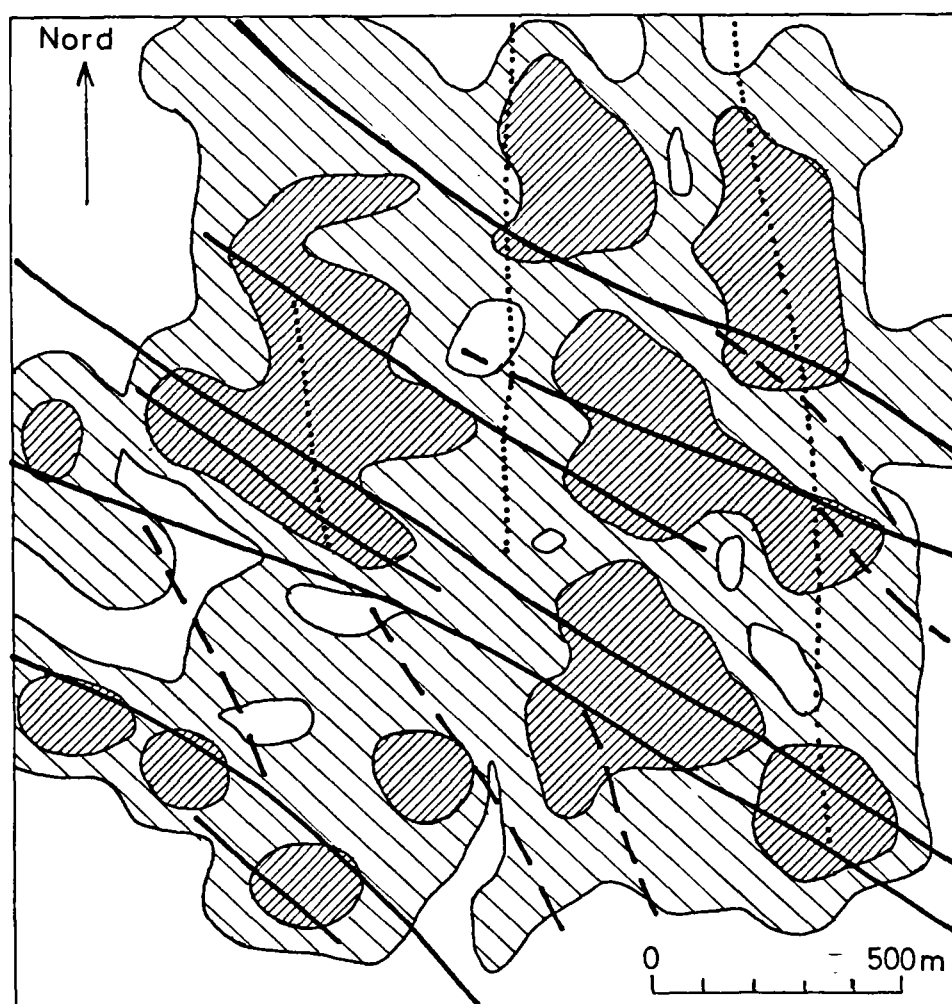
Classe d'espacement interfractural (Ei) :

- Classe A :  $E_i \leq 0,2$  m
- Classe B :  $0,2 < E_i \leq 0,5$  m
- Classe C :  $0,5 < E_i \leq 1$  m
- Classe D :  $1 < E_i \leq 2$  m
- Classe E :  $2 < E_i \leq 5$  m
- Classe F :  $5 < E_i \leq 10$  m
- Classe G :  $E_i > 10$  m.

- Cases blanches = nombre de fractures inférieur à 10.
- Ep. couv. = épaisseur de couverture (morts-terrains).

Figure 14 - MINE DE MARGNAC : ESPACEMENTS INTERFRACTURAUx DANS LES STATIONS 7, 11 et 23 (Secteur à l'Est du Point 132).

Figure 15 - RELATIONS ENTRE LES GRANDES FAILLES ET LES ZONES DE DENSITE RELATIVE DES FRACTURES D'ECHELLE INTERMEDIAIRE (DECAMETRIQUES A HECTOMETRIQUES) DANS LE GRANITE DE BASSIES.



- Grandes failles :

- faille WNW-ESE dextre
  - - faille NNW-SSE senestre
  - ..... faille N-S dextre de la compression NNE-SSW ultérieure.
- } compression NW-SE

- Zones de densité des fractures décimétriques à hectométriques WNW-ESE :

- Forte densité
- Densité moyenne
- Faible densité