

KARST ET FRACTURATION

G.S. Bagnols Marcoule
J.Louis GUYOT & Alain MARTINEZ

Méthode d'étude

Il est connu depuis longtemps que le Karst ne peut se développer dans les roches carbonatées qu'à la faveur de discontinuités, celles-ci pouvant être d'origine sédimentaire (joints de stratification) ou d'origine tectonique (failles et diaclases).

Depuis quelques années, certains auteurs (L. KIRALY - 1968, R. GUERIN - 1973, J-C. GRILLOT - 1979) étudient à des fins comparatives la répartition statistique directionnelle de la fracturation et des galeries karstiques; lieu de plus grande perméabilité.

La comparaison des histogrammes de fréquence par fourchettes directionnelles de la fracturation (à partir des relevés de terrain et des photographies aériennes) et des réseaux karstiques (d'après les plans spéléologiques) permet de mettre en évidence l'utilisation par le karst de tel ou tel type de fracture. En outre, cette utilisation est précisée en fonction des jeux ou rejeux des fractures : L'analyse tectonique revêt donc en ce domaine une grande importance, en particulier au niveau des structures cassantes.

1 - LA FRACTURATION

L'analyse de la fracturation peut être faite à différentes échelles et de diverses manières :

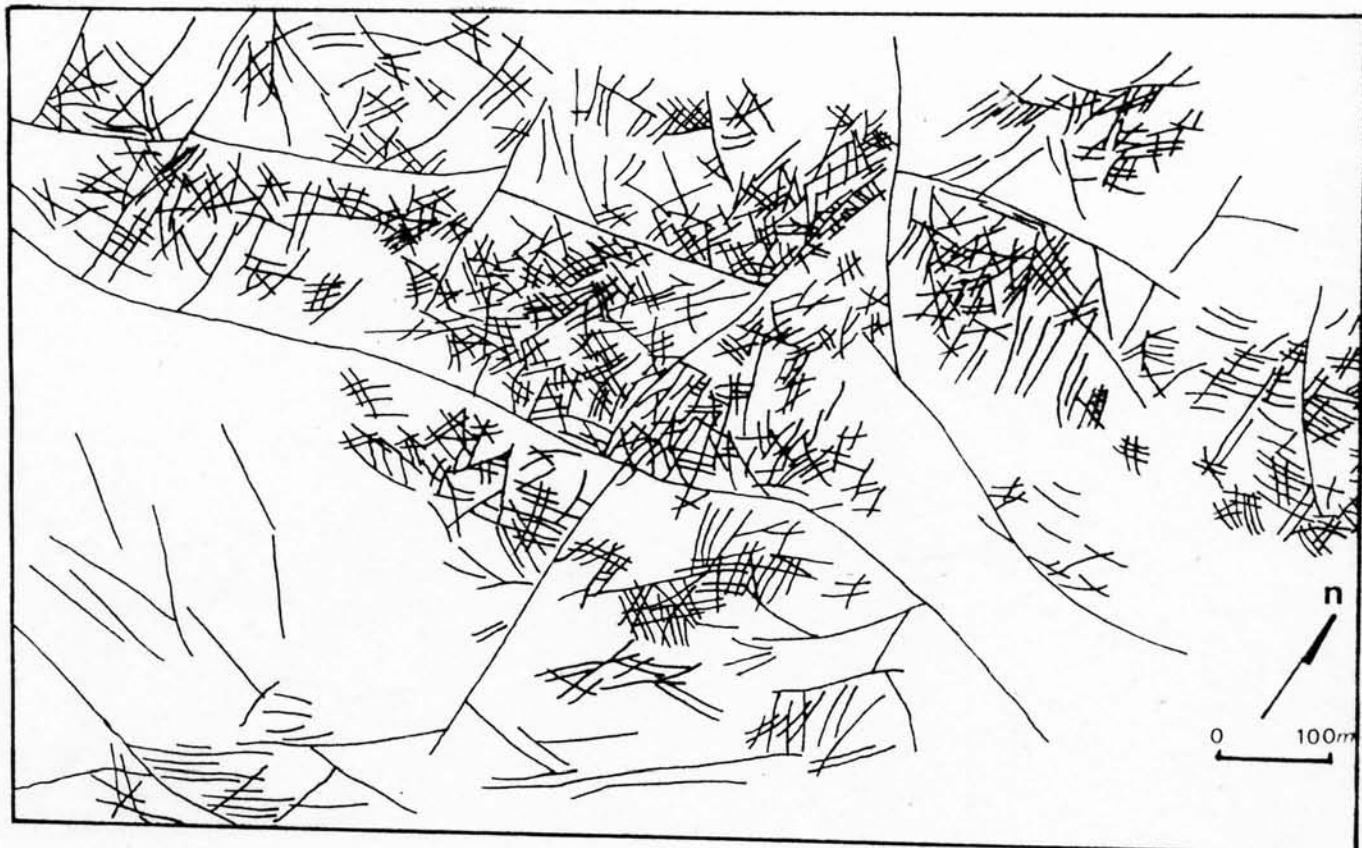
A - Interprétation des photographies aériennes

Quand cela est possible (affleurements importants, couvert végétal clairsemé ...) il est intéressant d'utiliser les photographies aériennes pour rechercher les alignements morpho-tectoniques d'échelles métriques à hectométriques (voire plurikilométriques).

M. RAZACK (1978) a montré qu'en structure tabulaire ou peu déformée, avec des affleurements quasicontinu, la meilleure échelle pour ce genre de travail est le 1/15 000^e disponible à l'Institut Géographique National.

A partir de ces clichés aériens, il est possible en stéréoscopie de dresser des cartes de fracturation qui peuvent être très complexes.

Exemple de carte de fracturation dans la région Nord-Montpelliéraise
(calcaires du Kimmeridgien)



Extrait de : " A propos de méthodologies d'analyses quantitatives à l'échelle régionale de champs de fractures " par Jean Claude GRILLOT in : Revue de géographie physique et de géologie dynamique, vol.19, 1977.

B - Les relevés de terrain

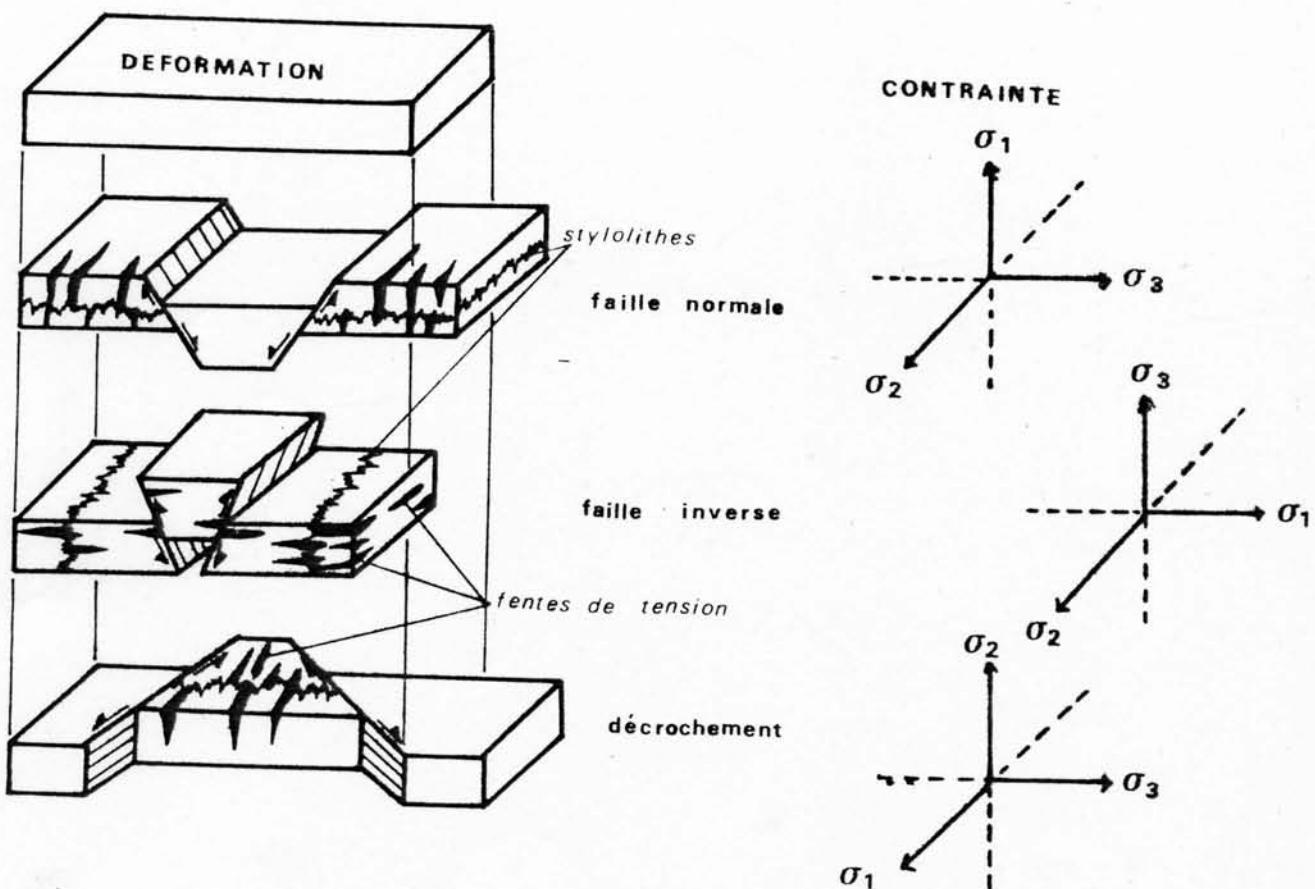
Sur le terrain, on repère les accidents tectoniques d'ordre centimétrique à métrique (voire hectométrique). On note pour chacun de ces joints de rupture la direction, le pendage, l'écartement et le sens du déplacement si cela est visible. Ces petits accidents sont souvent associés à des stylolithes et des fentes de tension (microstructures tectoniques) qui permettent de mieux définir le tenseur de contrainte à l'origine de ces déformations.

Il existe trois types de fractures à rejet (faille normale, faille inverse, décrochement) qui correspondent à un système triaxial spécifique à chacun des types de structures.

En prenant comme référence :

Z : direct ^e princ. du raccourcissement	→	σ_1 : contrainte maximale
X : direct ^e princ. d'allongement	→	σ_3 : contrainte minimale
Y : direction intermédiaire	→	σ_2 : contrainte interméd.

On peut alors décomposer les trois types de failles de la manière suivante :



D'après Maurice MATTAUER & Jean Claude GRILLOT

On remarque que les fentes de tension sont dans la plupart des cas suborthogonales à σ_3 et les pics stylolithiques subparallèles à σ_1 . On comprend alors l'importance qu'ont ces microstructures dans les relevés de terrain : elles permettent en effet de reconstituer les différents champs de contrainte ayant affecté la région lors des phases tectoniques successives. On remarque que ce sont principalement les failles normales et les décrochements qui sont à l'origine de l'ouverture des fractures, ce qui favorise ainsi l'établissement d'une karstification préférentiellement orientée sur certains joints.

2 - LES GALERIES KARSTIQUES

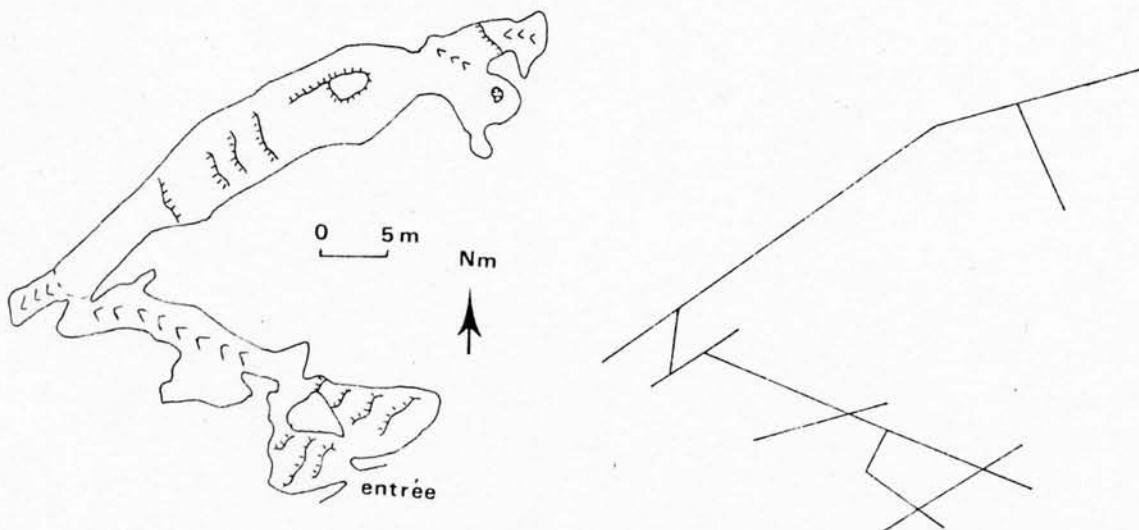
L'étude des galeries karstiques se fait à partir des plans relevés par les spéléologues. Il est pour cela nécessaire d'avoir des plans très précis mentionnant l'échelle et le Nord. Si le Nord indiqué est le Nord magnétique, il faut le transformer en Nord géographique (repère absolu) en fonction de la déclinaison magnétique et de l'âge des topographies souterraines. Cette transformation qui est d'autant plus utile que les plans sont anciens est également nécessaire pour les relevés de terrain.

Pour chaque galerie, on relève le cheminement sur le plan. Par convention un petit axe n'est mesuré que si sa longueur est supérieure à deux fois la largeur moyenne de la galerie (R. GUERIN - 1973).

Pour que cette analyse des galeries karstiques ait un sens, il importe de ne traiter que les réseaux les plus longs dont les dimensions sont supérieures à la maille élémentaire de la fracturation. Dans la région, il faut se restreindre à l'analyse des réseaux ayant un développement plurikilométrique.

La transformation topographie-cheminement introduit dans les mesures une certaine marge d'erreur qui ne sera compensée que par un grand nombre de mesures, d'où l'importance d'étudier les réseaux les plus vastes.

Exemple de transformation : Grotte de Petrus



Topographie G.S.B.M. Extrait du bulletin du G.S.B.M. N° 7 - 1977

3 - LES METHODES D'ANALYSE STATISTIQUE

Possédant les cartes de fracturation (issues des photographies aériennes), les relevés de terrain ainsi que les cheminements des galeries karstiques, il s'agit ensuite d'analyser ces données en fonction de leur orientation.

Pour cela il existe plusieurs méthodes :

A - La méthode manuelle

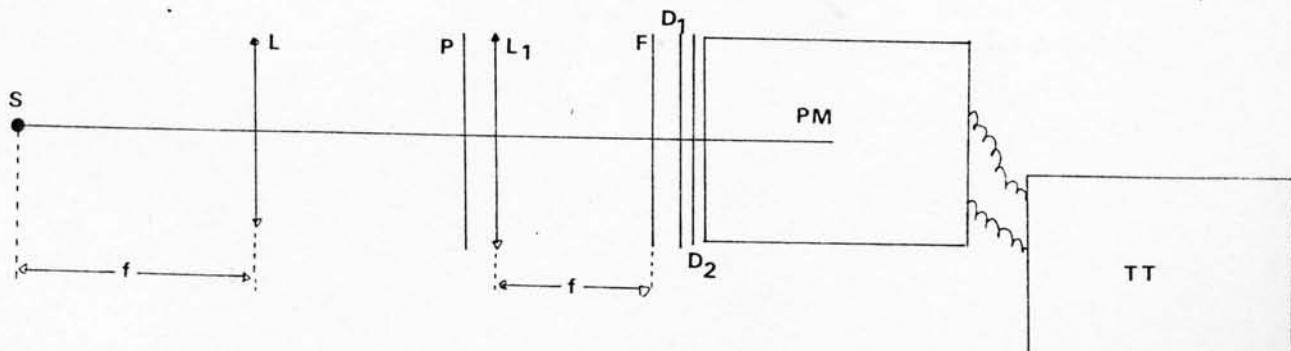
Avec un rapporteur, il est possible de relever les longueurs et les directions de chaque segment. Mais cette méthode est très fastidieuse et irréalisable dans le cas des cartes de fracturation. Toutefois, pour les réseaux karstiques peu développés et les relevés de terrain, cette méthode peut être utile vu qu'elle est à la portée de tous.

B - Le banc d'optique

Cet appareillage qui était déjà utilisé à cette fin à l'Institut Français du Pétrole (P. BOUCHE - 1971) a été amélioré à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc (LLORIA C. - 1975). Il est utilisé pour l'analyse des champs de fractures ainsi que des relevés de réseaux karstiques, par filtrage optique.

Le document à analyser est photographié sur un film diapositive noir et blanc très sensible. La diapositive obtenue est balayée par une source laser qui est polarisée. L'intensité lumineuse absorbée par le photomultiplicateur est analysée en fonction de l'angle du filtre polarisant par rapport au Nord de la diapositive. Le photomultiplicateur est directement relié à une table traçante qui nous donne automatiquement l'histogramme des longueurs cumulés en fonction de l'orientation.

Schéma du banc d'optique



S : Source laser	U_1 et D_2 : verres dépolis = diffuseurs
L : lentille collimatrice	PM : photomultiplicateur
P : Plan objet	TT : table traçante
L_1 : lentille donnant la transformée de Fourier	f : distance focale des lentilles
F : filtre	

Extrait de : " Utilisation du filtrage optique pour l'étude de la fracturation des roches carbonatées en hydrogéologie " par C. DROGUE, G. MAS, JC. GRILLOT, C. LLORIA, R. GUERIN. in : revue de géog. phys. et géol. dyn. vol. 17, fasc. 1, pp. 39-44, Paris 1975.

Cette méthode est intéressante car très rapide d'emploi, toutefois le montage actuel ne permet d'avoir que des histogrammes de longueur cumulée en fonction de l'orientation.

C - L'analyseur d'images

C'est un appareillage existant au Bureau de Recherches Géologiques et Minières à Orléans la Source (JM. PREVOSTEAU - 1975, C. GATEAU - 1976).

L'analyseur d'images permet, en plus du classement en longueur cumulée, de dénombrer les fractures par classes directionnelles et d'évaluer la densité de fracturation par unité de surface. Il est donc plus performant que le banc d'optique mais nécessite des conditions d'utilisation très strictes et un temps de manipulation assez long. En outre, il s'agit d'un appareillage excessivement coûteux réservé aux initiés.

D - La méthode numérique

Pour pallier aux inconvénients du banc d'optique, le laboratoire d'hydrogéologie de l'USTL (Montpellier) a mis au point une méthode de numérisation des fractures permettant d'analyser la fréquence, la longueur cumulée de celles-ci par fourchettes directionnelles ainsi que d'autres paramètres tels que : densité de fracturation et distance interfracturale (M. RAZACK - 1978). Le programme original en Fortran IV (Rafrac) a été adapté en Basic pour l'utilisation sur calculatrices de bureau (G. BRIERE, D. LEJAY - 1980).

Les données sont digitalisées sur un lecteur de courbes et enregistrées sur cassettes magnétiques. Après traitement, les résultats (tableaux de valeurs et histogrammes) sont restitués sur imprimante.

Bien que la digitalisation d'un champ de fractures soit assez longue, cette méthode demeure une des plus intéressantes, car elle permet d'obtenir de nombreux renseignements tout en restant d'un emploi relativement simple.

4 - COMPARAISON DU KARST ET DE LA FRACTURATION

Possédant les histogrammes relatifs à la fracturation (champs de fractures, relevés de terrain) et ceux relatifs à la karstification (relevés spéléologiques), il devient possible de comparer les résultats obtenus par les différentes méthodes d'analyse et de mettre ainsi en évidence l'influence réelle de la fracturation sur la karstification.

Les travaux récents (R. GUERIN - 1973, JC. GRILLOT - 1979) ont montré le rôle de certaines familles de fractures sur la karstification. A partir des résultats obtenus dans le Sud de la France, JC. GRILLOT (1979) distingue plusieurs phases tectoniques ayant une répercussion sur les directions d'écoulements karstiques:

Etat 1 & 2 : ils représentent l'état fissural du Karst et son évolution avant la phase Pyrénéenne d'âge Eocène supérieur. La karstification s'installe sur des fractures N020, N110 dues à la distension et sur des fractures N070, N160 dues à une phase compressive Pyrénéenne précoce.

Etat 3 : il traduit la phase compressive Pyrénéenne d'âge Eocène supérieur. On remarque la fermeture des fractures N070 et N110 subhortogonales à la poussée Sud-Nord. Les fractures préexistantes N020 et N160 sont à nouveau utilisées (décrochements). On remarque la naissance d'une karstification Nord-Sud et Est-Ouest.

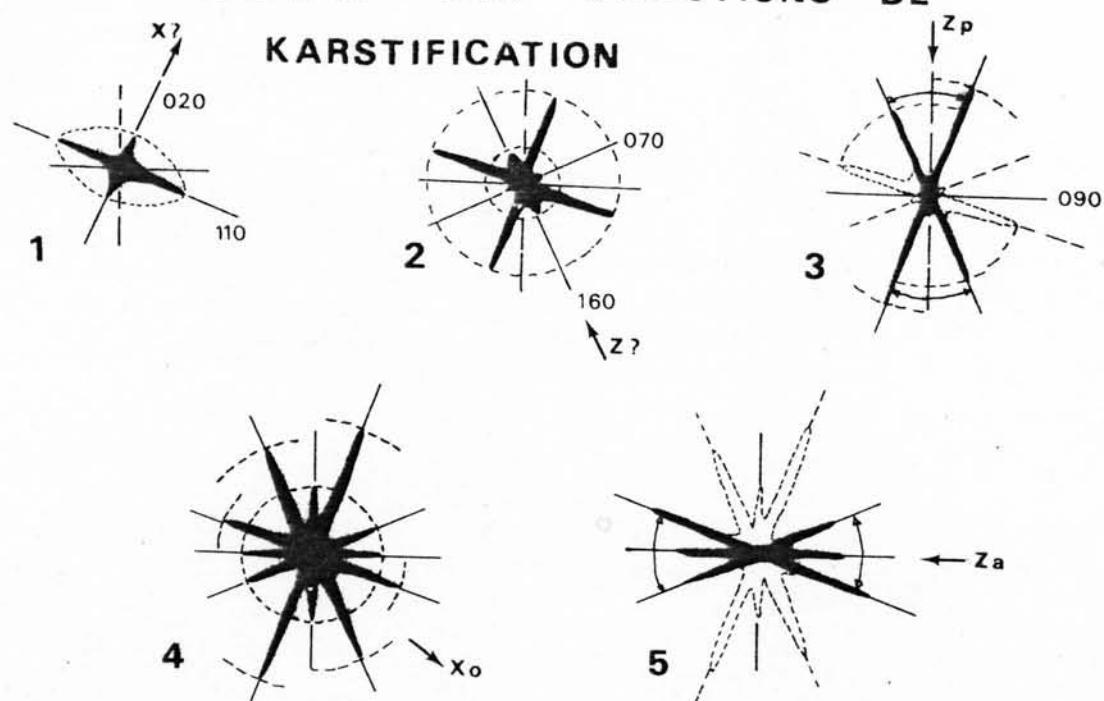
Etat 4 : il représente la phase distensive de l'Oligocène moyen N120-130. Dans les régions où celle-ci s'est fait sentir, on observe une ouverture de toutes les fractures (plus particulièrement N000 à N020) qui se traduira par une apparence multidirectionnelle des réseaux karstiques.

Etat 5 : il concerne les régions affectées par la phase compressive Alpine d'âge Miocène supérieur (Est-Ouest). Celà va se traduire par une oblitération des fractures subhortogonales au raccourcissement (N000, N020, N160) et une ouverture favorisant la karstification pour les autres directions (N070, N090, N110).

Les résultats obtenus par R. Guérin (1973) dans le Karst Urgonien du plateau Ardéchois mettent en évidence l'existence de :

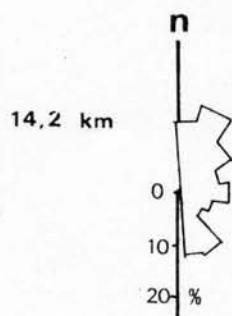
EVOLUTION PROBABLE DES DIRECTIONS DE

KARSTIFICATION

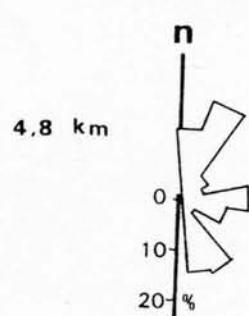


d'après J-C. GRILLOT - 1979 -

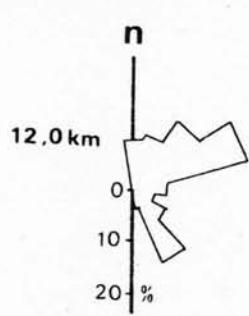
QUELQUES EXEMPLES REGIONAUX



Grotte de St Marcel

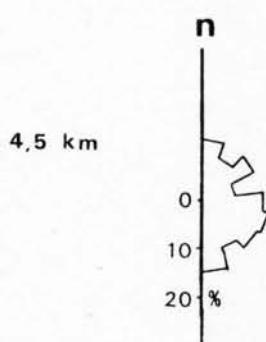


Aven d' Orgnac

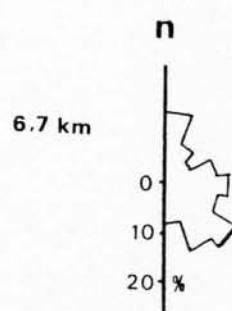


Goule de Foussoubie

d'après R. GUERIN - 1973 -



Grotte de la Cocalière (partie basse)



Event de Peyrejal-Goule de Sauvas

d'après J-L. GUYOT - 1980 -

- une karstification antépliocène avec directions préférentielles N000, N020, N160. Cette karstification qui est représentée par le karst fossile actuel correspond aux états 1 à 4.

- une karstification Plio-Quaternaire avec directions préférentielles N090. Cette karstification qui est représentée par un karst profond actif et un karst superficiel correspond à l'état 5.

Mais il est important de remarquer que cette orientation préférentielle varie d'une zone structurale à une autre. Ainsi les réseaux fossiles (antépliocène) de l'aven d'Orgnac et de la grotte de St Marcel d'Ardèche ont bien des directions préférentielles N000-N020 et N160 alors que le réseau Goule-Event de Foussoubie, en grande partie fossile mais appartenant à une autre unité structurale, a des directions de karstification préférentielles différentes (N035 à N075).

5 - CONCLUSION

L'étude comparative de la répartition statistique des longueurs cumulées de galeries karstiques avec la fracturation permet de mettre en évidence le rôle prépondérant de certaines fractures sur les écoulements karstiques fossiles et actuels. Il devient alors possible de mieux discerner les phases tectoniques ayant eu une influence sur le karst.

Toutefois la datation des différentes étapes de karstification ne pourra être envisagée qu'en collaboration avec des études sédimentologiques et paléogéographiques.

6 - BIBLIOGRAPHIE

ARTHAUD F. & CHOUKROUNE P. : " Méthode d'analyse de la tectonique cassante à l'aide des microstructures dans les zones peu déformées.

Exemple de la plateforme Nord-Aquitaine." Revue de l'I.F.P. Tome 27 - N° 5 - Sept. Oct. 1972.

GRILLOT J-C. : " Structure des systèmes aquifères en milieu fissuré." Thèse de doctorat d'état - Montpellier - U.S.T.L. - 1979.

GUERIN R. : " Un exemple du rôle de la tectonique et de la microtectonique dans la géométrie des écoulements karstiques fossiles et actuels - le Bas Vivarais calcaire." Thèse de 3^e cycle - Montpellier - U.S.T.L. - 1973.

RAZACK M. : " Contribution à l'étude de la structure des aquifères en roches fissurées - Numérisation et analyse quantitative de la fracturation relevée sur clichés aériens." Thèse de docteur-ingénieur - Montpellier - U.S.T.L. - 1978.

BRIERE G. : documents inédits - préparation thèse 3^e cycle - Montpellier

Commune de MONTCLUS

Depuis sa création en 1973, le Groupe Spéléo Bagnols Marcoule qui n'a cessé d'explorer les cavités de la région de Montclus, a topographié plus de 10000 mètres de galeries sur une trentaine de cavités situées dans cette commune.

Il nous a donc semblé intéressant d'étudier le rôle de la fracturation sur les directions d'écoulements karstiques - fossiles et actifs - de cette région.

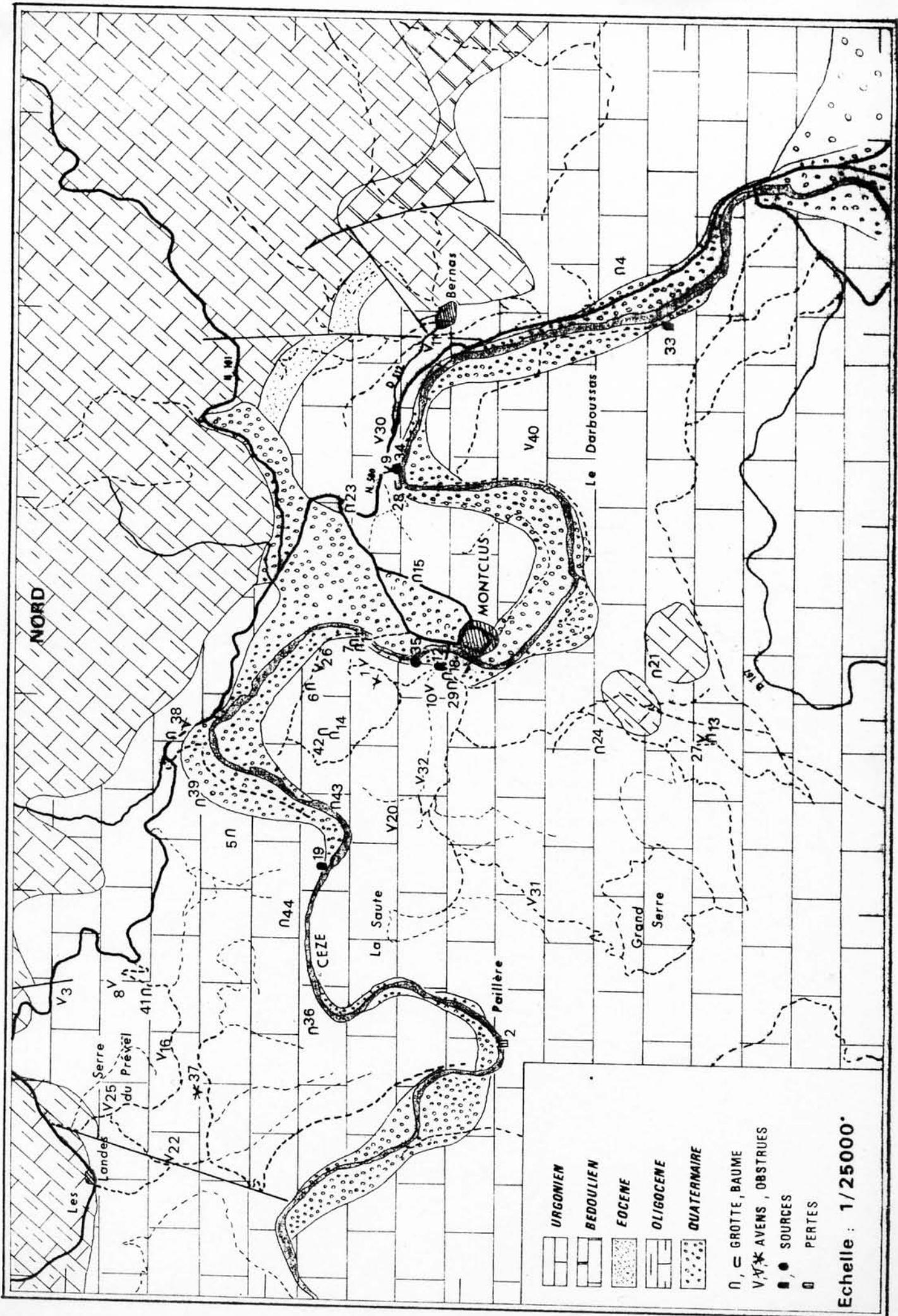
Nous avons inséré à cette étude la " Baume Salène " dont l'entrée est située sur la commune de Méjannes le Clap car une partie de son réseau s'étend sous la commune de Montclus, et qu'elle fait partie intégrante du système du Moulin à Montclus.

1 - INVENTAIRE DES CAVITES -

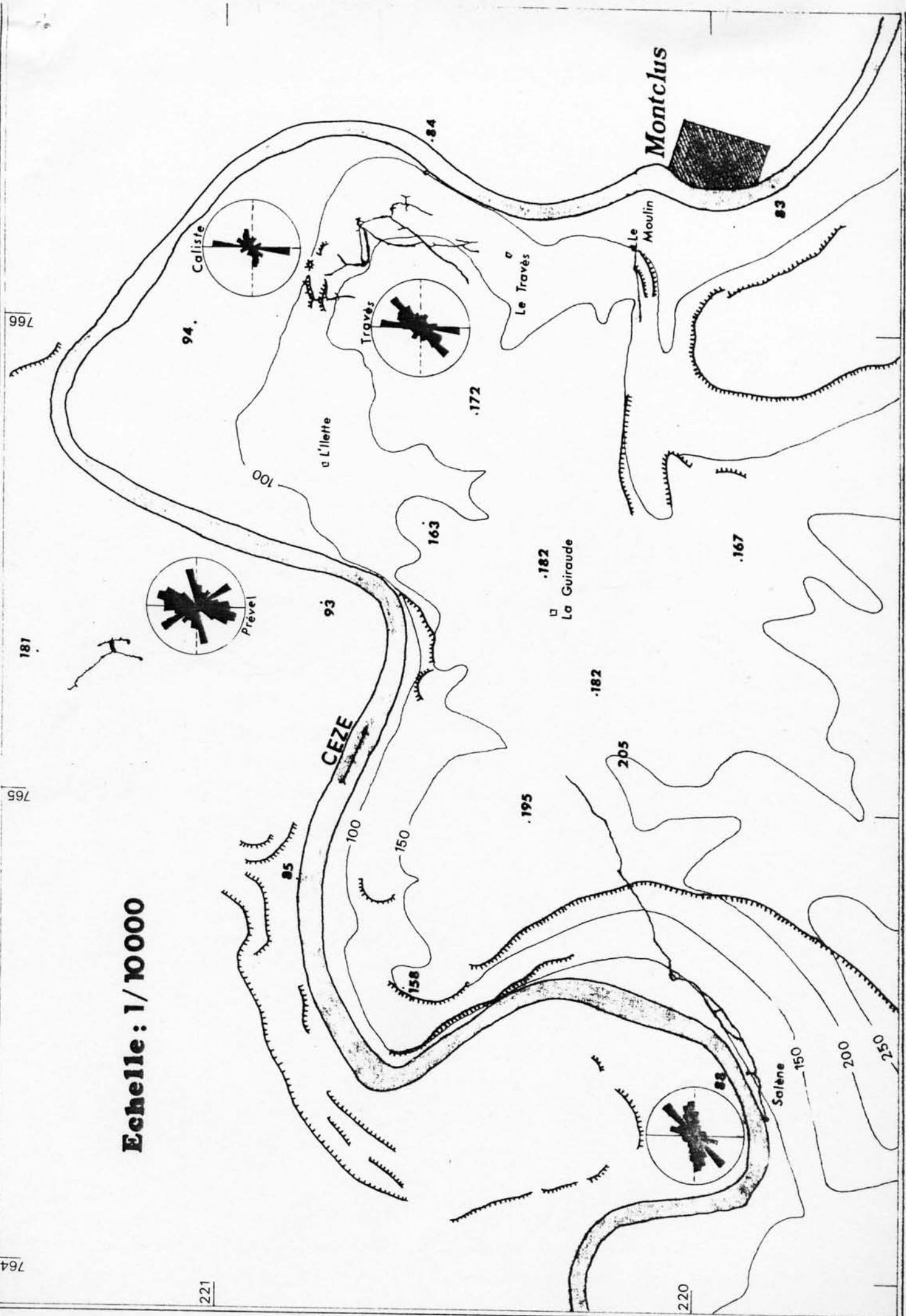
Dans le répertoire suivant, les cavités sont classées par développement décroissant. Cependant, certaines topographies n'étant pas encore terminées, ce classement ainsi que les longueurs annoncées demeurent provisoires. Le numéro correspond à celui indiqué sur la carte de situation. Afin d'éviter toute confusion, nous donnons éventuellement les synonymes de la cavité et ses coordonnées Lambert.

Les profondeurs ne sont notées que si la coupe de la cavité existe. Les développements indiqués sont ceux obtenus par digitalisation sur un lecteur de courbes. Il s'agit donc de développement plan qui sont dans tous les cas inférieur au développement réel. L'échelle du document digitalisé est également mentionnée car on remarque d'une manière générale, que les longueurs sont d'autant plus sous-estimées que les échelles sont petites.

Pour les cavités ayant fait l'objet de publications, nous indiquons les références de celles-ci en donnant l'auteur et l'année de parution. Pour plus de précision, se référer à la bibliographie de fin d'article. Lorsque la cavité est fichée dans le répertoire des cavités naturelles du B.R.G.M., le numéro de la fiche est mentionné.



Echelle: 1/10000



p. 40-43, 48-49, 53 / J-L. Guyot : 1973 p. 26 / C. Diluca : 1974
p. 23 / B. Léger : 1980 a - 1980 b - 1980 c p. 16 / BRGM N° 1419.

34 - SOURCES DES BAUMES

X : 767,21 - Y : 220,42 - Z : 85

Ref.: E. Dumas : 1876 p. 355 / F. Mazauric : 1903 b p. 8,21 - 1904 a p. 25 / G. Fabre : 1969 c p. 84 - 1972 p. 48 - 1973 p. 25 - 1974 p. 29 - 1980 p. 124-126 / J-L. Guyot : 1973 p. 29.

35 - SOURCE DE MONTCLUS

X : 766,25 - Y : 220,32 - Z : 85

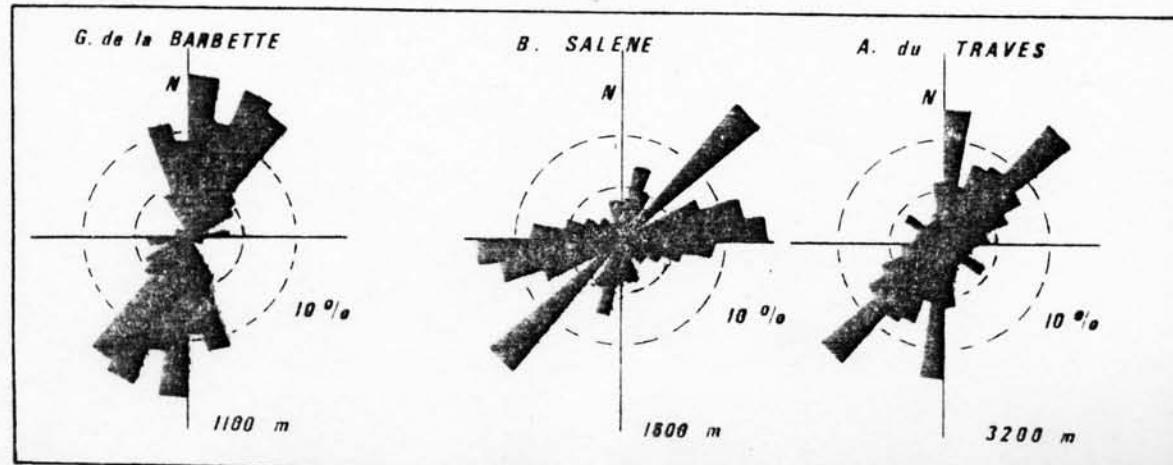
Ref.: J. Maheu : 1902 p. 87 / F. Mazauric : 1903 b - 1904 a.

D'autre part, le G.S.B.M. connaît sur la commune de Montclus, d'autres cavités de faible développement n'ayant pas encore fait l'objet de relevés précis : il s'agit de la Grotte de GOURGOUVRAN (36), l'aven des ALESIENS ou de l'Inde N° 3 (37), l'aven du Pont du PREVEL (38), la Grotte du M.A.S.C. (39), l'aven du PAS DE L'ANE (40), la Grotte du BLAIREAU (41), la Grotte de l'ILETTE (42), les Grottes de MONTEILS (43), la Grotte de COMBE ESCURE (44).

2 - ANALYSE STATISTIQUE DES DIRECTIONS DE KARSTIFICATION

Afin d'avoir des échantillons assez représentatifs, nous n'avons étudié séparément que les cavités dépassant 1000 mètres de développement.

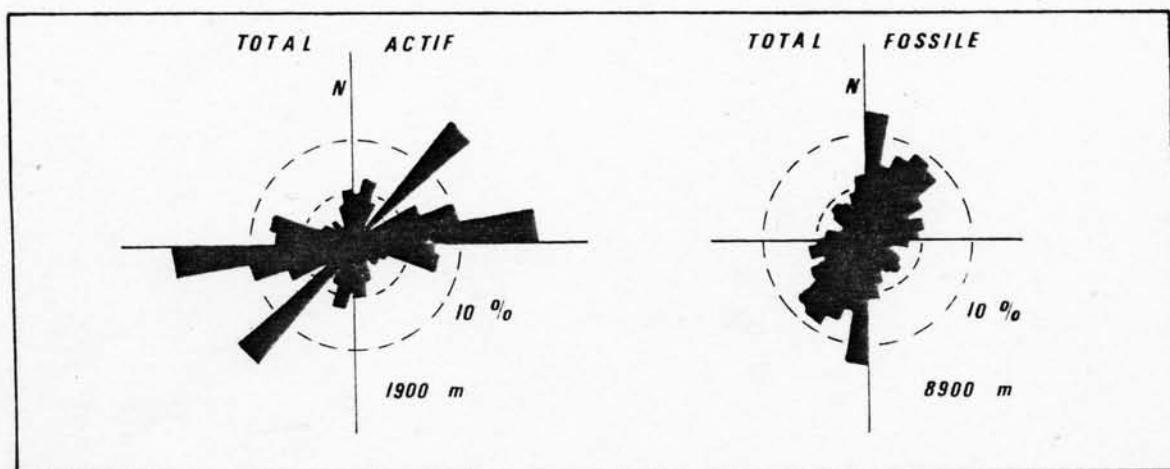
Les histogrammes ont été obtenus au laboratoire d'hydrogéologie de l'U.S.T.L. (Montpellier) par la méthode numérique (digitalisation sur lecteur de courbes et traitement informatique par calculatrice Hewlett Packard 9845-B).



L'Aven du Traves et la Grotte de la Barbette, qui sont des réseaux entièrement fossiles, ont un maximum de galeries dans la direction N000-N050. La Baume Salène qui est en grande partie parcourue par un écoulement pérenne, se développe préférentiellement sur les directions N040-N050 et N060-N100.

Il semblerait donc, que comme dans l'Urgonien Ardéchois (Guérin - 1973), les réseaux actifs profonds et les réseaux fossiles ne se développent pas préférentiellement suivant les mêmes directions de fracturation.

Pour vérifier cette hypothèse, l'analyse séparée de la totalité des réseaux fossiles (8900 m.) et des réseaux actifs (1900 m.) a été faite.



Les histogrammes obtenus confirment l'hypothèse que dans le Karst Urgonien de la vallée de la Cèze, on distingue comme R. Guérin dans l'Ardèche :

- Une karstification antéPliocène (état 1 à 4) : ce sont les réseaux actuellement fossiles avec un maximum de karstification suivant des directions essentiellement sub-méridiennes, correspondant vraisemblablement aux phases compressives Pyrénéennes.

- une karstification Plio-Quaternaire (état 5) : il s'agit des réseaux actifs profonds avec un maximum de karstification suivant la direction Est-Ouest, direction du raccourcissement alpin.

On remarque également la présence bien marquée dans les deux cas de la famille N040-N050 qui peut être due à la phase distensive Oligocène. (état 4).