EXTRAIT

du Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord
Tome Soixante huit (1977) — Fascicule 1 et 2

pp. 79 - 100

LA KARSTIFICATION DE L'AZEROU EL KEBIR
(Algérie du Nord)
APPROCHE GLOBALE DE LA SPELEOGENESE D'UN MASSIF

par

P.-E. COIFFAIT, Y. QUINIF

Imp. S.N.E.D. (zaban) - ALGER

Spéléo Club Constantine

Bull. Soc. Hist. nat. Afr. Nord
Alger, t. 68, *fasc.* 1 *et* 2, 1977

LA KARSTIFICATION DE L'AZEROU EL KEBIR (Algérie du Nord) APPROCHE GLOBALE DE LA SPELEOGENESE D'UN MASSIF

par

COIFFAIT PHILIPPE-EMMANUEL*, QUINIF YVES**

Le but de ce travail est de grouper des données provenant de divers domaines (morphologie souterraine, analyse structurale, géochimie) pour les utiliser afin de saisir l'évolution spéléogénitique d'un massif donné : l'Azerou el Kébir. Sa position et son évolution struturale, la nature des cavités explorées, la présence d'un important thermalisme, donnent à ce massif une particularité certaine.

Après le remarquable travail de A. CAIRE (1957), où l'auteur traite de l'Azerou el Kébir, l'intérêt de ce massif résurgit récemment, spécialement à cause de son karst et de sa géologie (COIFFAIT et QUINIF, 1976 et COIFFAIT et VILA, 1977).

I. — *Les faits observés.*

A. *Localisation et aspect morphologique*

Se dressant le long de la route Alger-Sétif, ou N.W. de Mansourah (Fig. 1), l'Azerou el Kébir constitue un des deux fragments de la petite « chaîne des Azerou », s'élevant au Sud du massif des biban. C'est un chaînon étroit et allongé approximativement N 45° E. Ses formes franches, aux parois verticales au S.E., sont dues à des carbonates et s'opposent à un environnement aux formes plus molles.

Le relief actuel de l'Azerou el Kébir est en grande partie structural. La forme générale, et plus particulièrement les parois verticales dominant la vallée de l'Oued el Kébir, sont dues à la grande faible bordière qui a permis la surrection du massif. Le versant qui sépare les parois de l'Oued est un système de glacis et de terrasses fluviatiles (cf. A CAIRE 1957, p. 496) certaines étant encroûtées de tufs en couches atteignant plus de 10 mètres d'épaisseur.

(*) Institut des Sciences de la Terre et C.U.R.E.R., Université de Constantine (Algérie) et Laboratoire Associé C.N.R.S., n° 145 : Géologie méditerranéenne.
(**) Laboratoire de Minéralogie et de Pétrographie de la Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain, 7000 Mons (Belgique).

Spéléo Club Constantine

Une des caractéristiques les plus frappantes de l'Azerou el Kébir est l'abondance des porches qui défoncent littéralement certaines parois. On les compte parfois par dizaines. Vu leur situation en parois subverticales,

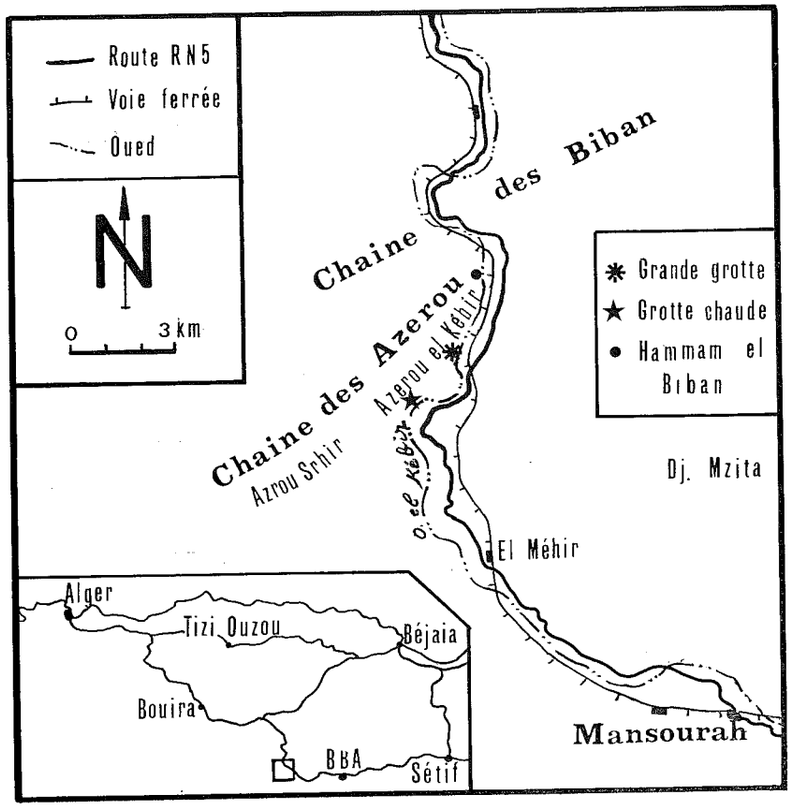


Fig. 1 : Localisation du secteur étudié.

tous ne sont pas explorés. Nous avons reconnu deux cavités importantes : la grande grotte et la grotte chaude, et plusieurs cavités de moindre importance.

C'est à l'extrémité nord du chaînon qu'émergent les eaux thermales de Hammam el Biban, sur lesquelles nous reviendrons.

B. *Géologie.* (Fig. 2 et 3)

L'intérêt très particulier du massif au point de vue géologique a déjà été exploité ailleurs. Nous ne reviendrons ici que sur les aspects géologiques importants quant à la karstification.

Spéléo Club Constantine

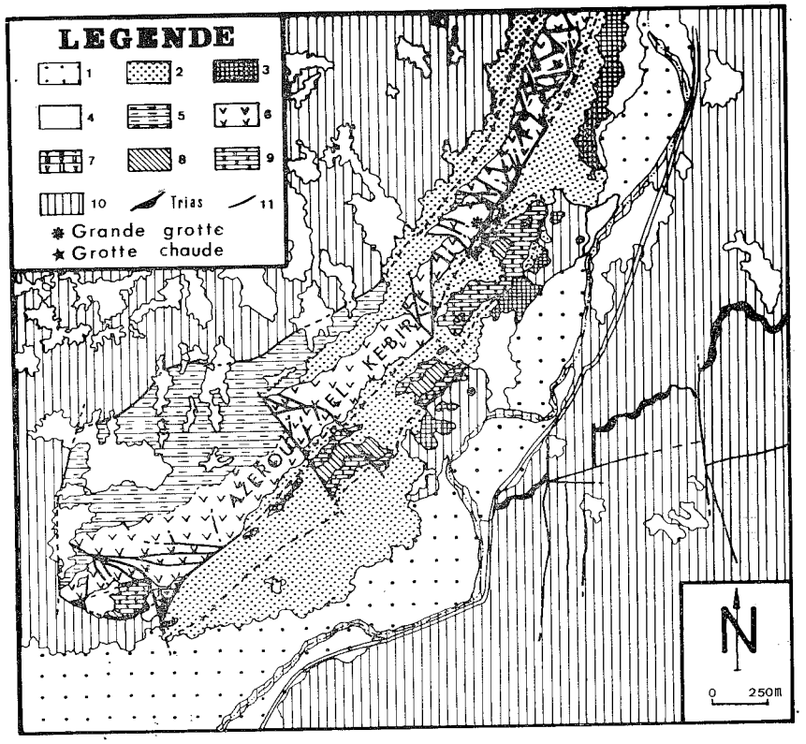


Fig. 2 : Carte géologique du massif de l'Azerou el Kébir.

Formations quaternaires :

1) Alluvions récentes ;
2) Formations de pente avec apports longitudinaux fluviatils ;
3) Travertins ;
4) Quaternaire ancien.

Formations sub-autochtones :

5) Albien supérieur-Vraconien (marnes et marnocalcaires) ;
6) Cénomanien inférieur (Dolomie massive à patine fauve) ;
7) Cénomanien au moins moyen (calcaire blanc biodétritique).

Formations allochtones (lames A_3 et A_4 de A. CAIRE) :

8) Paléocène (marnes et marno-calcaires foncés) ;
9) Yprésien-Lutétien inférieur (calcaires lités à silex) ;
10) Sénonien (marnes grises) ;
11) Failles et contacts anormaux.

On remarquera le sub-autochtone en position inverse, l'allochtone constitué de deux lames dont l'inférieure (au moins) est en série normale, séparées par un contact à Trias et l'abondance et la diversité des formations récentes.

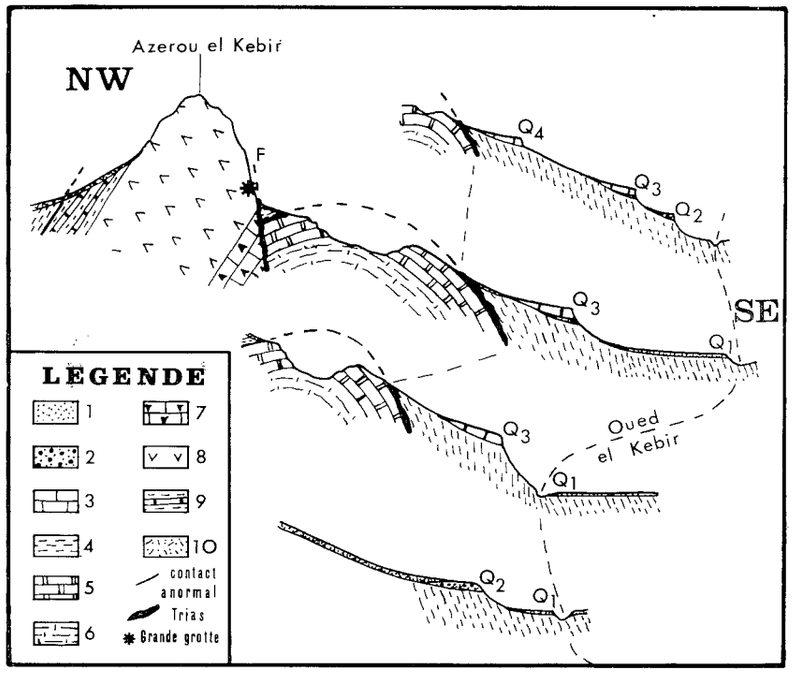


Fig. 3 : Coupes géologiques de l'Azerou el Kébir.

Quaternaire :

1) Limons et alluvions récentes ;
2) Alluvions grossières ;
3) Travertins.

Formations allochtones :

4) Marnes sénoniennes ;
5) Calcaires lités de l'Yprésien-Lutérien inférieur ;
6) Marnes et marno-calcaires du Paléocène.

Formations sub-autochtones :

7) Calcaires biodétritiques du Cénomanien au moins moyen ;
8) Dolomies du Cénomanien inférieur ;
9) Marno-calcaires de l'Albien supérieur-Vraconien ;
10) Formation de pentes.

On notera les différents niveaux quaternaires corrélés d'une coupe à l'autre (Q_1 à Q_4). Voir également : A. CAIRE - 1957, p. 496 et p. 631.

Spéléo Club Constantine

1. LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

La paroi de l'Azerou El Kébir est constituée de carbonates : grande masse dolomitique, de plus de 200 m de puissance, surmontant des calcaires à caractères subrécifaux. La grande grotte s'ouvre dans les dolomies et la grotte chaude dans les calcaires de base. Ces carbonates (calcaires et dolomies) sont surmontés par des alternances marnocalcaires. L'analyse chimique a donné, pour les dolomies, 95,5 % de (Ca, Mg) CO_3 pour 3,5 % de Ca CO_3, et pour les calcaires 98,5 % de Ca CO_3 pour 1,2 % de (Ca, Mg) CO_3.

Cet ensemble a pu être daté (CAIRE 1957, COIFFAIT et VILA 1976). Il est en série inverse, les marno-calcaires étant du Vraconien, et les calcaires, bien qu'ils soient situés sous les dolomies, du Cénomanien.

Surmontant au N.W l'ensemble précédant, par contact anormal, on observe une épaisse série marneuse, datée du Sénonien (faciès bathyal de A. CAIRE).

Au S.-E., les carbonates sont séparés de ce Sénonien par une grande faille sub-verticale. De plus, le Sénonien en question surmonte mécaniquement, par un contact anormal, souligné par du Trias (argiles varicolores et ophites), une barre de calcaire, épaisse d'une vingtaine de mètres, datée de l'Yprésien-Lutétien inférieur. Sous cet Yprésien, on trouve des alternances marno-calcaires foncées et des marnes noires du Paléocène.

La crête des Azerou se présente donc comme une masse de carbonates, ayant subi une tectonique fort complexe (série inverse), et surmontée de nappes de charriage à dominantes marneuses et partant imperméables. C'est grâce à la grande faille bordière que les carbonates percent cette couverture tectonique.

2. FRACTURATION. (Fig. 4)

L'intensité et la diversité de la fracturation reflètent la complexité de l'histoire géologique de la région. Les fractures sont très dispersées (COIFFAIT et QUINIF 1977). Ce n'est que parmi les fractures sub-verticales qu'une certaine organisation apparait. Cinq groupes peuvent être reconnus. Remarquons que la faille bordière orientée N 50° E à N 60° E ne correspond qu'à un groupe de fractures d'importance secondaire.

3. HYDROGEOLOGIE.

Dans le prolongement nord de la grande faille bordière, émerge l'eau thermale du Hamman el Biban (Fig. 1). Elle est surtout chlorurée sodique, avec aussi présence de sulfate. Le magnésium et le calcium sont en quantité semblable, avec un léger excès de ce dernier. Cela corrobore bien ce que nous attendions. La présence de dolomie et de calcaire non dolomitique explique le magnésium et le calcium avec excès de celui-ci. Le sulfate provient de pyrite contenue dans la dolomie, et du Trias.

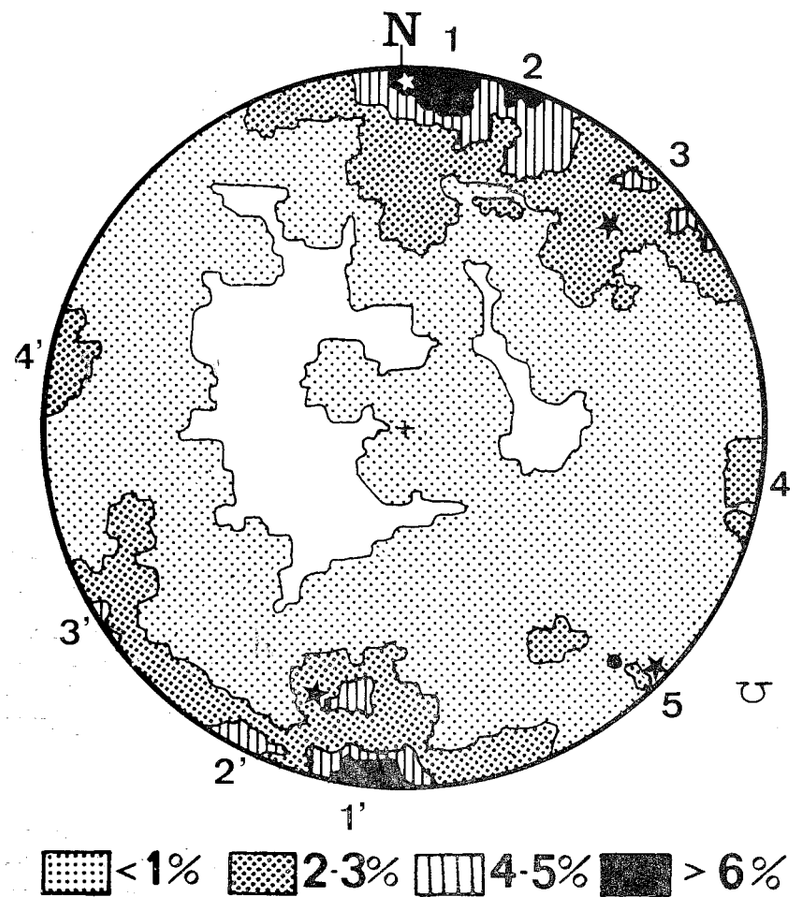
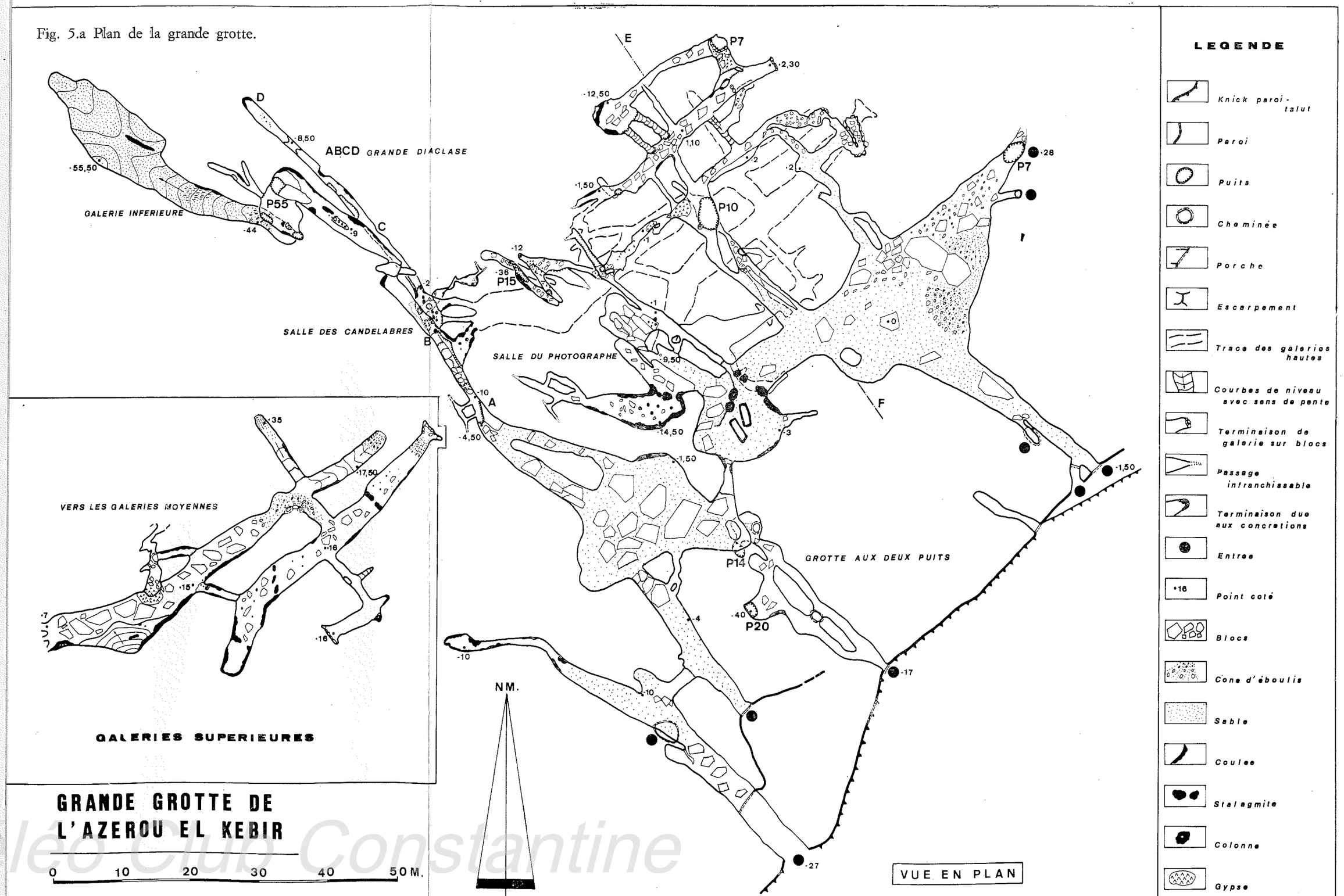


Fig. 4 : Fracturation de la région étudiée, aux environs de la grande grotte.
Nous avons regroupé ici les données relatives à la fracturation de l'allochtone et du sub-autochtone qui ne sont pas fondamentalement différentes (COIFFAIT et QUINIF, 1977). Les groupes 1 à 5 correspondent aux groupes de fractures verticales et subverticales que l'on peut individualiser.
Les « étoiles » correspondent aux directions de galeries de la grande grotte, le « rond » à la faille bordière. On notera la très grande complexité de la fracturation et les corrélations (plus ou moins indirectes) existant entre direction karstifiées et direction de la fracturation.

Le chlorure de sodium trouve également son origine dans le Trias. La présence de sels déposés aux émergences, la température (l'eau est à plus de 60° C à certains griffons) prouvent l'élaboration de celle-ci en profondeur.

Spéléo Club Constantine

Fig. 5.a Plan de la grande grotte.



Spéléo Club Constantine

C. *Les cavités.*

1. GENERALITES.

Si nous excluons les sources thermales et les phénomènes connexes, le karst observable de l'Azerou el Kébir est actuellement dépourvu de circulation hydrogéologique. C'est à partir de renseignements d'ordre topographique (géométrie du réseau), morphologique (formes et microformes) et sédimentologique (dépôts détritiques et chimiques) pris à l'intérieur des cavités, qu'il conviendra de tirer le maximum pour émetre des hypothèses génétiques susceptibles d'aboutir à un schéma évolutif général.

Parmi les différents segments de l'Azerou el Kébir, les cavités se regroupent en quelques endroits particuliers et notamment à l'extrémité sud (là où les parois sont les plus imposantes) et vers le centre. Les entrées percent les parois à tous les niveaux, depuis le knick jusqu'au sommet, en excluant toutefois la crête proprement dite. Plusieurs entrées correspondent parfois à une seule grotte. Ces dernières sont donc des cavités perchées, situées au dessus d'une surface piézométrique jamais retrouvée.

Si la grotte chaude se trouve dans le groupe méridional, c'est dans le groupe du centre que se situe la grande grotte, cavité la plus importante jusqu'à présent (plus de 1500 m de galeries) et celle que nous avons étudiée le plus intensivement (6 expéditions, soit plus de 12 séances de visite). A cette grande grotte sont associées quelques autres cavités de même type, mais très courtes (quelques dizaines de mètres de long).

2. LA GRANDE GROTTE.

a) Structure du réseau (Fig. 5)

Ce qui frappe d'abord est la géométrie du réseau : il s'agit d'un réseau en treillis (le « net-work » des anglo-saxons) dans lequel les conduits (vides pénétrables à l'homme) s'étendent dans l'espace suivant des directions précises, se recoupant avec des angles pratiquement constants. Une simple visite dans la grotte montre l'exploitation des fractures tectoniques par la karstification (nous trouvant ici dans la partie la plus dolomitisée, la stratification n'est pas apparente). L'examen du plan est encore plus probant : 4 directions y sont inscrites : N 50° E à pendage vertical ou sub-vertical, N 145° E, plongeant à 73° S.W., N 110° E à pendage de 70° à 80° S.SW et N 90° E subvertical. La direction N 50° E, celle de la grande faille bordière au niveau de la grotte, forme avec la seconde direction un treillis orthogonal. Ces deux directions sont les mieux représentées. La troisième direction, plus mal exprimée, groupe néanmoins les conduits verticaux les plus profonds. La quatrième enfin, est très peu représentée. Quant à la délimitation du réseau dans l'espace, les galeries se terminent de deux manières : obstruction par comblement (trémie provenant de la surface ou de l'éboulement de voûtes, bouchons stalagmitiques, sédiments meubles dans les parties basses) ou passage impénétrable par rapprochement des parois. Il ne s'agit pas d'un rétrécissement local : jusqu'où la vue porte, le passage devient de plus en plus étroit. Le volume karstifié correspond finalement à un cube d'une centaine de mètres de côtés.

Spéléo Club Constantine

Il est enfin tentant de voir dans ce réseau trois niveaux de galeries ou, plutôt, trois « tranches » karstifiées. Néanmoins, certains conduits, dont la grande diaclase, s'étendent en dehors des tranches, sans qu'il ne s'agisse d'effondrements entre deux galeries superposées (dispositif existant également). De plus, trois zones groupent des conduits verticaux plus profonds descendant en dessous des limites du cube. Il est intéressant de constater que le bas de ces conduits est obstrué par des dépôts complexes : éboulis provenant des régions supérieures, mais surtout dépôts détritiques fins (dont le sable dolomitique), masquant ainsi totalement ce qu'il y a en dessous.

b) Morphologie et micromorphologie.

Ces conduits sont généralement horizontaux, de sections variées, allant de la voûte en plein cintre à la diaclase élargie. Leur morphologie est souvent fortement modifiée par l'abondance des dépôts clastiques et chimiques encombrant les passages jusqu'à les obstruer.

Les salles déterminées structuralement se localisent aux points de rencontre de plusieurs directions tectoniques (la réciproque étant inexacte). On y observe de grandes accumulations d'éboulis et des départs multiples de galeries. Parfois, les salles peuvent résulter de l'effondrement des parois séparant des galeries voisines (salle du photographe).

Les entrées principales de la grotte résultent de la trépanation des galeries par la paroi due à la faille. Les entrées supérieures sont souvent encombrées de trémies importantes, certaines étant impénétrables de ce fait.

Les conduits verticaux ne constituent pas des puits au sens morphologique du terme (RENAULT 1968). Ce sont des fissures exploitées verticalement par la karstification. Ils montrent des diverticules en coupoles, parfois remontant et se terminant en cul de sac sur roche vive, excluant ainsi dans ce cas toute alimentation par le haut. De plus, une caractéristique importante est la nature composite, complexe même de ces conduits. Aucune unité n'est décelable (comme par exemple, le puits des gouffres alpins ou le puits primaire d'un aven-chantoir en Belgique, QUINIF 1977). Certaines portions sont verticales, d'autres résultent de l'anastomose de grandes coupoles, les parties inférieures sont souvent constituées de galeries au plafond desquelles on débouche.

Le trait le plus marquant est l'abondance des coupoles de toutes les tailles qui défoncent les coûtes et les parois. Elles imposent d'ailleurs une unité à toutes les cavités de l'Azerou el Kébir. Aucune ne montre un canal d'alimentation (QUINIF, 1973). Elles sont la plupart du temps creusées en roche vive, parfois au détriment d'une fissure. Les plus grandes, souvent hémisphériques et très régulières, dépassent deux mètres de diamètre. Les autres s'échelonnent entre 1 m et quelques décimètres de diamètre. A part des microformes particulières dépendant essentiellement du faciès dolomitique (cf. supra), on n'en décèle pas d'autre dans toute la grotte : ni pendant de voûte, ni coup de gouge, ni cupule, ni sillon de voûte, ni recreusement ou surcreusement, ni cuve, ni cannelure, pour ne citer que les microformes les plus courantes.

Spéléo Club Constantine

La grande grotte étant creusée dans un faciès quasi exclusivement dolomitique, des microformes sont directement causées par la présence de la dolomie. En particulier, la roche, y compris sur les parois lisses (intérieur des coupoles, par exemple) est gercée. Des microfissures, même si elles ne sont pas clairement exprimées, sont soulignées en creux par la corrosion. D'autre part, une couche superficielle est complètement altérée. Il suffit d'y passer la main pour que le sable dolomitique tombe à terre. Ailleurs, des blocs, parfois décimétriques, restent en place, mais sont complètement désolidarisés de la paroi par des fissures remplies de sable dolomitique. On voit clairement que la corrossion a progressé suivant ces lignes de fracture. Au fond du P55 et dans la galerie inférieure, les gerçures sont tellement prononcées qu'elles transforment la roche en dentelle sur une dizaine de cm de profondeur. Enfin, l'abondance du sable dolomitique trouve là son explication et tranche, nous le verrons, sur l'absence de limons et d'argiles.

c) Les dépôts

... dépôts détritiques

Les *éboulis* sont abondants. De toutes tailles, ils vont des blocs énormes de plus de 5 m de côté jusqu'aux galets anguleux de quelques cm. Ils se localisent dans les salles, là où les planchers se sont effondrés ; ils forment des trémies à la base des entrées supérieures. Plus curieusement, certains se trouvent en dessous de voûtes ne présentant aucune trace de décollement. Il nous faut donc admettre que la galerie était composée en fait de l'anastomose de petits conduits en tube (ou coupoles anastomosées) dont les parois se sont écroulées pour former une galerie unique.

Les *sédiments fins* se caractérisent par un manque total de limon et d'argile. On ne trouve que du sable dolomitique et, dans les passages près de la surface, une poussière pulvérulente résultant de la combustion de fumier, les grandes salles ayant servi d'étables. Les obstructions de galeries sont dues soit aux éboulis, soit à la stalagmite. Quant aux galeries verticales, elles sont obstruées vers le bas par des sédiments fins.

... dépôts chimiques

Carbonates de calcium. On trouve dans la grotte une grande variété de stalactites, stalagmites, coulées, colonnes. Certaines sont entièrement inactives et présentent un début d'altération (mince couche de surface pulvérulente) ; d'autres sont en pleine élaboration et continuellement humides. Elles se distribuent assez régulièrement dans toute la grotte sauf dans les verticales où elles sont quasi-absentes à cause du délitement mentionné.

A de nombreux endroits de la cavité, de gros massifs stalagmitiques montrent d'importantes traces de corrosion. Certaines prétendues stalactites ne sont en fait que des fragments d'anciennes concrétions beaucoup plus importantes. Une coupe dans une de ces concrétions montrent les couches de calcite successives non pas concentriques autour d'un canal central, mais complètement décentrées. La « stalactite » n'est qu'un frag-

ment latéral d'une autre concrétion aujourd'hui disparue. Cette phase corrosive ne semble plus active aujourd'hui ; ces concrétions corrodées sont sèches, la calcite en est saine.

Certaines stalactites présentent deux sections droites se raccordant avec un angle de 170°, le même pour toutes les observations que nous avons faites. Le tronçon supérieur est oblique, l'intérieur est vertical. Ces stalactites coudées se trouvent toutes dans un même plan orienté N 170° ET, la partie supérieure penchée étant dirigée vers le Sud. Une autre observation rejoint cette constatation. Nous avons pu voir une grosse stalactite en section. Les couches concentriques sont décentrées vers le Nord ; le plan de symétrie de la stalactite est orienté N 170° E. L'interprétation que nous apportons de ces faits sera développée plus loin.

Pour en terminer avec les carbonates de calcium, nous avons trouvé sur les parois des bouquets de petites aiguilles blanches, de longueur inférieure au demi-centimètre, qui paraissent être de l'aragonite, sur base de comparaison avec des formes semblables connues dans d'autres grottes. Dans ce cas-ci, aucune analyse n'a été faite.

Sulfate de calcium. A de nombreux endroits, on rencontre de gros massifs de gypse saccharoïde dont les plus importants sont mentionnés sur le plan. L'analyse chimique quantitative en a été faite, surtout dans l'espoir de découvrir de l'epsomite ($CaS0_4$, $8H_20$). Aux erreurs expérimentales près (Er-0,5 %), il ne s'agit que de gypse.

Les caractères morphologiques des dépôts de gypse sont nombreux, variant dans le détail de massif à massif. Puissants parfois de plusieurs mètres-cubes, ils sont limités par des parois lisses, présentant des invaginations arrondies de type coupole, troués de petits passages tubulaires réguliers parfaitement verticaux de quelques cm à 10 cm de diamètre, parfois longs d'un mètre. Ailleurs, nous voyons des cannelures verticales ou encore des formes déchiquetées (lames, cupules). Par places, le gypse englobe des éléments de dolomie altérée en surface (alors que le gypse ne présente pas de faciès d'altération). Parfois aussi, la surface du gypse est plus irrégulière, présentant des cristaux apparents. Enfin, le contact entre le gypse et la roche en place est parfois étroit, parfois laissant voir un décollement du gypse et même des formes en tube entre gypse et dolomie.

Du point de vue cristallin, si parfois des cristaux plus gros rendent la masse cohérente, généralement le gypse est saccharoïde, s'écrasant facilement dans la main. Les cristaux, à la périphérie tout au moins, semblent allongés perpendiculairement à la surface.

Dépôts ferrugineux. A de nombreux endroits, dépassant de la voûte ou d'une paroi, de curieux dépôts bruns à noirs ressemblent à de la rouille. Leur forme est parfois très tourmentée, moulant en négatif les fissures de la roche dans lesquelles visiblement ces dépôts se sont formés. On peut difficilement les associer d'office au gypse ; leur répartition étant indépendante l'une de l'autre. Certains de ces dépôts sont extraordinaires, dépassant comme des gargouilles et s'allongeant à plus de 30 cm de leur point d'attache.

Spéléo Club Constantine

L'analyse chimique de 2 échantillons a donné respectivement 59 % et 62 % de Fe, avec pratiquement aucun résidu de dissolution (effectuée dans HCl concentré et chaud). Rappelons que la limonie contient 62,8 % de Fe, l'hématite 60 % et la sidérie 48 %. Il s'agit donc ici d'un oxyde, probablement hydraté, en partie de Fe^{+++}. Le fer ferreux Fe^{++}, s'il est présent, l'est en quantité très faible.

d) Climatologie

Nous possédons peu de données mais elles sont intéressantes. Dans la galerie principale de l'étage moyen, en un endroit abrité, nous avons observé 65 % d'humidité relative et 16° C. La galerie inférieure, à la base du P55, montre une humidité relative de 90 % et une température de 23 C., ce qui est significatif. A 20 m au dessus du fond, la température n'était plus que de 21,5° C. Hélas, une chute inopinée des instruments de mesure nous en ayant privé, nous n'avons pu terminer. Il est clair qu'il existe un gradient de température et d'humidité positif vers le bas dans les verticales. Les deux autres zones inférieures nous ont aussi donné la même impression de chaleur et d'étouffement vers le bas. Il faut incontestablement voir là une influence thermale, influence existant dans la grotte chaude.

3. Les autres cavites

Toutes les autres grottes visitées, sauf la grotte chaude, sont petites (quelques dizaines de mètres de longueur maximum). Elles présentent toutes les mêmes caractéristiques : absence de limons et d'argile en zone dolomitique, coupoles exacerbées à l'exclusion de toute autre microforme. Une de ces cavités s'ouvre au détriment d'une fissure d'azimut N 146° E pour un pendage de 75°, ce qui corrobore les mesures géométriques effectuées dans la grande grotte.

La grotte chaude, située à l'extrémité sud du chaînon (Fig. 1), est remarquable à plus d'un titre. D'abord, elle est creusée dans un faciès exclusivement calcaire. Elle permet donc de faire la comparaison avec la grande grotte, creusée dans la dolomie et ainsi, de faire la part de la lithologie. Mais, le point le plus étonnant est son thermalisme. Une salle d'entrée accuse 20,8° C, une galerie interne 26° C et une autre plus profonde 30,8° C pour une humidité de 98,5 %. Un thermomètre à maxima et minima, laissé de janvier 1976 à mars 1977, nous a révélé que durant cette période l'amplitude des variations n'avait pas dépassé 0,5° C. Ces chiffres se passent de commentaire et indiquent que les travaux dans cette cavité sont très pénibles, ce qui explique en partie la raison pour laquelle nous ne disposons pas encore de plan.

Du point de vue géométrie, la grotte se développe surtout horizontalement. A part une descente verticale de 10 m, c'est un ensemble de galeries souvent horizontales, parfois obliques, qui se dirigent dans toutes les directions. Nous ne connaissons pas de grande verticale, comme dans la grande grotte, qui descendrait beaucoup plus bas que l'ensemble des autres galeries. Ces dernières, moins vastes ici, montrent extrêmement

abondantes, des coupoles pareilles à celles de la grande grotte, plus denses encore ici peut-être. Les galeries internes ne sont en fait que des anastomoses de coupoles de 1 à 3 m de diamètre. Ici, le sol est recouvert d'argile sur une faible épaisseur. Il n'y a pas de gypse, pas de fer, pas de sable dolomitique, mais des concrétions stalagmitiques en quantité, très belles et actives.

Il semble donc que les différences entre les deux grottes soient dues à la lithologie. Ici, il n'a a pas de concrétion ferrugineuse et pas de gypse. Or, la proportion de fer dans la dolomie est d'environ 1 % en poids, et de moins de 0,01 % dans le calcaire. On est amené à admettre que les dépôts de fer dans la grande grotte sont autochtones et proviennent de la présence de cet élément dans la dolomie. On est aussi tenté de mettre l'absence de gypse dans la grotte chaude sur le compte de l'absence de sulfure dans le calcaire qui, par oxydation, aurait donné le sulfate comme dans la grande grotte. L'argile, présente ici en faible quantité il est vrai, serait un résidu de décalcification. Les autres caractères sont identiques dans les deux grottes.

Connaissant toutes les observations que nous avons pu faire au niveau du karst de l'Azerou el Kébir, nous allons tenter une reconstitution de la spéléogenèse du massif, avant d'aborder les aspects synthétiques du problème.

II. — *Reconstitution de la spéléogenèse.*

Un réseau en « net-work », comme celui de l'Azerou el Kébir ne peut, d'après BRETZ (1942) être généré qu'en zone saturée, en dessous de la surface piézométrique. La présence de coupoles témoigne également d'une genèse en zone saturée. D'autre part, aucune forme ou microforme (telles que méandres, surcreusements ou recreusements, cuves, etc.) n'indique un éventuel creusement en écoulement libre en zone désaturée. Enfin, l'environnement morphostructural de la grotte confirme ce mode de creusement.

Nous arrivons donc à l'évolution suivante : creusement de la grotte en zone noyée, suivi d'un assèchement du réseau par abaissement de la surface piézométrique. C'est à ce moment que se placent les phénomènes d'ordre chimique, d'éboulements et de concrétionnements.

La genèse des sédiments chimiques (gypse et oxydes de fer) semble provenir d'une origine autochtone, ou à la limite parautochtone, par oxydation du sulfude de fer dans la dolomie. Cette conception est confirmée par l'absence de ces dépôts dans la grotte chaude, creusée dans le calcaire. Par ailleurs, les dépôts ferrugineux se sont formés à l'intérieur de la roche encaissante, puisqu'ils reproduisent le moulage des fissures. Leur dégagement est postérieur à leur formation et probablement dû à l'actuelle phase de corrosion de la dolomie (cf. Infra). Mais ces dépôts gypseux et ferrugineux ont-ils été formés en zone saturée ou en zone dénoyée ? Le dépôt du gypse pendant la phase noyée, vu la solubilité de ce minéral, ne pourrait être expliqué que par l'intervention d'eaux thermales qui subiraient un refroidissement important durant leur remontée. Mais, dans cette optique, où le sulfate proviendrait des profondeurs (ce qui est plausible, vu la présence de Trias), les dépôts de gypse ne pourraient plus être corrélés avec ceux de fer qui proviennent de la roche encaissante, ce qui est contraire aux observations. Il nous faut donc admettre comme possible la formation de ces dépôts en phase aérienne. Mais il faut faire intervenir un vecteur, qui ne peut être que l'eau de suintement.

L'altération de la dolomie est récente et se poursuit actuellement. La couche pluvérulente de surface se détache au moindre attouchement, de même que les blocs déchaussés. Nous ne décelons aucune trace d'humidité ; les parois sont sèches. Il nous semble plausible d'incriminer les vapeurs thermales remontantes.

Le schéma auquel nous arrivons est donc le suivant :

— creusement principal en zone saturée, suivant certaines directions tectoniques, par des eaux thermales ;

— assèchement du réseau ;

— phénomènes aériens : éboulements, concrétionnement, altération de la dolomie par des vapeurs thermales.

III. — *Aspects synthétiques du problème.*

Nous avons, compte tenu de faits d'observation de différents ordres, reconstitué l'évolution spéléogénétique du massif. Il nous appartient maintenant de considérer les conséquences que peut avoir ce schéma d'évolution.

A. *Aspects mécaniques.*

Ph. RENAULT (1967 et 1968) a souligné l'importance des phénomènes mécaniques dans la karstification. Pour qu'il puisse y avoir karstification, il faut que l'eau ait, avant toute corrosion, la possibilité de circuler. Cette possibilité est liée à l'existence de fissures situées dans une zone en détente mécanique. Si, dans le cas général, cette détente peut être due à une certaine extension tectonique ou à des conditions topographiques particulières, dans le cas de l'Azerou el Kébir, le contexte tectonique est primordial. En effet, le genèse en zone noyée indique que les détentes étaient profondes, donc sans rapport avec les conditions topographique.

Ce qui complique le problème et le rend intéressant, c'est le « choix » opéré par la karstification parmi toutes les directions (*) offertes par la tectonique. Il suffit de comparer les trois directions décelées dans la grotte, avec les diagrammes de fracturation pour se rendre compte des différences entre les deux. De plus, l'examen des terminaisons de galeries (cf. supra) indique que la karstification de conduits se limite à un domaine localisé : la zone de détente à l'origine de la grotte semble être restreinte.

(*) Nous utilisons le mot « direction » à dessein ; il peut éventuellement ne s'agir que d'une zone de faiblesse mécanique par exemple, une porosité plus importante et pas nécessairement une fissure.

Spéléo Club Constantine

Notons que la sélection d'une ou de plusieurs directions par la karstification peut, d'une manière générale, être imposée par des conditions géométriques d'écoulement. Entre une perte et une émergence dans un réseau évoluant en zone dénoyée ou saturée peu profonde (Réseau Trombe, Coume Ouarnède, PUYOO 1975), les écoulements utiliseront des directions tectoniques conciliables avec la direction perte-résurgence. Dans l'Azerou el Kébir, ce ne peut être le cas. D'abord, la grotte occupe un très petit volume du massif et ne peut fournir de données intégrables à l'ensemble du réseau, qui demeure inconnu ; ensuite, parmi les directions karstifiées, deux sont perpendiculaires et ne s'inscrivent donc pas dans un choix déterminé par des conditions géométriques d'écoulement. Seuls les facteurs structuraux ont joué ici.

Il est dès lors tentant d'utiliser les idées de GUERIN (1973 et 1974) pour qui les directions tectoniques karstifiées sont celles jouant en détente durant la karstification. Malheureusement, l'histoire structurale de l'Azerou el Kébir est tellement complexe qu'il n'a pas été possible de déterminer par l'analyse structurale ces directions en extension. Notons seulement qu'une des directions les plus karstifiées (N 50° E) est celle de la grande faible bordière (COIFFAIT et QUINIF 1977).

B. *Aspects hydrogéologiques.*

Nous avons vu la présence, au Nord du chaînon de l'Azerou el Kébir, de sources thermales à Hammam el Biban. Jadis, la grande grotte et d'autres cavités ont-elles joué le rôle de conduits d'amenée des eaux thermales ? L'encroûtement des hautes terrasses par d'épaisses couches de tufs, prouve une activité thermale ancienne dont les griffons correspondants se trouvaient à des niveaux actuellement suspendus. L'eau devait arriver par des conduits verticaux fort semblables aux « puits » de la grande grotte. Le réseau en net-work correspond alors à une zone aux contraintes mécaniques particulières, s'intercalant entre les drains profonds et l'émergence.

D'autre part, bien qu'aucun calcul ne puisse actuellement être fait, le débit des sources observables, est nettement supérieur à l'infiltration possible sur la chaîne des Azerou. En effet, il n'existe aucun lapiaz sur leur surface, d'ailleurs très inclinée et constituée de grandes dalles favorisant le ruissellement. Cette disproportion, vu l'importance des masses de tufs, a été encore plus grande dans le passé. Nous devons donc en déduire une alimentation lointaine du système.

Enfin, un point toujours délicat à élucider quant il s'agit de spléogenèse en zone noyée profonde, est la nécessité du renouvellement des solutions, renouvellement indispensable au maintien du caractère corrosif des eaux en circulation. Dans notre cas, le thermalisme apporte une solution élégante. En effet, il provoque, par effet thermique, une différenciation dans la masse d'eau souterraine, avec formation de colonnes aquifères plus chaudes, donc plus légères, provoquant un important mouvement ascendant. C'est à proximité de l'émergence, là où la circulation est la plus rapide, que la karstification est la plus importante.

Cet aspect du problème n'est qu'un volet d'une notion énergétique plus générale. En effet, pour qu'il y ait karstification, il faut apport et transformation d'énergie. Ici, il ne peut s'agir d'énergie gravitationnelle (se transformant en énergie hydrodynamique), observable dans les karsts superficiels courants. Il ne peut s'agir d'énergie potentielle permettant une remontée vauclusienne des aux par transfert longitudinal d'énergie hydrodynamique gravitationnelle, car la zone d'alimentation est trop lointaine. Il s'en suit donc une trop forte perte de charge au sein de l'aquifère. Là aussi, le thermalisme, par apport d'énergie (thermique) permet une solution élégante, admettant une indépendance énergétique entre zone d'émergence et zone d'alimentation du même réseau. Evidemment, l'enregistrement en continu des données hydrogéochimiques d'Hammam el Biban apporterait des arguments de poids à cette conception : notre schéma entraîne une constance de ces données (débit, température, contenu chimique).

C. *Aspects morpho-sédimentaires.*

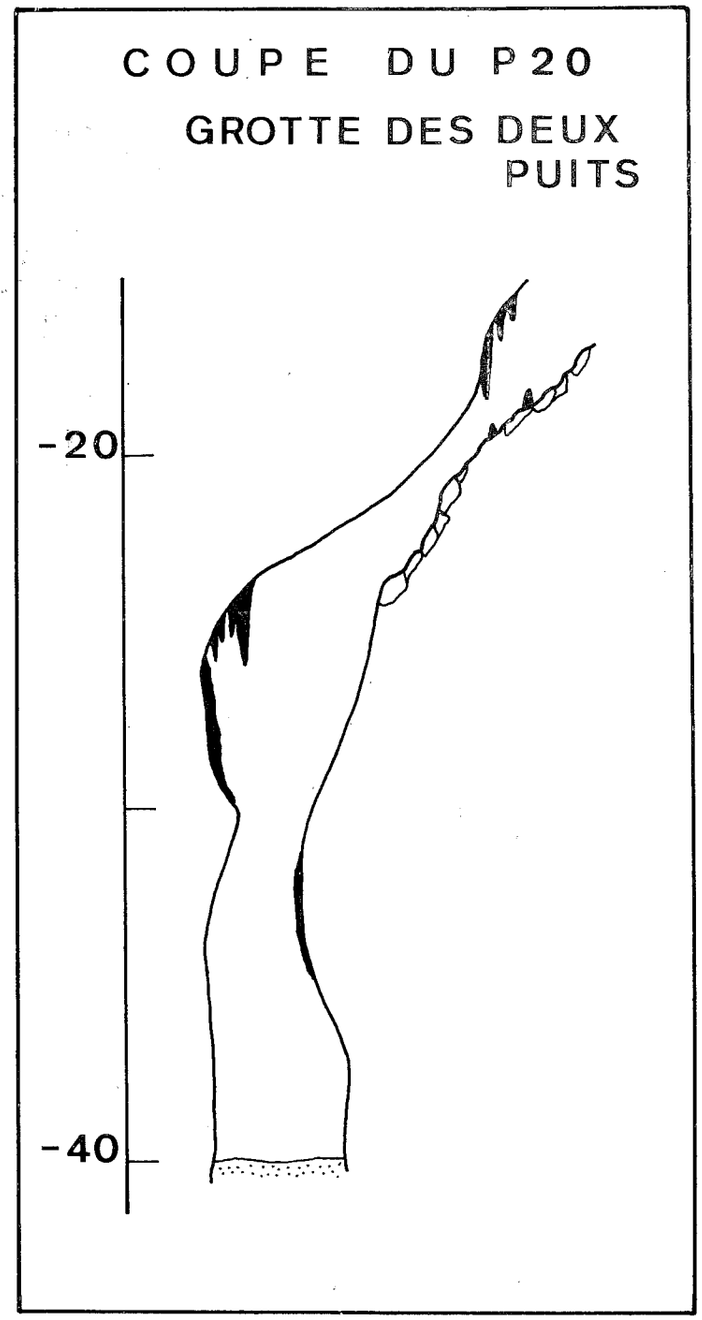
L'absence de sédiments détritiques fluviatils s'explique par la situation de la grande grotte au sein du réseau hydrogéologique, l'eau ayant parcouru un long trajet en profondeur avant d'atteindre cette cavité. D'autre part, nous avons déjà souligné que certaines galeries résultaient de l'anastomose de multiples chenaux en tubes, aux parois lisses et arrondies. Enfin, les coupoles constituent une microforme omniprésente.

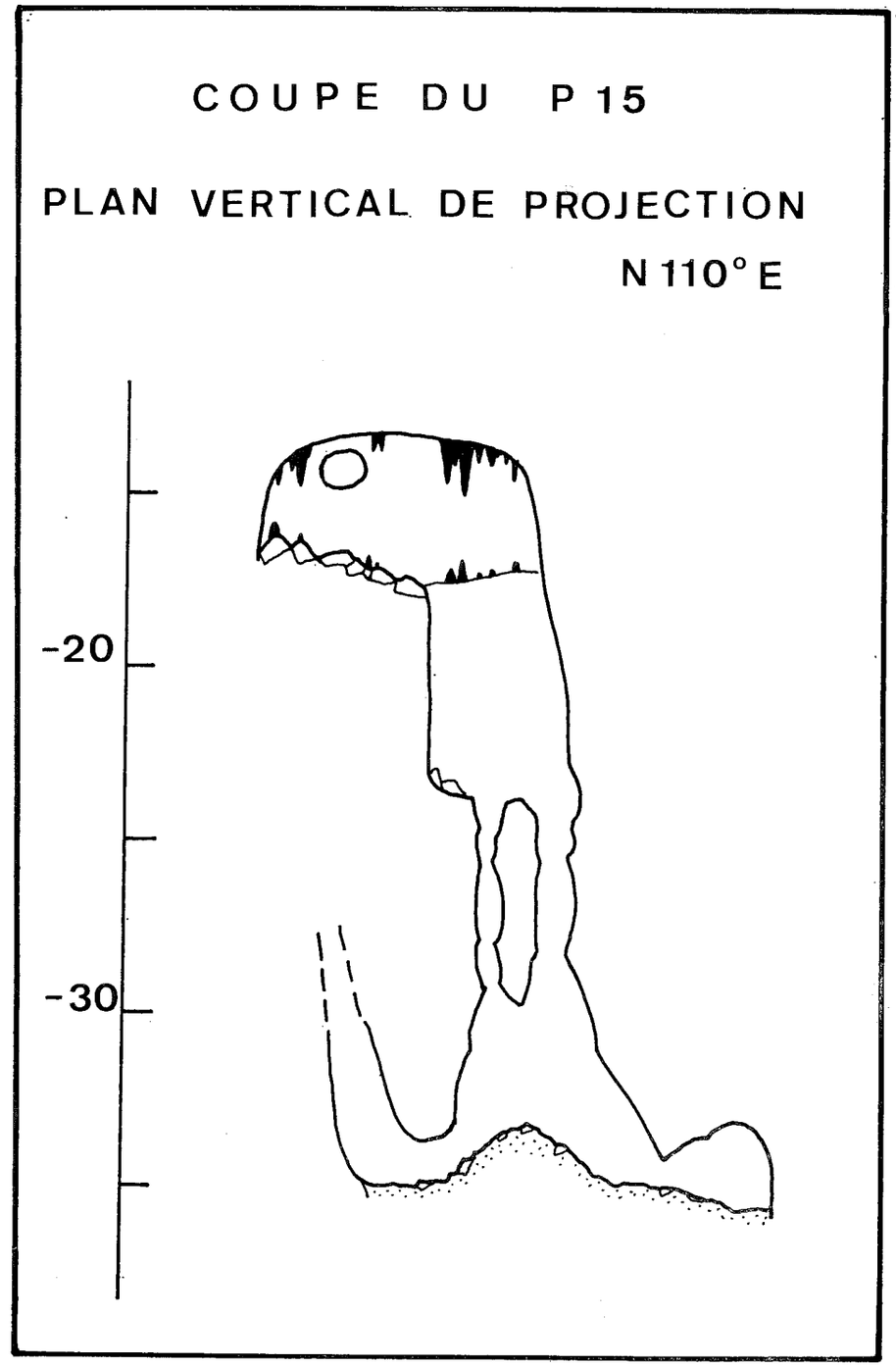
Nous sommes donc en présence de galeries caractérisées par l'association : coupoles ou passages en tubes anastomosés, absence de sédiments détritiques fluviatils. Cette association est typique des grottes de l'Azerou el Kébir, mais aussi, d'une manière plus générale (cf. Constantinois, COIFFAIT, QUINIF et VILA, 1976), de cavités situées dans les zones d'émergences thermales.

D. *Evolution structurale et karstification.*

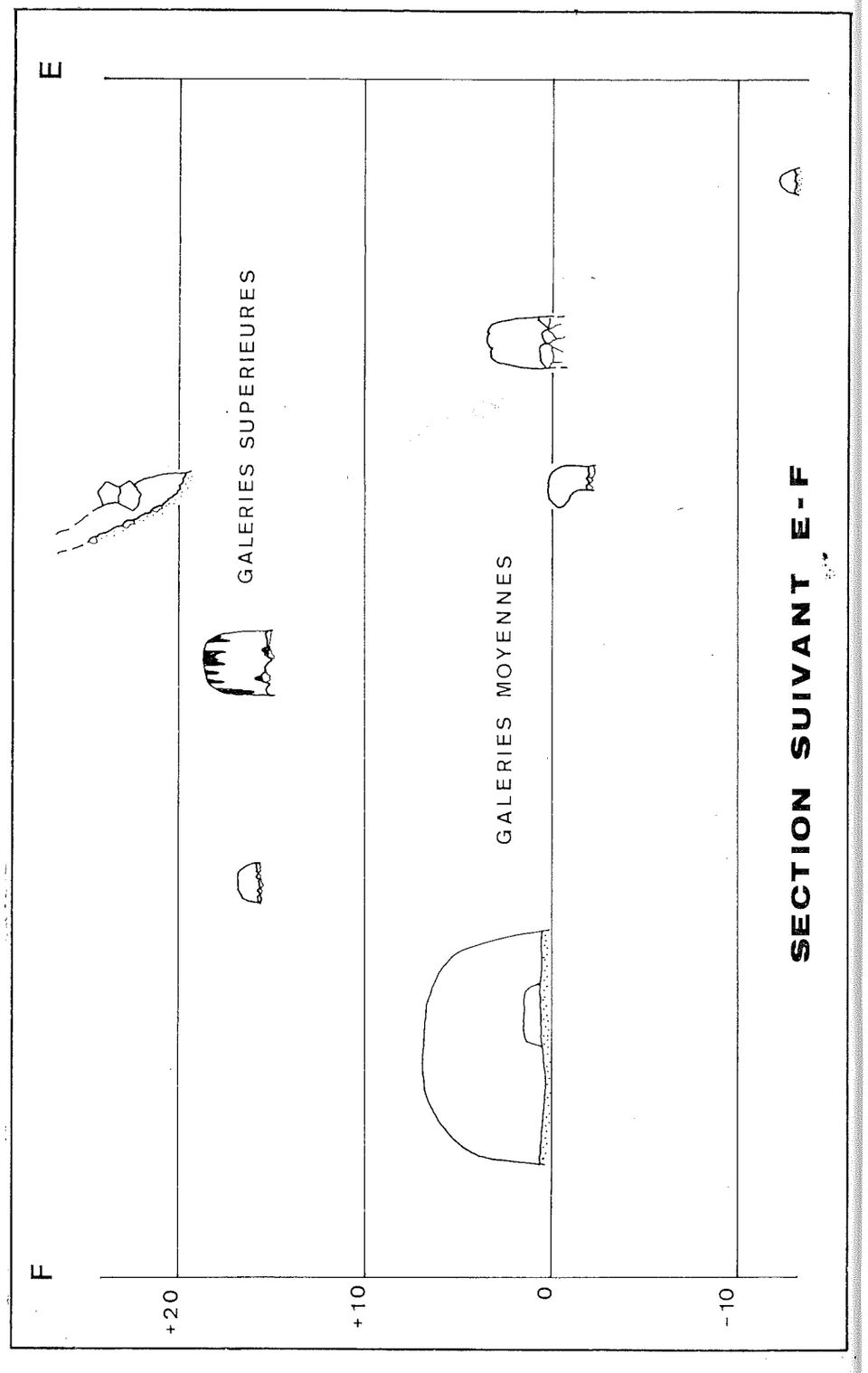
L'actuelle position perchée de la grotte formée en zone saturée impose un abaissement de la surface piézométrique, dû soit à un soulèvement d'ensemble de la région avec érosion et dégagement des structures calcaires résistantes soit à un soulèvement différentiel de la masse calcaire par rapport au reste (ce qui n'exclut pas un soulèvement d'ensemble simultané). Les faits d'observation confirment cette dernière hypothèse : la grande faible bordière et le gauchissement des stalactites indiquent un basculement tectonique de l'Azerou el Kébir.

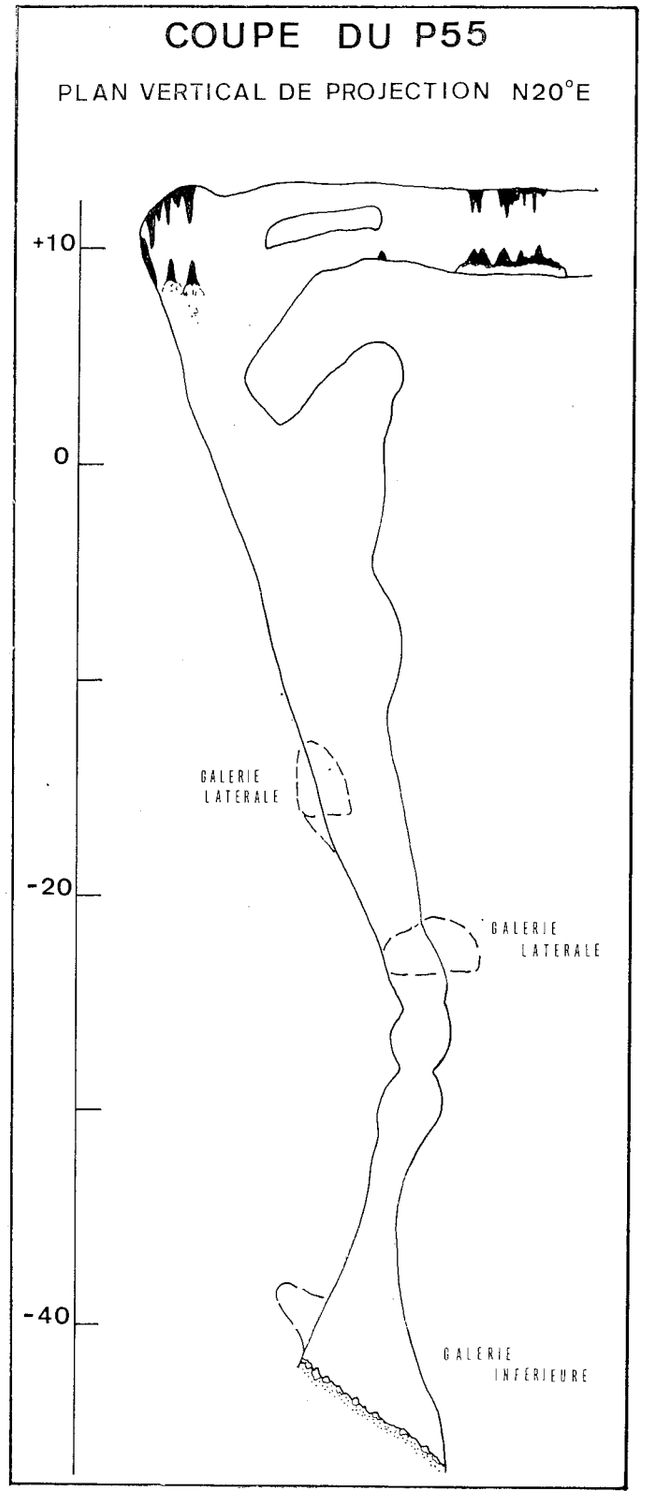
Spéléo Club Constantine





Spéléo Club Constantine





Spéléo Club Constantine

C'est en effet par un gauchissement que nous expliquons les stalactites coudées et assymétriques, dont nous avons déjà parlé. A un certain moment du développement de la stalactite, une montée instantanée à l'échelle géologique selon la faille, basculant le massif, a penché la concrétion ; ensuite, l'eau s'écoulant dans le canal central a continué d'édifier la stalactite, mais verticalement. De même pour la grosse stalactite examinée en section : le ruissellement extérieur à la concrétion, après le basculement, a déposé plus de calcite du côté inférieur, là où s'amassait l'eau de façon privilégiée. Pourquoi plus de stalactites ne présentent-elles pas le même phénomène ? Beaucoup de causes peuvent en empêcher le déroulement. Il faut tout d'abord une stalactite antérieure au basculement et dont le développement ne soit pas trop intense après celui-ci au point que les dépôts ultérieurs masquent tout. Ensuite, il faut que la stalactite ait suffisamment grandi avant et après le basculement pour que les deux segments soient de taille comparable et appréciable. Enfin, il faut que la corrosion de la concrétion ne soit pas trop importante.

Remarquons enfin que la disposition hydrogéostructurale du massif étudié et dont la fracturation en horst et graben permet l'observation de la karstification, est semblable à ce qui existe dans le Constantinois, où la plateforme néritique jurassico-crétacée joue le même rôle que les carbonates des Azerou (COIFFAIT, QUINIF et VILA, 1975).

CONCLUSION

Nous venons donc, par une approche pluridisciplinaire, de reconstituer l'évolution spéléogénétique de l'Azerou el Kébir : creusement en zone noyée, grâce à une remontée d'eau de provenance lointaine, liée à un apport d'énergie thermique (thermalisme), puis assèchement par abaissement du niveau piézométrique en rapport avec la surrection du massif. Ce n'est pas tant le résultat que la méthode suivie qui nous semble importante. En effet, aucun des domaines d'étude, pris isolèment, n'aurait, à lui seul, permis d'aboutir à la conclusion à laquelle nous sommes arrivés. Cette manière d'aborder l'étude d'un massif karstifié, ainsi que l'approche énergétique globale de la question, nous semble très riche de promesses.

BIBLIOGRAPHIE

BRETZ (J.-H.) 1942. — Vadose and phreatic features of limestones caves *J. Geol.*, 50, 6, pp. 675-811.

CAIRE (A.) 1957. — Etude géologique de la chaîne des Biban. *Bull. serv. carte géol. Algérie,* Nlle série, n° 16, 2 tomes.

COIFFAIT (P.-E.), QUINIF (Y.) 1976. — La grande grotte de l'Azerou el Kébir (Algérie), *Spelunca* n° 3, pp. 107-112.

COIFFAIT (P.-E.), QUINIF (Y.) 1977. — Fracturation et karstification d'un massif : l'exemple de l'Azerou el Kébir (Algérie du Nord). En préparation.

COIFFAIT (P.-E.), QUINIF (Y.), VILA (J.-M.) 1975. — Histoire géologique et karstification des massifs néritiques constantinois (Algérie). *Ann. Spéléol.*, 30, 4, pp. 619-627.

COIFFAIT (P.-E), VILA (J.-M.) 1976. — La série renversée des Azerou (région des Biban, Algérie) un témoin de la plate-forme néritique sétifienne sous la nappe bibanique. *C.R. Somm. Soc. Géol. Fr.,* fasc. 6, pp. 269-271.

GUERIN (R.) 1973. — Liaison entre karst tectonique dans le Bas-Vivarais calcaire. *C.R. Acad. Sc. Paris,* t. 277, série D, pp. 1617-1620.

GUERIN (R.) 1974. — L'analyse tectonique et microtectonique dans l'étude de la karstification. Exemple des karsts du Bas-Vivarais (Etude préliminaire). *Mém. et Doc. C.N.R.S.* Nlle série, vol. 15, phénomènes karstiques, t. II, pp. 81-94.

PUYOO (S.) 1976. — Etude hydrogéologique du massif karstique d'Arbas (Haute-Garonne). *Thèse 3ème Cycle Univ. Pierre et Marie Curie,* 193 pages, 7 an. ron.

QUINIF (Y.) 1973. — Contribution à l'étude morphologique des coupoles. *Ann. Spéléol.,* t. XXVIII, 4, pp. 565-573.

QUINIF (Y.) 1977. — Essai d'étude synthétique des cavités karstiques de Belgique. *Rev. Belge Géogr.,* 101e année, fasc. 1 à 3.

RENAULT (P.) 1967 & 1968. — Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogenèse. *Ann. Spéléol.,* t. XXII, pp. 209-307 t. 23 pp. 529-596.

Spéléo Club Constantine