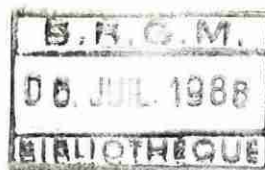


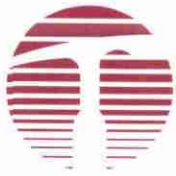


BRGM

étude du massif granitique
de Huelgoat
(Finistère)

application de critères géologiques
et structuraux à la prospection
hydrogéologique dans le socle





BRGM

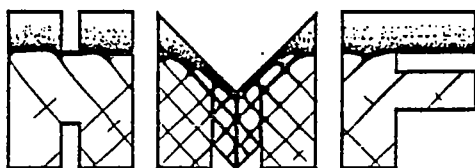
étude du massif granitique de Huelgoat (Finistère)

application de critères géologiques
et structuraux à la prospection
hydrogéologique dans le socle



C. Castaing
P. Dutartre
J. Fourniguet
J.F. Gouyet
C. Langevin
P. Loiseau
F. Pernel
T. Pointet

87 SGN 720 EAU



AVANT-PROPOS

Cette étude pluridisciplinaire qui a été réalisée en collaboration avec le SGN/GEO au cours de l'année 1987, fait partie du programme de recherches engagé par le SGN/EAU en Hydrogéologie des Milieux Fissurés (H.M.F.), Th. POINTET chef de projet, programme EG 04A financé par le Ministère de l'Industrie. Le département Géologie a assuré la réalisation de l'étude structurale (C. CASTAING) et de l'étude géomorphologique (J. FOURNIGUET). Le département Télédétection a effectué l'interprétation linéamentaire et l'étude géostatistique (P. DUTARTRE, J.F. GOUYET et P. LOISEAU). Le département Eau a réalisé les tests hydrogéologiques menés sur les zones témoins (mesures du gaz Radon), ainsi que la synthèse de l'étude (C. LANGEVIN et F. PERNEL).

Elle vise à mettre au point une méthode d'investigation simple et peu coûteuse, permettant d'orienter une campagne de forages sur un secteur de socle à l'aide de critères de potentialité aquifère. Il convenait de rechercher une procédure aisée de mise en cours qui ne nécessite pas de connaissances très poussées de la zone à prospecter. Deux types d'analyses ont été retenues pour déterminer ces critères :

- l'analyse structurale à travers la télédétection (SPOT) et avec des mesures de terrain ;
- l'analyse morphologique, incluant la prise en compte des altérites.

Des secteurs très favorables ont été sélectionnés pour essayer de valider l'ensemble de ces critères à l'aide d'une campagne de radon.

Le terrain d'étude, en l'occurrence le massif granitique de Huelgoat (Finistère), a été choisi pour plusieurs raisons :

- une extension de 110 km² permettant l'investigation complète du massif ;
- une bonne connaissance de ce massif sur les plans pétrographique, structural et géophysique ;
- un contexte morphologique favorable à l'analyse (Monts d'Arrée encaissants au NW et au SW, relief du granite à l'Est).

S O M M A I R E

RESUME

| | |
|---|-----------|
| 1 - ETUDE DU RESEAU LINEAMENTAIRE SUR IMAGE SPOT | 3 |
| 1.1 - INTRODUCTION | 3 |
| 1.2 - DONNEES GEOLOGIQUES DE TERRAIN | 3 |
| 1.2.1 - Pétrostructure du massif | 3 |
| 1.2.2 - Organisation et morphocinématique de la mésofracturation | 5 |
| 1.3 - INTERPRETATION LINEAMENTAIRE DE LA SCENE SPOT | 9 |
| 1.4 - ETUDE GEOSTATISTIQUE DES LINEAMENTS | 11 |
| 1.4.1 - Rappel de géostatistique | 11 |
| 1.4.2 - Etude directionnelle des linéaments | 12 |
| 1.4.3 - Etude variographique des linéaments | 13 |
| 1.4.4 - Etude des longueurs des linéaments | 15 |
| 1.4.5 - Corrélations entre les différentes familles de linéaments | 15 |
| 1.5 - CONCLUSIONS | 16 |
| | |
| 2 - ANALYSE GEOMORPHOLOGIQUE | 17 |
| 2.1 - INTRODUCTION | 17 |
| 2.2 - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET BREF APERCU GEOMORPHOLOGIQUE | 17 |
| 2.3 - PRINCIPES RETENUS POUR L'ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE | 18 |
| 2.4 - TRAVAUX ANALYTIQUES REALISES | 18 |
| 2.4.1 - Choix des descripteurs géomorphologiques | 18 |
| 2.4.2 - Etude de paléosurfaces | 19 |
| 2.4.2.1 - Identification des paléosurfaces | 19 |
| 2.4.2.2 - Etude des faciès d'altération | 21 |
| 2.4.3 - Dissection des reliefs | 22 |
| 2.4.4 - Réseau hydrographique | 22 |
| 2.4.4.1 - Hiérarchisation des drains | 23 |
| 2.4.4.2 - Segmentation des drains et analyse directionnelle par ordre hiérarchique | 23 |
| 2.4.4.3 - Analyse de la répartition des bassins versants | 23 |
| 2.4.4.4 - Analyse de la fréquence de drainage par unité de surface et par ordre | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3 - CHOIX DES ZONES TEMOINS POUR LA VALIDATION DES CRITERES | 27 |
| 3.1 - CHOIX DES SECTEURS SUR DES ARGUMENTS STRUCTURAUX | 27 |
| 3.2 - CHOIX DES SECTEURS SUR DES CRITERES GEOMORPHOLOGIQUES | 28 |
| 3.2.1 - Hiérarchisation des zones et des descripteurs | 28 |
| 3.2.1.1 - Délimitation des zones | 28 |
| 3.2.1.2 - Hiérarchisation des descripteurs | 31 |
| 3.2.2 - Délimitation des secteurs les plus favorables | 32 |
| 3.3 - SYNTHESE DES CHOIX | 33 |
| | |
| 4 - VERIFICATION DES INDICES DE POTENTIALITE "RADON" | 34 |
| 4.1 - JUSTIFICATION METHODOLOGIQUE | 34 |
| 4.2 - PRELEVEMENTS ET CONTRAINTES LIEES A LA METHODE | 34 |
| 4.3 - CRITIQUE STATISTIQUE DES MESURES | 35 |
| 4.4 - TRAITEMENT CARTOGRAPHIQUE DES MESURES | 39 |
| 4.5 - ANALYSE CARTOGRAPHIQUE DU RADON | 39 |
| 4.5.1 - Prise en compte de la mésofracturation | 39 |
| 4.5.2 - Confrontation des anomalies Radon et du réseau linéamentaire | 43 |
| 4.5.3 - Confrontation des anomalies Radon et de la topographie (1/10 000) | 44 |
| | |
| 5 - CONCLUSIONS GENERALES | 45 |
| 5.1 - DIFFICULTES DE SYNTHESE DES DIVERS RESULTATS | 45 |
| 5.2 - VALIDATION PARTIELLE DES CRITERES DE CHOIX DES SECTEURS-TESTS | 46 |
| Références bibliographiques | 48 |

Listes des figures

| | |
|---|----|
| Localisation du massif granitique de Huelgoat | 2 |
| Figure 1.1 - Péetrostructure du granite de Huelgoat | 4 |
| Figure 1.2 - Histogrammes de fréquence des directions des fractures des linéaments | 6 |
| Figure 1.3 - Etude morphocinématique de la fracturation | 8 |
| Figure 1.4 - Réseau des linéaments SPOT | 10 |
| Figure 1.5 - Exemple de variogramme | 11 |
| Figure 1.6 - Variogrammes et histogrammes des linéaments SPOT | 14 |
| Figure 2.1 - Distribution altimétrique des sommets et des replats du massif granitique de Huelgoat | 20 |

| | |
|--|----|
| Figure 2.2 - Distribution directionnelle des segments d'ordre 1 du réseau hydrographique du massif d'Huelgoat | 25 |
| Figure 2.3 - Distribution directionnelle de l'ensemble du réseau hydrographique segmenté - Massif granitique de Huelgoat | 25 |
| Figure 3.1 - Réseau linéaments favorables | 29 |
| Figure 3.2 - Zones à fort potentiel hydrogéologique théorique | 30 |
| Figure 4.1 - Histogramme normal et paramètres statistiques pour les activités volumiques mesurées à Berrien | 36 |
| Figure 4.2 - Histogramme normal et paramètres statistiques pour le Crann | 36 |
| Figure 4.3 - Histogramme log-normal - Fréquences cumulées et droite de Henry pour les mesures de Berrien | 37 |
| Figure 4.4 - Histogramme log-normal - Fréquences cumulées et droite de Henry pour le Crann | 38 |
| Figure 4.5 - Mésofracturation relevée sur les secteurs de Berrien (A) et du Crann (B) | 40 |
| Figure 4.6 - Carte de prospection du gaz Radon dans les sols secteur de Berrien | 41 |
| Figure 4.7 - Carte de prospection du gaz Radon dans les sols secteur du Crann | 42 |

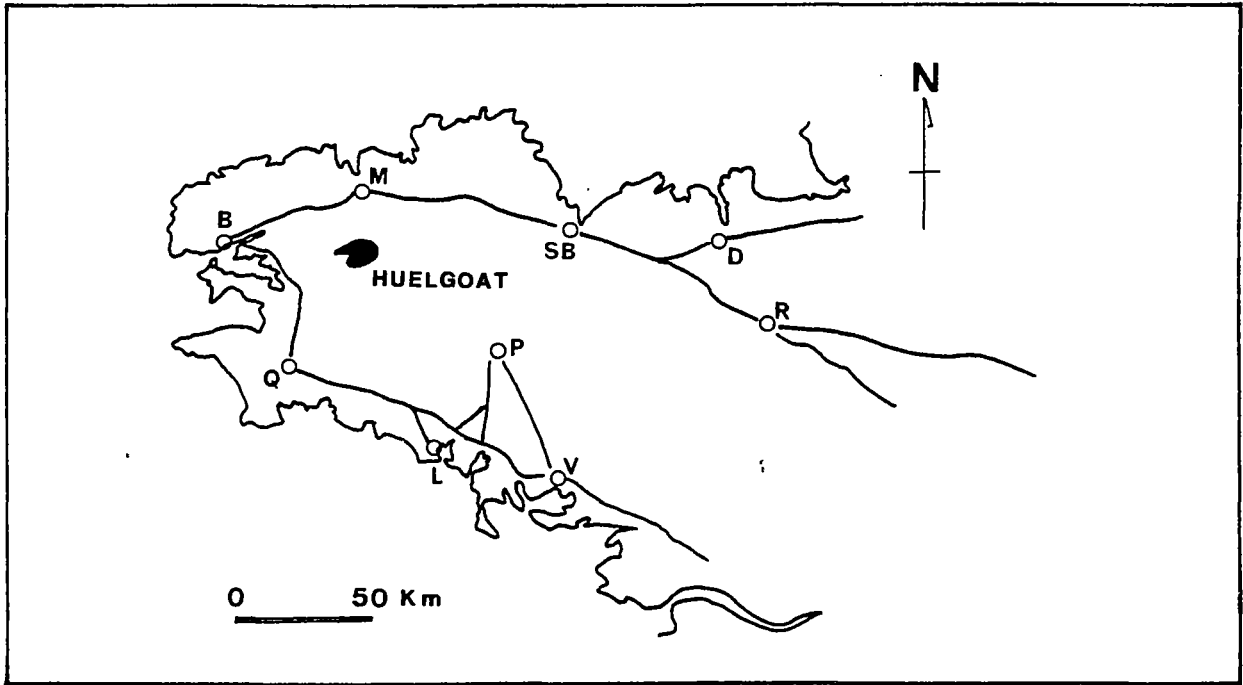
Liste des planches

Hors texte :

| | |
|-------------|---|
| Planche I | Carte altimétrique des sommets et replats du massif de Huelgoat |
| Planche II | Carte schématique des faciès superficiels du granite de Huelgoat |
| Planche III | Carte de déclivité du massif de Huelgoat - Isovaleurs calculées sur un semi de points espacés de 500 m |
| Planche V | Carte de la fréquence de drainage sur le massif de Huelgoat : ordre 1 |
| Planche VI | Carte de la fréquence de drainage sur le massif de Huelgoat : ordres cumulés |
| Planche VII | Zones à fort potentiel hydrogéologique théorique sur le massif de Huelgoat -descripteurs géomorphologiques- |

Dans le texte :

| | | |
|------------|--|----|
| Planche IV | Réseau hydrographique hiérarchisé (Strahler) et segmenté du massif de Huelgoat | 24 |
|------------|--|----|



LOCALISATION DU MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT
BRETAGNE CENTRALE - FINISTERE

R E S U M E

Ce rapport est une étude méthodologique destinée à la détermination d'indices de potentialité aquifère faciles et rapides à acquérir au début d'une campagne de prospection hydrogéologique dans un socle fracturé.

Une analyse structurale et une analyse géomorphologique ont été effectuées sur l'ensemble de la superficie du massif de Huelgoat (Finistère, Bretagne, France) à l'aide d'une image satellitaire SPOT, de cartes topographiques et d'observations de terrain.

Les critères les plus favorables à l'existence d'un milieu fracturé aquifère sont les suivants :

a) critères structuraux :

- les "paquets" de linéaments révélés par une étude géostatistique ;
- l'orientation relative de ces linéaments par rapport à la contrainte régionale principale la plus récente ;

b) critères géomorphologiques :

- la présence en surface d'une roche décomprimée et altérée ;
- la conservation d'une paléosurface et des paléoaltérations ;
- une incision du relief qui n'ait pas détruit les faciès et les surfaces favorables ;
- le développement du réseau hydrographique dont la densité est fonction du relief et de la prédominance du ruissellement sur l'infiltration.

Une étude de la perméabilité du socle (fractures) a été réalisée après avoir sélectionné deux secteurs kilométriques avec tous les critères favorables. La technique utilisée a été celle du Radon (campagne semi-tactique).

La résolution n'était pas suffisante pour individualiser des fractures mais des anomalies Radon discrètement orientées et des valeurs anormales élevées permettent de supposer que de nombreuses fractures du socle sont hydrauliquement actives dans ces zones.

1 - ETUDE DU RESEAU LINEAMENTAIRE SUR IMAGE SPOT

1.1 - INTRODUCTION

Il est actuellement admis que l'approche de la mégafracturation d'un massif rocheux non affleurant, passe par une étude de télédétection mettant en évidence un réseau de discontinuités linéamentaires, représentatif (ou non) de cette mégafracturation qui intéresse au premier chef les hydrogéologues des milieux fissurés.

Les vérifications de terrain du réseau linéamentaire n'étant pas toujours évidentes du fait des conditions d'affleurement et du changement d'échelle d'observation, nous avons abordé le problème de la signification de ces linéaments avec l'aide de la géostatistique.

L'objet d'études choisi est le massif granitique de Huelgoat (Massif armoricain), ceci pour deux raisons essentielles : il est géologiquement bien connu (études pétrostructurale et morphocinématique de la fracturation), et il représente une entité bien délimitée, intéressante aux yeux des hydrogéologues et géomorphologues par les rapprochements qu'il est a priori facile d'établir avec les structures primaires et la fracturation primaire.

Après le rappel des données de terrain, nous présentons les modalités et les résultats de l'interprétation linéamentaire, puis l'analyse géostatistique de ces linéaments. Cette analyse comporte des études directionnelles, variographiques, dimensionnelles et relationnelles entre les différentes familles de linéaments, avec le souci majeur de se référer, chaque fois que cela est possible, aux réalités du terrain.

1.2 - DONNEES GEOLOGIQUES DE TERRAIN

1.2.1 - Pétrostructure du massif

Le massif de Huelgoat est constitué de trois unités concentriques se distinguant par leurs caractères pétrographiques et géochimiques : le granite de Huelgoat s.s., le granite de La Feuillée et le granite du Cloître (CASTAING et al., 1987) (fig. 1.1.).

PETROSTRUCTURE DU GRANITE DE HUELGOAT

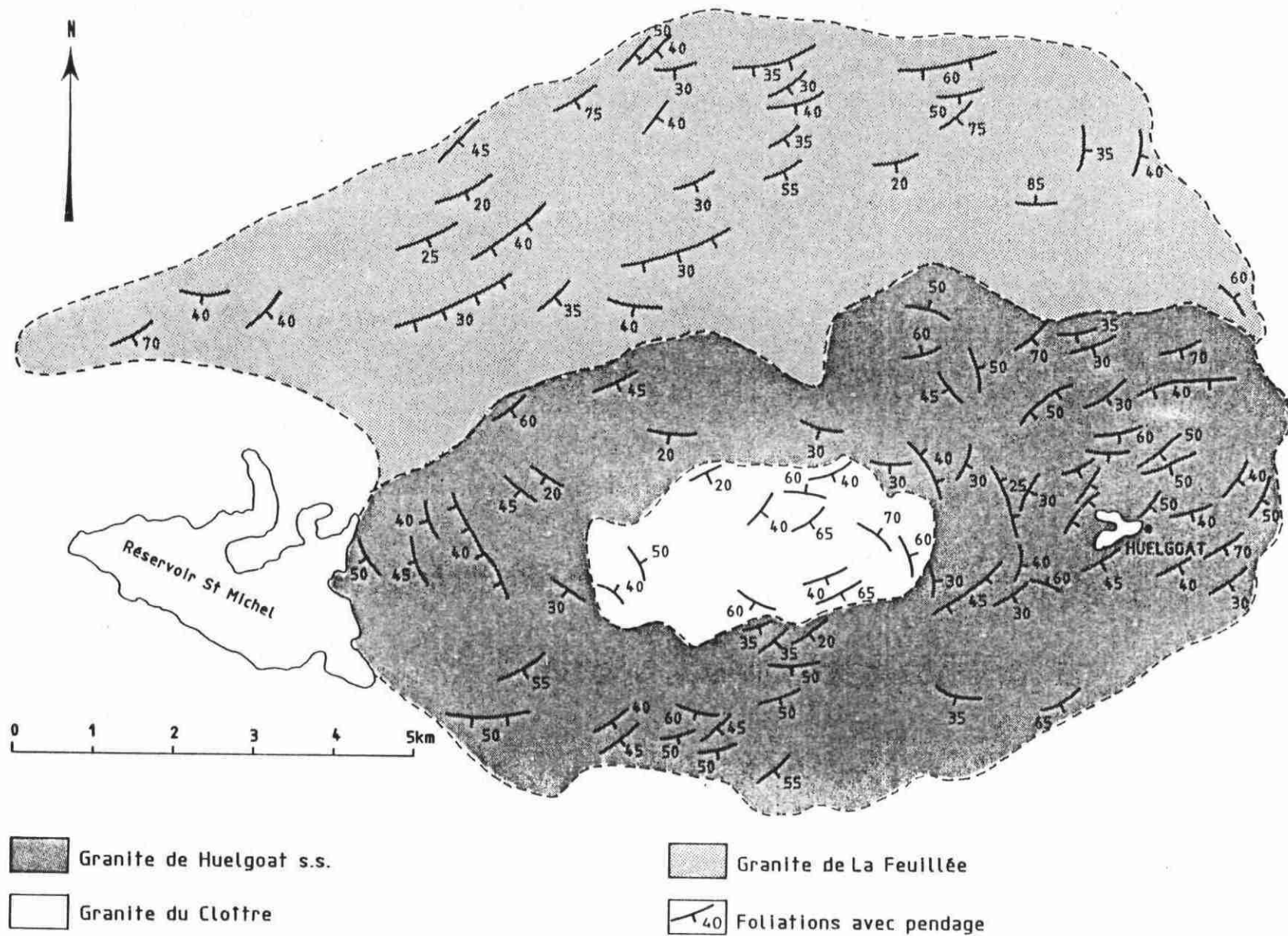


Fig. 1.1

- Le granite de Huelgoat s.s. correspond à un monzogranite porphyroïde à biotite et cordiérite montrant une légère évolution centrifuge et une forte hydrothermalisation dans sa partie occidentale.
- Le granite de La Feuillée est constitué d'un monzogranite à gros grain, évoluant de façon centrifuge d'un pôle mésocrate à biotite dominante à un pôle leucocrate à muscovite.
- Le granite du Cloître représente un monzogranite moyennement à finement grenu, évoluant d'Est en Ouest, d'un pôle mésocrate à biotite dominante à un pôle leucocrate à muscovite et tourmaline.

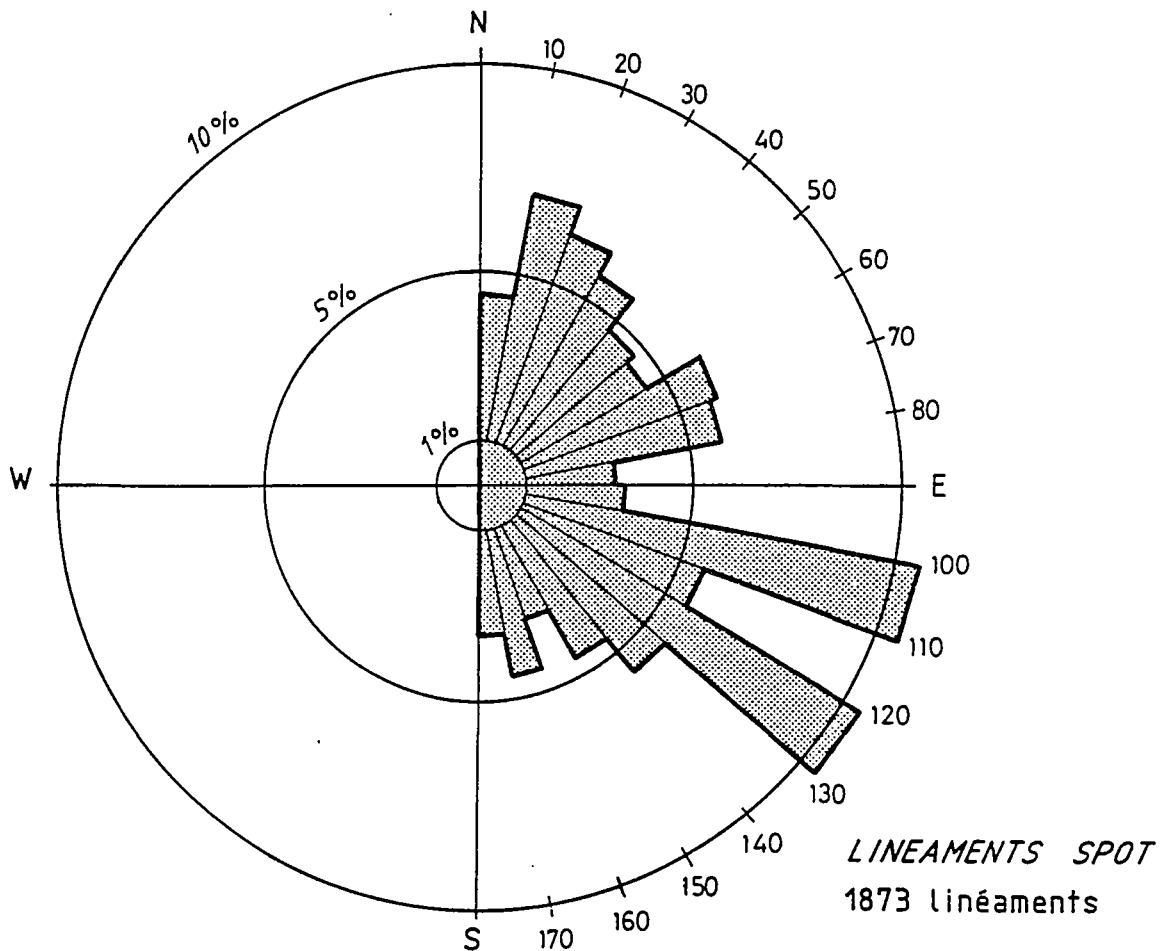
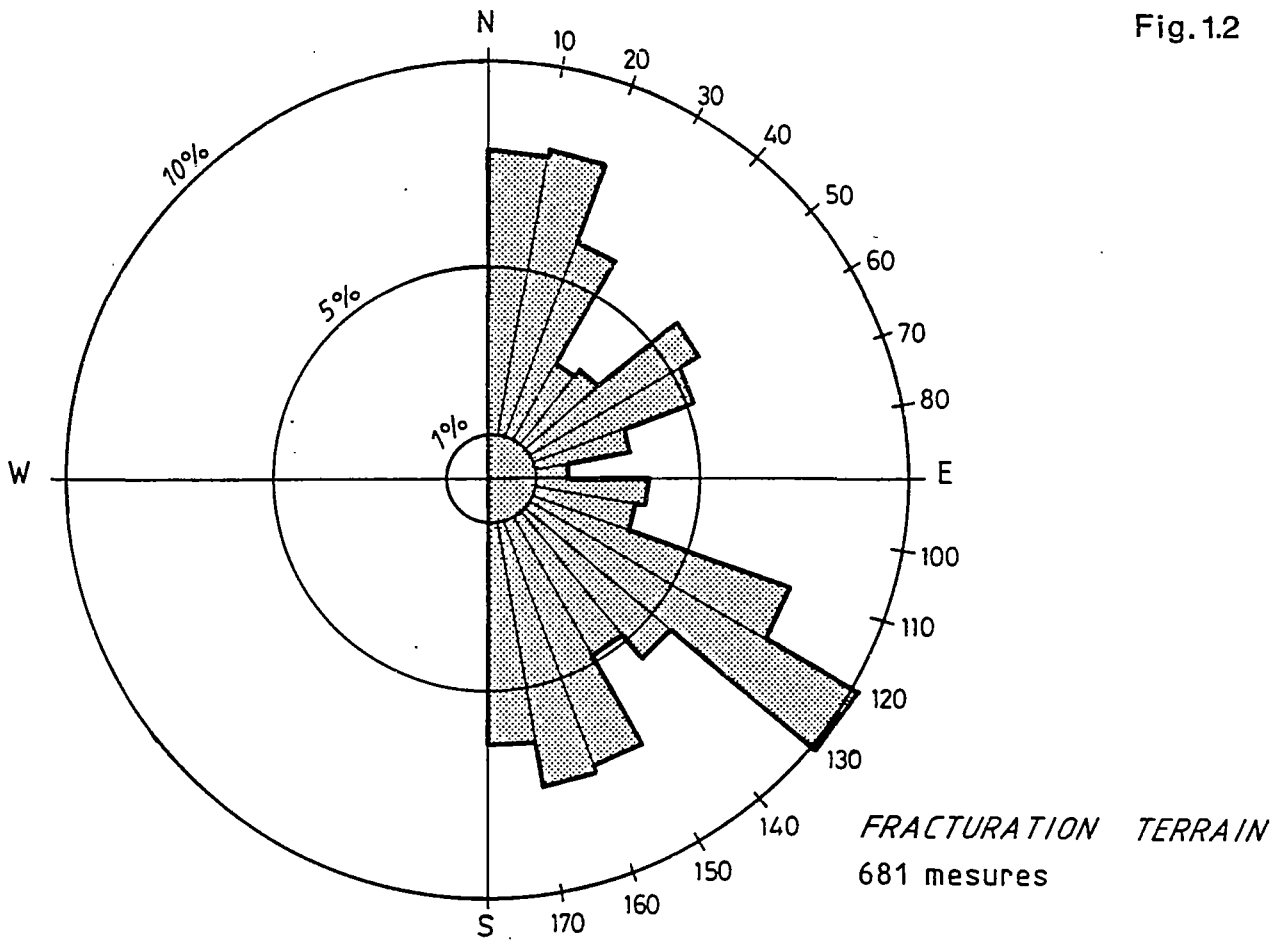
Les structures magmatiques primaires représentées par les fluidalités et les orientations préférentielles des enclaves microgrenues et des schlierens de biotites, représentent des structures d'écoulement du magma. Elles montrent une orientation généralisée N70°E dans le granite de La Feuillée, par contre, elles épousent globalement les contours des granites de Huelgoat s.s. et du Cloître (fig. 1.1).

Cet agencement hélicoïdal central, passant en continuité directionnelle avec les schistes de l'encaissant, est significatif d'une mise en place syntectonique, synchrone de la déformation régionale, le granite de Huelgoat étant monté à la manière d'une "bulle", traversant les séries du Paléozoïque inférieur qui ont adopté ainsi une structure anticlinale.

Cette forme générale en "bulle" est en accord avec les données gravimétriques qui montrent un enracinement dans le quart Nord-Est du massif. La prise en compte du plongement des structures magmatiques, de l'existence des enclaves de cornéennes représentant l'encaissant du granite, et de l'extension de l'auréole du métamorphisme de contact, permettent de faire l'hypothèse d'une surface d'érosion actuelle se situant dans la partie supérieure de la coupole granitique.

1.2.2 - Organisation et morphocinématique de la mésofracturation

La mésofracturation (échelle de l'affleurement) du granite de Huelgoat se répartit en quatre familles directionnelles, d'orientations moyennes, par ordre d'importance décroissante (fig. 1.2) :



HISTOGRAMMES DE FREQUENCE DES DIRECTIONS DES FRACTURES ET
DES LINEAMENTS

- N 120° E pendage N 75° ;
- N 10° E pendage E 75° ;
- N 165° E pendage vertical ;
- N 60° E pendage S 80°.

A ces quatre familles subverticales il faut rajouter une famille de fractures subhorizontales renforcée en surface par les phénomènes de décompression.

Cette mésofracturation mesurée sur le terrain, correspond dans la majorité des cas à des diaclases, parfois ayant joué en ouverture et soulignées alors par des filons, parfois ayant fonctionné en faille avec formation de plans striés permettant de déterminer le sens de mouvement et d'en déduire les différentes directions de compression ou de distension (fig. 1.3).

On met ainsi en évidence trois épisodes cassants distincts :

- **une compression NW-SE** se matérialisant par l'apparition de la famille de fractures N 120°E fonctionnant le plus souvent en décrochements senestres mais aussi en traction avec ouverture et mise en place de filons de quartz et de microdiorite ;
- **une compression N-S** responsable de la formation et du fonctionnement en décrochements conjugués des familles de fractures N 165°E (dextre) et N 10°E (senestre) ;
- **une distension NE-SW** faisant rejouer en failles normales les familles de fractures N 120°E et N 165°E.

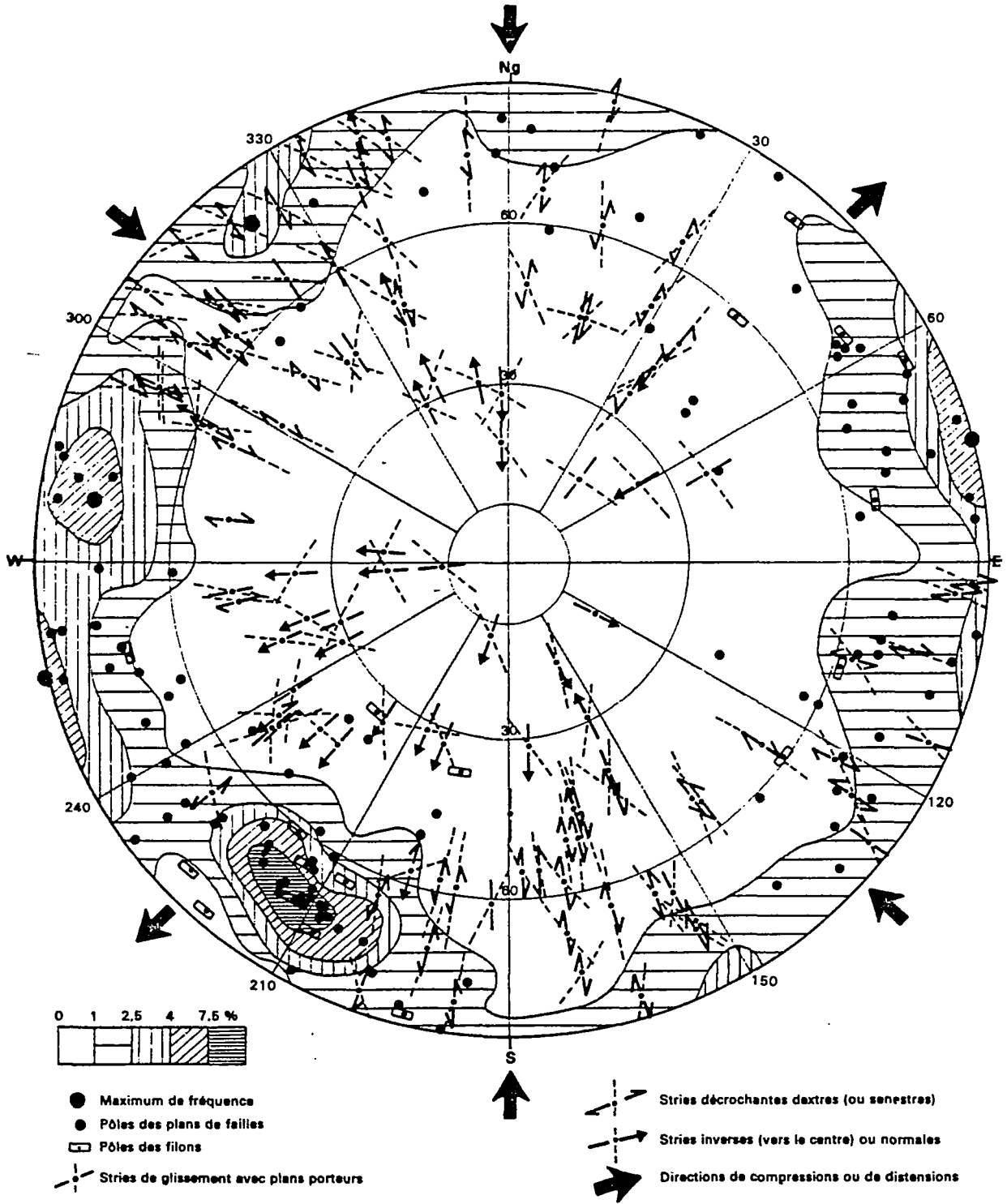
Ces familles (N 120°E et N 165°E) sont subparallèles à la direction de la compression actuelle orientée en moyenne NW-SE (1) et peuvent de ce fait avoir un rôle majeur en hydrogéologie, étant donné leur fonctionnement éventuel en traction.

En résumé les familles N 120°E et N 165°E ont fonctionné et peuvent encore fonctionner en extension entraînant des possibilités d'ouverture, les familles N 10°E et surtout N 60°E ont uniquement fonctionné en compression (il

(1) -----

(σ_1 et σ_2 varient de N 105° à N 175° d'après les mesures de CORNET, 1982; PINE (R.J.) et al., 1983; PHILIP (H.), 1983)

Fig.1.3



ETUDE MORPHOCINEMATIQUE DE LA FRACTURATION

1.3 - INTERPRETATION LINEAMENTAIRE DE LA SCENE SPOT

Nous avons établi une carte aussi exhaustive que possible des discontinuités radiométriques agencées de manière linéaire sur l'image SPOT 027/252 du 02.11.1986, en éliminant autant que possible les alignements d'origine anthropique. Pour réaliser cette carte, il a fallu élaborer un document permettant de valoriser au mieux les variations de contrastes présents dans l'image.

A partir des données numériques SPOT, une composition colorée standard fausses couleurs à 1/50 000 a été réalisée. Cette composition a été optimisée par un étalement dynamique linéaire qui a amélioré le contraste de chaque canal et facilité la détermination de points d'amers nécessaires à la correction géométrique permettant de recalculer l'image sur le fond topographique IGN à 1/50 000 disponible.

Les techniques de rehaussement d'image par filtrages directionnels ont été abandonnées car une grande partie des discontinuités qui étaient mises en évidence correspondaient au parcellaire, créant ainsi un bruit de fond important préjudiciable à l'interprétation des données résultantes.

De ce fait, seul un filtre hautes fréquences a été calculé sur les trois canaux de l'image SPOT et ajouté à ceux-ci de manière à rehausser toutes les faibles variations des images et d'en améliorer le piqué.

Une analyse linéamentaire a été réalisée (fig. 1.4) sur une composition colorée de ces images ainsi rehaussées. Elle est basée sur deux critères :

- éviter tout a priori sur les directions à mettre en évidence et relever chaque variation linéaire perceptible sur l'image qu'elle qu'en soit l'orientation ;
- tracer les linéaments de manière très analytique, c'est-à-dire là où ils étaient parfaitement identifiables.

RESEAU DES LINEAMENTS SPOT

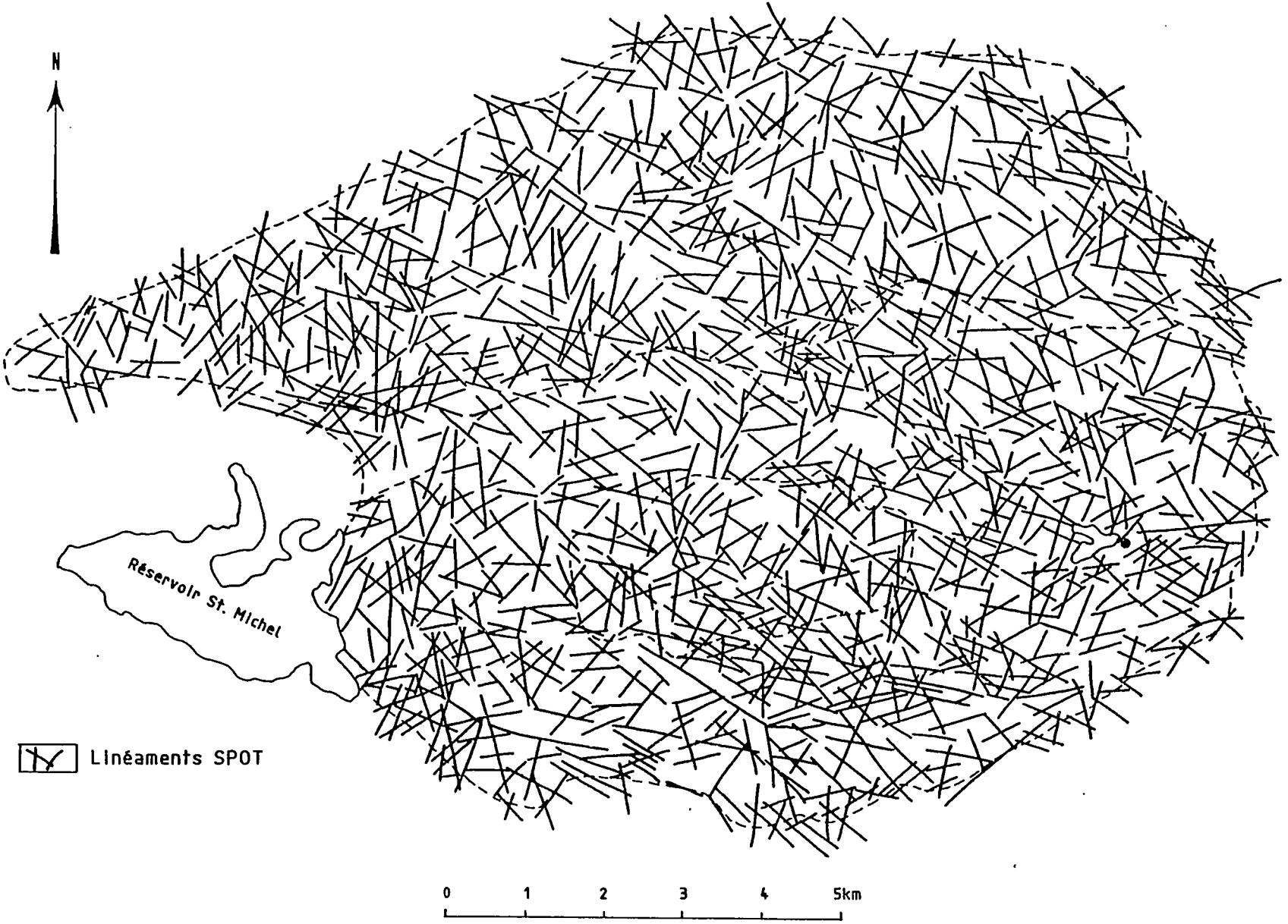


Fig. 14

Dans la mesure du possible, les alignements d'origine anthropique n'ont pas été représentés. Cependant la résolution de SPOT (20 mètres de mode multispectral) ne peut permettre d'en faire totalement abstraction mais on peut considérer qu'ils forment un bruit de fond homogène sur l'ensemble de l'interprétation.

1.4 - ETUDE GEOSTATISTIQUE DES LINEAMENTS

1.4.1 - Rappel de géostatistique

La géostatistique est une discipline mathématique développée à partir de la constatation que les éléments étudiés ne sont pas toujours distribués de façon aléatoire dans l'espace, mais peuvent présenter un certain degré de corrélation spatiale appelé structure.

Le variogramme est l'outil principal de cette discipline. C'est une courbe qui représente les variations du demi écart quadratique moyen de la variable $z(x)$ entre des points distants d'une longueur h (fig. 1.5).

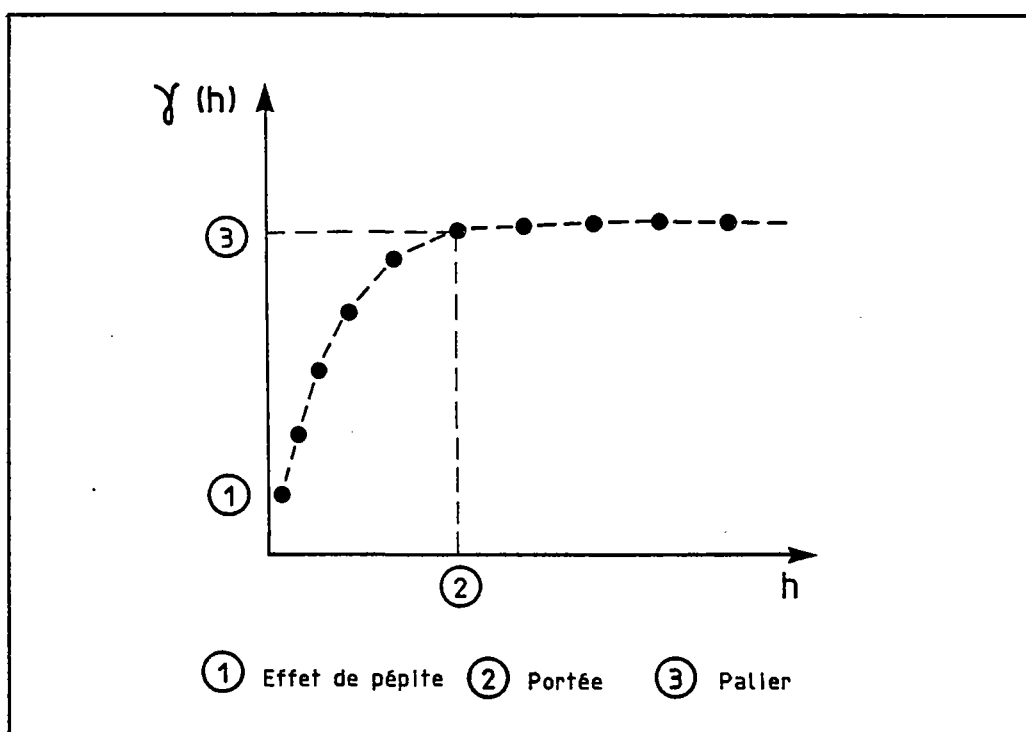


Fig.1.5

EXEMPLE DE VARIOGRAMME

L'expression théorique du variogramme s'écrit (MATHERON, 1965) :

$$\gamma(h) = 1/2 \sum [Z(x+h) - z(x)]^2.$$

Il est caractérisé par une ordonnée à l'origine, une portée et un palier. Si l'ordonnée à l'origine n'est pas nulle, elle est appelée "Effet de pépité" et peut avoir des causes diverses comme l'influence d'une structure de dimension inférieure à l'échelle d'observation, ou bien des erreurs de mesures. La portée correspond à la distance maximale de corrélation entre les données. Le palier représente la valeur de la variance en dehors de la zone de corrélation.

1.4.2 - Etude directionnelle des linéaments

La rosace de distribution des linéaments (fig. 1.2) montre quatre familles directionnelles majeures d'orientations moyennes :

N 105° E ;
 N 125° E ;
 N 20° E ;
 N 70° E ;

et une famille moins importante : N 165°E.

Si on les compare aux familles directionnelles de mésofracturation mesurée sur le terrain (fig. 1.2), on se rend compte que la famille de mésofracturation majeure N 120°E est très bien représentée au niveau des linéaments par la famille N 125°E et que les familles de mésofracturation N 10°E et N 60°E ont également leur équivalent au niveau linéamentaire avec les familles N 20°E et N 70°E.

Par contre la famille de mésofracturation importante N 165°E se manifeste assez peu à l'échelle linéamentaire bien qu'il existe tout de même un léger maximum à N 165°E, et la famille linéamentaire maximum N 105°E ne se traduit pas sur la rosace de mésofracturation (fig. 1.2).

Nous pouvons considérer ce fait comme provenant d'un échantillonnage insuffisant de terrain (681 fractures contre 1873 linéaments). La possibilité qu'il s'agisse d'un "bruit" correspondant au parcellaire n'est que peu probable, étant donné l'attention de l'interpréteur (cf. fig. 1.3).

Globalement on retrouve malgré tout, des directions équivalentes entre le réseau linéamentaire SPOT et la mésofracturation mesurée sur le terrain.

1.4.3 - Etude variographique des linéaments

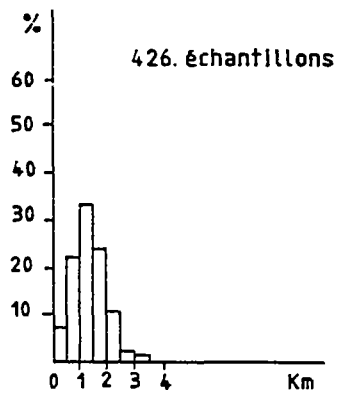
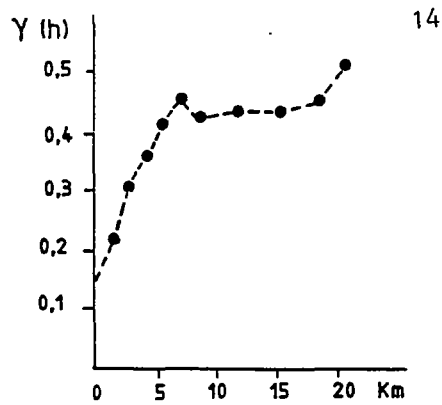
Les variogrammes de la longueur cumulée des linéaments par support de 1 km² ont été calculés pour chaque famille directionnelle, dans toutes les directions de l'espace. Un support correspond à une surface de 1 km² sur laquelle on additionne la longueur des linéaments compris dans cette surface, pour une famille directionnelle, le résultat représentant la variable pour cette surface.

Seuls les variogrammes perpendiculaires à la direction moyenne de la famille considérée ont été retenus, ceci pour mettre en évidence la dimension des zones de corrélation (les autres variogrammes étant influencés par la longueur des linéaments).

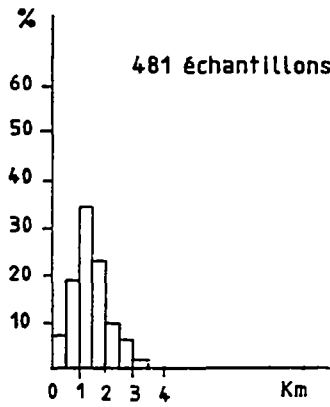
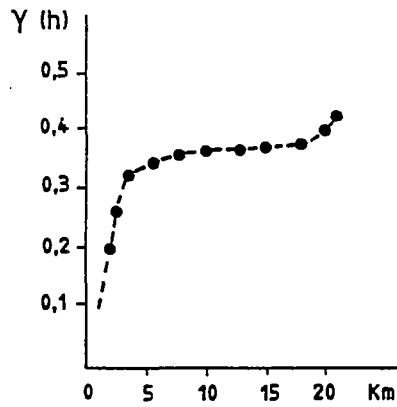
La figure 1.6 montre que les linéaments ont un comportement structuré avec des portées variant entre 3 et 6 km. En effet, les variogrammes restituent l'arrangement spatial des linéaments qui se regroupent en "paquets", et nous fournissent la puissance moyenne de ces "paquets".

Si l'on compare le type de comportement de ces linéaments avec le comportement de la mésofracturation étudié au sol sur le granite de Fanay en Limousin (MASSOUD, 1987), on se rend compte que celle-ci a également tendance à se regrouper en "paquets", montrant un comportement similaire à celui des linéaments.

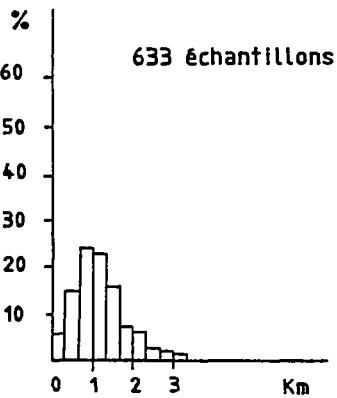
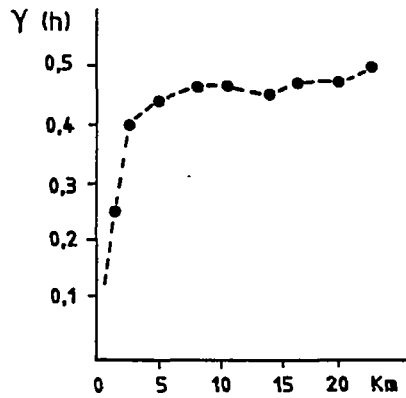
Les linéaments ne sont donc pas distribués au hasard et montrent un type d'organisation spatiale tout à fait comparable, exception faite du saut d'échelle, à celui de la mésofracturation connue sur certains granites.



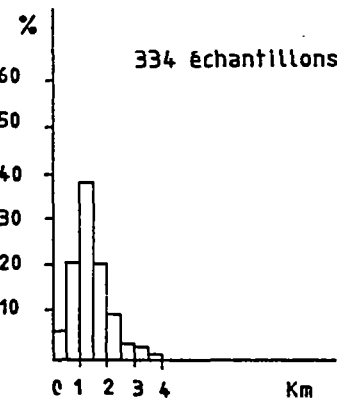
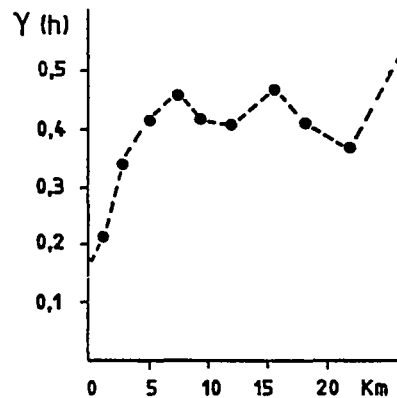
FAMILLE N10°E



FAMILLE N60°E



FAMILLE N120°E



FAMILLE N165°E

VARIOGRAMMES DIRECTS DES
LONGUEURS CUMULEES

HISTOGRAMMES DES LONGUEURS
DE LINEAMENTS

VARIOGRAMMES ET HISTOGRAMMES DES LINEAMENTS SPOT

1.4.4 - Etude des longueurs des linéaments

Nous avons réalisé les histogrammes de longueurs des traces linéamentaires pour chaque famille (fig. 1.6) et il en ressort des distributions de type log normal bien connues dans l'analyse statistique des objets géologiques, et également comparables à celles de la mésofracturation étudiée au sol dans divers domaines calcaires ou cristallins (RAZACK, 1982 ; MASSOUD, 1987 ; LOISEAU, à paraître).

De plus, les longueurs maximales des linéaments de l'ordre de 1 à 2 km sont tout à fait en accord avec celles des failles mesurées au sol sur le granite bien affleurant de Bassiès dans les Pyrénées (BLES et GROS, 1980).

1.4.5 - Corrélations entre les différentes familles de linéaments

Il peut exister des dépendances entre les différentes familles de linéaments : l'implantation d'une famille directionnelle dans une zone déterminée peut être reliée à l'existence préalable d'une autre, ou de plusieurs autres familles directionnelles.

Le calcul des coefficients de corrélation intrinsèques nous renseigne sur les liens spatiaux qui unissent les différentes familles. Ils ont été réalisés sur des longueurs cumulées sur un support de 1 Km², dimension bien inférieure à la taille des "paquets" selon lesquels se regroupent les linéaments. On peut donc considérer que l'on étudie leur comportement local.

Les coefficients calculés sont très faibles, voire nuls, ce qui signifie que la présence d'un "paquet" d'une famille directionnelle linéamentaire quelconque n'imposera pas celle d'une autre famille.

Ceci peut avoir des conséquences importantes pour l'hydrogéologie car les circulations éventuelles les plus importantes peuvent s'effectuer au niveau des intersections linéamentaires que l'on a alors intérêt à cartographier.

1.5 - CONCLUSIONS

Au terme de cette première phase de travaux, on peut mettre en avant une démarche d'étude des linéaments qui consiste à les comparer à la fracturation mesurée au sol, et si des corrélations existent, à ne retenir de ces linéaments que les familles directionnelles "favorables" vis à vis de l'histoire et de la cinématique de la fracturation.

Notre but final reste de définir des zones favorables sur lesquelles les forages de recherche d'eau auront un pourcentage de réussite plus élevé que la moyenne actuelle.

2 - ANALYSE GEOMORPHOLOGIQUE

2.1 - INTRODUCTION

En Bretagne, l'altération sur roches cristallines est relativement peu développée. Si des réserves en eau existent parfois au sein des arènes, elles restent quantitativement faibles, et l'essentiel de la ressource en eau, concentré dans le milieu fissuré, circule par l'intermédiaire du réseau de fractures.

La finalité de l'étude est la mise en évidence de critères de potentialité aquifère permettant la sélection des secteurs de recherches les plus favorables. L'analyse géomorphologique devrait permettre de dégager des critères morphostructuraux en relation directe avec l'importance de la ressource, critères destinés à servir de guides à la prospection hydrogéologique.

2.2 - LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET BREF APERCU GEOMORPHOLOGIQUE

Le massif granitique de Huelgoat est situé dans le département du Finistère, à cheval sur deux entités géomorphologiques de Bretagne centrale : l'axe des monts d'Arrée au Nord et le bassin carbonifère de Châteaulin au Sud.

A 30 km au Sud de Morlaix, à 60 km de Brest et de Quimper, cette structure forme un massif grossièrement elliptique dont le grand axe orienté Est-Ouest mesure 15 km, le petit axe 10 km (fig. 1).

Bordé et surplombé sur sa frange nord par les monts d'Arrée qui comprennent les trois sommets de Bretagne, culminants à 385 m, le massif présente une légère déclivité du Nord vers le Sud. En surélévation par rapport à son encaissant à l'Est et la dépression dans laquelle s'écoule l'Ellez au Sud, Huelgoat, en cette "haute forêt", porte bien son nom : c'est en effet une appellation justifiée si l'on veut bien admettre qu'une altitude d'un peu plus de 200 m est appréciable en Finistère.

La partie septentrionale du massif a subi une forte altération, laissant apparaître à l'affleurement des faciès très arénisés, localement kaolinisés. La bordure méridionale, quant à elle, présente un aspect beaucoup plus compact, avec cependant une forte décompression des granites affleurants.

Enfin, à proximité de la ville d'Huelgoat, le massif montre une morphologie assez tourmentée et encaissée, formée de gros blocs individualisés de taille pluri-décamétrique et d'innombrables chaos de rochers, dont de nombreux tors.

Pour compléter cette brève description, il est bon de rajouter que le massif d'Huelgoat, possédant un réseau hydrographique peu dense, est recouvert d'une abondante végétation, allant de la forêt jusqu'aux cultures et prairies.

2.3 - PRINCIPES RETENUS POUR L'ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE

L'analyse morphostructurale du massif a été conduite sans a priori sur l'histoire morphogénétique de la région.

Un choix raisonné de "descripteurs" géomorphologiques devrait permettre la distinction de zones ayant chacune des caractéristiques différentes. Ces zonages par descripteurs ont été effectués de manière indépendante les uns des autres afin d'en assurer l'objectivité.

Selon des critères à déterminer, un classement dans les zones retenues devrait permettre in fine, la sélection de quelques secteurs parmi les plus favorables. Ceux-ci seront à leur tour confrontés aux choix réalisés par ailleurs à partir des données structurales.

2.4 - TRAVAUX ANALYTIQUES REALISES

2.4.1 - Choix des descripteurs géomorphologiques

Dans ce genre de région, plusieurs "objets" géomorphologiques peuvent être retenus de prime abord :

- les éléments de surfaces anciennes, avec les profils d'altération résiduels qu'ils peuvent avoir gardé ;

- le type de dissection de ces anciennes surfaces par le réseau hydrographique récent et actuel ;
- le réseau hydrographique lui-même.

C'est au sein de ces trois catégories qu'un choix s'est opéré.

2.4.2 - Etude de paléosurfaces

Cette étude se décompose en deux phases principales.

2.4.2.1 - Identification des paléosurfaces

Elle se base sur l'exploitation d'une sélection de points cotés issus de la carte topographique à 1/25 000 sur les critères suivants :

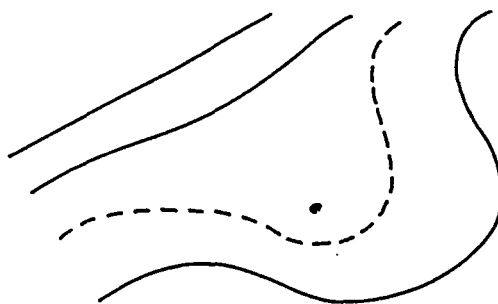
- buttes à sommet aplati avec une courbe topographique fermée ;

exemple :



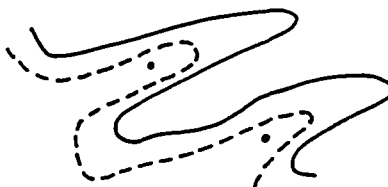
- toutes zones de replats individualisés sur les versants ;

exemple :



- interfluves à sommets plats ;

exemple :



Sont exclus :

- les crêtes vives ;
- les sommets pointus ou arrondis ;
- les versants de tous types sans replat ;
- les interfluves sans aplanissement.

Tous les points retenus ont été vérifiés sur les photos aériennes afin de confirmer leur validité. Quelques points peu fiables ont été éliminés par ce filtrage.

Au total, 260 points ont été conservés dans le massif et son encaissant proche. Les valeurs s'échelonnent entre 200 m (80 m sur l'Aulne) et plus de 300 m (383 m à Roch Trévézel).

Leur répartition est donnée par un histogramme (fig. 2.1). En définitive, quatre classes d'altitudes ont été choisies sur le granite s.s..

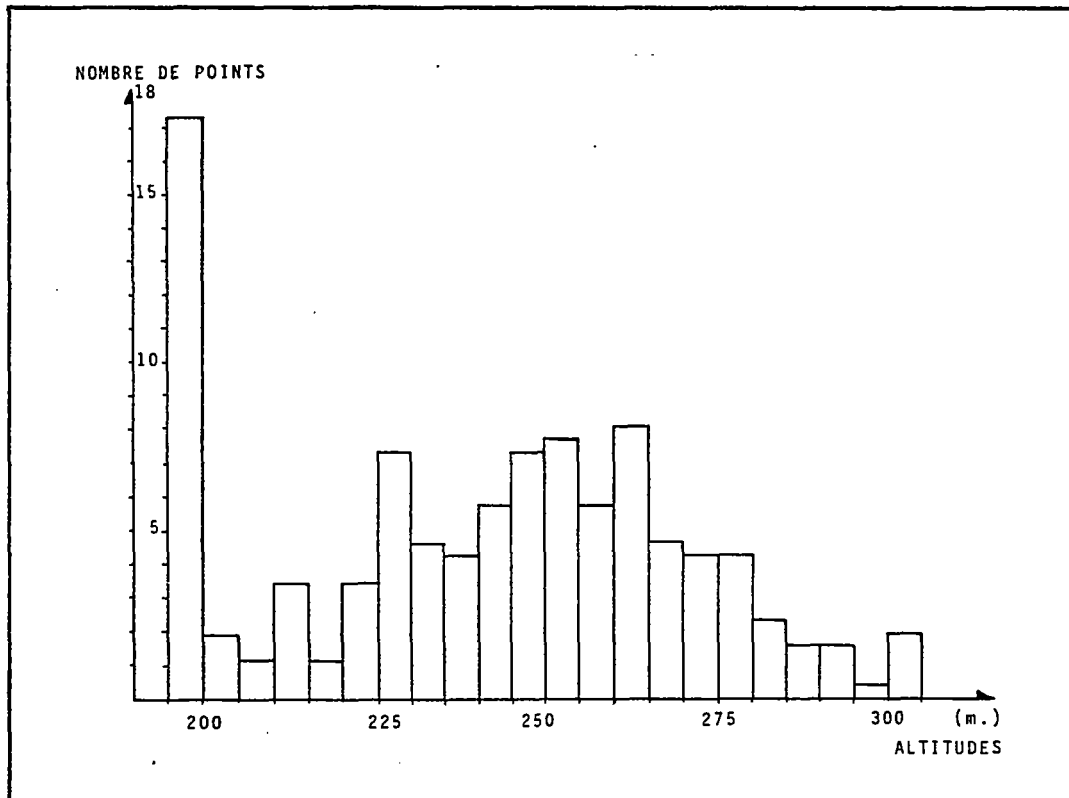


Fig.2.1

**DISTRIBUTION ALTIMETRIQUE DES SOMMETS ET DES REPLATS
DU MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT**

- A₁ ≥ 280 m
- A₂ de 240 à 280 m
- A₃ de 225 à 240 m
- A₄ < 225 m.

L'ensemble A₁ correspond à des replats qui se raccordent aux monts d'Arrée dans le Nord-Ouest du massif.

L'ensemble A₂ dessine une vaste surface légèrement moutonnée, encaissée par rapport à la première. Elle a un développement assez grand et s'individualise bien.

L'ensemble A₃ paraît directement associé aux deux grandes rivières -le Fao et l'Ellez- ce qui marque l'influence des deux vallées.

L'ensemble A₄ est sous la dépendance de l'Aulne, le drain majeur actuel.

Cette répartition donne lieu à une carte figurée en planche I hors texte.

2.4.2.2 - Etude des faciès d'altération

Ce travail a consisté en une brève identification macroscopique (5 jours de terrain) ayant permis d'ébaucher une répartition cartographique. Il est évident que ce document nécessite des compléments et ne peut être considéré comme suffisant.

Une classification en dix faciès et trois familles a été adoptée sur le terrain :

- **"granite sain" :**
 - a) boule ou bloc isolé ;
 - b) boules ou blocs groupés ;
 - c) granite massif dominant en carrière et en affleurement.
- **"granite décomprimé" :**
 - d) granite sain en bancs métriques ;
 - e) granite feuilleté (joints à espacement décimétrique) ;
 - f) granite feuilleté et déconsolidé (désagrégation des lits en granules et en micro-blocaille) ;
 - g) granite feuilleté et altéré (ameublissement des lits) ;

- "granite altéré" :

- h) altéré mais cohérent ;
- i) arène meuble à feldspaths pulvérulents ;
- j) "sables granitiques" sans cohésion, presque totalement altérés ; subsistance des quartz.

Pour homogénéiser les données, trois classes ont finalement été retenues (planche II hors texte) :

- B 1 : majorité d'affleurement de roches saines - faciès a à d ;
- B 2 : granite décomprimé et légèrement altéré - faciès e à h ;
- B 3 : arène meuble - faciès i et j.

2.4.3 - Dissection des reliefs

Les surfaces qui ont pu être identifiées sont aujourd'hui incisées par le réseau hydrographique. Une analyse, même sommaire, des cartes topographiques montre que l'encaissement de ce réseau n'est pas homogène et varie grossièrement du NW au SE.

L'"incision" du relief a donc été gardée comme descripteur.

L'analyse a été conduite comme suit :

- délimitation d'une grille à maille carrée (500 m de côté) sur le fond à 1/25 000 ;
- calcul de la différence d'altitude maximum dans la maille et attribution de la valeur en son centre (± 25 m) ;
- saisie de cette matrice de 800 points ;
- choix des coupures d'isovaleurs pour des variations comprises entre 10 et 70 m sur le granite s.s.

- C 1 : $dh \leq 20$ m
- C 2 : $20 < dh \leq 40$ m
- C 3 : $40 < dh \leq 60$ m
- C 4 : $dh > 60$ m

- calcul et tracé automatiques des isovaleurs (planche III, hors texte).

2.4.4 - Réseau hydrographique

Un réseau hydrographique se prête a priori à plusieurs types d'analyse.

2.4.4.1 - Hiérarchisation des drains

Cette étape est obligatoire quels que soient les traitements envisagés par la suite. Elle est effectuée à partir du réseau hydrographique figurant sur les cartes topographiques à 1/25 000, selon les conventions de STRAHLER.

2.4.4.2 - Segmentation des drains et analyse directionnelle par ordre hiérarchique (travaux de J.F. GOUYET)

Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du programme LINEAME (P. DUTARTRE, 1984) et avec des données directionnelles. Ces dernières ont été acquises par segmentation du chevelu hydrographique (planche IV) et par digitalisation du document en ordre hiérarchique .

Il en résulte que 46,3% du réseau possède une orientation comprise entre N 70° et N 117,5°, avec un pic de fréquences entre N 95° et N 100° (fig. 2.2 et 2.3).

2.4.4.3 - Analyse de la répartition des bassins versants

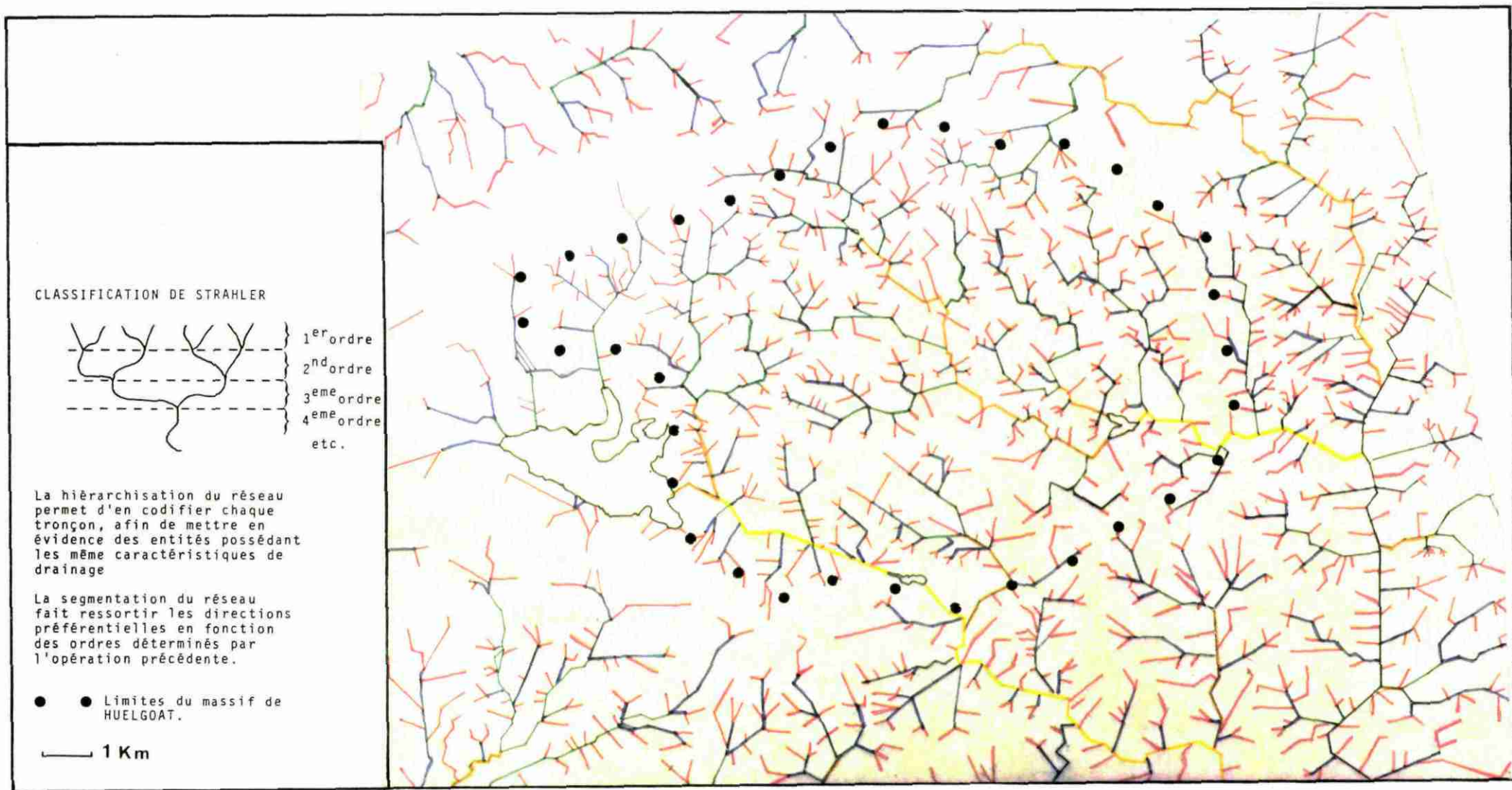
La délimitation de sous-bassins selon les segments d'ordres 1 et 2 envisagée par J.F. GOUYET n'a pas fourni un document géomorphologique directement exploitable.

2.4.4.4 - Analyse de la fréquence de drainage par unité de surface et par ordre

L'information obtenue avec les sous-bassins est trop complexe ; celle qui correspond à la fréquence de drainage est plus simple et peut donner lieu à des recouvrements.

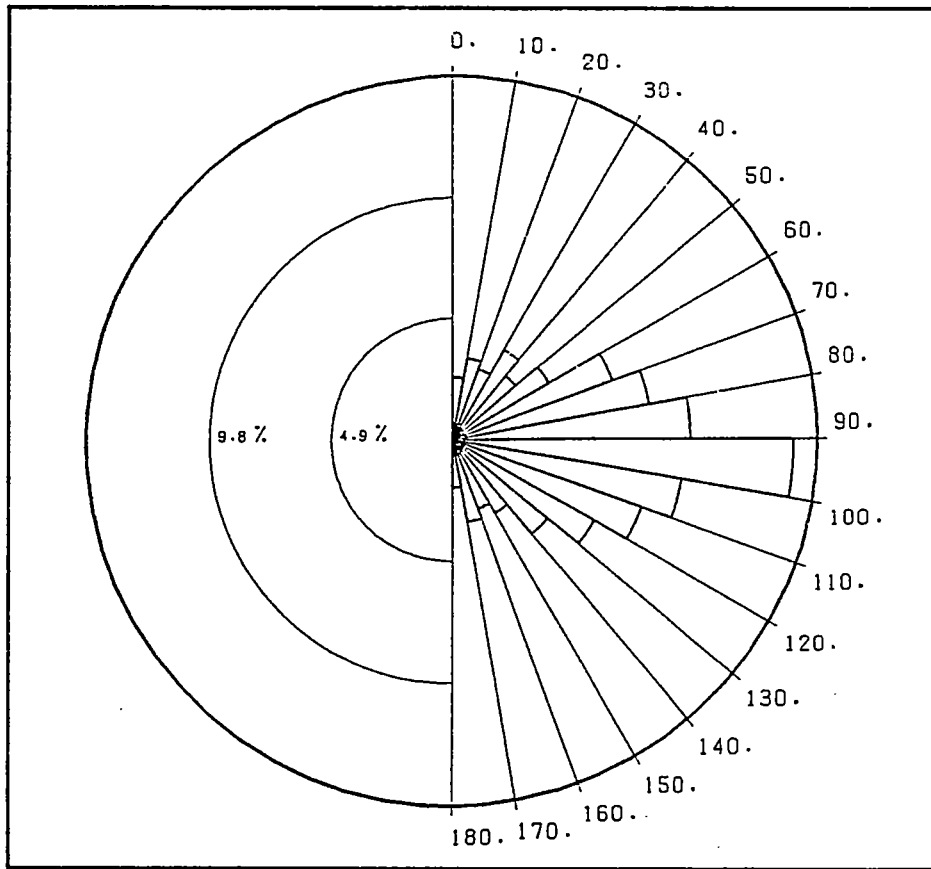
Cette analyse a été menée comme suit :

- délimitation d'une grille à maille carrée (1 km) sur la carte du réseau hiérarchisé à 1/50 000 ;



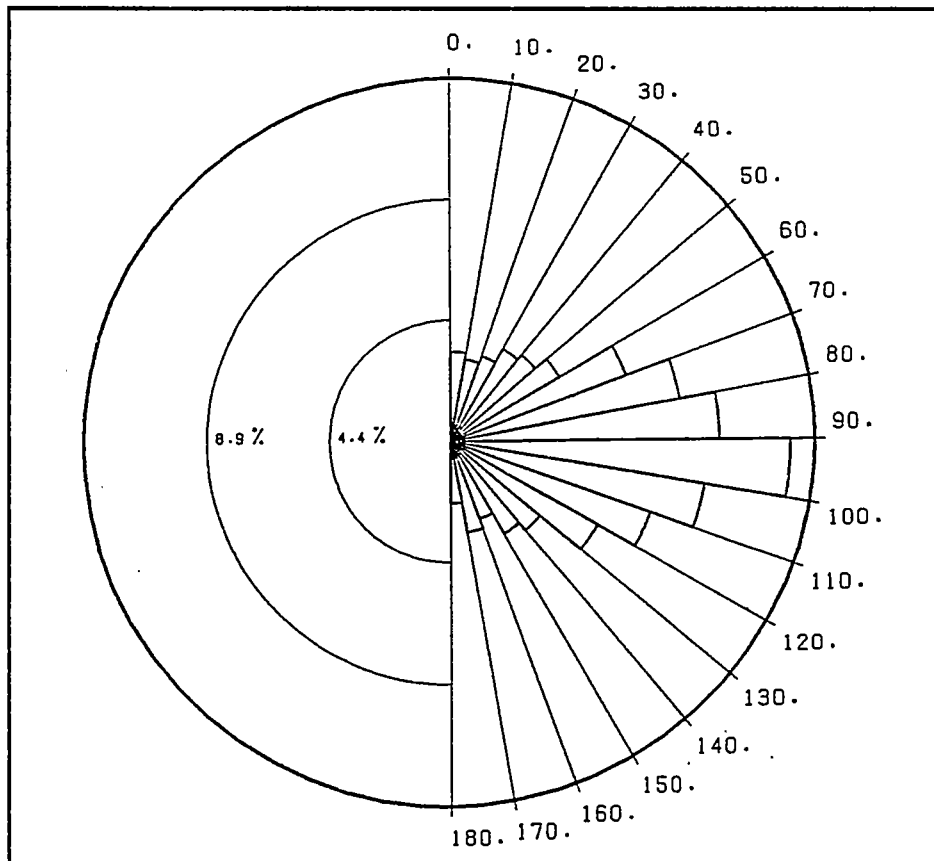
RESEAU HYDROGRAPHIQUE HIERARCHISE (STRAHLER) ET SEGMENTE

Fig.22



**DISTRIBUTION DIRECTIONNELLE DES SEGMENTS D'ORDRE 1
DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU MASSIF DE HUELGOAT.**

Fig.23



**DISTRIBUTION DIRECTIONNELLE DE L'ENSEMBLE
DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SEGMENTE
MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT**

- comptage du nombre de drains d'un ordre donné sur chaque maille et attribution de ces valeurs au centre ;
- saisie de la matrice de points pour l'ordre 1 et le comptage total ;
- choix des coupures d'isovaleur selon l'amplitude de valeurs de chaque fichier :

. ordre 1 (amplitude 2 à 7) :

D1 $F \leq 4$

D2 $4 < F \leq 6$

D3 $F \geq 6$

(planche V hors texte)

. ordres cumulés (amplitude 5 à 10) :

E1 $F \leq 7$

E2 $7 < F \leq 9$

E3 $F \geq 9$

(planche VI hors texte)

3 - CHOIX DES ZONES TEMOINS POUR LA VALIDATION DES CRITERES

3.1 - CHOIX DES SECTEURS SUR DES ARGUMENTS STRUCTURAUX

Les linéaments interprétés sur la scène SPOT couvrant le massif de Huelgoat (bocage breton), présentent un certain nombre d'analogies de comportement avec la mésofracturation étudiée au sol, sur le granite local ou ailleurs. On peut constater des groupements en familles directionnelles voisines, une répartition spatiale en "paquets" (cf. 1.4.3) et une similitude de la loi de distribution des longueurs.

On peut donc admettre que le réseau linéamentaire est une représentation certainement incomplète, mais significative du réseau de mégafracturation. Ce dernier représente lui-même, à une échelle d'organisation différente, le réseau de mésofracturation mesuré au sol. La relation faille-linéament est d'ailleurs bien connue en milieu affleurant aride (P. DU-TARTRE et MALON, 1986).

Dans l'hypothèse optimiste où les linéaments représentent des fractures perméables et aquifères, on peut raisonnablement penser que la circulation d'eau est possible partout dans ce granite. Ceci est d'autant plus probable que la fracturation subhorizontale a été négligée du fait de son inaccessibilité sur le terrain comme sur les images satellitaires.

Pour être fixé sur la réalité hydrogéologique de ces linéaments, il faudrait effectuer leur analyse géophysique systématique. Le RADON pourrait y participer puisque sa teneur élevée dans la zone non saturée du sol est un indice de la présence, en profondeur, de fractures drainantes. Seul un maillage précis, au pas de mesure très fin (5 m) permettrait de constituer le réseau de fractures drainantes dont un des intérêts serait de permettre à son tour la comparaison avec le réseau de linéaments SPOT. Cette démarche est cependant irréalisable, même sur un secteur de 1 km², puisqu'une telle maille de 5 m conduirait à faire 40.000 prélèvements.

Il sera donc nécessaire de procéder d'abord à une prospection RADON de type semi-tactique sur des secteurs de la taille du km² et donc, avec une maille comprise entre 50 et 100 m.

Pour déterminer quelles seront les zones de prospection semi-tactique, nous avons posé la condition de coexistence de deux critères structuraux favorables :

- une densité linéamentaire élevée ;
- une sélection des linéaments susceptibles de correspondre aux fractures ayant le plus récemment fonctionné en ouverture (fig. 3.1).

Il en résulte quatre secteurs potentiellement favorables, lesquels sont localisés sur la figure 3.2.

3.2 - CHOIX DES SECTEURS SUR DES CRITERES GEOMORPHOLOGIQUES

3.2.1 - Hiérarchisation des zones et des descripteurs

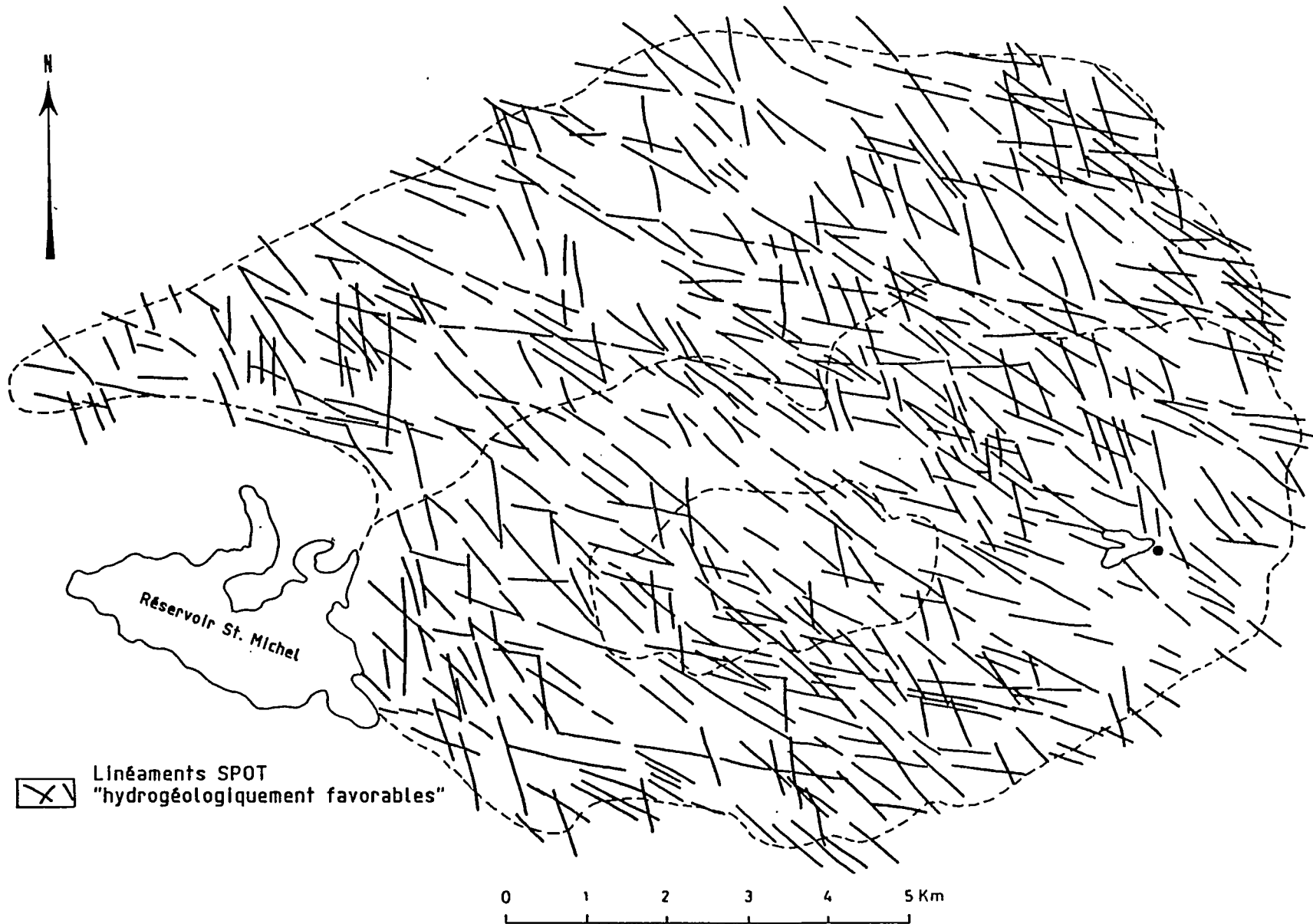
3.2.1.1 - Délimitation des zones

Le but est de rechercher les zones ayant une bonne perméabilité et étant susceptibles de constituer des aquifères peu profonds.

Il est donc nécessaire d'estimer pour chaque descripteur quelles sont les classes, parmi celles retenues, qui sont les plus favorables :

- **Paléosurfaces** : Les altitudes supérieures à 280 m correspondent aux zones de crêtes ou à des reliefs isolés à dominante de roches saines. Les basses altitudes marquent quant à elles le réseau hydrographique où existent des colmatages alluviaux et rarement le granite décomposé.
On écarte donc les classes $A_1 + A_4$ (>280 et <225 m).
On retient $A_2 + A_3$ (225-280 m) dont l'ensemble représente au moins 50% de la superficie du massif ;
- **Faciès d'altération** : En roche saine, seules les fractures ouvertes ont un intérêt à cause de leur fonction de drainage vertical et horizontal. Dans les arènes, le développement de la phase argileuse peut pénaliser la perméabilité. Il reste le granite décomposé mais peu argileux, donc minéralogiquement peu altéré. C'est le faciès qui a priori est le meilleur (faciès "éponge").
On écarte les classes B_1 et B_3 et l'on conserve la classe B_2 . La superposition, en coupe, des faciès B_2/B_1 est un facteur favorable ;

RESEAU DES LINEAMENTS FAVORABLES



ZONES A FORT POTENTIEL HYDROGEOLOGIQUE THEORIQUE

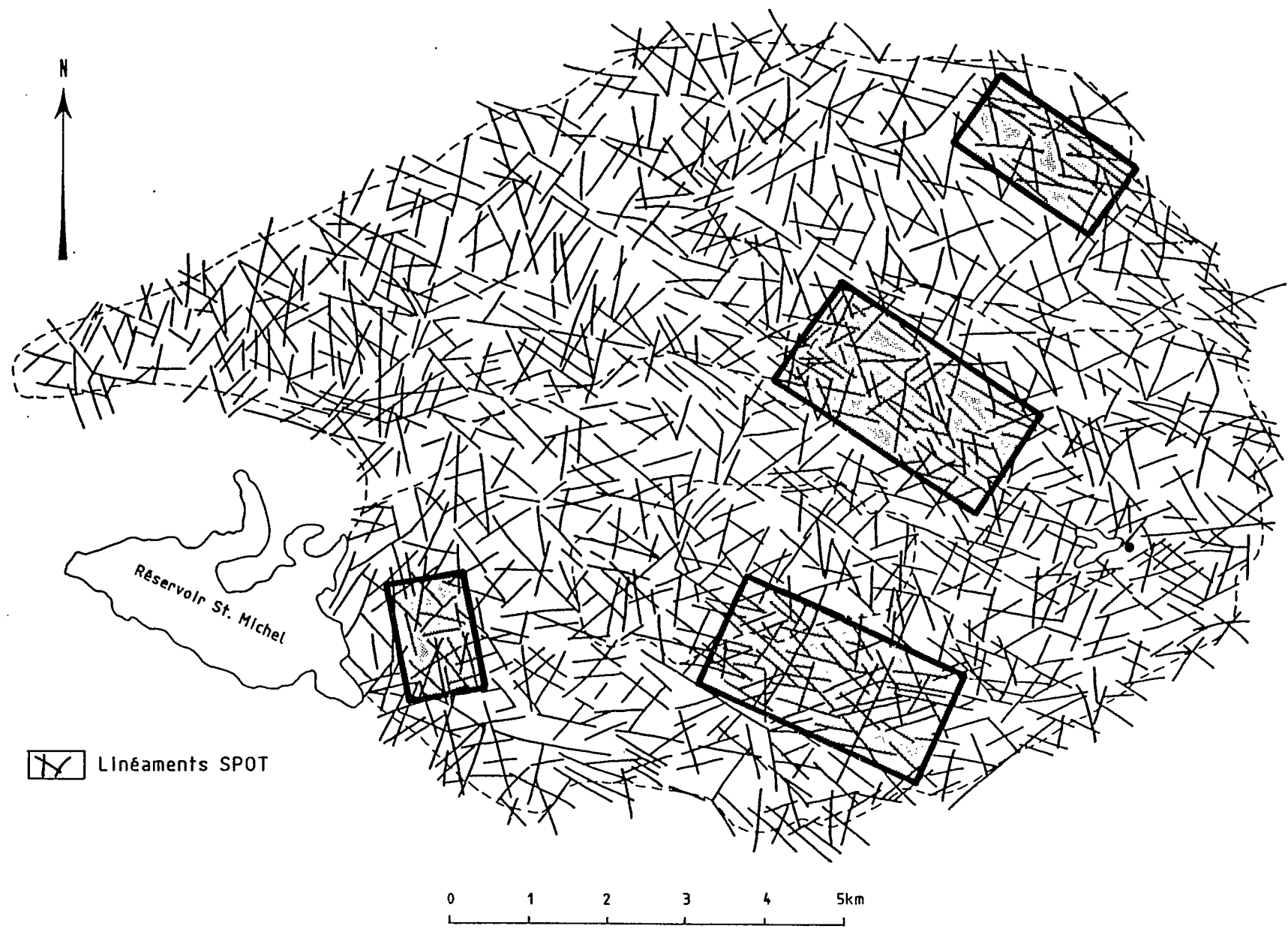


Fig.32

- **Incision des reliefs** : Un encaissement important a pour résultat de réduire et de fragmenter le volume du dit faciès "éponge". De même, un relief très différencié favorise les écoulements superficiels et diminue ainsi la part de l'infiltration. Enfin, le drainage aval des nappes et fractures par le réseau hydrographique est proportionnel à l'incision.
La classe G_1 est retenue en priorité ($dh < 20$ m). G_2 est retenue en deuxième choix ($20 \text{ m} < dh < 40 \text{ m}$) et les classes G_3 et G_4 sont écartées ;
- **Réseau hydrographique en fréquences de drainage** : Ce descripteur n'est pas pro parte indépendant du précédent mais il n'est pas redondant pour autant (cf. planches IV, V et VI).
On doit noter que meilleure est la perméabilité, plus faibles sont les écoulements de surface. En second lieu, un relief contrasté par des incisions favorise la création de drains d'ordre 1 et il tend à abaisser l'infiltration.
Globalement on gardera les classes D_1 et E_1 et on ignorera les classes D_3 et E_3 . D_2 et E_2 forment un deuxième choix.

3.2.1.2 - Hiérarchisation des descripteurs

Les quatre descripteurs considérés (paléosurfaces, faciès d'altération, incision du relief et fréquences de drainage) doivent être hiérarchisés pour effectuer le dernier recoupement.

Ce classement est actuellement établi sur des critères purement qualitatifs, dont l'ordre décroissant d'importance est le suivant :

- 1/ la présence indispensable du faciès "éponge" ou granite décomposé ;
- 2/ l'existence d'une paléosurface étendue, homogène où les faciès favorables ont pu être conservés ;
- 3/ il faut que l'incision du relief n'ait pas trop réduit les faciès et les surfaces favorables ;
- 4/ la fréquence de drainage sert à affiner la délimitation des zones à faciès favorables .

Cette hiérarchisation peut éventuellement être modifiée et modulée au vu des résultats qui en découlent. Elle est valable pour une approche régionale, à l'échelle du massif (1/50 000). Il conviendrait sûrement de modifier certaines priorités dans le cas d'une réflexion opérée sur un secteur réduit (1/10 000).

3.2.2 - Délimitation des secteurs les plus favorables

En pratique, la délimitation s'est faite dans l'ordre des priorités par un recouvrement successif des cartes (planches II, III et VI). Seuls les secteurs appartenant à plusieurs descripteurs ont été conservés.

La classification établie est la suivante :

- 1er choix : secteurs possédant les classes jugées les plus favorables dans les quatre priorités retenues ;
- choix voisin du 1er : secteurs possédant trois classes jugées les plus favorables et la quatrième parmi une des classes acceptables ;
- 2ème choix : secteur ayant la priorité n° 1 et deux des trois autres priorités ;
- acceptable : toutes les autres combinaisons inférieures.

La carte de la planche VII montre la répartition géographique des différents secteurs.

On remarque qu'il n'existe que deux regroupements :

- entre le lac Saint Michel et les monts d'Arrée dans l'Ouest du massif ;
- autour de Berrien dans la partie N.E. du massif.

Quelques autres petits secteurs favorables sont disséminés au centre du massif. Dans ce recouvrement, on notera l'exclusion de la bordure sud et sud-est.

Cette délimitation doit toutefois être pondérée. Parmi les quatre descripteurs retenus, trois ont pu être quantifiés de manière assez rigoureuse (1/25 000 et 1/50 000, selon les cas). Mais le plus important dans l'ordre hiérarchique, la répartition des faciès d'altération, est le moins bien connu.

La carte de la planche II fournit des indications mais elle reste insuffisante. Il est donc encore possible d'affiner la sélection à l'échelle du massif.

Si l'on doit s'intéresser à des secteurs d'extension réduite (quelques km²) pour une prospection RADON, il devient indispensable de compléter la cartographie des faciès d'altération sur ces petites surfaces.

3.3 - SYNTHÈSE DES CHOIX

La sélection cartographique a abouti à la proposition de cinq secteurs potentiellement favorables dont un seul, celui de Berrien, est commun aux arguments structuraux et géomorphologiques.

La prospection RADON, précédemment évoquée, est un moyen direct pour vérifier cette potentialité. Elle sera de type semi-tactique afin de permettre l'exploration de secteurs kilométriques. Mais la méthode nous contraint à limiter à deux le nombre de ces secteurs compte-tenu du rythme des prélèvements et du temps disponible (40 mesures par jour pendant trois semaines).

Nous avons finalement opté pour le meilleur secteur d'ordre géomorphologique, celui de Berrien et pour l'un des secteurs d'ordre structural, celui de Goassalec-Le Crann (Ouest de Huelgoat).

Notons dès à présent que la confrontation cartographique entre les arguments (structuraux, géomorphologiques) et les valeurs RADON sera restreinte puisque les échelles d'acquisition de ces divers paramètres sont différentes.

4 - VERIFICATION DES INDICES DE POTENTIALITE "RADON"

4.1 - JUSTIFICATION METHODOLOGIQUE

La circulation du RADON dans le sol est un phénomène lié à la perméabilité du socle. Le RADON est véhiculé par l'eau des fractures. Il exprime donc la conductivité de ces fractures vers la surface.

La technique utilisée pour le mettre en évidence est basée sur les propriétés physico-chimiques de l'isotope ${}_{86}^{222}\text{Rn}$, un produit fils de la désintégration radioactive du radium 226. Les propriétés les plus utiles sont les suivantes :

- un petit rayon atomique qui lui permet de quitter la maille cristalline de naissance ;
- une inertie réactionnelle de gaz rare qui évite sa combinaison dans l'eau ;
- une radioactivité avec émission alpha (5,9 Mev) facilitant la détection de faibles activités volumiques dans le sol (il est le seul gaz émetteur α naturel) ;
- une période de 3,82 jours assez longue pour que la diffusion se fasse jusque dans le sol sans y être accumulé mais suffisamment courte pour ne marquer que les circulations actives.

4.2 - PRELEVEMENTS ET CONTRAINTES LIEES A LA METHODE

L'aspect ponctuel de la mesure de RADON conduit habituellement à choisir un pas de prélèvement tactique inférieur à 20 m. C'est le cas lorsqu'il s'agit de déterminer avec précision un site de forage en ciblant l'émergence d'une fracture.

Nous notons que le linéament est un "objet flou", doublement discontinu, du point de vue structural et du point de vue hydrodynamique. C'est d'abord une direction préférentielle de fracturation. C'est ensuite, au niveau de la fracture, un plan où la conductivité n'est pas égale. Ajoutons que la diffusion varie dans le sol selon la nature des formations superficielles. Il est donc difficile de penser obtenir même avec une telle campagne semi-tactique, une image parfaitement "nette" de l'émergence d'un linéament confirmé.

Dans cette phase de vérification, nous sommes contraints à ne considérer que l'échelle du linéament. Les secteurs sont donc d'ordre kilométrique et la campagne de type semi-tactique. Un pas de prélèvement fixé à 75 m et la durée de cette campagne fixée à trois semaines (automne 87) devaient théoriquement limiter la prospection à 600 mesures, soit une superficie maximale de 3,5 km².

Le secteur de Berrien (1,5 km²) et celui du Crann (2 km²) ont été abordés dans cet ordre. Des prélèvements défectueux et les difficultés climatiques ont réduit le nombre de mesures à 519.

4.3 - CRITIQUE STATISTIQUE DES MESURES

Les deux groupes de mesures (Berrien : 239 mesures, Le Crann : 280 mesures) ont été acquis avec la même densité. Leurs distributions (histogrammes) peuvent donc être comparées.

On constate que les histogrammes n'obéissent pas à des lois normales (fig. 4.1 et 4.2) mais à des lois log-normales (fig. 4.3). Les moyennes géométriques sont semblables mais les moyennes arithmétiques soulignent une légère tendance à des activités volumiques (2) plus élevées dans le secteur du Crann. Les maxima de fréquences cumulées y sont atteints vers 18000 pCi.l⁻¹ (2) contre 12.000 sur Berrien (fig. 4.3 et 4.4).

Le bruit de fond dont la limite est estimée entre 2000 et 1500 pCi.l⁻¹ paraît élevé. Il est loin de ce que l'on constate en campagne tactique entre deux fractures (600 à 1000 pCi.l⁻¹ sur le granite de Bonnemain, Ile-et-Vilaine, Broualan) ce qui corrobore le manque de définition attendu pour une cartographie semi-tactique.

(2) -----

Activité volumique : nombre de désintégration par seconde du 222/86 Rn dans un volume de gaz (zone non saturée du sol) le p Ci.l⁻¹ est l'unité employée en prospection RADON. Dans le Système International 1 p Ci.l⁻¹ \equiv 37 Bq.m⁻³.

Fig.4.1

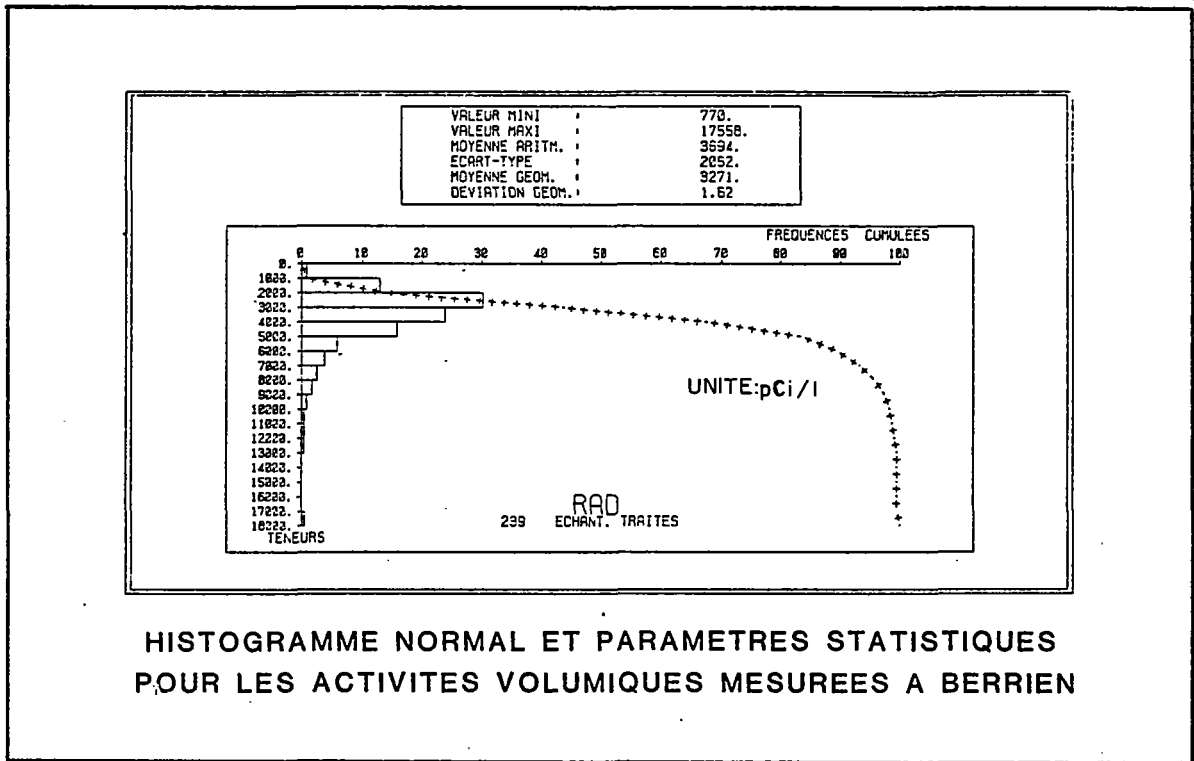
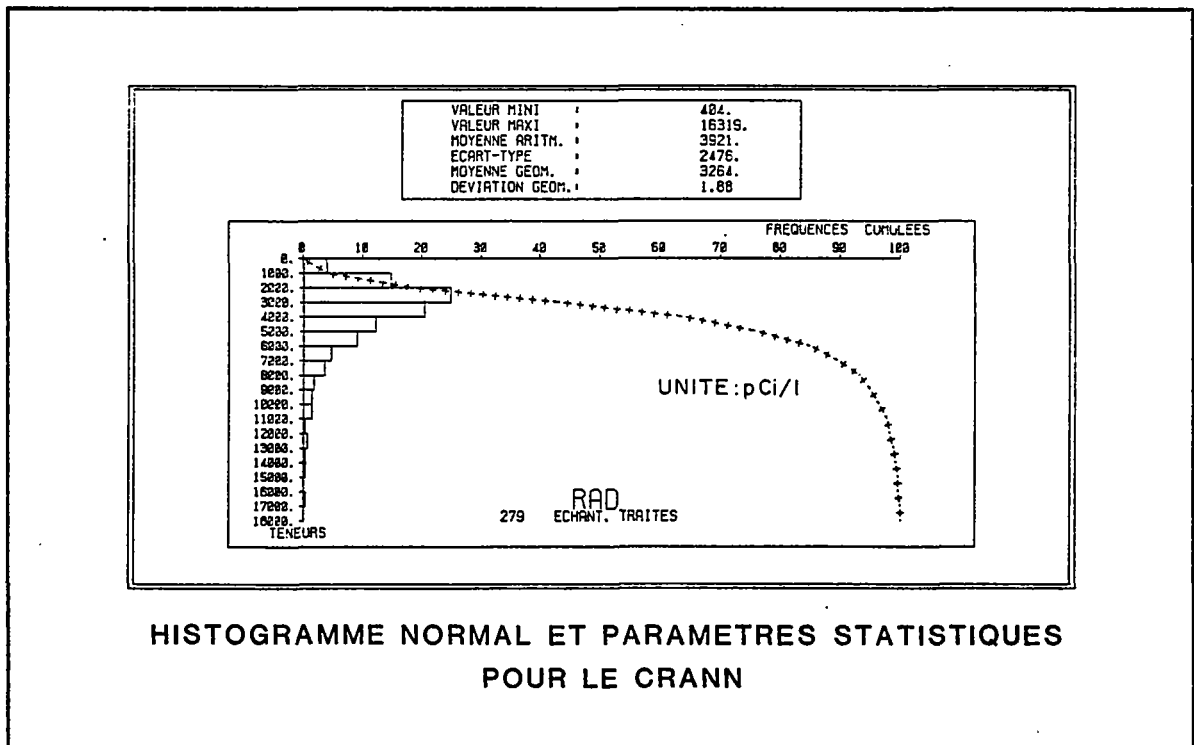
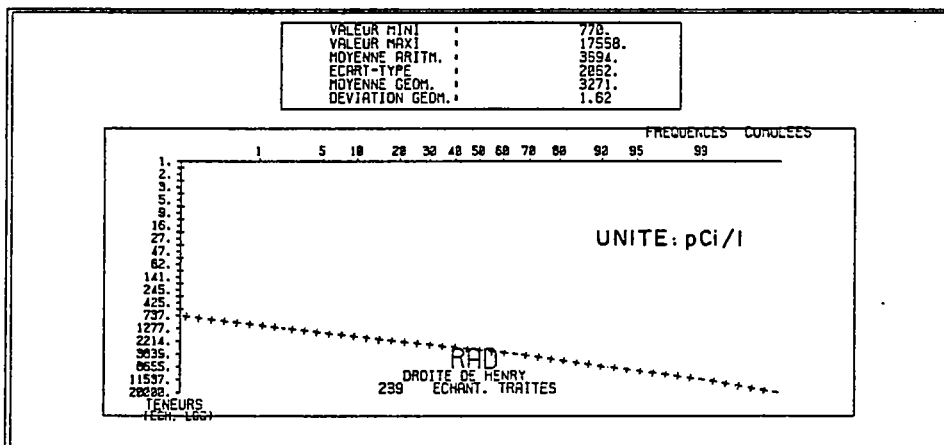
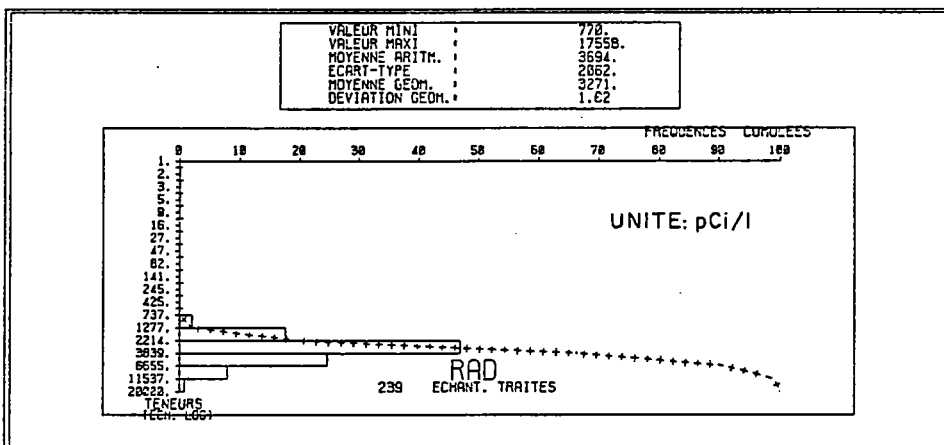
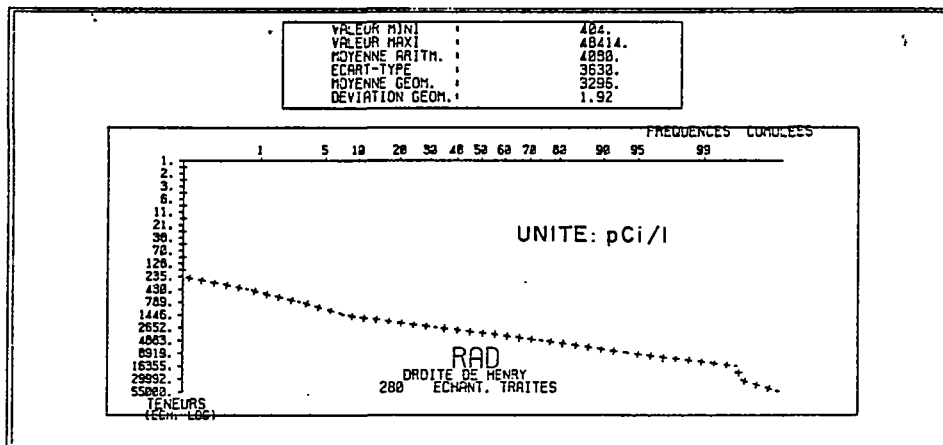
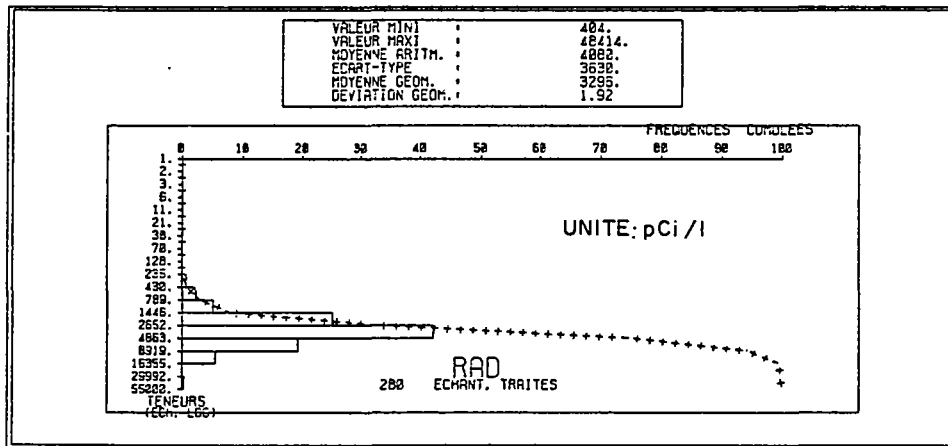


Fig.4.2





**HISTOGRAMME LOG-NORMAL
FREQUENCES CUMULEES ET DROITE DE HENRY
POUR LES MESURES DE BERRIEN**



HISTOGRAMME LOG-NORMAL
FREQUENCES CUMULEES ET DROITE DE HENRY POUR LE CRANN

4.4 - TRAITEMENT CARTOGRAPHIQUE DES MESURES

Des cartes d'isovaleurs d'activité volumique ont été tracées à l'aide d'un programme d'interpolation linéaire (maille d'interpolation : 75 m de côté ; rayon d'interpolation : 150 m). Les classes et l'échelle sont semblables pour les deux secteurs (1/10 000) (fig. 4.5 et 4.6).

4.5 - ANALYSE CARTOGRAPHIQUE DU RADON

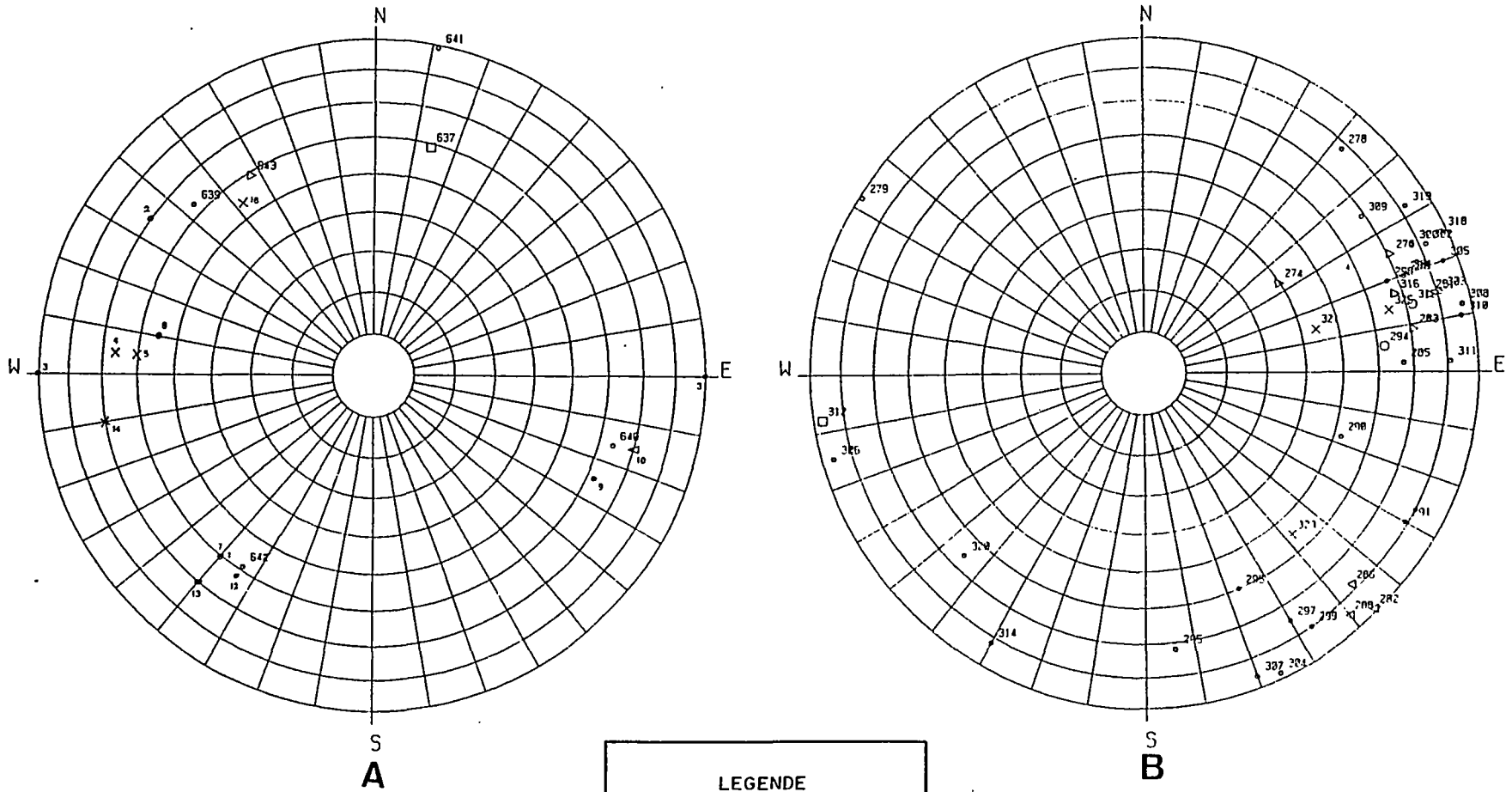
Des plages de valeurs supérieures à 8000 pCi.l^{-1} soulignent des fractures localement orientées N 170° sur le secteur de Berrien. Au Crann, les valeurs de 6000 à 8000 pCi.l^{-1} semblent s'organiser dans la direction N 110° .

4.5.1 - Prise en compte de la mésofracturation

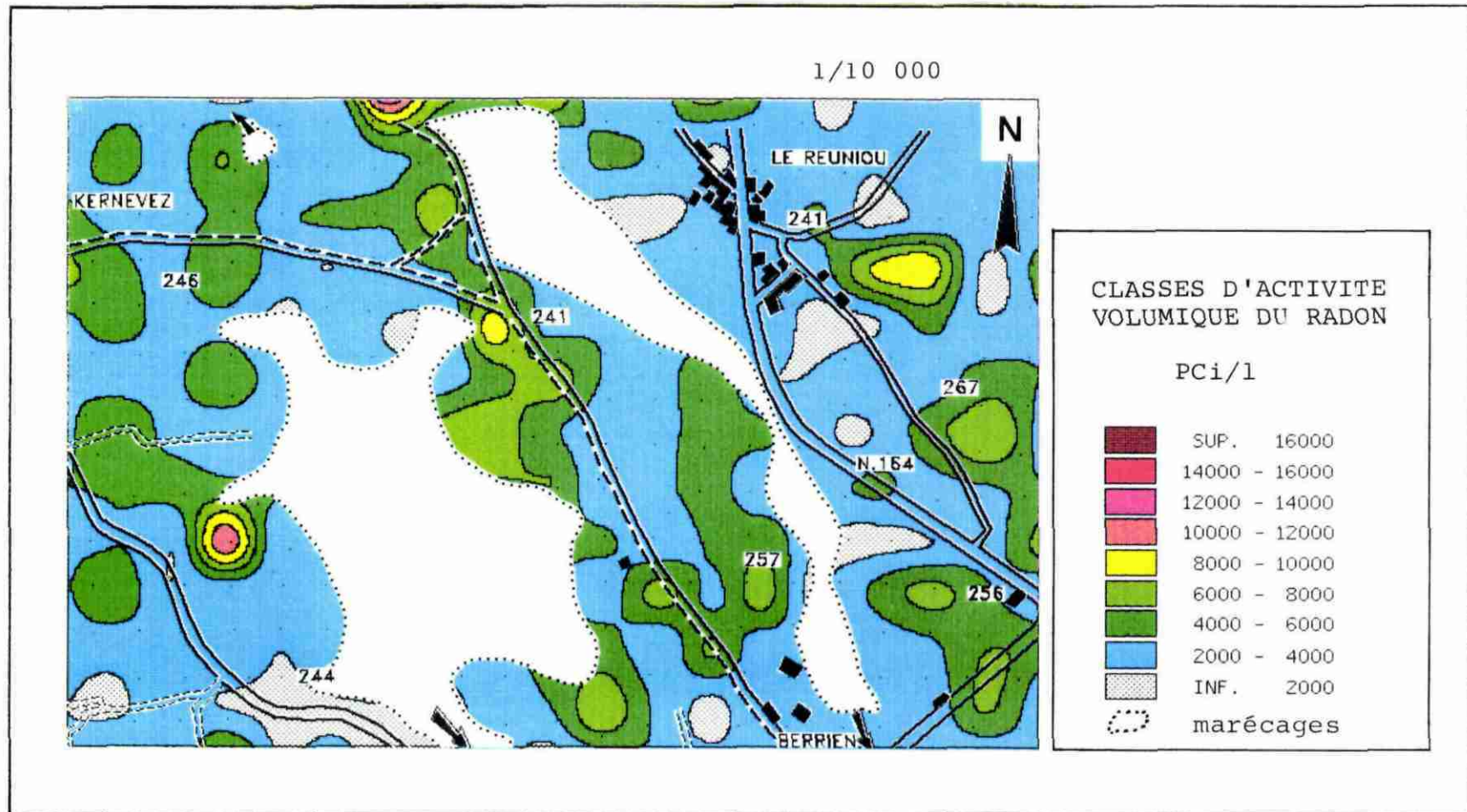
Quelques mesures de mésofracturation ont été relevées sur des affleurements limitrophes des secteurs (cf. fig. 4.7). Elles proviennent respectivement de carrières et d'affleurement situés à l'Ouest de Berrien et au lieu dit le "Moulin du Bois" sur la N 164 (Ouest du Crann). A cette échelle les familles N 160° à Berrien et N 10° au Crann sont les mieux représentées. La nature de ces fractures a été discutée au chapitre 1 § 1.2. Au regard de la contrainte principale, les fractures N 160° ont pu jouer en extension et les fractures N 10° en compression.

La potentialité aquifère des fractures N 160° n'est suspectée au moyen du Radon que dans un seul cas, sur le secteur de Berrien (anomalie allongée N 170°). D'autres anomalies montrent un allongement discret dans la fourchette N 120° - 165° .

Ces constatations sont logiques, mais leur représentativité est insuffisante, indiquant probablement que la campagne semi-tactique n'était pas assez étendue.



MESOFRACTURATION RELEVÉE SUR LES SECTEURS DE BERRIEN (A) ET DU CRANN (B)
 POLES DES PLANS EN PROJECTION DE SCHMIDT DANS L'HEMISPHERE INFERIEUR



CARTE DE PROSPECTION DU GAZ RADON DANS LES SOLS
SECTEUR DE BERRIEN
MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT

CARTE DE PROSPECTION DU GAZ RADON DANS LES SOLS
 SECTEUR DU CRANN
 MASSIF GRANITIQUE DE HUELGOAT

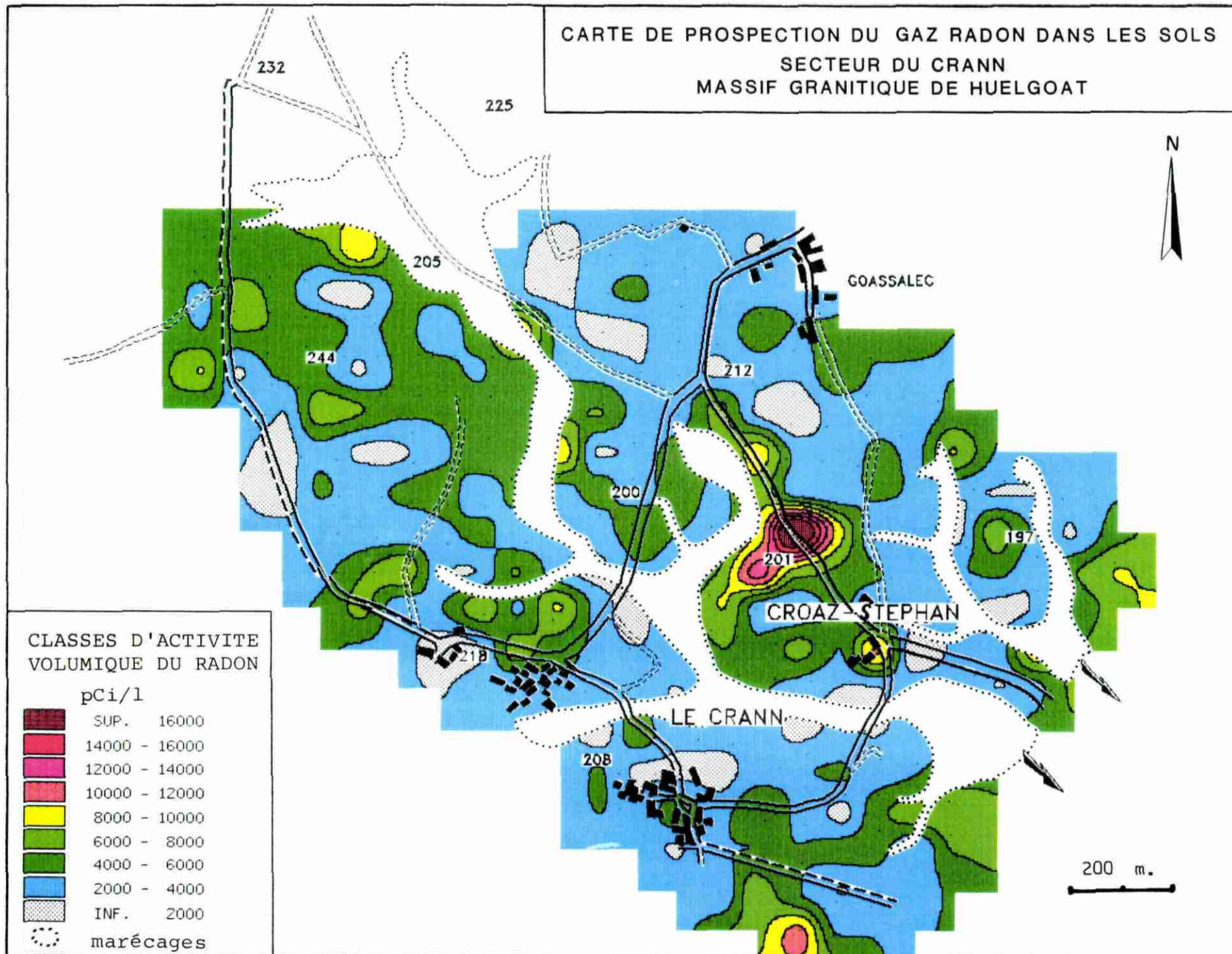


Fig.4.7

4.5.2 - Confrontation des anomalies RADON et du réseau linéamentaire

Considérons les linéaments compris strictement dans chacun des périmètres prospectés par prélèvements de gaz dans les sols. Il est possible d'estimer l'importance relative de chaque famille directionnelle en mesurant et en cumulant les longueurs des linéaments (3). Ceci aboutit à la hiérarchisation suivante :

- Secteur de Berrien :

- . 1 linéaments orientés N 135° : 34%
- et linéaments orientés N 110° : 34%
- . 2 linéaments orientés N 170° : 18%
- . 3 linéaments orientés N 30° à 60° : 14%

- Secteur du Crann :

- . 1 linéaments orientés N 100° : 27%
- . 2 " " N 110° : 23,3%
- . 3 " " N 70° : 20%
- . 4 " " N 40° : 12,7%
- . 5 " " N 10° : 9,3%
- . 6 " " N 155° : 7,7%

Sur Berrien, les fractures liées à la famille linéamentaire N 170° semblent effectivement correspondre à une anomalie RADON orientée.

Sur Le Crann, des anomalies RADON comprises entre 4000 et 10 000 pCi.l⁻¹ paraissent dépendre des familles N100-110° par ailleurs majoritaires.

(3) -----

Mesures et cumuls effectués sur extrait de carte des linéaments ramenée à l'échelle 1/10 000.

4.5.3 - Confrontation des anomalies RADON et de la topographie (1/10 000)

Le secteur du Crann présente une topographie plus contrastée que celle de Berrien, 250 à 180 m dans un cas, 270 à 235 m dans l'autre.

On peut constater assez souvent une coïncidence discrète entre des anomalies fortes et des reliefs allongés pouvant correspondre à des structures. Cette relation toujours ténue entre la topographie et les anomalies n'est pas expliquée.

5 - CONCLUSIONS GENERALES

Les procédures d'analyse des critères structuraux (télédétection) et géomorphologiques sont acquises et conduisent à la sélection de secteurs potentiellement favorables sur le plan des ressources hydrogéologiques. Cependant, le contrôle effectué sur ces secteurs, par la méthode de prélèvement du RADON dans les sols ne valide que partiellement le choix des secteurs.

5.1 - DIFFICULTES DE SYNTHESE DES DIVERS RESULTATS

Le résultat idéal aurait été de pouvoir superposer la carte des anomalies RADON à celle des linéaments et d'observer une bonne coïncidence entre plages anomales et linéaments supposés correspondre à des fractures en extension. Cela n'est pas le cas, en particulier pour des raisons liées aux échelles d'étude de chacun des paramètres, à la taille de la maille de prospection, au choix opéré sur l'ensemble des secteurs tests présentés :

- l'étude linéamentaire porte sur l'ensemble du massif (elle a été synthétisée à 1/50 000). Elle comporte d'autant plus d'imprécisions dans le positionnement des linéaments, que le calage cartographique sur des repères fiables est difficile, et que tout agrandissement d'une partie du document passant de 1/50 000 à 1/10 000, accentue ces imprécisions de positionnement ;
- la prospection RADON ne porte que sur quelques kilomètres carrés et a été menée à 1/10 000. Elle est donc plus précise que l'agrandissement du réseau linéamentaire, mais elle reste encore nettement trop "lâche" pour pouvoir donner une véritable image du réseau de fractures aquifères drainantes ;
- l'utilisation de la maille carrée de 75 m, correspond à une campagne de type semi-tactique, alors qu'une campagne tactique aurait nécessité des prélèvements réalisés à la maille carrée de 10 m voire de 5 m ;
- par ailleurs, les deux secteurs prospectés pour le RADON ont été jugés potentiellement favorables sur le plan hydrogéologique. Pour affirmer la validation des critères de sélection des zones, il reste à constater leur représentativité dans le cas d'un secteur jugé a priori défavorable en ce qui concerne ses ressources hydrauliques ce qui sera fait en 1988.

5.2 - VALIDATION PARTIELLE DES CRITERES DE CHOIX DES SECTEURS-TESTS

Malgré les imprécisions relevant des problèmes d'échelles de maille de prospection ou de choix des secteurs tests, il convient de retenir les éléments positifs suivants :

- les teneurs en RADON montrent un "bruit de fond" élevé sur les deux secteurs tests, et il existe des pics très élevés ;
- le secteur de Berrien montre une organisation des plages anormales supérieures à 8000 pCi.l^{-1} selon une direction N 170° : Il y a corrélation positive, bien que limitée entre la méthode RADON et les critères structuraux (mésofracturation et linéaments).
- Le secteur du Crann présente une organisation discrète des plages anormales supérieures à 8000 pCi.l^{-1} selon une direction N 110° : on peut noter une corrélation ténue entre les anomalies RADON et une famille de linéaments (N 110°).

Globalement, il existe donc une forme de corrélation positive entre les résultats de la prospection RADON et les critères structuraux (mésofracturation, réseaux linéamentaires), corrélation un peu mieux affirmée sur le secteur de Berrien que sur celui du Crann.

5.3 - PROGRAMME DE TRAVAUX POUR 1988

Les résultats des travaux menés en 1987 sur le massif d'Huelgoat constituent une première étape de l'étude. Il conviendra de poursuivre en 1988 en remédiant notamment aux difficultés liées à la méthode, et en affinant une partie des travaux déjà engagés. Le programme 1988 comporte les éléments suivants :

- prospection RADON sur un secteur **non** favorable afin de juger de la signification des fortes valeurs observées sur les 2 secteurs testés, et de valider l'efficacité des critères structuraux ;
- recherche de linéaments SPOT de directions diverses, caractérisables au sol par la mésofracturation :
 - . d'une part, des linéaments "en compression", a priori défavorables à toute circulation hydraulique,

. d'autre part, des linéaments "en extension" devant fonctionner comme des drains ;

- délimitation de zones semi-tactiques, voire tactiques le long de ces linéaments et réalisation d'une campagne de prospection RADON (maillage et transects) ;
- sur les secteurs déjà prospectés, sélection d'une ou plusieurs plages anormales et passage à une prospection tactique (5 à 10 m) avec reconnaissance sur le terrain, des formations superficielles et de la mésofracturation, en vue de lier étroitement les réponses RADON et la mésofracturation drainante active ;
- sur une partie importante du massif (la moitié environ), prospection RADON à maille lâche (200 à 225 m), afin de dégager, non une image de la fracturation, mais seulement une densité d'anomalies dans les zones favorables et dans les zones défavorables.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BLES(J.L.), GROS(Y.), 1980 .- La fracturation du granite de Bassiès, Pyrénées ariégeoises, France. Chronologie des phases tectoniques, évolution des fractures .- Bull. Soc. Géol. France, (7), t. XXII, n°3, p. 377-390

CASTAING(C.), CHEVREMONT(P.), MARTIN(P.), 1984 .- Massif de Huelgoat. Etudes pétrographiques et structurales (Stockage de déchets radioactifs en formations géologiques) .- Rapport BRGM 83 SGN 827 GEO

CASTAING(C.), ROLET(J.), CHEVREMONT(P.), CALVEZ(J.Y.), THONON(P.), 1987 .- La région de Huelgoat, Finistère central, dans le contexte géodynamique armoricain .- Bull. BRGM Géologie de la France, n°1, pp. 23-26, 12 fig., 1 tabl.

DESFONTAINES(B.), 1986 .- Proposition d'une méthode géomorphologique permettant une approche de la néotectonique en pays tempéré. Exemple d'application à la région de Fougères, France .- Rapport BRGM 85 SGN 659 GEO

DUTARTRE(P.), MALON(J.F.), 1986 .- Traitement d'images et représentation cartographique d'analyses de fracturation .- Rapport BRGM 86 SGN 577 GEO

GOUYET(J.F.), 1987 .- Télédétection en hydrogéologie, création d'outil d'interprétation pour la définition de critères simples pour la recherche d'eau dans les milieux fissurés, massif granitique de Huelgoat, Finistère .- DESS de télédétection, Méthodes et Applications CETEL-PARIS VI

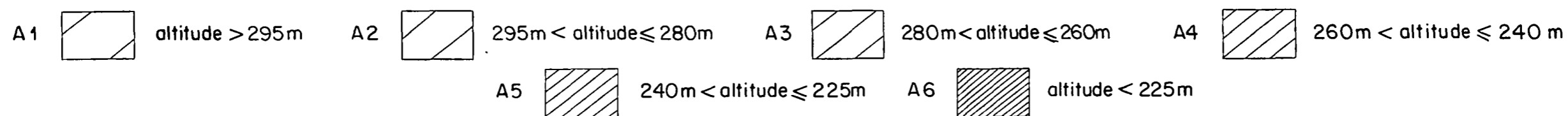
MASSOUD, 1987 .- Modélisation de la petite fracturation par les techniques de la géostatistique .- Thèse ENSMP

MATHERON, 1965 .- Les variables régionalisées et leurs estimations .- Ed. Masson, Paris

RAZACK(M.), 1982 .- A propos d'une loi de distribution des fractures : intérêt pour l'hydrogéologie des aquifères fissurés .- C.R. Acad. Sc. Paris, t. 294, série II, 1295




Echelle:1/50 000



CARTE ALTIMETRIQUE DES SOMMETS ET REPLATS DU MASSIF DE HUELGOAT



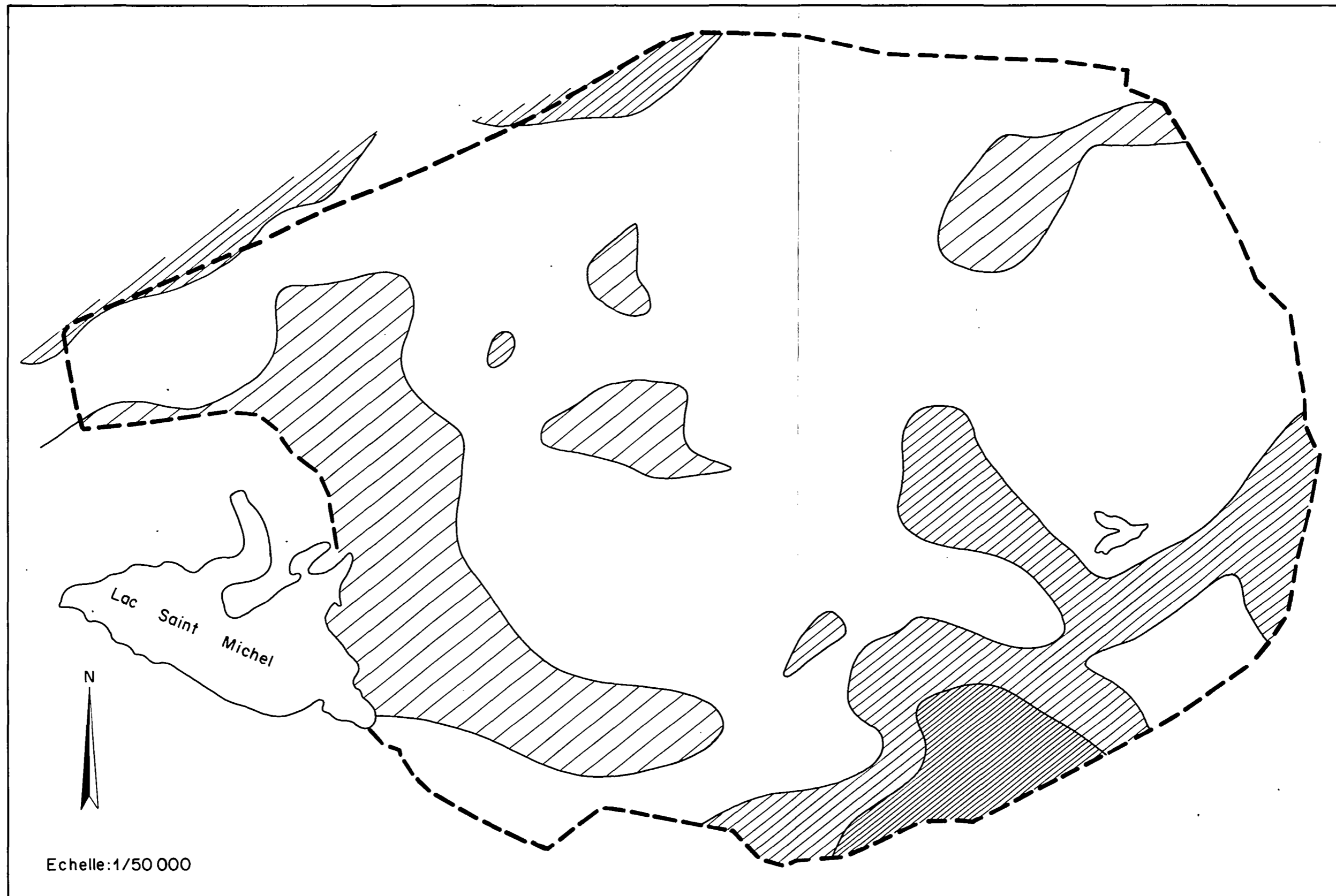
B1  Majorité d'affleurements de roche saine

B2  Granite décomprimé et légèrement altéré

B3  Arène meuble

• affleurements observés

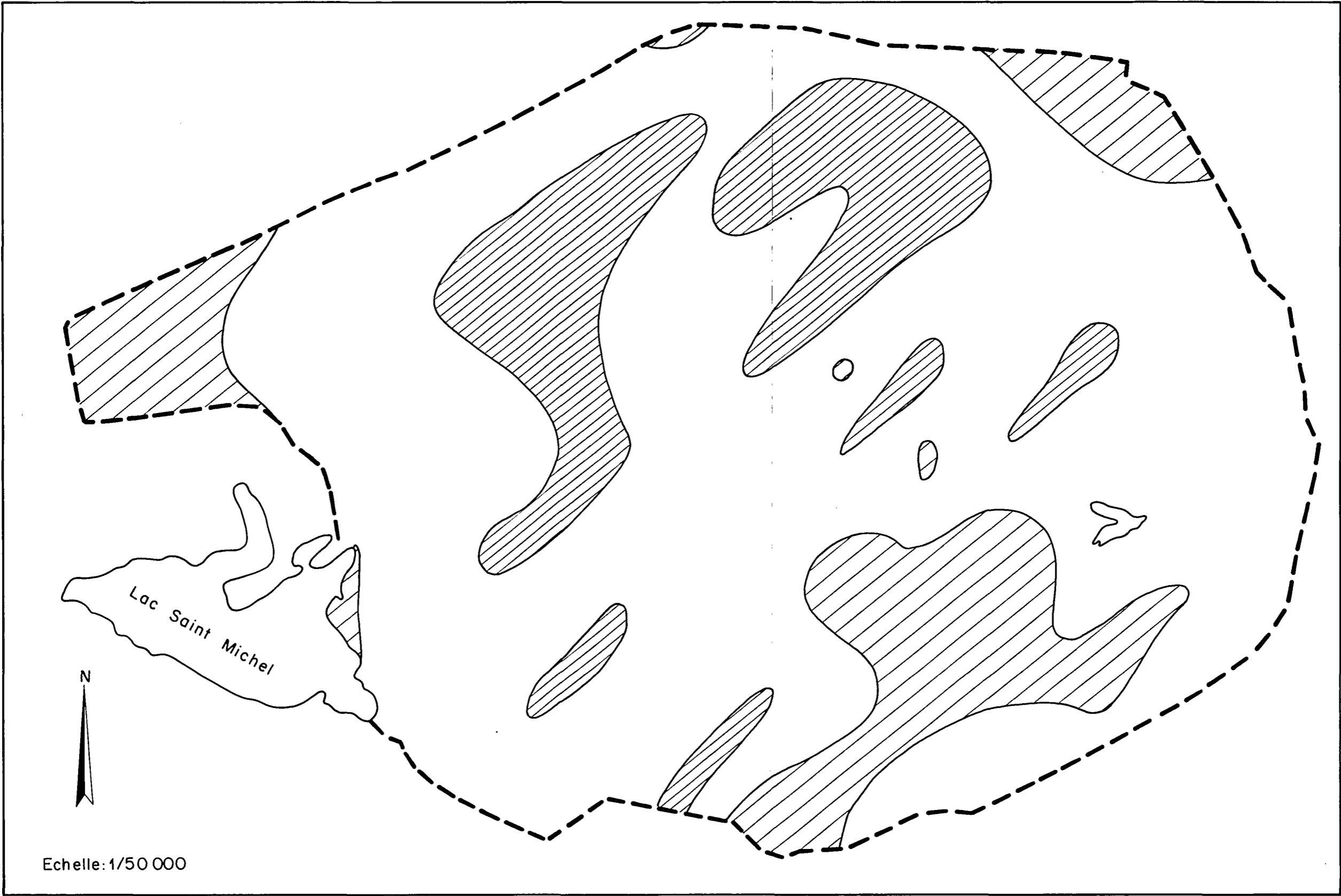
CARTE SCHEMATIQUE DES FACIES SUPERFICIELS DU GRANITE DE HUELGOAT



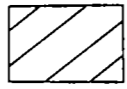
Echelle: 1/50 000


- | | | | | | | | | | | | |
|----|--|------------------|----|--|------------------------|----|--|------------------------|----|--|-------------|
| C1 | | pente \leq 20m | C2 | | 20m < pente \leq 40m | C3 | | 60m < pente \leq 60m | C4 | | pente > 60m |
|----|--|------------------|----|--|------------------------|----|--|------------------------|----|--|-------------|

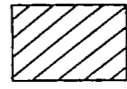
CARTE DE DECLIVITE DU MASSIF DE HUELGOAT
ISOVALEURS CALCULEES SUR UN SEMI DE POINTS ESPACES DE 500 m



Echelle: 1/50 000


D1  $F \leq 4$


D2  $4 < F \leq 6$

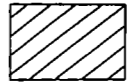
D3  $F \geq 6$

CARTE DE LA FREQUENCE DE DRAINAGE SUR LE MASSIF DE HUELGOAT
ORDRE 1



E1  $F \leq 7$

E2  $7 < F \leq 9$

E3  $F \geq 9$

CARTE DE LA FREQUENCE DE DRAINAGE SUR LE MASSIF DE HUELGOAT
ORDRES CUMULES



Echelle: 1/50 000



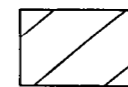
1^{er} choix



Voisin du 1^{er} choix



2^{ème} choix



Acceptable

ZONES A FORT POTENTIEL HYDROGEOLOGIQUE THEORIQUE SUR LE MASSIF DE HUELGOAT
DESCRIPTEURS GEOMORPHOLOGIQUES

