

VII. Karsts ou formes associées au karst en roches non carbonatées au Cameroun méridional

VII.1 Introduction

Les formes trouvées au Sud Cameroun diffèrent des karsts du Niger par leur plus grande diversité et par les lithologies dans lesquelles elles se développent. La grotte de Mbilibekon, ouverte dans une couverture latéritique, présente une genèse proche de celle des grottes nigériennes sous le sommet cuirassé du Continental terminal (voir chap. IV.3.2.1). Son étude permet d'envisager un schéma général d'évolution en relation avec un assèchement des climats. Différentes cavités trouvées au sein des gneiss de la zone de Mfoula illustrent des morphologies d'origine profonde ou de surface de grandes dimensions. Des aiguilles trouvées sur une falaise de Nkongmeyos montrent un dépôt rapide de Si au sein des gneiss. Les grottes et autres phénomènes développés dans les micaschistes de la zone d'Akok Bekoé montrent vraisemblablement un ancien karst noyé aujourd'hui partiellement démantelé. Enfin, les différentes formes des granites d'Ako Akas et de Mezesse (grottes, lapiés, tubes) ainsi que des concrétions trouvées au fond d'une cavité précisent la mise en place de phénomènes assimilables au karst en roche granitique.

VII.2 Contextes géomorphologique et géologique général

Le climat actuel du Sud Cameroun est de type équatorial guinéen. Des précipitations annuelles comprises entre 1500 et 2000 mm assurent une humidité relative constamment élevée (80 % en moyenne). Deux périodes plus sèches se marquent durant les mois de décembre-janvier et de juillet-août. La température moyenne annuelle est d'environ 25 °C (SIGHA-NKAMDJOU *et al.*, 1998; NDAM *et al.*, 1998). Le relief se constitue d'un plateau dont l'altitude varie entre 600 et 800 m. Par endroits, la présence de reliefs "en demi-orange" rompt la monotonie du paysage. Certains sommets atteignent 1000 m et sont séparés par de vastes vallons ou des cuvettes marécageuses. Une forêt plus ou moins dégradée de type atlantique toujours verte à Césalpiniacées (Domaine nigéro-camerouno-gabonais) recouvre le paysage.

Le Cameroun méridional comprend trois ensembles géologiques principaux (Fig. 46b). Le premier, le plus ancien, est l'unité du Ntem dans le Groupe du Ntem. Il est constitué de ceintures de roches vertes et de plutons charnockitiques et granitiques datés de l'Archéen, entre 2,9 et 2,6 Ga (TOTEU *et al.*, 1994; TCHAMENI, 1997; TCHAMENI et NSIFA, 1998; TCHAMENI *et al.*, 2000). Le second est l'unité du Bas-Nyong dans le groupe du Ntem. On y trouve les mêmes formations affectées d'un métamorphisme au Paléoprotérozoïque (TCHAMENI, 1997; TCHAMENI *et al.*,

2000). Le troisième est le Groupe de Yaoundé formé de différentes roches métamorphiques, gneiss, micaschistes et chloritoschistes²¹.

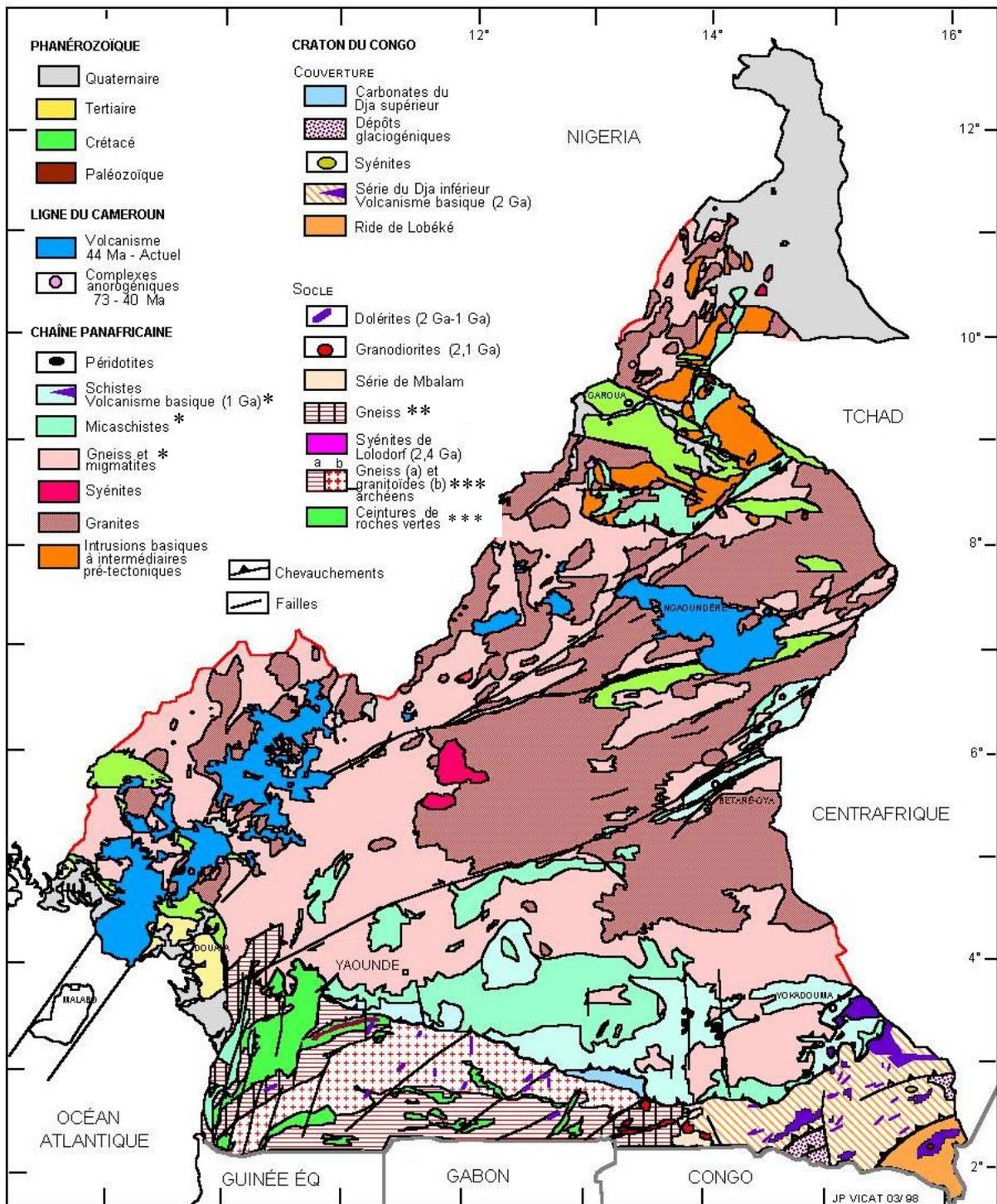


Fig. 46a. Géologie générale du Cameroun (d'après VICAT, 1998). (*) Groupe de Yaoundé, (**) Unité du Bas Nyong, (***) Groupe du Ntem.

²¹Schistes riches en chlorite avec fréquemment des amphiboles vert pâle et des granules microscopiques d'épidote (Foucault et Raoult, 1992).

Ces formations appartiennent à une nappe de chevauchement (nappe de Yaoundé) déversée vers le sud sur le Groupe du Ntem, lors de l'orogénèse panafricaine au Néoprotérozoïque (PENAYE *et al.*, 1993; TOTEU *et al.*, 1994). Une couverture de sols ferrallitiques masque en grande partie les roches qui n'affleurent que sur des collines résiduelles ou au fond de certaines vallées.

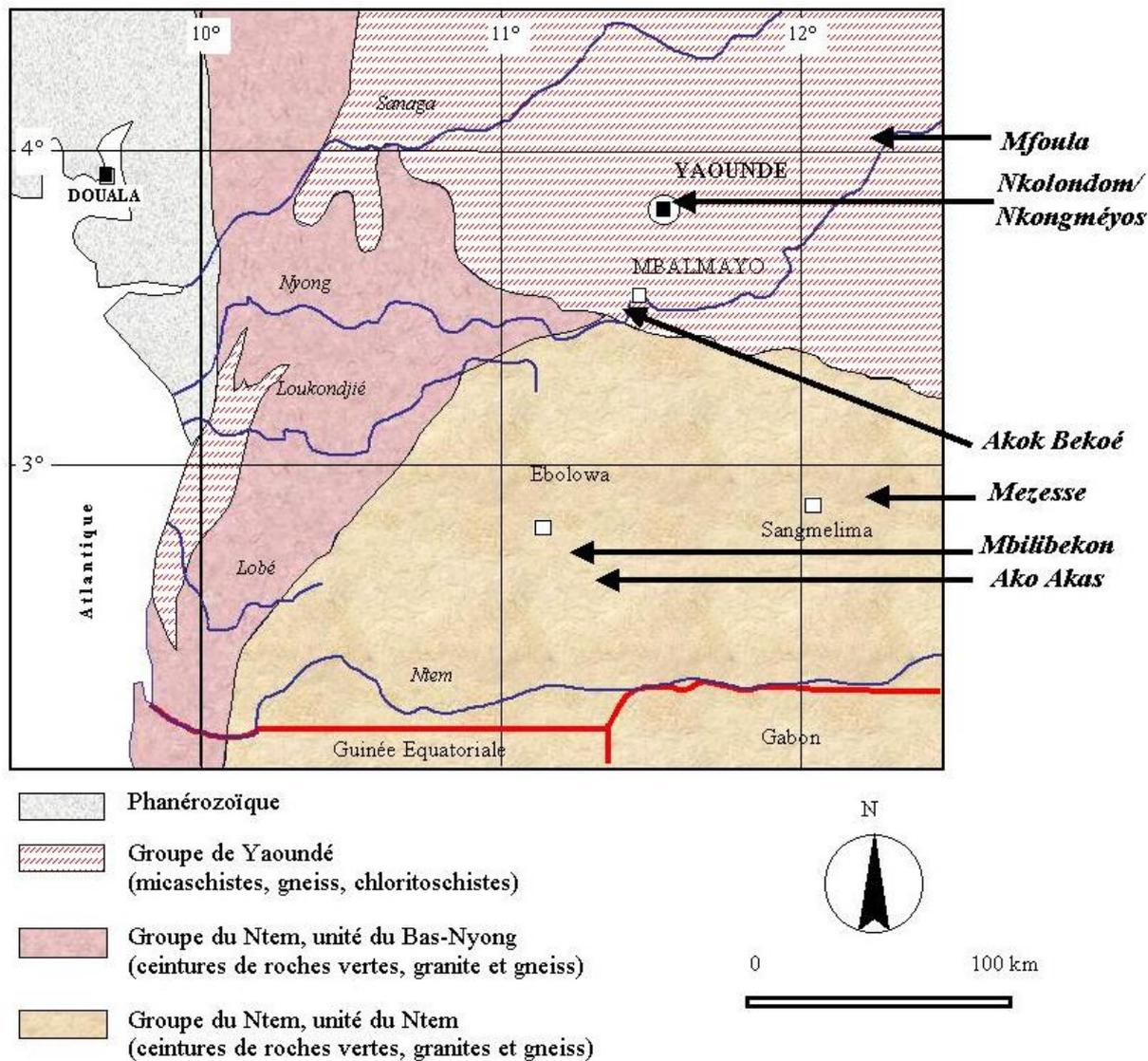


Fig. 46b. Carte géologique simplifiée de la zone prospectée au sud du pays avec la localisation des sites étudiés. Les sites d'Angoula et de Mbasbekon (§ VII.4) correspondent à celui de Mfoula (modifié d'après VICAT *et al.*, 1998).

VII.3 Grotte au sein d'une couverture latéritique, le cas de Mbilibekon

3.1 Contexte géomorphologique

N'ayant pas eu d'accès direct à cette cavité, nous nous sommes basé sur l'article publié par Vicat, Willems et Pouclet (1998) consacré entre autres à ce type de forme.

Située à 20 km au sud-est d'Ebolowa, la cavité de Mbilibekon ou "Trou des Fantômes" s'ouvre au sein de la forêt équatoriale, près du village de Nko'Etyé, dans un paysage dominé par quelques collines en demi-orange (LIPS, 1995a).

3.2 Description de la grotte

La grotte est une succession de galeries développées au contact du socle (Figs. 47 et 48), dans la couverture latéritique dont l'épaisseur est d'environ 5m. Cette couverture se compose d'une argile rouge brique légèrement indurée qui ne présente pas de niveaux particulièrement résistants ni de croûte ferrugineuse en surface.

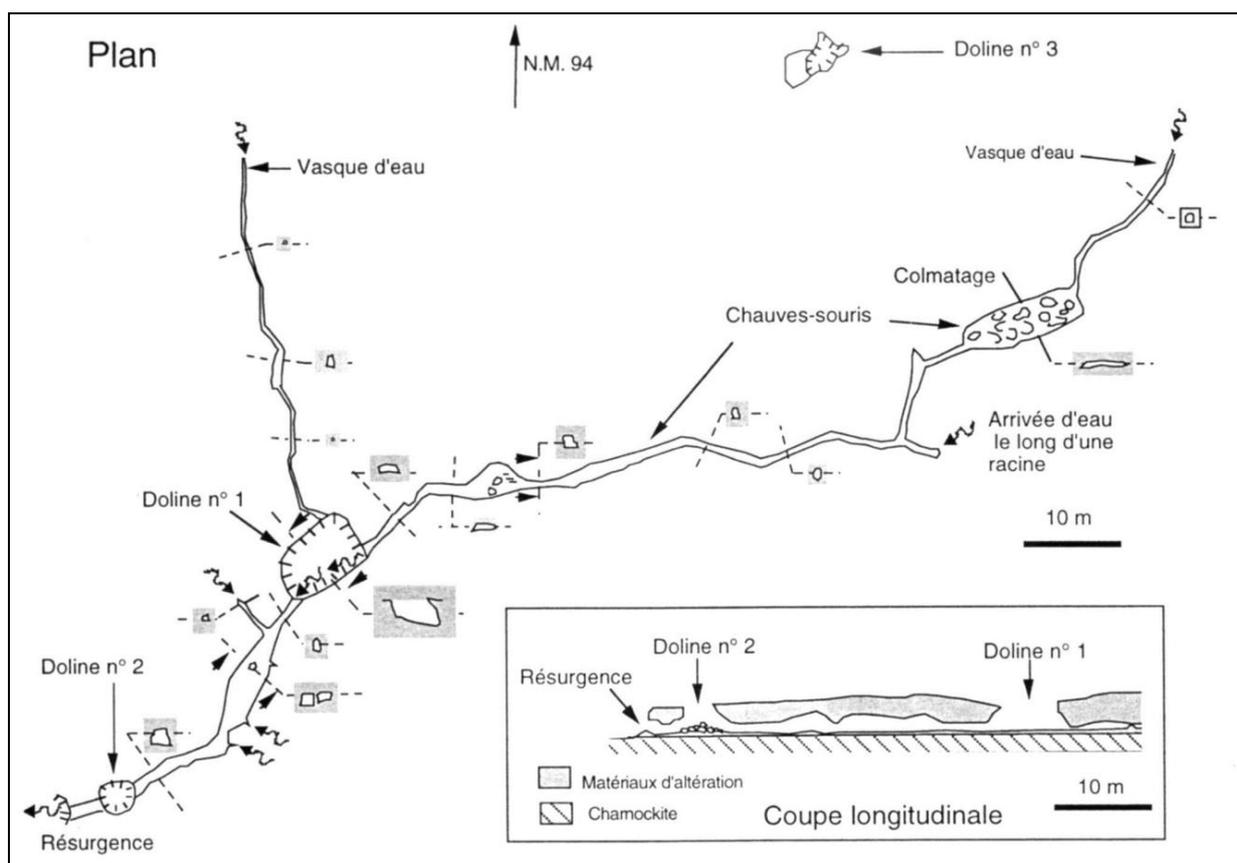


Fig. 47. Plan et coupe longitudinale (en cartouche) de la grotte de Mbilibekon (d'après Lips, 1995b; Vicat et al., 1995; Lips et al., 1996 in Vicat et al., 1998).

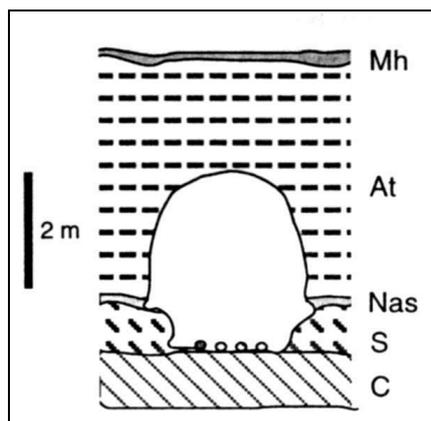


Fig. 48. Coupe géologique transversale de la partie aval de la grotte de Mbilibekon. Mh : matériaux humifères. At : argile tachetée. Nas : niveau argilo-sableux. S : saprolite. C : charnockite saine (VICAT *et al.*, 1998).

Outre la résurgence, entrée naturelle de la grotte, la cavité possède deux autres accès secondaires plus récents. Il s'agit de puits issus de l'effondrement de la voûte de la galerie principale (dolines n° 1 et 2, Fig. 47). L'entrée n°2 est apparue il y a quelques années. L'entièreté de la grotte est parcourue par un petit ruisseau (Photo 20). En décembre, quelques jours après des pluies assez violentes, le débit était seulement de quelques décilitres par seconde.

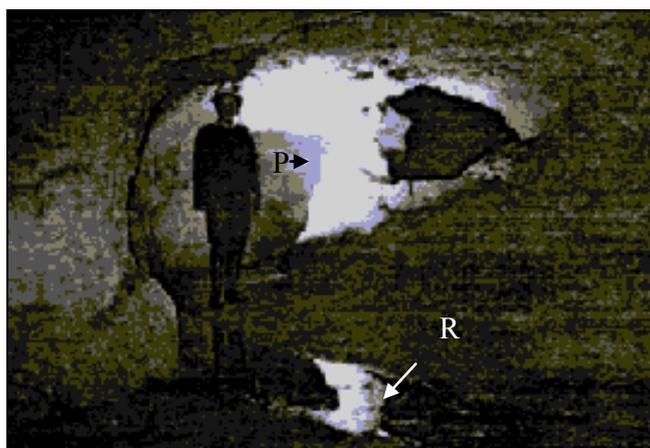


Photo 20. Ruisseau (R) et pilier résiduel (P) dans la partie aval de la grotte de Mbilibekon (vue depuis l'aval) (in Vicat *et al.*, 1998)

Par rapport à l'entrée n° 1, la grotte peut être subdivisée en trois parties : un premier tronçon vers l'aval, long d'une quarantaine de mètres, un second tronçon vers l'amont, se développant sur une centaine de mètres et enfin un troisième tronçon, constitué d'une petite galerie secondaire nord-sud et aboutissant à l'entrée n° 1. La partie vers l'aval est une galerie de 1 à 2 m de largeur pour 1,5 à 2 m de hauteur. Elle passe par l'entrée n° 2 et de poursuit jusqu'à la résurgence. La galerie principale vers l'amont présente une hauteur réduite du plafond. A 75 m en amont de l'entrée n° 1, une amorce de galerie secondaire, longue de 4 m, se termine sur une arrivée d'eau. Cette dernière se fait le long d'une racine perçant la voûte. Quinze mètres plus loin, la galerie aboutit à une salle en partie colmatée qui présente une hauteur de plafond réduite à 40 cm. Un boyau circulaire d'un

mètre de diamètre et long de 25 m prolonge cette salle vers l'amont. Plus loin, l'étranglement du passage bloque toute progression. Une importante colonie de chauves-souris du genre *Rhinolophus* occupe cette partie de la grotte. La galerie secondaire débouchant dans l'entrée n° 1 est un petit passage de 40 cm de diamètre pénétrable sur une cinquantaine de mètres.

Le réseau topographié atteint 220 m. La grotte de Mbilibekon est le second plus grand réseau souterrain reconnu à ce jour au Cameroun après la grotte Gaskin, tunnel de lave du Mont Cameroun.

Une perte (doline n° 3, Fig. 47) à 40 m au nord de la galerie et la présence de nombreux griffons²² montrent que le réseau est beaucoup plus important que les seuls passages reconnus. Cette perte est l'illustration de la forme initiale des entrées 1 et 2, qui sont des dolines d'effondrement.

3.3 Discussion

D'un point de vue hydrogéologique, l'eau météorique s'infiltré à travers la couche latéritique jusqu'au socle sous-jacent au niveau duquel elle circule. Cette infiltration est rendue possible par la porosité de la couche latéritique et la pénétration de l'eau le long des racines qui percent la voûte. La présence d'un lit sablonneux (Nas, Fig. 48) à la base de la couche latéritique favorise la circulation de l'eau.

La galerie présente une section d'équilibre en ogive plus ou moins régulière (Fig. 48). L'augmentation de la taille moyenne de la galerie depuis l'amont principal jusqu'à la résurgence et la relative constance du rapport de la hauteur à la largeur traduisent probablement un processus de formation purement mécanique. La circulation des eaux en période de forte crue a sapé le matériel homogène à la base des parois de la galerie. L'augmentation du débit de la rivière souterraine, depuis l'amont jusqu'à l'aval, du fait de la présence de nombreux griffons, explique la croissance de la section de la galerie. Les premières études photogéologiques montrent que l'orientation des galeries de la grotte Mbilibekon est contrôlée par le réseau de fractures du socle, comme cela est souvent le cas en pays cristallin où les failles de socle drainent la nappe phréatique de la couche d'altération. Si le climat actuel du Cameroun favorise une pédogenèse de type ferrallitique, l'étude des profils d'altération au sud du pays montre qu'il n'en a pas toujours été ainsi (BILONG *et al.*, ENO BELINGA et KABEYENE BAYALA, 1982). Les travaux menés sur le domaine forestier d'Afrique Centrale (MALEY, 1987, 1990, 1991 et 1992; ELENGA *et al.*, 1992; SCHWARTZ, 1992) mettent en évidence un assèchement du climat entre -3000 et -2000 ans BP. C'est probablement à cette époque que doit être rattachée la légère induration de la couche latéritique au sein de laquelle s'est ensuite installé le système de Mbilibekon.

Comme nous l'avons dit précédemment (voir IV.3.2.3), la genèse de cette cavité et l'environnement dans lequel elle s'est développée doivent être très proches de ceux qui ont présidé

²²Orifice de sortie visible et localisé d'une source (Foucault et Raoult, 1992)

à la création de grottes au sommet du Continental terminal nigérien. Au Niger, les nombreuses bioturbations et le chenal d'écoulement induré trouvés dans la surface cuirassée sommitale du Continental terminal (Photo 7b, IV.3.2.3) sont reliés à une phase climatique ancienne plus humide. Mbilibekon présente d'autres similitudes avec les grottes nigériennes : le développement de la cavité à la limite d'une couche plus imperméable (que ce soit une strate ou le contact d'une couche latéritique avec le socle moins altéré) et l'influence d'une fracturation sous-jacente dans l'orientation de ses galeries.

Un scénario général de mise en place et d'évolution des grottes au sommet des formations tertiaires du Continental terminal nigérien peut donc être envisagé, lié aux différents changements climatiques qui sont intervenus dans cette partie de l'Afrique (Fig. 49).

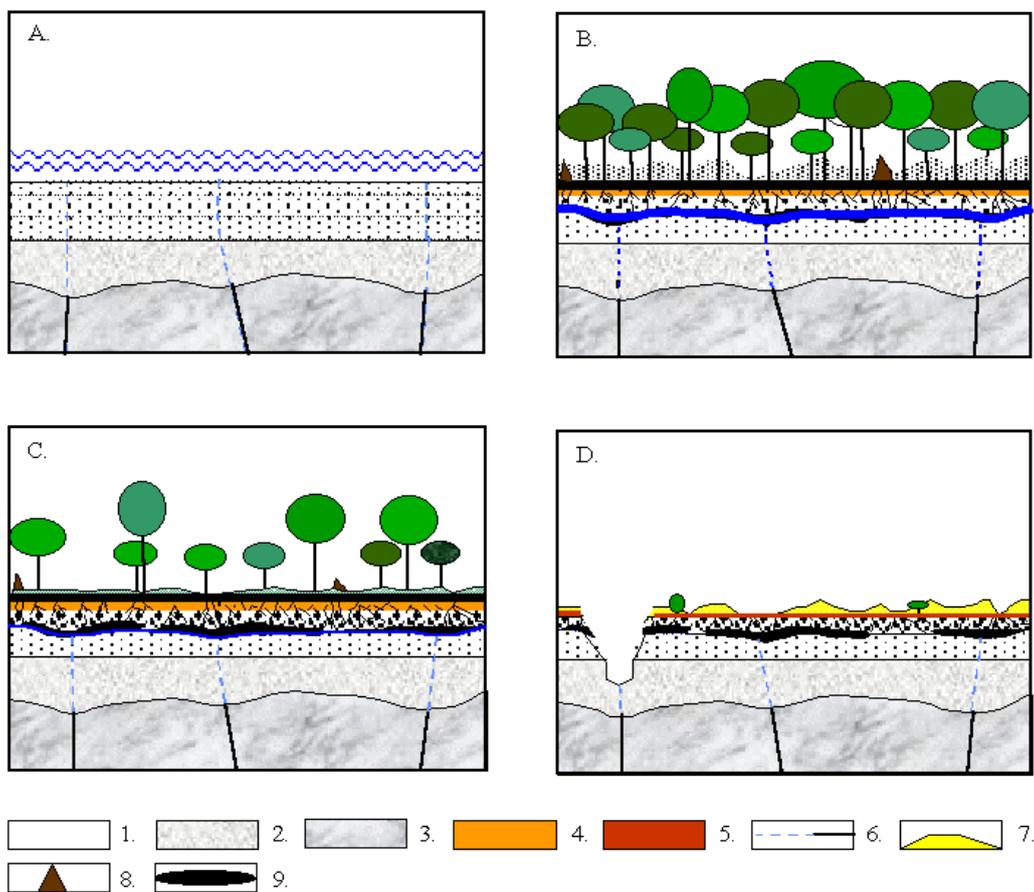


Fig. 49. Hypothèse générale de formation des grottes au sommet du Continental terminal nigérien en relation avec les observations réalisées à Mbilibekon. A. : mise en place de dépôts fluviolacustres et prolongement des failles du socle sous forme de plans de drainage ou de rejeux dans le Continental terminal. B., C., D. : voir texte. 1. : dépôts fluviolacustres du Continental terminal, 2. : lithomarge, 3. : socle non-altéré, 4. : horizon ferruginisé, 5. : cuirassement ferrugineux, 6. : fracturation et plan de drainage, 7. : dépôts dunaires, 8. : termitières, 9. : cavités plus ou moins noyées.

Lors d'un climat chaud et humide, des précipitations abondantes assurent une infiltration des solutions à travers les altérites. Cette infiltration est favorisée par une végétation et une

(micro)faune abondantes (Fig. 49B). Les animaux fouisseurs et les systèmes racinaires augmentent la circulation des eaux à travers le manteau d'altération. Les acides synthétisés par les différents organismes assurent une dissolution partielle du matériau et accroissent la porosité de la couverture pédologique.

L'importance du couvert végétal et du système racinaire en particulier assure une armature à ces altérites. Elle va permettre la conservation de vides souterrains de relativement grande importance. Lors de l'assèchement du climat (Fig. 49C) et de l'apparition d'une saison sèche de plus en plus marquée, des phénomènes d'induration des couches superficielles des altérites peuvent se mettre en place (se substituant au rôle des racines qui disparaissent peu à peu), notamment par concentration du fer. Ce faisant, des bioturbations (perforations) et des chenaux d'écoulement sont fossilisés peu à peu (Fig. 49D). L'entaille des reliefs crée des gradients hydrauliques suffisants pour l'apparition et le développement de phénomènes de suffosion. Les écoulements assurent une érosion mécanique des vides initiaux sous les niveaux indurés. Ces vides s'agrandissent et donnent naissance à des grottes similaires à celles rencontrées sous le sommet cuirassé du Continental nigérien.

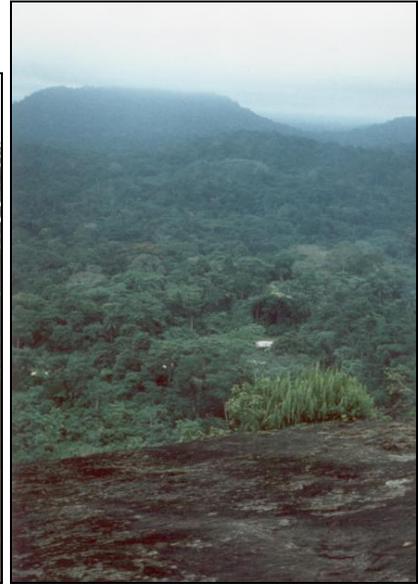
VII.4 Morphologies assimilables au karst dans des gneiss – L'exemple des grottes de Mfoula

4.1 Contexte géomorphologique

La région de Mfoula se situe à 80 km au nord-est de Yaoundé, dans le département de la Haute Sanaga (Fig. 47). Un ensemble de collines culmine vers 900 mètres et domine les vallées de plusieurs centaines de mètres. A l'est de cette zone de reliefs s'étale un plateau mollement ondulé dont l'altitude avoisine les 600 mètres. Seule une partie des sommets et quelques flancs abrupts laissent apparaître la roche en place (Photo 21).



Photo 21. Vue de la zone de Mfoula (ou Mfouda)



Photos 22 et 23. Vues du site de la grotte de Mfoula. Photo 22. Vue du bas de la colline de Mfoula avec au fond à gauche, le haut de la falaise dans laquelle s'enfonce la grotte. Photo 23. Paysage pris du haut de la falaise (qui se trouve à quelques mètres en avant de la limite visible sur le cliché).

4.2 Description des sites



Photos 24 et 25. Vue à proximité du site de Mbasbekon (23) et détail de la roche, de sa couverture de lichen (en noir) et autres plantes (24). Comme le montre la photo 23, le matin, il n'est pas rare que le sommet des collines soit dans les nuages. Ceci a pour conséquence d'humidifier la surface des rochers et explique la présence d'un tapis de lichen extrêmement répandu sur les surfaces sommitales. Il devient alors extrêmement dangereux de marcher à proximité des rebords supérieurs des falaises, ceux-ci étant très glissants. L'après-midi, lorsque le plafond nuageux s'est élevé et que le soleil apparaît, les surfaces noirâtres des lichens provoquent un réchauffement rapide de la surface des rochers et un assèchement de celle-ci. Cette alternance thermique et d'humidification-séchage en association avec le tapis végétal doit jouer un rôle non négligeable dans l'altération des roches en surface.

Trois grottes ont été étudiées : Mfoula (ou Mfouda), Mbasbekon et Angoula. Les deux premières s'ouvrent dans la même colline, la troisième à quelques kilomètres plus à l'est, à proximité du village d'Ebolboumou.



Photo 26. Vue sur la grotte de Mfoula, avec au centre, le pilier central séparant les deux entrées. La hauteur du porche de droite atteint près de 20 mètres (photo A. POUCKET).

Le site de Mfoula est constitué d'une colline arrondie aux flancs plus ou moins escarpés et au sommet rocheux dénudé à peine recouvert de mousses et de lichens (Photos 22 et 23). Le flanc méridional forme une falaise allongée ESE-WNW. Cette orientation est parallèle à l'axe d'une large vallée s'ouvrant en contrebas. Cette dernière n'est occupée que par un écoulement temporaire.

La grotte de Mfoula a été sommairement cartographiée et étudiée (VICAT *et al.*, 1996). Son volume ($> 5000 \text{ m}^3$) en fait la deuxième grotte en importance connue à ce jour au Cameroun. Elle s'ouvre au bas de la falaise (Photo 26). Son entrée domine d'une cinquantaine de mètres le fond de la vallée (d'autres porches décimétriques sont également visibles quelques dizaines de mètres plus haut dans la falaise mais sont inaccessibles). Le site de Mbasbekon ("grotte des fantômes") se situe presque à l'aplomb de celui de Mfoula, environ 60 mètres plus haut (Photo 24).

La grotte d'Angoula se localise à proximité du sommet d'une autre colline résiduelle proche du site de Mfoula. Elle s'ouvre sur le rebord ouest d'un canyon aux parois subverticales et se développe principalement le long d'une grande fracture subhorizontale (Photo 35).

4.3 Géologie et géomorphologie des grottes de Mfoula

4.3.1 La grotte de Mfoula

			Norme CIPW		
	MF - S	MF - 4		MF - S	MF - 4
SiO ₂	62,51	56,39			
TiO ₂	1,58	0,26			
Al ₂ O ₃	16,41	9,87	Quartz	23,71	31,28
Fe ₂ O ₃	1,32	1,36	Orthose	6,94	12,29
FeO	5,86	5,93	Albite	20,56	14,98
MnO	0,11	0,02	Anorthite	27,42	2,94
MgO	3,21	0,88	Hypersthène	15,20	11,57
CaO	5,68	1,02	Magnétite	1,90	1,97
Na ₂ O	2,44	1,77	Ilménite	2,99	0,49
K ₂ O	1,18	2,08	Corindon	1,02	3,63
P ₂ O ₅	0,11	0,36	Apatite	0,24	0,79
TOTAL	100,41	79,94	TOTAL	100,00	79,94
P.F.	0,10	18,02			
S		3,66 *			
TOTAL + PF	100,51	97,96			

Tableau 5. Analyses chimiques de Mfoula (Analyses par ICP, Service d'analyses de l'Université d'Orléans, Programme A. POUCKET, Orléans). MF-S, gneiss granulitique sain; MF-4, gneiss granulitique altéré prélevé dans une fissure. * Le soufre analysé est compris dans la perte au feu (P.F.). Il n'a pas été trouvé de carbone ni d'azote. La norme est calculée sur la base du rapport Fe₂O₃/FeO de 0.23.

La grotte de Mfoula s'ouvre dans des formations orthométamorphiques résultant de la transformation de granitoïdes divers aux confins de la catazone. Une foliation des roches en légère pente vers le sud-est se marque dans toute la grotte. Les analyses pétrographiques (Tableau 5) montrent que les roches de la partie inférieure de la cavité sont constituées d'une formation orthogneissique à amphibole, biotite et grenat, injectée de passées migmatitiques dans le plan de la foliation et accompagnées d'un cortège de filons pegmatitiques et aplitiques.

Les roches de la partie supérieure de la grotte ont un faciès granulitique avec prédominance de granulites à grenat, amphiboles, biotites, orthopyroxènes, feldspaths potassiques, plagioclases sodiques et quartz. La transition entre ces deux faciès principaux se fait par une formation orthogneissique plus franchement litée à lits quartzo-feldspathiques à texture en mosaïque et lits à amphibole, biotite et pyroxène. Toutes ces formations métamorphiques présentent une foliation majeure subhorizontale en faible pente vers le sud-est (WILLEMS *et al.*, 1997).

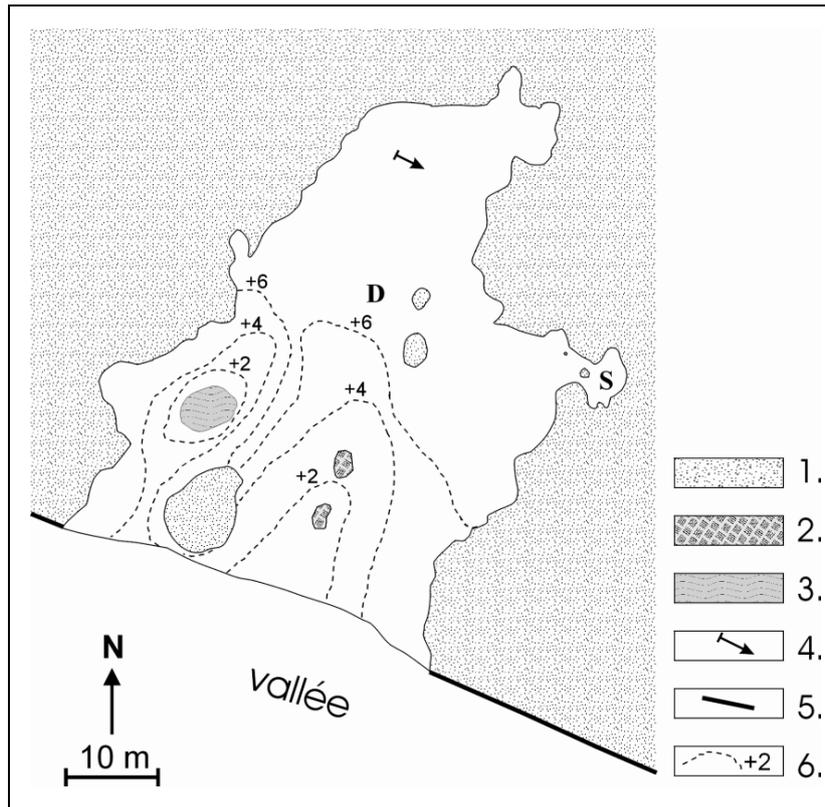


Fig. 50. Plan de la grotte de Mfoula. 1. : roche en place, 2. : blocs effondrés, 3. : eau, 4. : direction de la pente et de la foliation, 5. : falaise, 6. : courbe de niveau approximative par rapport au point le plus bas de la grotte, D. : dôme développé au plafond de la grotte, S. : salle secondaire (modifié d'après Willems *et al.*, 1997).

D'une longueur d'une soixantaine de mètres pour une trentaine de largeur, la cavité atteint par endroits une hauteur de près de 10 mètres (Fig. 50, photos 27 et 28).

Ses deux porches d'entrée présentent une forme légèrement étirée horizontalement (Photo 27), parallèlement à la foliation de la roche. L'orientation générale de la grotte est SSW-NNE, soit perpendiculaire à la falaise. La cavité est caractérisée par la quasi-absence de blocs effondrés hormis quelques débris décimétriques près de l'entrée (Photo 27, Fig. 50). Le plancher, taillé dans les gneiss, a un aspect relativement lisse alors que le plafond, au niveau des granulites, présente une surface plus irrégulière avec, par endroits, une coloration brun foncé due aux oxydes de fer provenant de l'altération des grenats (Photo 29).



Photo 27. Vue des porches d'entrée de la grotte de Mfoula et du pilier central (les personnages à gauche du cliché donnent l'échelle)



Photo 28. Vue de l'intérieur de la grotte, avec un des piliers centraux résiduels (photo JP VICAT).



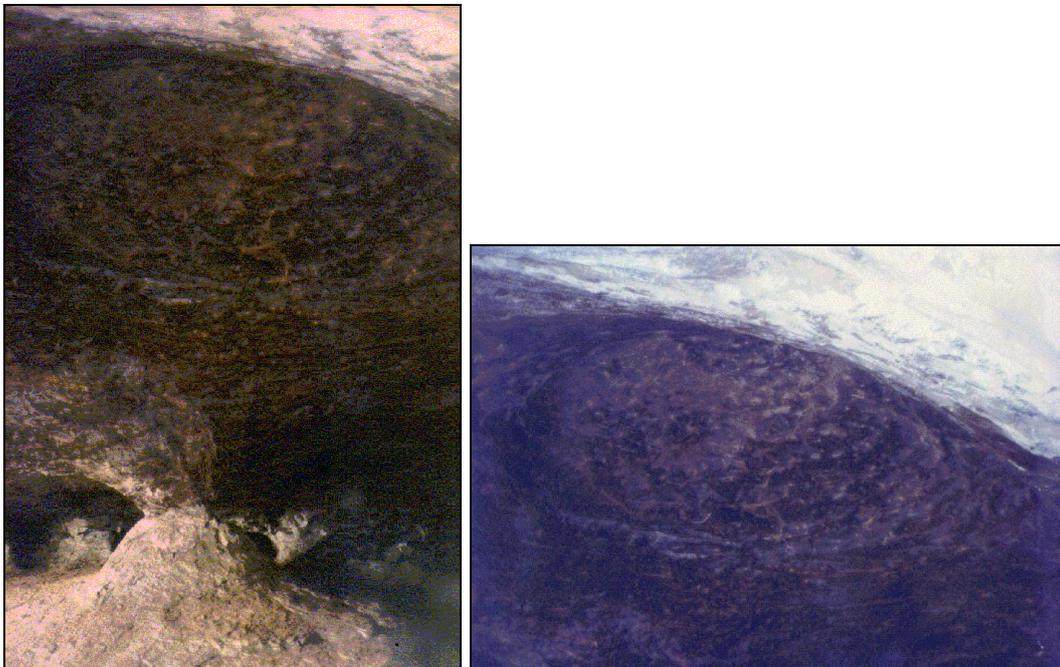
Photo 29. Détail de la roche à l'intérieur de la cavité (photo JP VICAT)

Les caractéristiques morphologiques majeures sont les suivantes :

- des piliers résiduels, de section décimétrique à plurimétrique,
- des alvéoles hémisphériques sur les parois subverticales (Photo 30),
- une voûte en dôme de ± 6 mètres de diamètre au plafond de la grotte (Photos 31),
- une dépression fermée d'environ 2 mètres de diamètre, développée dans un replat surélevé par rapport au niveau de l'entrée de la grotte. L'eau suinte le long de la falaise extérieure tombe dans un petit chenal d'écoulement. Ce dernier aboutit à une mare (Photo 32) tapissée de mousses et d'algues.



Photo 30. Exemple d'alvéoles emboîtées dans le flanc nord-ouest de la grotte de Mfoula (photo JP VICAT)



Photos 31. Voûte en dôme de la grotte de Mfoula (D., Fig. 28). Le pilier visible sur le cliché de gauche (photo JP VICAT) est celui au centre de la Photo 28.

Les alvéoles sont surtout abondantes sur les parois nord-ouest de la grotte. Des seuils entre les piliers compartimentent quelque peu la cavité. D'une façon générale, la hauteur diminue du porche d'entrée vers la terminaison nord de la grotte. Le fond de cette dernière, surélevé par rapport à l'entrée, est en pente vers le sud-est selon une surface structurale correspondant aux plans de foliation des gneiss. A l'exception du chenal aboutissant à la mare, aucune trace d'écoulement n'est visible à l'intérieur de cette cavité.



Photo 32. Vue sur le chenal d'écoulement et de la mare temporaire à proximité du porche d'entrée secondaire de la grotte de Mfoula

4.3.2 La grotte de Mbasbekon

Située à proximité du sommet, au-dessus de la falaise, le site de Mbasbekon se développe dans le même contexte lithologique que celui de Mfoula. Il est constitué d'un rocher champignon qui repose sur un bloc largement fracturé. Le rocher est à l'origine d'un surplomb d'environ 5 mètres de hauteur sur autant de largeur (Photo 33a, Fig. 51).

Deux cavités (1 et 2) (Photos 33b, e et f), l'une sous le rocher champignon, l'autre sur sa bordure est, ont des dimensions modestes. La première est une fissure verticale ouverte, de un à deux mètres de largeur et longue d'une dizaine de mètres. Sa direction NW-SE est parallèle au bord de la falaise en cet endroit. Le fond est encombré par de nombreux blocs anguleux. La fissure ne se prolonge pas dans le toit de la cavité.

Perpendiculairement partent d'autres fissures verticales de largeur réduite qui donnent à l'ensemble un aspect de fracturation en damier. Une importante fissure horizontale est ouverte entre le rocher champignon et son substratum. Elle est occupée par des blocs apparemment résiduels de quelques décimètres à quelques mètres de diamètre. La seconde cavité s'est formée par l'effondrement d'une large dalle détachée du surplomb principal et posée sur le flanc du bloc rocheux sous-jacent.

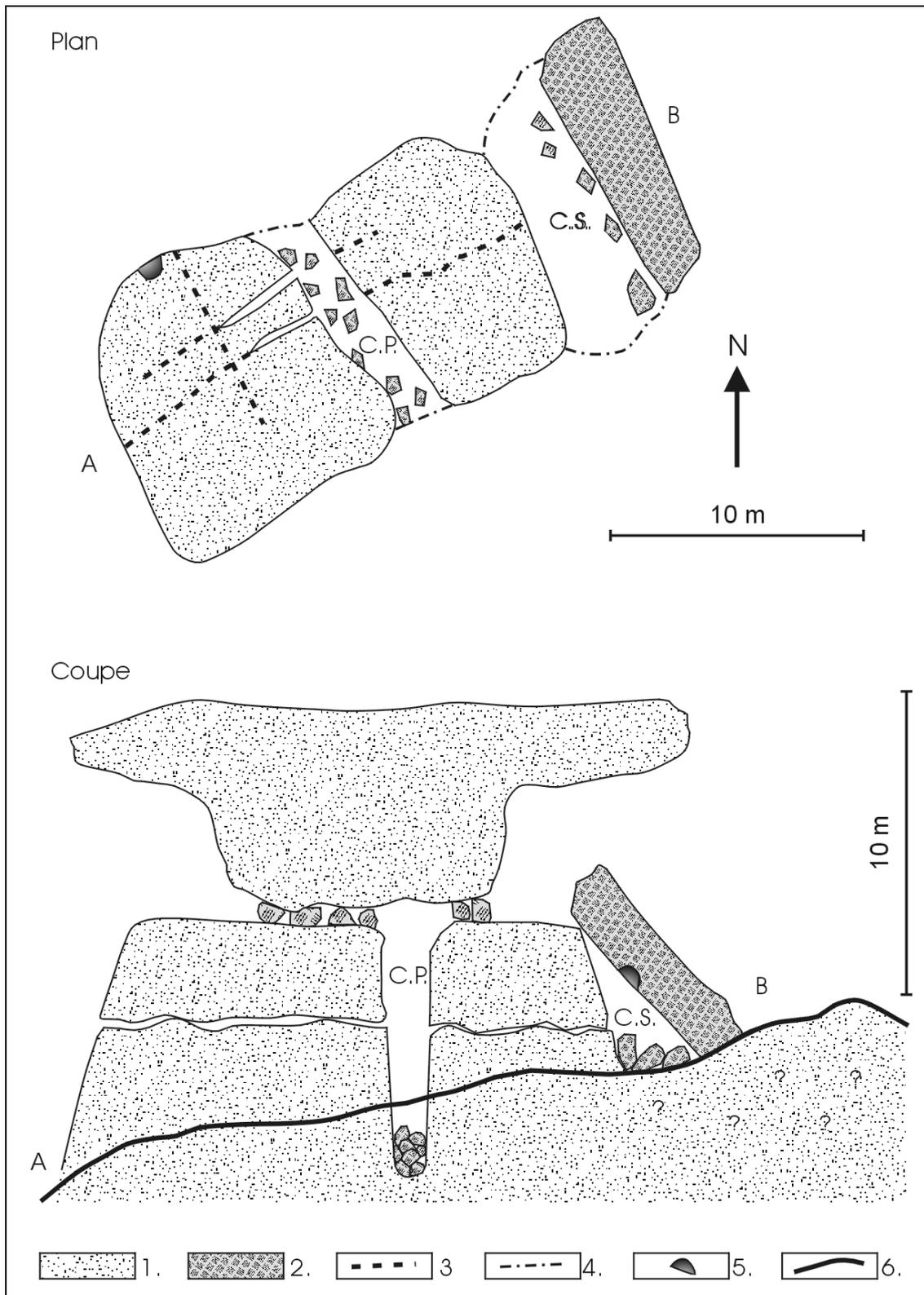


Fig. 51. Plan et coupe de la grotte de Mbabekon (L. Willems, Ch. Mbida et Ch. Makang, 08/08/96). 1. : roche en place, 2. : blocs effondrés, 3. : fractures, 4. Rebord extérieur de la grotte, 5. : alvéole, 6. : niveau supérieur du sol. C.P. : cavité principale, C.S. : cavité secondaire (d'après WILLEMS *et al.*, 1997).



Photos 33. a : vue sous le surplomb du rocher principal du site de Mbasbekon (partie nord-est, Fig. 51). b : Mbasbekon, grotte sous la dalle effondrée où se localise l'alvéole de plafond de la photo 34.

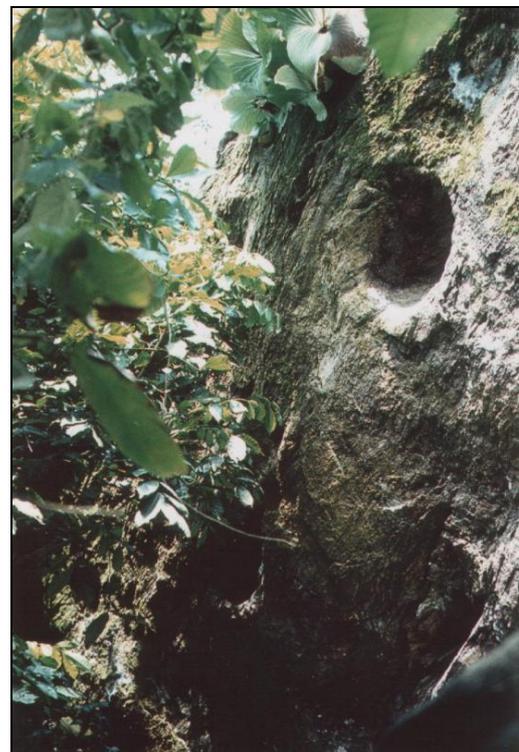
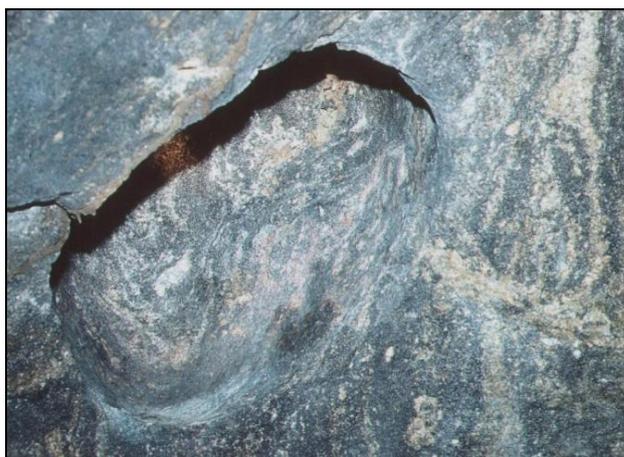


Photos 33c et d. Mbasbekon, vues sur une des entrées de la fissure principale (un personnage donne l'échelle dans le cercle sur la photo c)

Toutes ces cavités sont sèches et ne montrent pas de spéléothèmes. Toutefois, sur les parois subverticales des rochers du site de Mbasbekon ainsi que sur le plafond de la seconde cavité, on observe des alvéoles (Photo 34a) comparables à celles signalées 60 mètres plus bas, dans la grotte de Mfoula.



Photos 33e et f. Mbasbekon, vues sur la grotte centrale avec vue du plafond constitué de l'immense monolithe-champignon et vue sur le fond de la grotte constitué de blocs anguleux (un personnage au centre du cliché e donne l'échelle).



Photos 34. Alvéole dans le plafond de la grotte de Mbasbekon (une vingtaine de centimètres dans sa plus grande longueur (a) et flanc extérieur du rocher formant le toit de la grotte avec une autre alvéole de dissolution (b).

4.3.3 La grotte d'Angoula

La grotte Angoula Biyoo Yezou (ou grotte de l'ancêtre Yezou) (Figs. 43 et 44, Photo 35) s'ouvre sur le flanc très escarpé d'un canyon d'une centaine de mètres de profondeur et orienté nord-sud (Photo 36).

La cavité se développe dans les granulites du Groupe de Yaoundé, le long d'un plan de fracture subhorizontal faiblement en pente vers le nord-ouest (Photos 37). Cette disposition est conforme à la schistosité subhorizontale très marquée dans les roches de la nappe de charriage.

Le porche d'entrée d'Angoula fait environ 3 mètres de hauteur et donne directement sur la falaise du canyon. La hauteur de la grotte se réduit rapidement pour devenir inférieure au mètre au bout d'une trentaine de mètres d'extension. Les parties plus profondes de la cavité deviennent alors inaccessibles. Le plancher est couvert de dalles effondrées du plafond. Dans la partie sud, une fissure d'environ un mètre de largeur pour une longueur de 5 mètres et autant de profondeur s'ouvre dans le toit de la grotte (Photos 38).

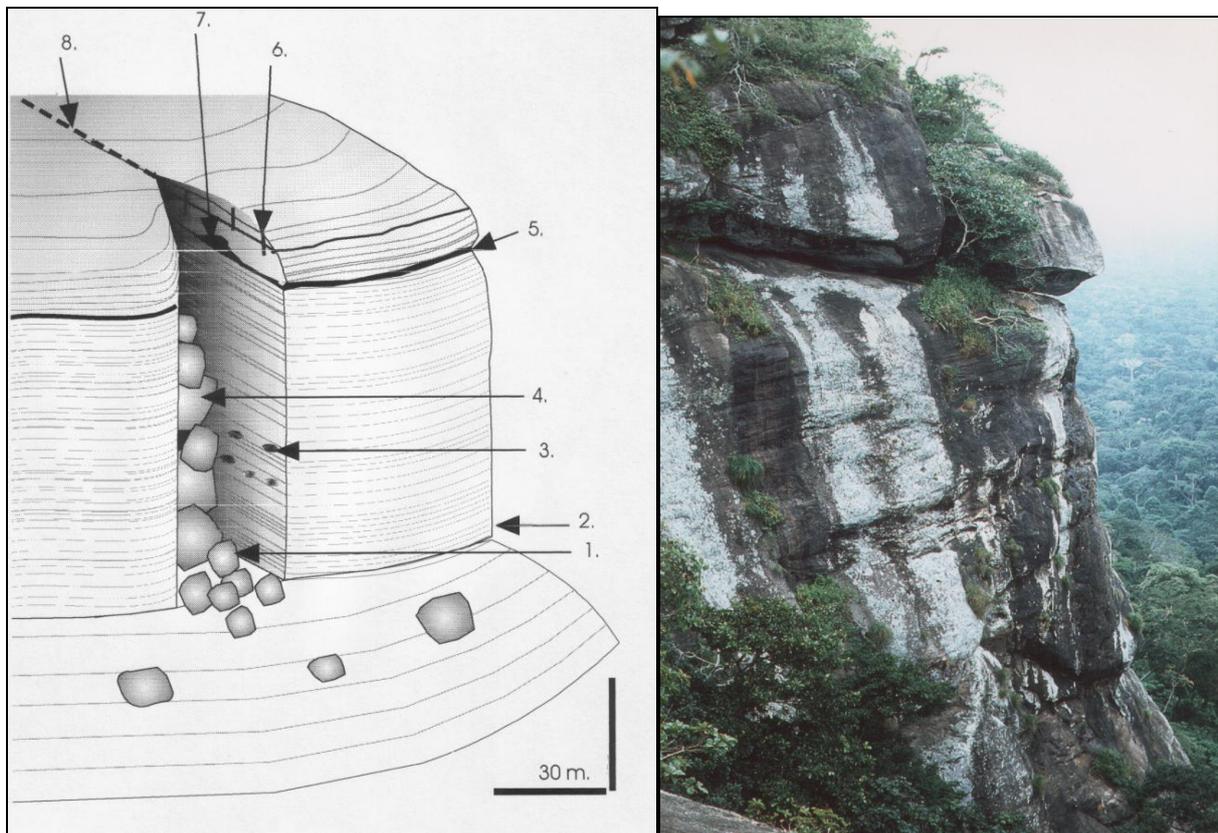


Fig. 52 - Photo 35. Fig. 52 : Bloc-diagramme du site de la grotte d'Angoula (vue en direction du sud-ouest). 1. : blocs effondrés, 2. : falaise principale, 3. : alvéoles de paroi, 4. : blocs effondrés coincés entre les deux parois principales du canyon, 5. : plan de cisaillement majeur, 6. : fracturation subverticale, 7. : site de la grotte d'Angoula, 8. : plan de fracturation majeur (d'après WILLEMS *et al.*, 1997). Photo 35 : Vue à proximité du site de la grotte d'Angoula Biyoo Yezou (« grotte de l'ancêtre Yezou »). La grotte s'ouvre au niveau du plan de cisaillement principal visible sur le haut de la falaise (la taille de cette dernière dépasse 100 mètres).

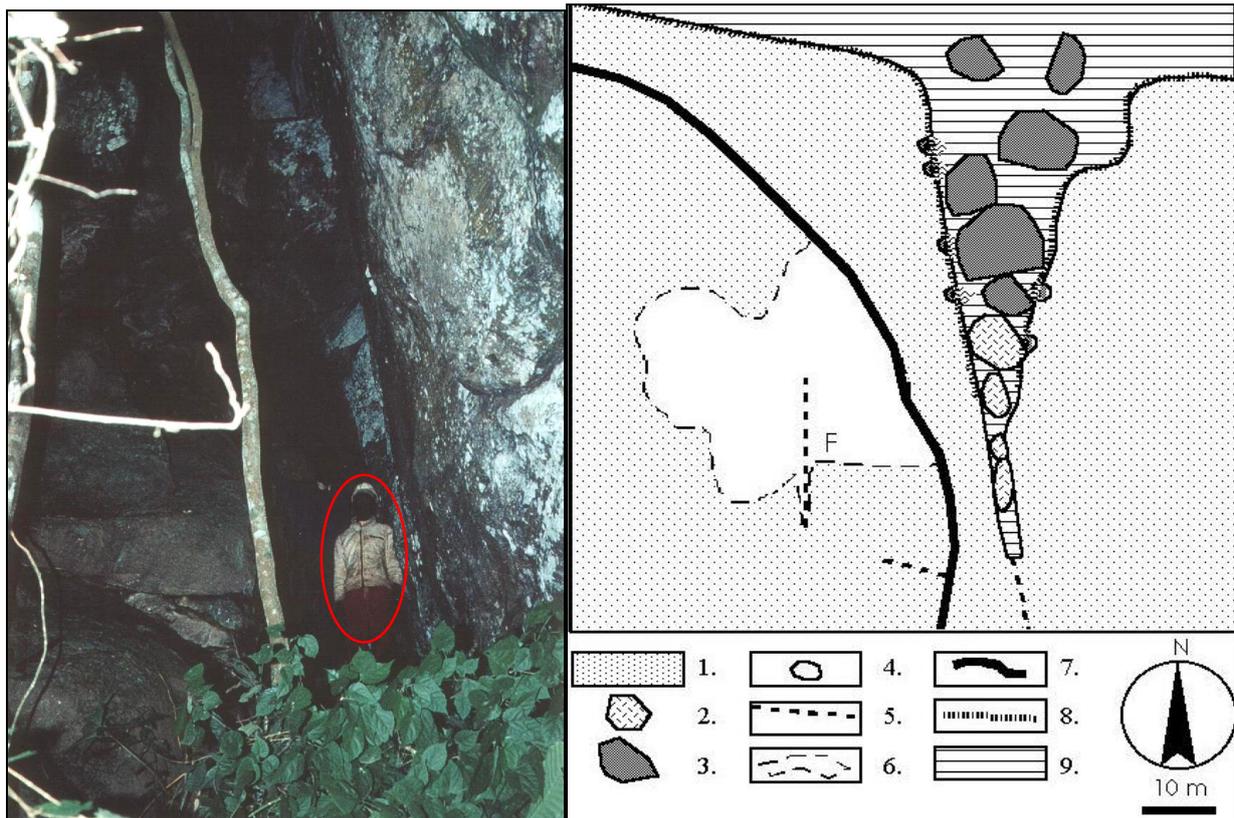
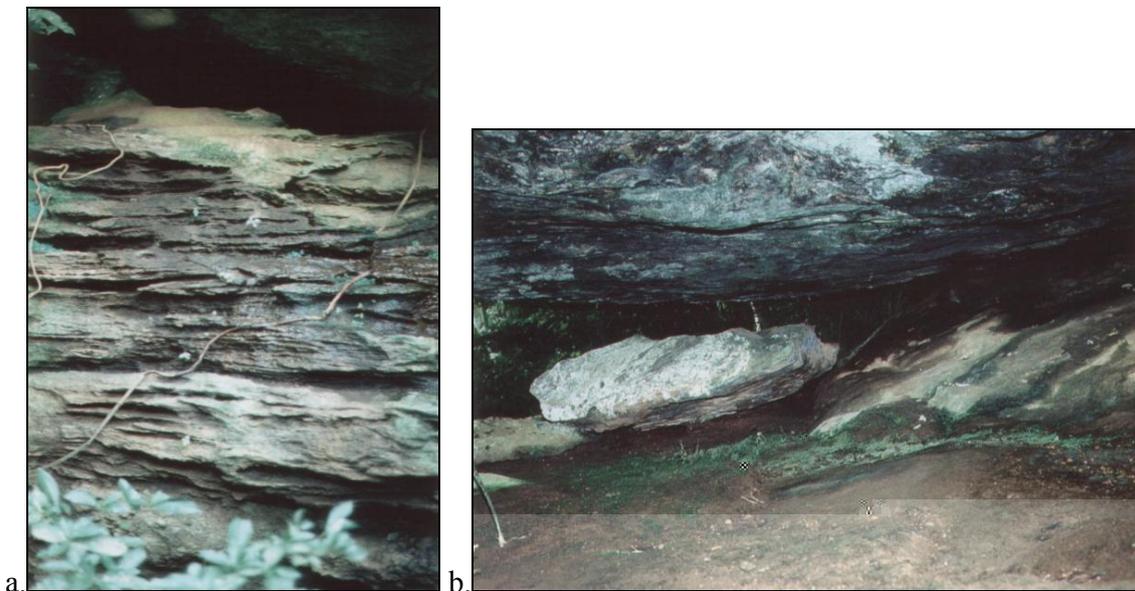
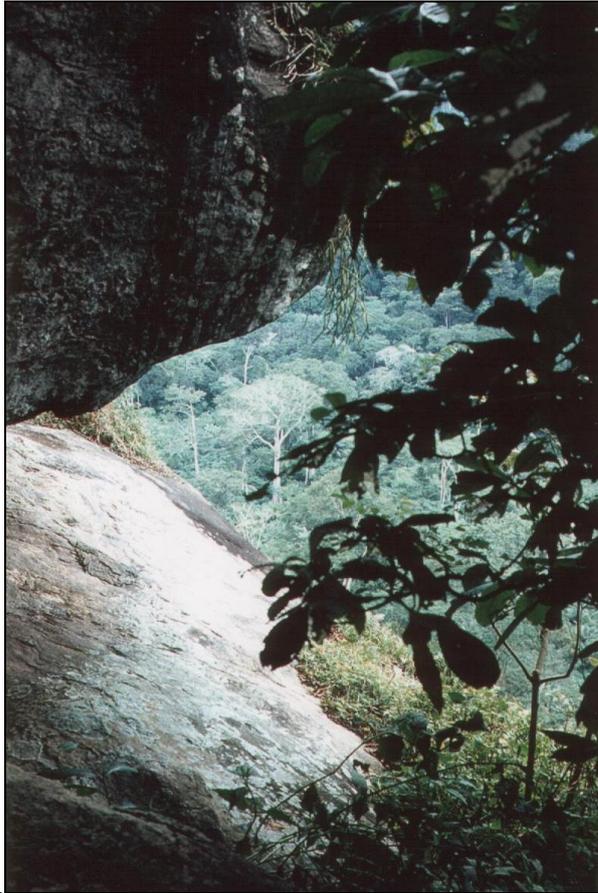


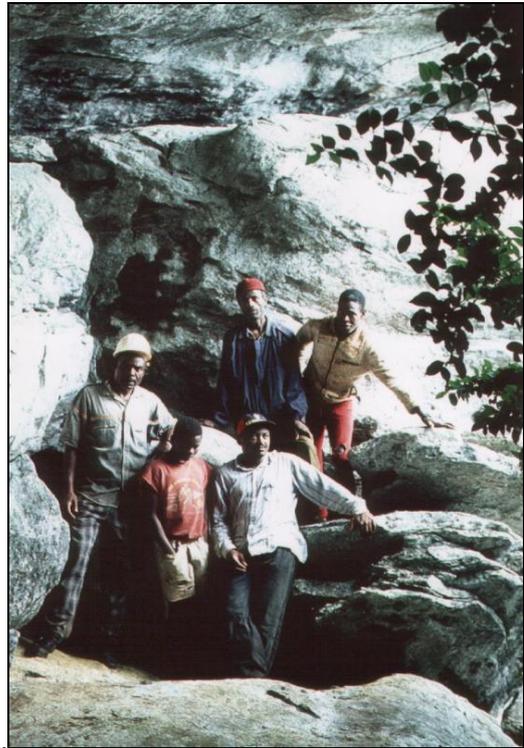
Photo 36. Vue à l'intérieur du canyon, dans le chaos constitué des blocs effondrés et coincés entre les parois (personnage dans le cercle). Fig. 53. Plan du site et de la grotte d'Angoula. 1. : roche en place, 2. : blocs effondrés et coincés entre les parois du canyon, 3. : blocs effondrés « libres », 4. : encoches de parois, 5. : fracturation principale, 6. : limite visible de la cavité, 7. : rebord abrupt supérieur, 8. : parois principales du canyon et de la falaise, 9. : surface basale (d'après WILLEMS *et al.*, 1997).



Photos 37 a et b. Grotte d'Angoula, détail de la roche cisailée (a) et vue de la grotte en direction de la partie amont du canyon avec, à l'avant plan une végétation profitant d'un ruissellement en provenance de la grotte (b).

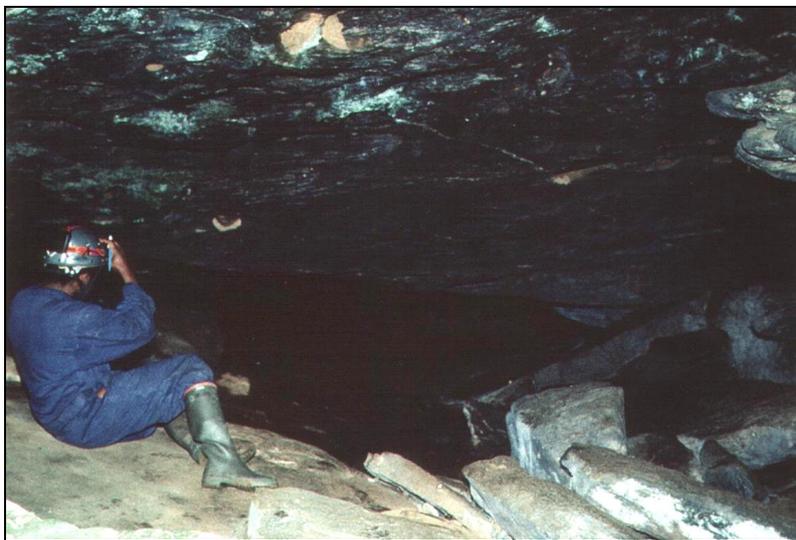


c.



d.

Photos 37 c et d. Détails de la grotte d'Angoula. Vue de la grotte en direction de la falaise principale (c) et sur le porche principal (d).



e.

Photo 37e. Grotte d'Angoula, vue sur l'intérieur de la grotte.

Son orientation est parallèle à l'axe nord-sud du canyon. Les parois de cette fissure présentent une alternance de strates décimétriques en saillies ou en dépressions. Cette alternance est attribuée à une érosion différentielle. Les strates en saillie sont percées de trous millimétriques, traces des minéraux les plus altérables et aujourd'hui dissous.

Sur le plafond du porche d'entrée se retrouvent également des alvéoles hémisphériques de quelques dizaines de centimètres de diamètre. On note par ailleurs des suintements d'eau le long des plans de schistosité et sur les flancs de toute la grotte.



Photos 38. Vue sur la fissure verticale de la grotte d'Angoula (a) (personnage dans le cercle) et détail de l'érosion différentielle des parois (b).

4.4 Discussion

4.4.1 Grotte de Mfoula

Pour VICAT *et al.* (1996) la formation de la grotte de Mfoula résulterait de l'infiltration des eaux pluviales le long de plans de fracturation subverticaux et du drainage horizontal dans des fissures conformes aux plans de schistosité. Ainsi apparaissent des conduits par altération chimique (notamment hydrolyse des plagioclases) et entraînement mécanique des résidus insolubles par une circulation hydrique. La coalescence de plusieurs conduits formerait alors des cavités. A partir d'une certaine dimension, une cavité peut s'agrandir par exfoliation du plafond, par évacuation des matériaux solides et par dissolution du plancher au cours d'un drainage horizontal. Ainsi des grottes de type karstique pourraient se former dans des roches silico-alumineuses réputées peu solubles comme les gneiss et les granulites.

Pour tester la nature de la dissolution, deux échantillons de roche ont été analysés. Le premier est un gneiss granulitique provenant du flanc non altéré de la grotte de Mfoula (MF-S, Tableau 5). Le

second est une roche altérée sous forme d'un résidu jaunâtre prélevé dans une fissure subhorizontale débouchant sous une marche du plancher (MF-4, Tableau 5).

La roche altérée est d'abord caractérisée par une importante perte au feu de 18,02% qui correspond à quelques sulfates (S = 3,66%) mais surtout à l'eau des minéraux secondaires hydroxylés (argiles diverses). En effet, il n'a été trouvé ni carbone (donc pas de carbonates) ni azote. L'analyse modale correspond à la composition minéralogique virtuelle de la roche saine et de la roche altérée, en excluant les minéraux secondaires. Elle montre clairement que ce sont principalement les plagioclases (association albite et anorthite) qui ont fait les frais de la dissolution sélective. Cette constatation est conforme à l'observation pétrographique des roches altérées sur les parois : les plagioclases se transforment rapidement en argile qui est entraînée par les eaux et laissent autant de petites cavités.

Cependant, cette interprétation est confrontée à deux problèmes majeurs. Le premier est l'absence de dépôts d'argile qui aurait dû être partiellement conservée dans les alvéoles de paroi ou au fond d'une petite chambre annexe séparée de la salle principale par un seuil (S, Fig.41). Le second est l'absence de trace d'écoulement qui est censé évacuer l'argile résiduelle, à l'exception du chenal plurimétrique trouvé dans le porche d'entrée, résultant du suintement d'eau le long de la falaise extérieure. Aussi, les résidus d'altération étudiés seraient-ils dus uniquement à une altération actuelle de la roche, surtout à proximité de l'entrée de la cavité, en relation avec l'atmosphère plus humide des saisons des pluies. Cette hydrolyse des plagioclases est bien visible au niveau des banquettes d'érosion dans la grotte d'Angoula. Les écoulements actuels qui sont constatés au sein de cette cavité, dégagent au fur et à mesure les résidus peu solubles de l'altération.

L'aspect relativement lisse des parois de la grotte de Mfoula, l'absence de dépôts résiduels et de processus d'écoulement à l'intérieur de la cavité plaide donc en faveur d'une dissolution généralisée de la roche, indépendante de la nature des minéraux qui la composent et antérieure aux quelques (micro)phénomènes d'altération sélective rencontrés.

Deux questions se posent alors : Dans quel environnement la grotte de Mfoula s'est-elle formée et continue-t-elle de se développer actuellement ?

Outre l'absence d'écoulement dans la cavité, le peu de blocs effondrés montre que cette grotte est très stable dans sa morphologie et n'évolue plus sous les conditions actuelles de surface. La cavité de Mfoula a dû prendre naissance dans un environnement tout différent de celui qui existe aujourd'hui. L'absence d'écoulement, la terminaison en cul-de-sac de cette grotte et la diminution progressive de la hauteur vers le fond de la cavité indiquent qu'une érosion a progressé de la falaise actuelle vers l'intérieur de la colline. La vallée est dans l'axe d'une zone de fracturation majeure du substratum. Cette fracturation est un drain important comme semble l'indiquer la présence d'un écoulement temporaire au fond de la vallée. Les cavités qui débouchent actuellement à flanc de coteau devaient se rattacher anciennement à ce drain.

La présence d'un dôme développé dans le plafond de la grotte (D., Fig. 28, Photo 31), les multiples alvéoles parfois imbriquées les unes dans les autres (Photo 30) et la présence de piliers (Photo 28) suggèrent une genèse dans un milieu noyé. Le dôme est analogue à ceux observés dans les karsts

calcaires. En roche carbonatée, ces dômes ont donné lieu à deux hypothèses génétiques : érosion de tourbillons d'eau ou dissolution à la jonction d'un système croisé de fractures. Ces hypothèses ne peuvent s'appliquer à Mfoula puisque la grotte se termine en cul-de-sac, ne montre aucune trace d'écoulement turbulent ni de fracture dans ses parois. Une autre hypothèse est suggérée par le Professeur C. Ek (Comm. pers.) : celle d'une poche d'air prisonnière d'une nappe d'eau et mise sous-pression de façon prolongée et continue. Les vides peuvent être originellement de formes irrégulières. Si le niveau piézométrique est parfois plus bas que le vide en question et s'il s'élève occasionnellement plus haut, l'air de la cavité est mis sous pression. Par conséquent, à ces moments, la pression partielle de CO₂ augmente aussi. L'action de la corrosion sur une échelle de temps suffisamment longue permettrait d'éliminer les irrégularités des parois préexistantes pour aboutir à terme à un dôme très régulier.

Si l'hypothèse d'une genèse en milieu noyé est retenue, c'est dans ces conditions qu'a dû se réaliser une dissolution généralisée de la roche conduisant à la formation de la grotte. Seuls les micro-organismes apportent alors une explication suffisante pour expliquer cette dissolution. Comme nous l'avons vu au chapitre III.8, bactéries, champignons... se retrouvent dans des roches fort variées et sont capables d'une attaque généralisée de la roche hôte dans laquelle ils résident. Ehrlich (1997) considère que ces micro-organismes où leurs produits dérivés peuvent augmenter la porosité des calcaires et créer des vides et des cavernes. C'est également des bactéries qui seraient à la base de l'augmentation de porosité constatée dans certains grès (BENNETT *et al.*, 1988) (voir III.8.3). De la même façon, nous pensons qu'ils sont capables des mêmes effets au sein de gneiss.

Les différentes observations réalisées permettent d'imaginer un schéma de mise en place de la grotte de Mfoula (Fig. 54). Une zone de fracturation subverticale, à l'emplacement de la vallée actuelle, draine les eaux de surface vers la profondeur. Le long des parois de ce drain, des fronts de dissolution se mettent en place latéralement en rapport avec des populations de micro-organismes situées à différentes profondeurs. Comme nous l'avons vu précédemment (III.8), leur nombre est lié à la présence d'eau et à la disponibilité en nutriments. Dans l'hypothèse de bactéries chemolithotrophes²³, les différences de lithologie jouent un rôle important puisqu'elles déterminent la disponibilité en minéraux utiles pour ce type de micro-organismes. Le développement de Mfoula à l'interface de deux faciès pétrographiques différents et la présence d'hétérogénéités à l'intérieur de la roche avec l'importance variable de minéraux plus ou moins altérables ont certainement facilité localement l'élargissement des cavités.

La création de fronts de dissolution liée à l'activité microbienne est guidée par les joints de schistosités subhorizontaux.

²³ bactéries s'alimentant à partir de matière minérale

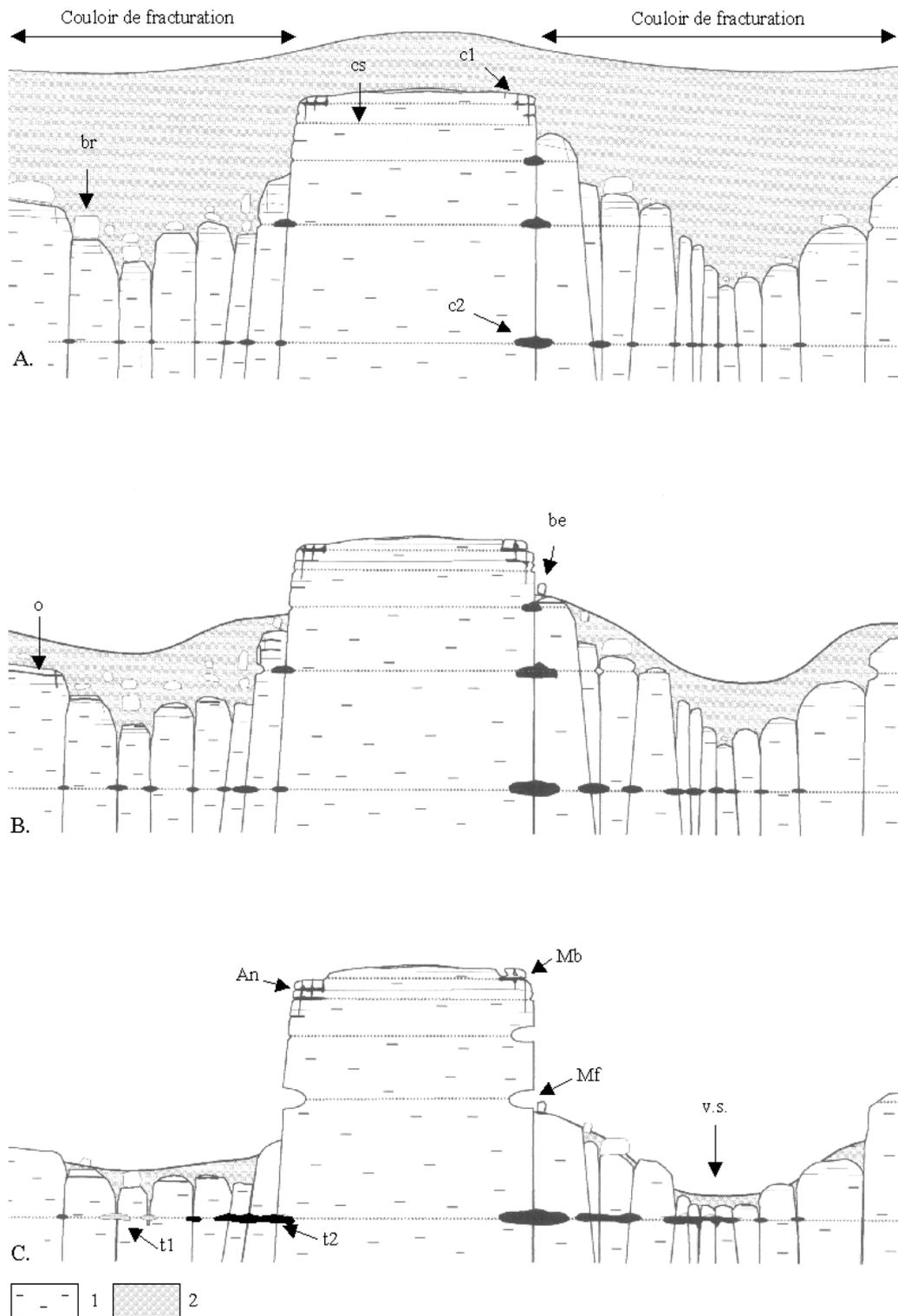


Fig. 54. Hypothèse de mise en place des karsts de la zone de Mfoula. 1. : roche saine, 2 : manteau d'altération, c1 : cavité superficielle, c2 : cavité de profondeur, br : bloc résiduel, be : bloc effondré, t1 : cavité évoluant au sein d'un manteau d'altération, t2 : cavité évoluant dans un milieu vadose, cs : plan de cisaillement majeur, o : plan de décompression calqué sur un plan de cisaillement ou parallèlement à la foliation de la roche. Mf : cas de la grotte de Mfoula, Mb : cas de la grotte de Mbilibekon, An : cas de la grotte d'Angoula, v.s. : vallée sèche.

La coalescence de plusieurs cavités, dont témoignent les poches observées dans la paroi occidentale de la grotte, a finalement produit la large grotte actuelle. L'abaissement des thalwegs lié notamment à la surrection régionale a finalement asséché les cavités qui apparaissent maintenant sur les flancs des collines. Après l'exondation de la grotte, seule l'eau suintant du porche d'entrée et s'accumulant dans l'une ou l'autre irrégularité a pu jouer un rôle érosif quelconque.

4.4.2 Grotte de Mbasbekon

Fortement influencée par la présence de fractures, la grotte de Mbasbekon a été également le siège d'une altération chimique limitée. Plusieurs observations en témoignent :

- la présence de poches hémisphériques à la fois sur les parois verticales extérieures et sur le plafond de la grotte sous la dalle effondrée, associées à des parois relativement lisses,
- la présence du niveau démantelé sur lequel repose le rocher champignon. Ce dernier peut s'expliquer par une altération chimique qui s'est propagée le long d'un drain horizontal. Les blocs résiduels du plan de fracture horizontal se disposent de façon aléatoire, sans forme particulière. Ils sont certainement peu à peu disloqués par le poids du monolithe sus-jacent.

En dehors de l'aspect lisse des parois, le site de Mbasbekon présente des fractures ouvertes. Ces dernières permettent l'évacuation éventuelle de résidus d'altération. La grotte, calquée sur des fractures, serait le résultat d'une genèse au sein d'un manteau d'altération et liée à un réseau de décompression du massif rocheux. La décompression des roches est en relation avec l'ouverture de la vallée principale de Mfoula (Fig. 54, Mb). Les formes de dissolution, résultant d'une attaque globale de la roche et limitées à quelques alvéoles, semblent antérieures à la genèse de la grotte.

4.4.3 Grotte d'Angoula

La grotte d'Angoula souligne la connexion entre les joints subverticaux et subhorizontaux. L'observation de banquettes d'érosion (dans la fissure verticale) (Photo 38b) et de dalles effondrées (Photo 37e) montrent le rôle de la schistosité et des plans de fracturation dans la morphologie de la cavité.

Contrairement aux deux autres grottes, un suintement est visible dans cette cavité. Celui-ci serait responsable de l'érosion et de l'élargissement des fractures responsables de l'apparition et du développement de la cavité. L'observation des banquettes d'érosion au sein de la cavité (Photo 38b) illustre bien l'altération sélective que la roche subit par dissolution de ses minéraux les moins résistants. En dehors des alvéoles situées dans le porche d'entrée de la grotte, aucune trace majeure d'érosion chimique n'est visible dans la cavité. Une genèse comparable à la grotte de Mbasbekon est donc envisagée.

4.5 Conclusion

Les différentes observations effectuées sur les trois sites nous permettent de conclure à la présence de deux modes de formation de cavités. Le premier, et certainement le plus ancien, se forme dans un environnement profond, noyé et lié à de grands plans de drainage subverticaux qui peuvent être des fractures d'origine diverse. La grotte de Mfoula serait issue d'un tel environnement. Les contours irréguliers de la cavité, l'absence de trace ancienne d'écoulement, de résidus d'altération la présence, sur les parois, d'alvéoles emboîtées les unes dans les autres, les piliers résiduels attestent la prédominance d'une dissolution dans sa genèse. Cette dissolution est peut-être liée à l'action de micro-organismes en profondeur.

Le second mode de développement de grottes se raccorde également à ces plans de drainage. La genèse se déroule à proximité de la surface, à l'air libre ou sous couverture ferrallitique, à la faveur de niveaux de fracturation subhorizontaux liés notamment à la décompression du massif rocheux lors de son dégagement par l'érosion de surface. Ces fractures ouvertes sont parcourues par des eaux d'infiltration et sont élargies peu à peu. Fortement drainées, les cavités qui en résultent ont très vite évolué à l'air « libre » et présentent une morphologie d'effondrement dominante, issue de la dislocation de ces niveaux. Angoula en est l'exemple type : dalles de plafond démembré, suintements à travers la grotte, absence de grandes alvéoles de dissolution. Les quelques alvéoles répertoriées à l'entrée de la grotte d'Angoula seraient antérieures à la formation de la cavité elle-même. Elles se seraient mises en place avant la décompression du massif rocheux, lorsque le canyon était encore un drain fermé, soumis à des mécanismes de dissolution similaires à ceux décrits pour Mfoula. L'érosion de surface et la décompression du massif auraient interrompu leur développement.

S'il est vrai que nous avons rencontré le plus souvent des grottes issues d'un amoncellement de dalles effondrées, les observations réalisées à Mfoula montrent que leur origine peut être due à une dissolution généralisée des formations cristallines silico-alumineuses.

L'un et l'autre mode de formation de cavités soulignent l'importance et la pérennité de plans de drainage subverticaux dans la mise en place du paysage actuel de la zone de Mfoula. Ces plans guident le façonnement général du relief et sont à l'origine des grandes falaises, des vallées sèches et des rebords abrupts des collines résiduelles de la région. Si les mécanismes capables d'expliquer une dissolution généralisée des gneiss ne sont pas encore bien connus, des mobilisations d'éléments réputés peu solubles tel que la silice sont trouvés dans ce type de roche. Un exemple de cette mobilisation est décrit ci-dessous.

4.6 Analyses d'aiguilles siliceuses en terrain gneissique

4.6.1 Introduction

C'est à quelques kilomètres au nord de la ville de Yaoundé, à proximité du village de Nkolondom qu'a été décrite la grotte du même nom (LIPS, 1995) également appelée grotte de Nkongméyos (VICAT *et al.*, 1997). Le site est sur le versant d'une colline et est développé dans des gneiss. Un ensemble de blocs pluridécamétriques se sont détachés du versant et sont à l'origine de la cavité (Figs. 55 et 56) qui s'apparente, par sa genèse, à la grotte de Mbasbekon.

La paroi verticale de la roche en place ainsi que celle en vis-à-vis sur le principal bloc détaché comporte une série de conduits et d'alvéoles de paroi (Photo 39, Fig. 56).

Vicat *et al.* (1997) en ont fait une description détaillée et ont montré l'influence à la fois de la foliation de la roche et de la fracturation subverticale sur la forme des alvéoles.

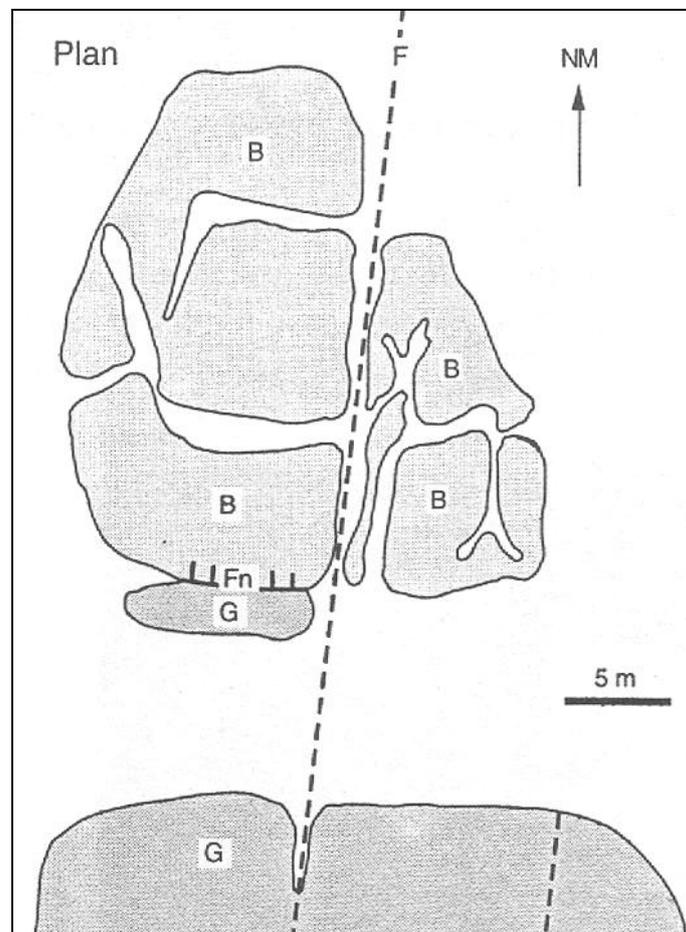


Fig. 55a. Plan du site de la grotte de Nkongméyos. F : fracture, Fn, faille normale effondrant le compartiment nord et plan de glissement, G : gneiss, B : niveau de blocs de gneiss au sein duquel se développent les galeries à différents niveaux, f : foliation (d'après Vicat *et al.*, 1998).

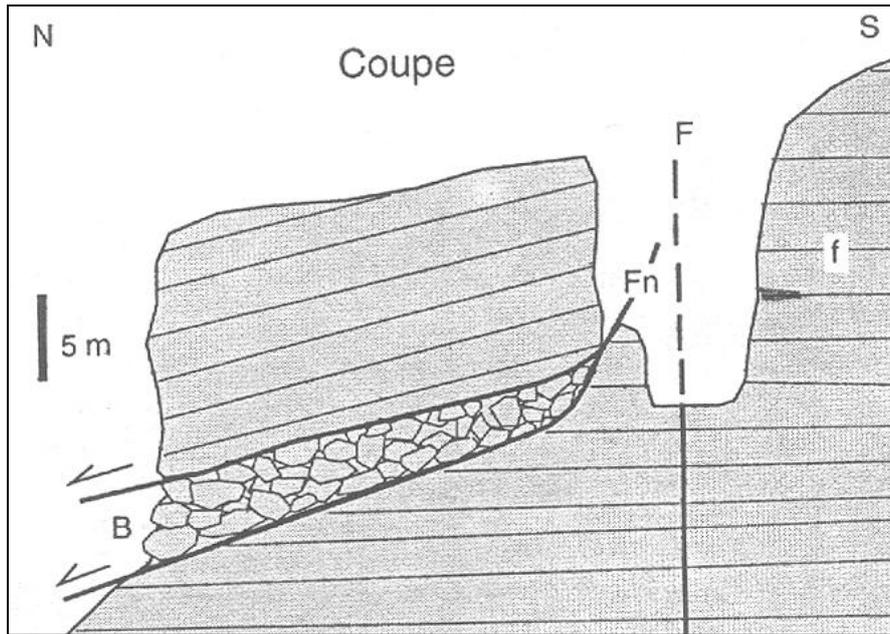


Fig. 55b. Coupe transversale du site de la grotte de Nkongmeyos. F : fracture, Fn, faille normale ayant provoqué l'effondrement du compartiment nord et plan de glissement, G : gneiss, B : niveau de blocs de gneiss au sein duquel se développent les galeries à différents niveaux, f : foliation (d'après Vicat *et al.*, 1998).

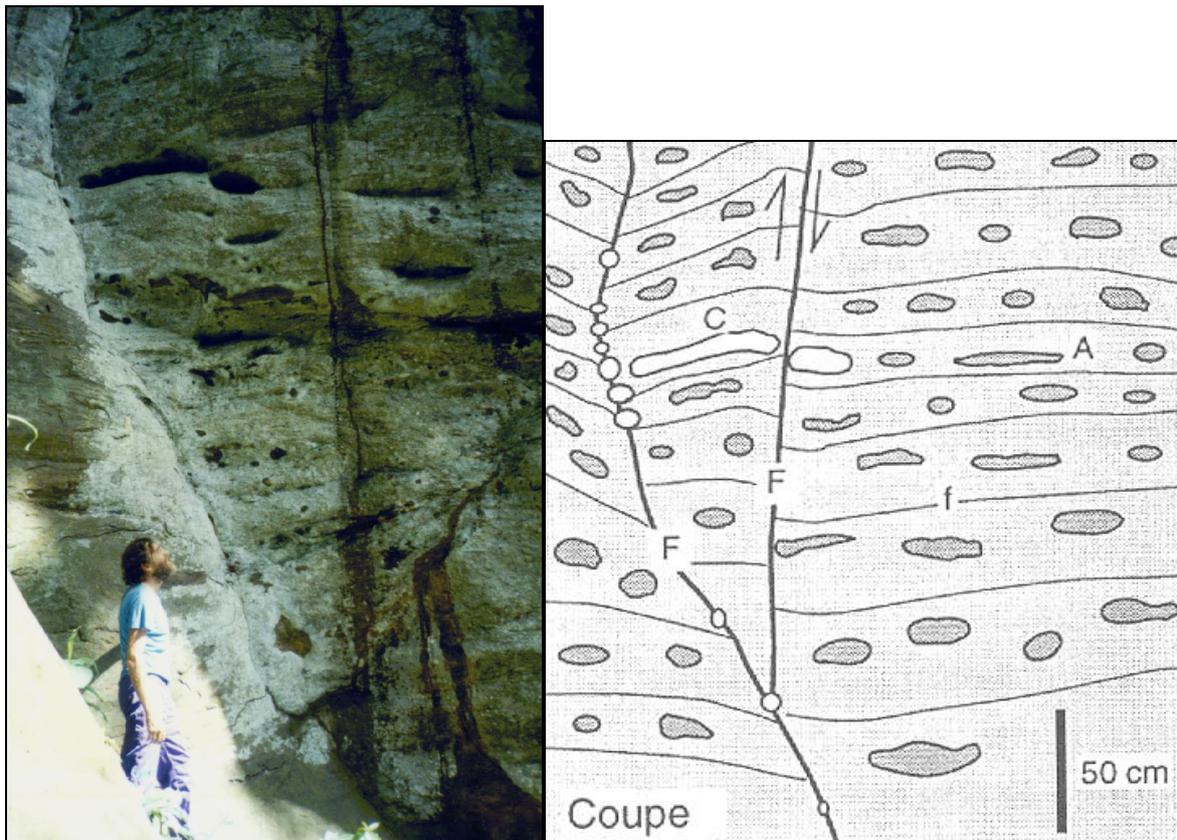


Photo 39. Vue sur la paroi verticale de la roche en place et sur les alvéoles (photo JP VICAT).
Fig. 56. Interprétation de la photo 38 (d'après Vicat *et al.*, 1998)

Une fracture subhorizontale s'ouvre au sein de la falaise principale et des traces d'écoulements montre qu'elle agit comme un drain. C'est à la sortie de ce drain qu'ont été trouvées des aiguilles que nous avons analysées (Photo 40).



Photo 40. Vue des aiguilles analysées de Nkongméyos (photo JP VICAT).

4.6.2 Matériel et méthode

Les aiguilles de Nkongméyos peuvent atteindre deux à trois millimètres de longueur et se disposent de façon relativement aléatoire à la sortie du drain. Des analyses similaires à celles effectuées pour les concrétions du Niger ont été réalisées : observation au microscope optique, au microscope électronique à balayage, microanalyses qualitatives aux rayons X (EDX) et par diffraction des rayons X²⁴. Nous renvoyons aux chapitres consacrés aux concrétions du Niger pour les détails techniques des appareillages utilisés. Des lames minces polies ont été réalisées suivant le plus grand axe des aiguilles.

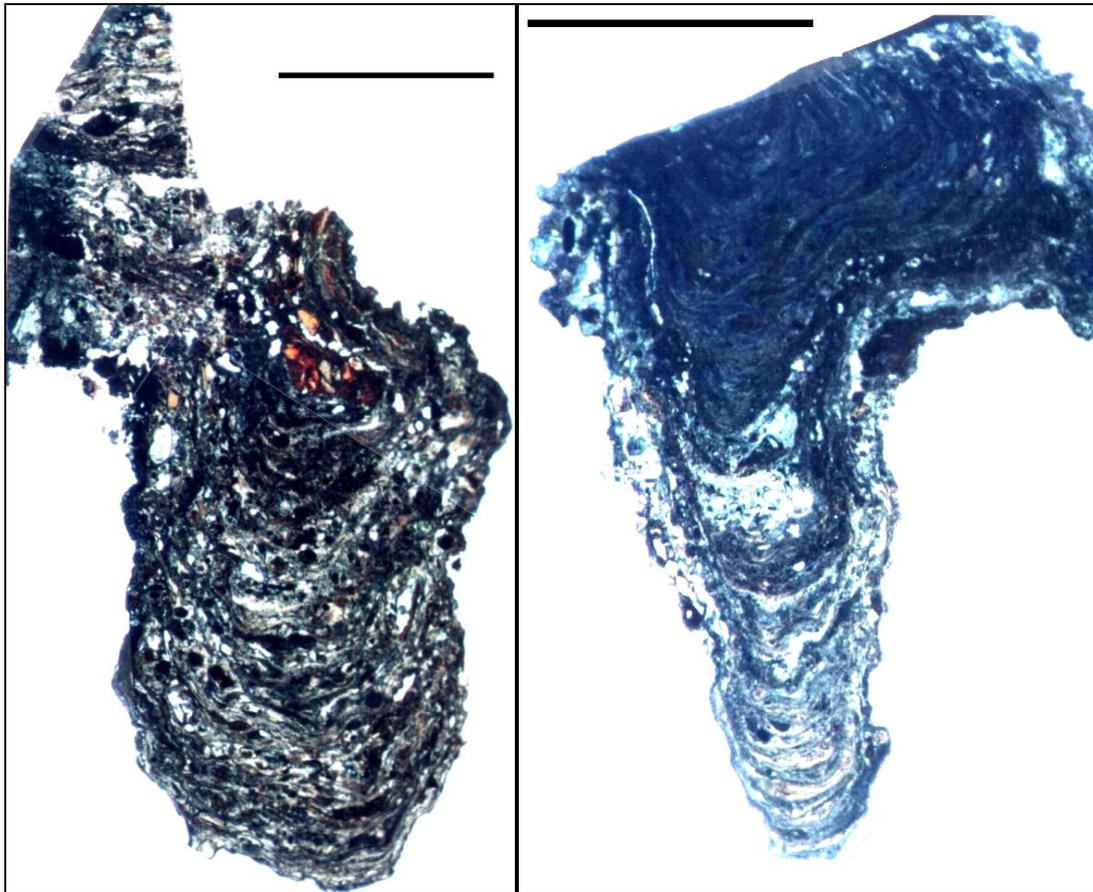
4.6.3 Résultats

L'analyse au microscope polarisant des lames minces révèle que les aiguilles sont constituées d'une succession de microlamines relativement régulières, donnant lieu à une structure de type stromatolithique (Photos 41).

Des cristaux de biotite peu altérés, disposés parallèlement aux lamines, sont bien visibles ainsi que des zones cristallisées de quartz et des grains de quartz allochtones. L'ensemble des aiguilles est

²⁴ Les lames minces ont été réalisées au service de Géologie du Prof. Dimanche, à l'ISSEP par M. D. Leclercq et par le Dr. F. Boulvain, Dpt Géologie, Pétrologie et Géochimie de l'Université de Liège. Les microanalyses ont été réalisées par le Dr. Ph. Compère et l'auteur au Laboratoire de Biologie Générale et de Morphologie Ultrastructurale du Professeur Goffinet, Université de Liège, Institut de Zoologie, 22 Quai van Beneden, B-4020 Liège-Belgique. Les diffractions aux rayons X et leur interprétation ont été effectuées par M. F. Hattert au Dpt de Minéralogie du Prof. Fransolet, Université de Liège.

coloré par de l'oxyde de fer. Des filaments de 1-2 microns de diamètre, légèrement verdâtres, sont également visibles dans l'ensemble des strates des aiguilles (Photo 42).



Photos 41. Vues au microscope en lumière polarisée de lames minces polies réalisées sur des aiguilles le long de leur axe de croissance principal (barre d'échelle : 0,4 mm).

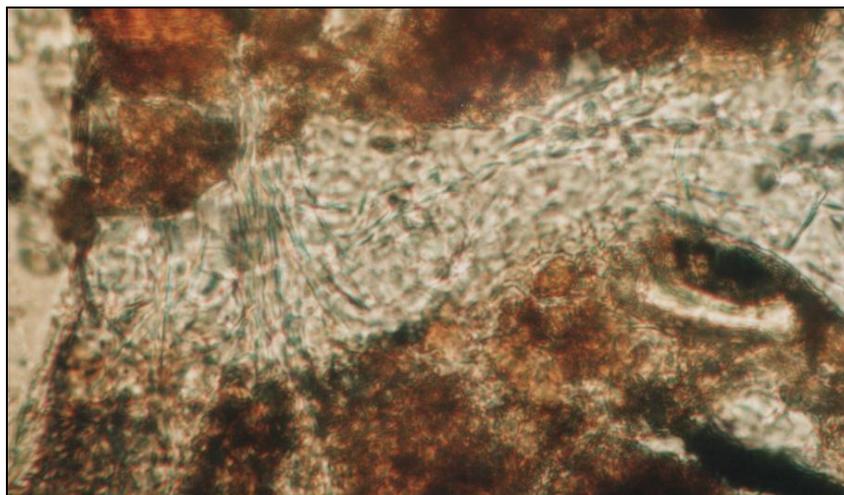


Photo 42. Vue au microscope en lumière polarisée d'une lame mince polie réalisée sur une aiguille le long de l'axe de croissance principal. Mise en évidence de filaments bactériens (1 à 2 μm de diamètre) (cliché F. BOULVAIN).

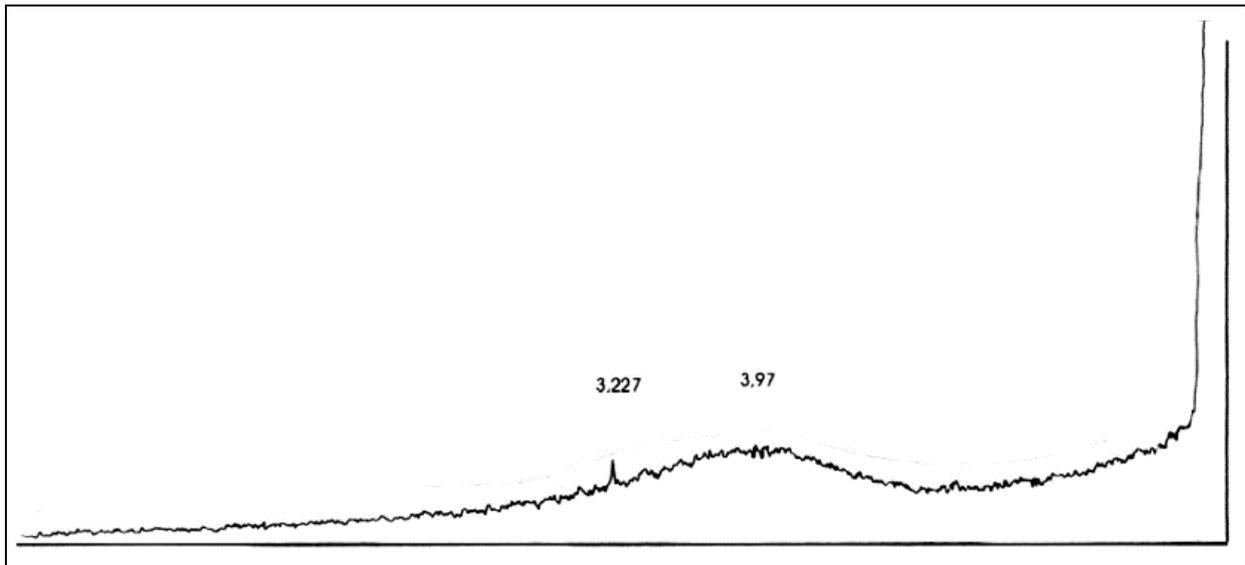


Fig. 57. Diffractogramme aux rayons X des aiguilles de Nkongméyos. 3,97 : indéterminé, 3,227 : feldspath, 14,66 : chlorite (F. HATTERT, Dpt. de Minéralogie, Université de Liège).

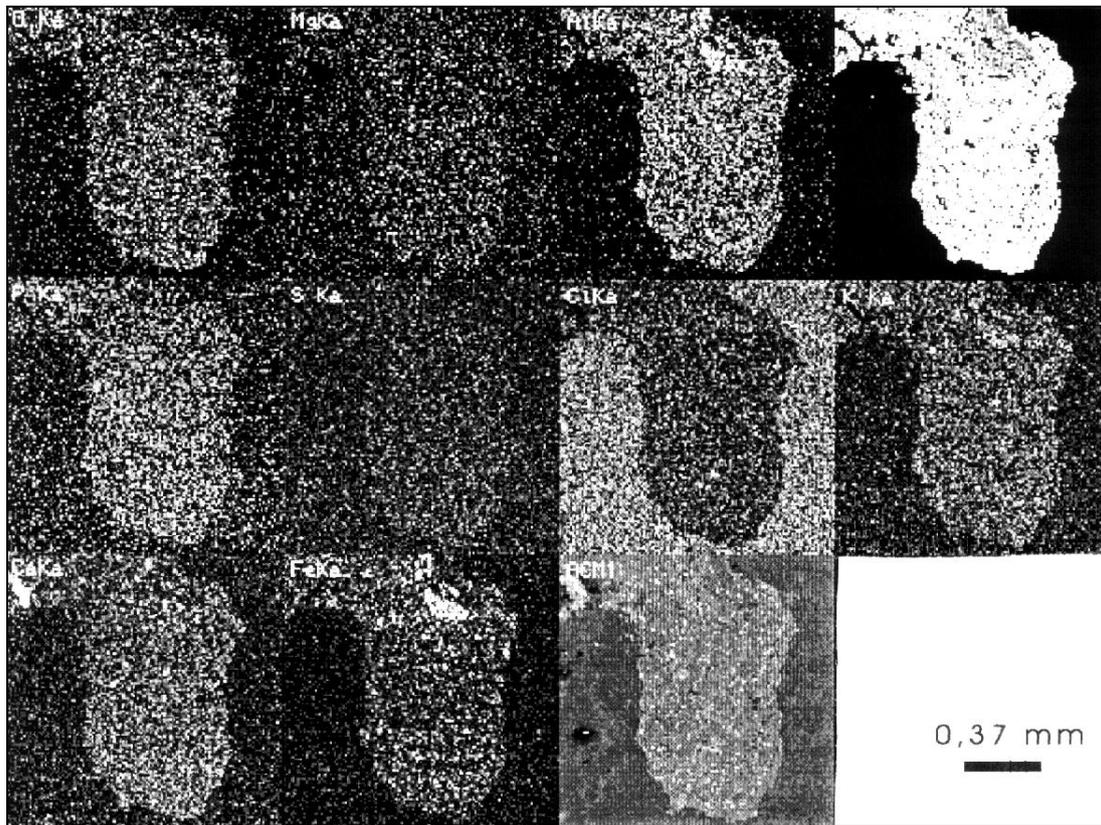
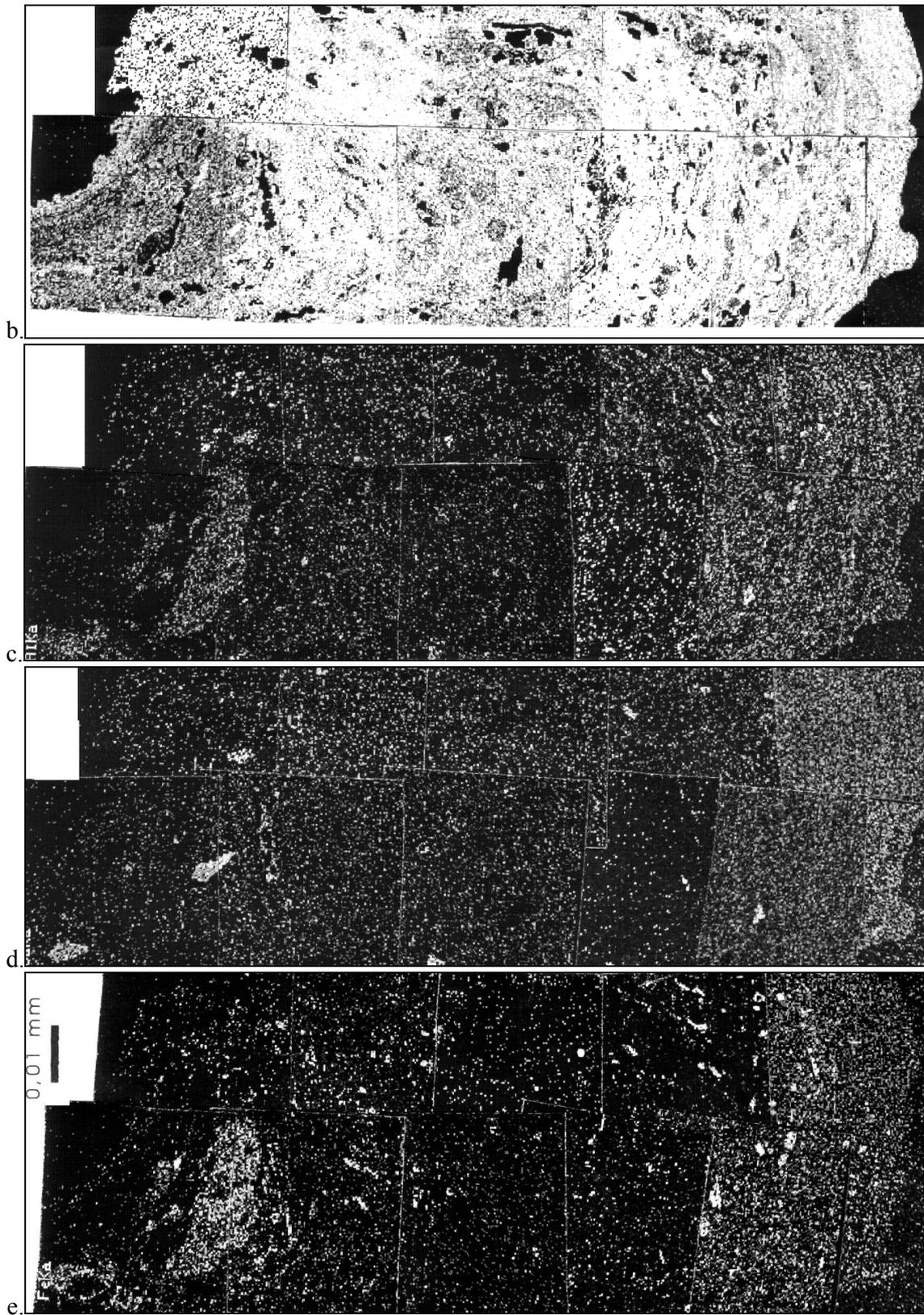


Fig. 58a. Répartition des éléments chimiques de l'aiguille préparée en lame mince (Fenêtre ouverte Be, tension d'accélération 22kV) : éléments représentés respectivement de gauche à droite et de haut en bas : O, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe et image vue au microscope électronique à balayage. Remarque : plus un élément est présent, plus il apparaît blanc sur l'image et à l'inverse s'il est peu présent, il se marquera par une zone noire (Lab. de Biologie Générale et de Morphologie ultrastructurale, Institut de Zoologie, Université de Liège).



Figs. 58 b, c, d et e. Mapping agrandi de la zone cartographiée à la fig. 58a. pour Si (b) et Al (c), Ca (d) et Fe (Lab. De Biologie Générale et de Morphologie ultrastructurale, Inst. de Zoologie, Université de Liège).

Les poudres d'aiguilles soumises à la diffraction aux rayons X nous montrent que, d'une façon générale, le matériau qui les constitue est à l'état amorphe. Seuls deux pics caractéristiques émergent du diffractogramme : celui des feldspaths et celui de la chlorite. L'aspect général du diffractogramme fait penser à celui d'une opale. L'importance du bruit de fond continu semble confirmer l'imprégnation généralisée des aiguilles par du fer.

La carte de répartition des éléments chimiques (mapping) obtenue par rayons X sur une lame polie révèle que les aiguilles se composent essentiellement de silice et aucun autre élément n'apparaît vraiment à l'exception d'un noyau ferrique qui semble être un résidu de la roche support. Al, K, P, Ca sont pratiquement absents des aiguilles (Figs. 58).

4.6.4 Discussion

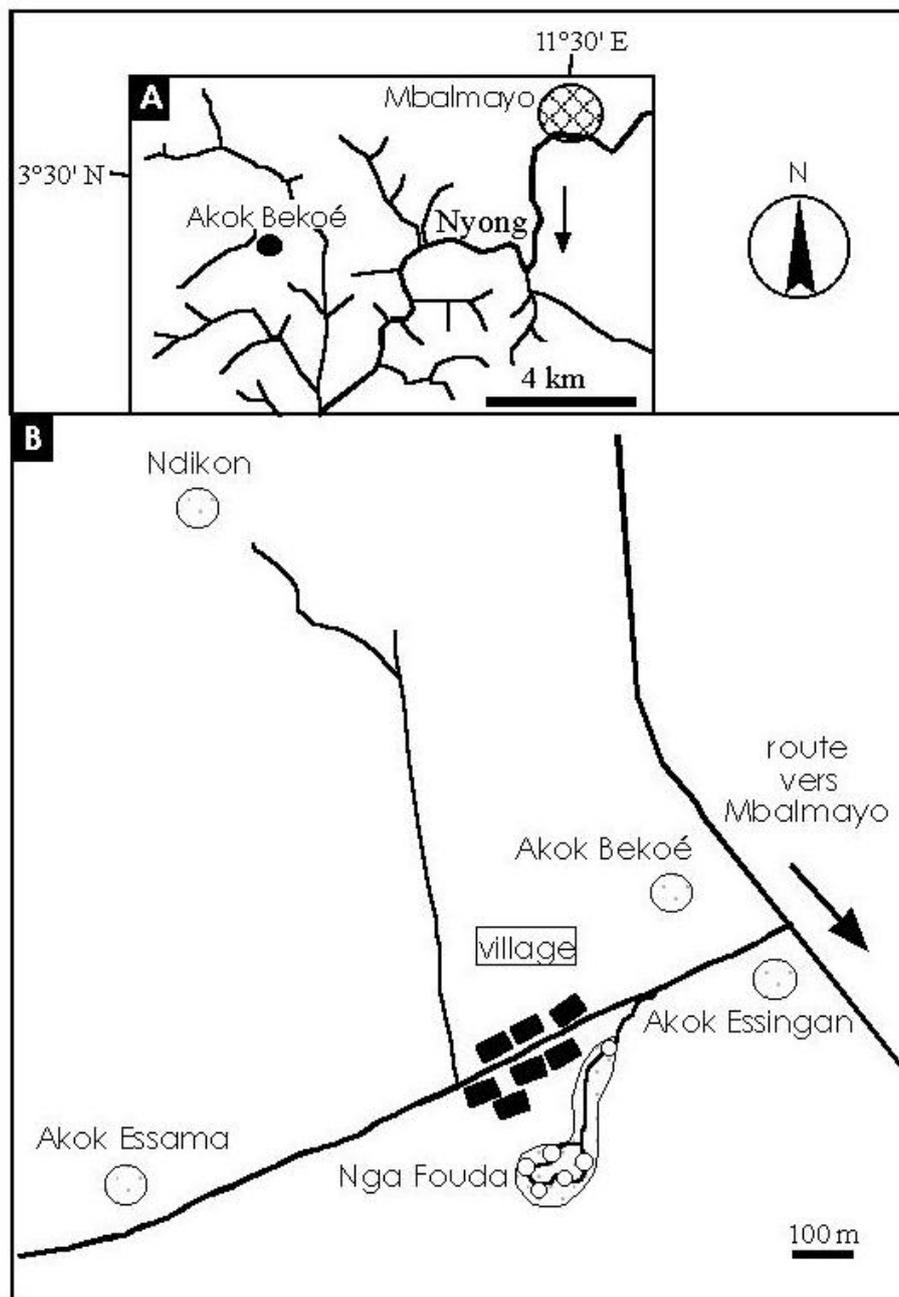
Les différentes analyses effectuées montrent que les aiguilles sont constituées principalement de silice amorphe (peut-être sous forme d'opale). La présence au sein du concrétionnement de cristaux de biotite peu altérés atteste d'une formation très rapide des aiguilles. En effet, ce type de minéraux est extrêmement sensible à la corrosion et est donc très rarement conservé au sein de concrétionnements. De plus, la position des aiguilles à l'air libre et leur fragilité laissent supposer qu'elles se forment toujours à l'heure actuelle.

Quels sont les mécanismes de formation de ces aiguilles qui semblent toujours en formation à l'heure actuelle et qui montrent une importante mobilisation de la silice ? Les filaments observés pourraient être des bactéries (Interprétation Dr. David Gillan, ULB). Malheureusement, les données nous manquent pour être plus précis dans leur détermination et dans le rôle éventuel qu'ils ont joué dans la précipitation de la silice. L'ensemble des observations suggère une mobilité importante et rapide de la silice au sein des formations gneissiques.

VII.5 Karsts dans les micaschistes - l'exemple des grottes d'Akok Bekoé

5.1 Contextes géologique et géomorphologique

Les sites d'Akok Bekoé sont à 12 km au sud-ouest de la ville de Mbalmayo et à 4 km à l'ouest du fleuve Nyong. (Fig. 59A). Ils regroupent un ensemble de formes (grottes, alvéoles...) dispersées autour du village du même nom (Fig. 59B).



Figs. 59. A : Localisation de la zone d'Akok Bekoé. B : Localisation des sites autour du village d'Akok Bekoé.

Le réseau hydrographique du fleuve Nyong découpe le relief en vastes vallons et cuvettes marécageux occupés par une forêt plus ou moins dégradée.

Des études préliminaires d'Akok Bekoé mentionnent des grottes, des abris sous roche, des rochers "champignons", des amas de blocs dans des gneiss et des micaschistes (LOUMPET, 1994; LIPS, 1995; VICAT *et al.*, 1997). VICAT *et al.* (1997, 1998) répertorient des alvéoles groupées sur les parois verticales des rochers de Ndikon ainsi que des conduits horizontaux. Ces auteurs soulignent le fort contrôle tectonique des formations, envisagent la dissolution des roches encaissantes et attribuent, sans plus de détail, les formes observées à un karst profond mis à jour par l'érosion.

Le substrat de la zone d'Akok Bekoé appartient à la série des "schistes de Mbalmayo" (CHAMPETIER DE RIBES et AUBAGNE, 1956) qui appartient à la nappe de charriage de Yaoundé (Fig. 47). La série des schistes de Mbalmayo comprend des micaschistes à muscovite-chlorite alternant avec des calcschistes finement rubanés contenant des lits phylliteux à muscovite, chlorite et biotite et à lits à quartz, calcite et albite.

La composition chimique de cette série (Tableau 6a) évoque celle de roches détritiques argileuses, à ciment carbonaté. Localement, des quartzites à muscovite sont interstratifiés dans la série (NEDELEC *et al.*, 1986).

Au niveau des sites d'Akok Bekoé, on rencontre des micaschistes à muscovite et biotite dont la composition chimique (Tableau 6b) est celle de formations grésopélitiques micacées peu ou non carbonatées.

Les caractères structuraux des micaschistes d'Ako Bekoé sont ceux de la nappe de Yaoundé (Fig. 60). Des plans de cisaillement (C2) en pendage faible vers le nord-est sont associés à une schistosité subparallèle (S2) et à une schistosité de flux antérieure (S1) inclinée de 20 à 30° vers le nord-est. La plupart des grandes formes karstiques décrites ci-dessous s'inscrivent dans cette structuration.

Chaque rocher ou groupe de rochers autour du village d'Akok Bekoé porte un nom local. Cinq sites ont été étudiés : Nga Fouda, Ndikon, Akok Essama, Akok Essingan et Akok Bekoé. (Ce dernier est différent du site de Nga Fouda montré aux quelques rares visiteurs et répertorié dans la littérature touristique comme "grottes d'Akok Bekoé".)

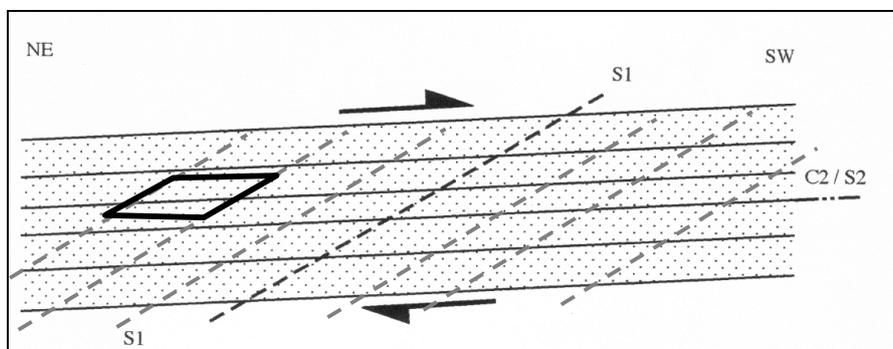


Fig. 60. Structuration de la nappe de Yaoundé. Coupe verticale NE-SW. C2 : plans de cisaillement; S2 : schistosité subparallèle à C2. S1 : schistosité de flux antérieure à C2 et S2. En gras, maillage rocheux « de base » (modifié d'après Willems *et al.*, 2000).

	a	b/Ndikon	c/enduit siliceux
SiO ₂	57,35	69,17	91,22
TiO ₂	0,91	0,79	0,02
Al ₂ O ₃	16,03	13,52	0,94
Fe ₂ O ₃	5,52	5,83	0,28
MnO	-	0,10	0,00
MgO	-	1,92	0,5
CaO	2,46	0,26	0,16
Na ₂ O	4,69	2,10	0,04
K ₂ O	2,18	2,93	0,14
P ₂ O ₅	3,67	0,23	0,97
Perte au feu (P.F.)	-	2,36	4,48
Total	92,81	99,21	98,3

Tableau 6. Composition chimique de roches de la région d'Akok Bekoé (Analyses par ICP, Service d'analyses de l'Université d'Orléans, Programme A. POUCKET, Orléans). a : analyse représentative de la composition des schistes de Mbalmayo (Nédélec *et al.*, 1986); b : analyse des micaschistes de Ndikon; c : analyse d'un enduit en provenance de la grotte d'Akok Bekoé.

5.2 Le site de Nga Fouda

Le site de Nga Fouda (Fig. 59B) se compose de six rochers ou amas de rochers principaux disséminés dans une cacaoyère.

Des blocs généralement pluridécamétriques, aux formes arrondies, sont empilés les uns sur les autres. Un aspect parfois chaotique se dégage de ces ensembles. Les différents rochers sont principalement individualisés par des fissures subhorizontales et dans certains cas par des fractures verticales. LIPS (1995) y relève plusieurs grottes ou abris sous roche (Fig. 61).



Photo 43. Vue en direction du SE du grand rocher champignon de Nga Fouda.

La "grotte N° 1", rocher champignon gigantesque, présente une "corolle" d'une trentaine de mètres de diamètre qui surplombe le sol de 8 à 10 mètres. Sa base se rétrécit et atteint un diamètre d'une dizaine de mètres (Photo 43).

Nga Fouda		Ndikon	
T (°C)	22,4	T (°c)	21,3
pH	5,34	pH	6,04
conductivité	70 µS	conductivité	19,6 µS
turbidité	0,00 NTU	turbidité	4,59 NTU
acidité	0	acidité	0
alcalinité	36,5 équivalent mg/L de CaCO ₃	alcalinité	79,5 équivalent mg/L de CaCO ₃
azote ammoniacal	0,01 mg/l (NH ₃ -N) ou 0,0129 mg/l de NH ₄ ⁺	azote ammoniacal	0,02 mg/l NH ₄ ⁺
calcium	9 mg/l	calcium	9 mg/l
chlorure	9 mg/l	chlorure	26 mg/l
dureté totale	20 mg/l de CaCO ₃	dureté totale	28 mg/l CaCO ₃
fer total	0,01 mg/l	fer total	0,64 mg/l
flurorure	0,00	flurorure	0,03 mg/l
manganèse	0,118 mg/l	manganèse	0,062 mg/l
nitrate	11 mg/l de NO ₃ ⁻	nitrate	4,4 mg/l
oxygène dissous	3,4 mg/l	oxygène dissous	1,1 mg/l
silice	8 mg/l SiO ₂ H	silice	4,9 mg/l
sulfate	0	sulfate	0
aluminium	0,163 mg/l	aluminium	0,050 mg/l
potassium	1,0 mg/l	potassium	1,5 mg/l

Tableau 7. Analyse de l'eau de source de Nga Fouda et d'une mare au pied des rochers de Ndikon (L. Willems)

Le rocher semble posé sur le sol, limité à sa base par une fissure subhorizontale. Dans le substratum, sous le rocher champignon, se trouve une source utilisée par les villageois. Une morphologie similaire se retrouve pour la "grotte N° 2" qui cette fois est fermée, une partie de la corolle étant adossée à un autre rocher.

L'analyse de cette eau de source²⁵ (Tableau 7) révèle une solution peu minéralisée et acide.

Les autres grottes ("grottes N° 3, 4, 5", LIPS 1995) sont des passages plus ou moins étroits sous de gigantesques dalles "reposant en équilibre sur des blocs plus petits" (LIPS, 1995, p.11).

Seule la grotte "N° 6" montre des parois qui semblent suivre des diaclases subverticales (LIPS, 1995; VICAT *et al.*, 1997 et 1998).

L'individualisation des différents rochers de Nga Fouda s'est faite selon les plans de cisaillement C2. Ceci est particulièrement observable sur l'immense rocher-champignon (Photo 43).

²⁵ Une description du matériel utilisé pour les analyses des eaux se trouve en annexe.

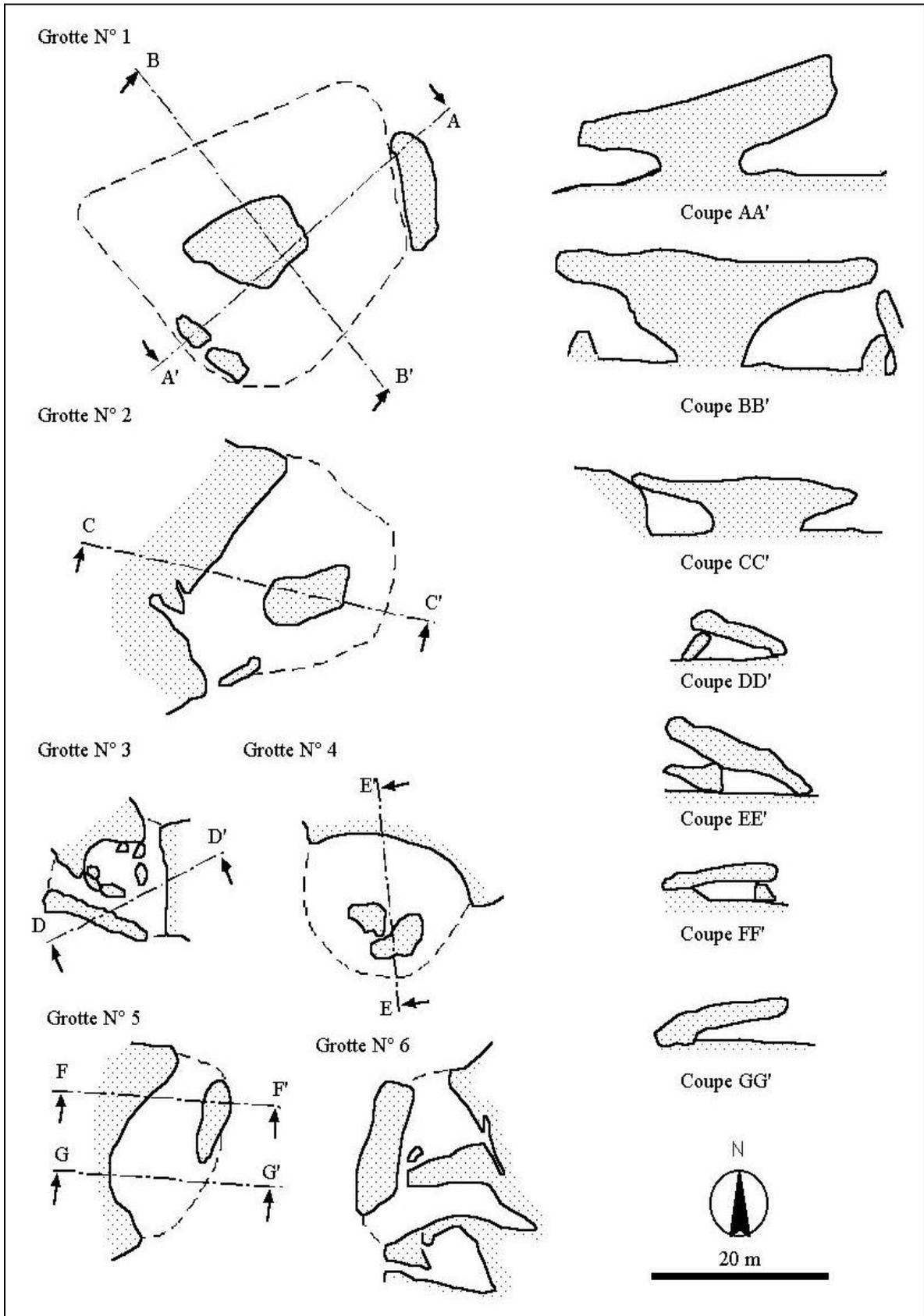


Fig. 61. Plans et coupes verticales des grottes et abris sous roche de Nga Fouda (modifié, d'après B. et J. Lips, 15/05/94). Traits interrompus : rebords extérieurs des rochers. La coupe AA' correspond à la photo 43.

5.3 Le site de Ndikon

Le site de Ndikon se localise à environ 1 km au NW du village (Fig. 59B). Cet ensemble de rochers surplombe d'une dizaine de mètres le paysage environnant. Les monolithes peuvent atteindre des dimensions pluridécamétriques dans leur plus grande longueur. La plupart apparaissent peu ou non fracturés. En dehors des dalles effondrées formant de petites cavernes, les rochers présentent plusieurs formes particulières.

Un ensemble d'alvéoles aux rebords relativement bien marqués occupe les flancs d'un des rochers (Fig. 62).

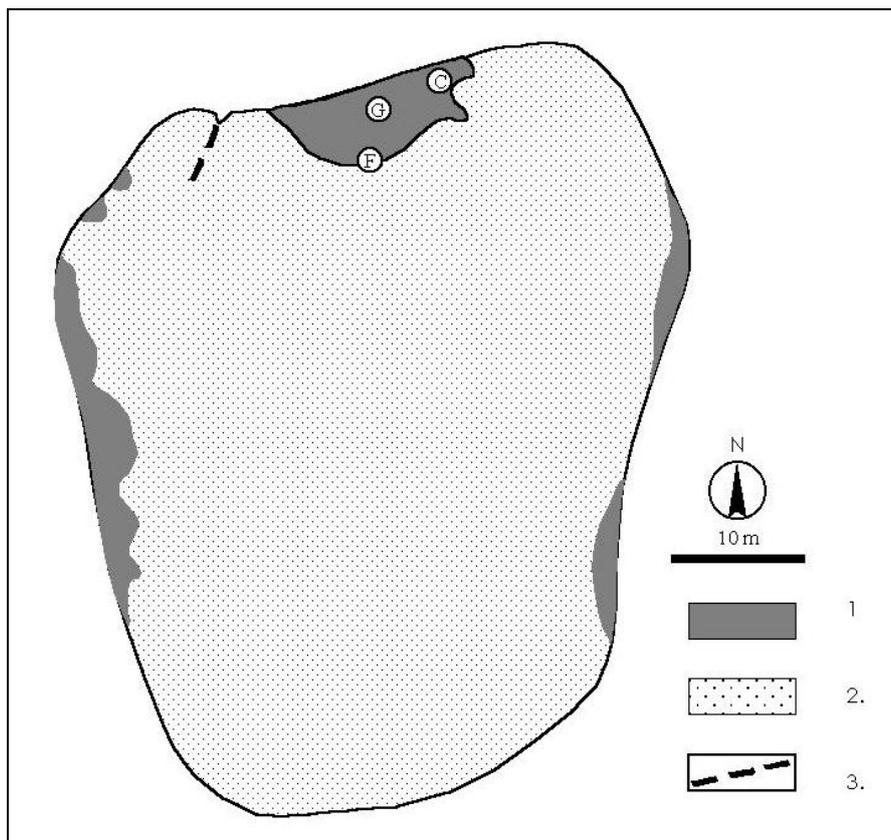


Fig. 62. Plan des principales alvéoles et petites cavités développées dans un rocher de Ndikon. 1 : creux, alvéoles; 2. : roche en place; 3 : fracture. G : grotte; F : alvéole au fond de la grotte (Fig. 63); C : colonne de dissolution (Photo 47) (barre d'échelle 50 cm) (d'après Willems *et al.*, 2000)

Leurs dimensions peuvent dépasser le mètre. De forme hémisphérique, elles se retrouvent aussi bien sur les parois verticales que sous les surplombs. Nombre d'entre elles sont emboîtées les unes dans les autres avec des axes de croissance variés (Photo 44). Certaines d'entre-elles sont «recoupées» par les bords des rochers, ne subsistant que partiellement (Photo 45).

Une petite cavité de dimension modeste (15 x 5,9 m) s'ouvre au milieu de la paroi nord du rocher (G, Fig. 62) (Photo 46), 3 m au-dessus du sol. Sa hauteur (2 m à l'entrée) diminue rapidement vers le fond. Aucun matériel détritique ne l'occupe.



Photos 44 et 45. Exemples d'alvéoles sur une paroi verticale (44) et sous un surplomb (45) d'un rocher de Ndikon (alvéole métrique).

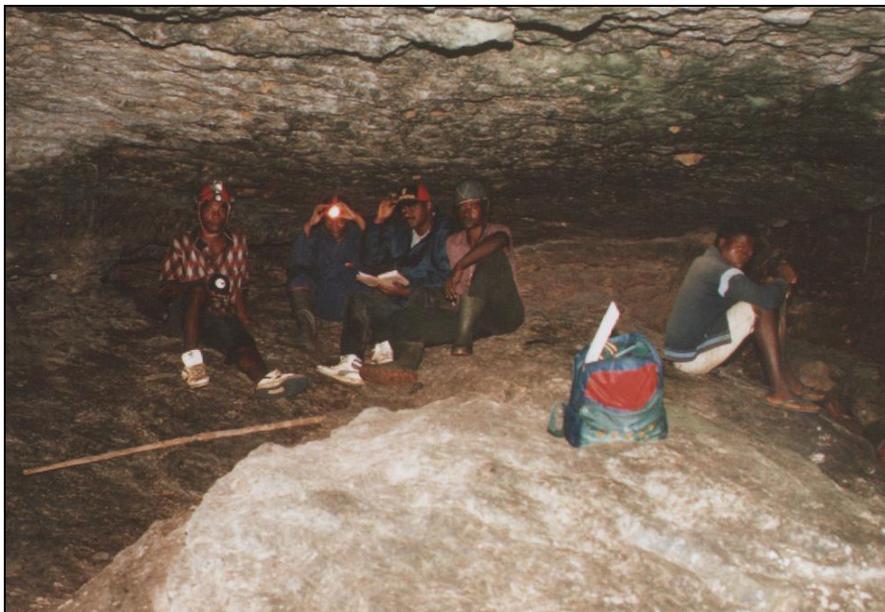
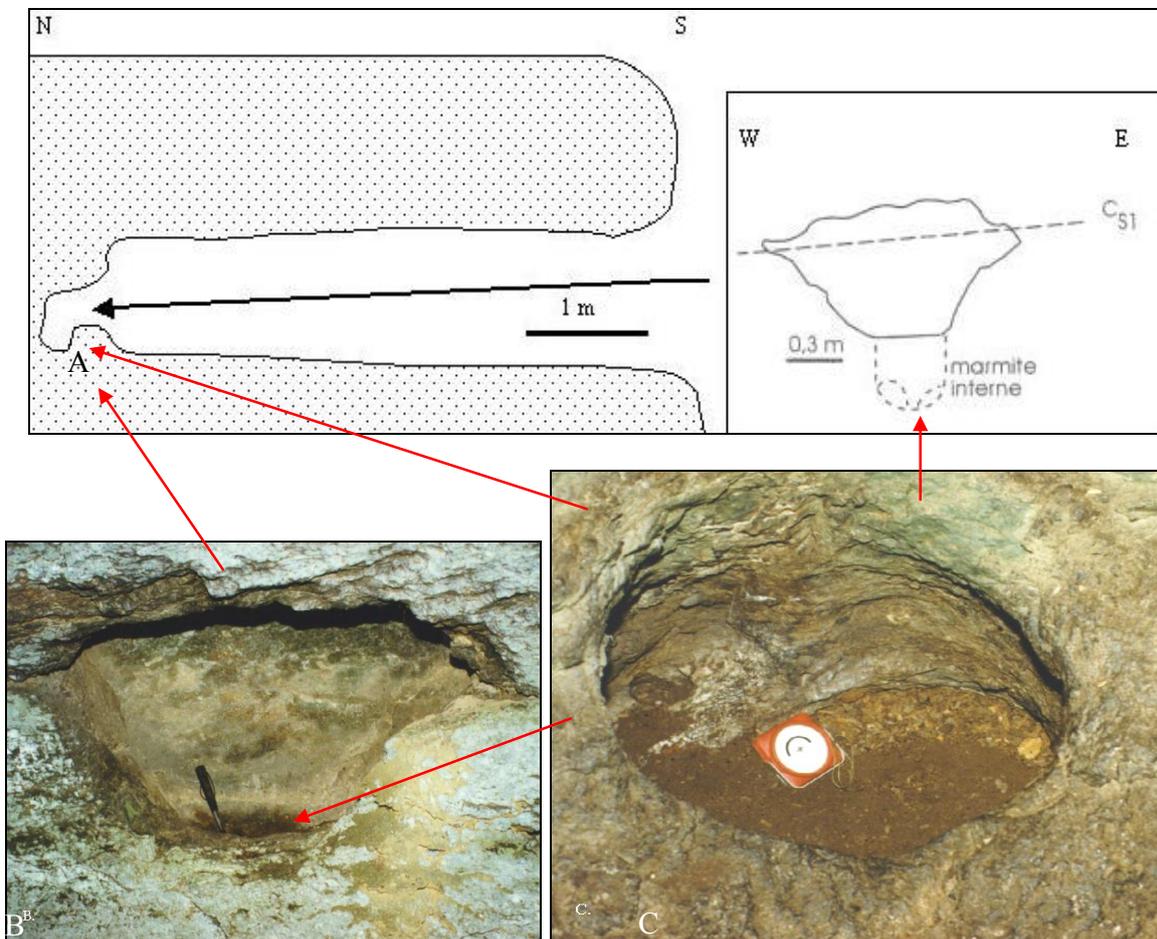


Photo 46. Intérieur de la cavité de Ndikon

Deux alvéoles métriques se situent sur le côté est de la grotte. Elles sont séparées par une colonne aux parois lisses et façonnée dans le rocher (C, Fig. 62, photo 46).



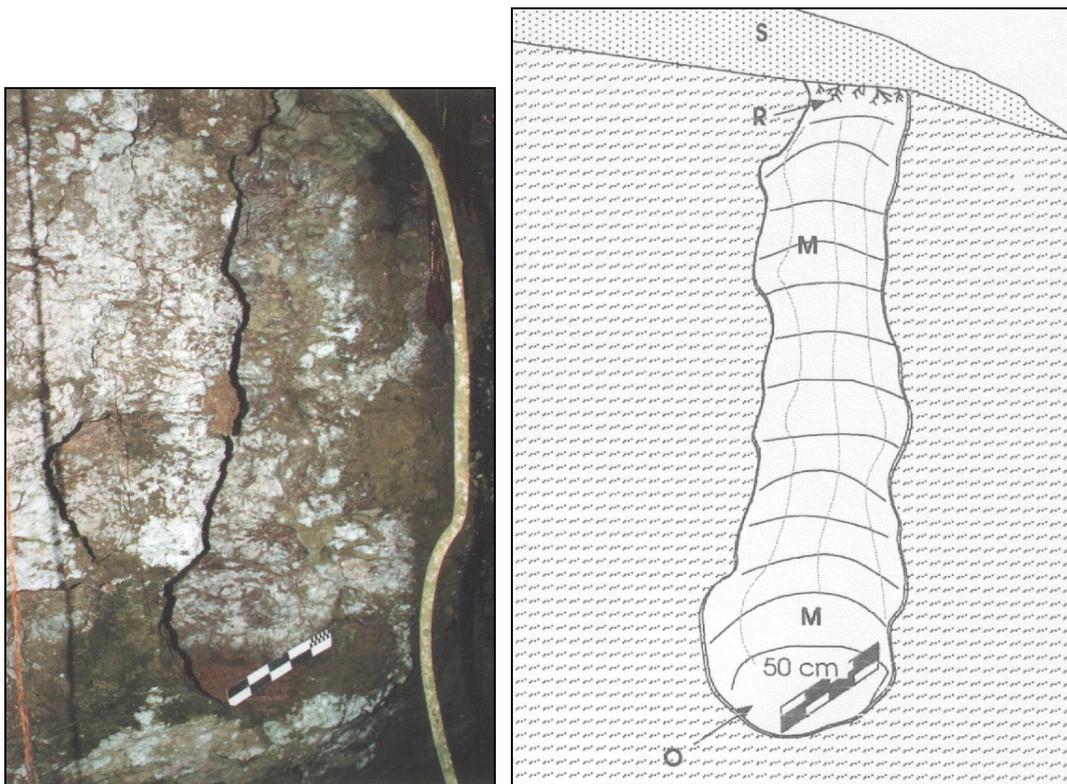
Photo 47. Pilier de dissolution dans une petite cavité de Ndikon.



Figs. 63. A. : Coupes verticales d'une grotte d'un rocher de Ndikon et d'une alvéole développée au fond de la cavité. B. : vue sur l'alvéole. C : marmite interne et micro-alvéoles internes.



Photo 48. Colonne de dissolution sur le flanc extérieur d'un rocher de Ndikon. Remarquez à l'intérieur de la cavité de gauche une colonne semblable à celle observée à la photo 47 (dimensions comparables).



Figs. 64. Photo et schéma d'une « marmite d'érosion » sur le flanc vertical d'un rocher de Ndikon. M : marmite; S : sol recouvrant en partie le haut de la marmite; R : racines.

Une niche aux bords également lisses se situe au fond de la cavité (F, Fig. 62; Fig. 63). Sa morphologie est nettement influencée par C2 bien visible dans la roche. Son fond est occupé par une petite marmite verticale elle-même remodelée par des micro-alvéoles emboîtées. Ces dernières

ont des axes de croissance semblant aléatoires. Des déchets organiques et des insectes en occupent le fond.

Une autre colonne aux dimensions identiques à celle de la cavité se situe dans la paroi subverticale d'un rocher voisin (Photo 48). Des trous millimétriques parsèment ses flancs.

Une forme similaire à une marmite d'érosion (Fig. 64) s'ouvre dans la paroi verticale d'un autre monolithe. La forme est éventrée et son fond arrondi est un peu plus évasé que le conduit vertical rejoignant la surface. Aucun matériau lithique n'a été retrouvé. Un sol, constitué d'humus et de racines enchevêtrées, recouvre le haut du conduit.

5.4 Les grottes d'Akok Essama

Les deux grottes d'Akok Essama se trouvent à une centaine de mètres de la piste principale (Fig. 59B). La première (Fig. 65, photos 49) est la plus impressionnante. Elle se développe dans un monolithe non fracturé à l'exception d'une fissure subverticale N150° dans la paroi orientale, sans conséquence sur la morphologie générale du passage souterrain. Le bloc rocheux, en forme de champignon, a une corolle qui atteint près de 30 mètres de diamètre. Cette dernière, inclinée en direction du NE (plan C2) rejoint la surface du sol. En son point le plus élevé, elle surplombe le sol d'environ 8,5 m. La grotte tourne autour du pilier central de plus ou moins 7 m de diamètre. Ses parois sont relativement lisses et la voûte présente une section arrondie (Fig. 65).

La seconde grotte est d'un type plus répandu dans la zone. Elle s'ouvre sous un immense monolithe pluridécamétrique semblant lui-même posé sur des blocs plus petits. Les joints séparant ces blocs sont subhorizontaux. De près de 3 m de hauteur dans la partie ouest de la cavité, le plafond s'abaisse à 0.5 m vers la sortie est. Une fracture subverticale N80° s'ouvre dans le toit de la grotte. Quelques blocs, apparemment effondrés, se retrouvent sur le rebord de la grotte (Fig. 65).

5.5 La grotte d'Akok Essingan

Située à proximité de la piste principale menant au village d'Akok Bekoé (Fig. 59B), cette cavité est bordée par un vallon sec d'axe méridien. Plus grande que la seconde grotte d'Akok Essama, celle d'Akok Essingan (Fig. 65) présente une morphologie comparable. Ses entrées sont réduites et la cavité est presque fermée. Un bloc d'une quarantaine de mètres de longueur repose sur des rochers de dimensions plus petites. Des joints subhorizontaux les individualisent. Une fracture subverticale N 25° parcourt partiellement le plafond.

Des conduits décimétriques à centimétriques irréguliers s'enfoncent sur près d'un mètre en diminuant de taille au milieu d'une des parois de la grotte (P, Fig. 65). Leur fond est subhorizontal, calqué sur la structuration de la roche. Certaines parois internes de la grotte s'abaissent progressivement et se terminent au niveau du sol en une forme plus ou moins hémisphérique.

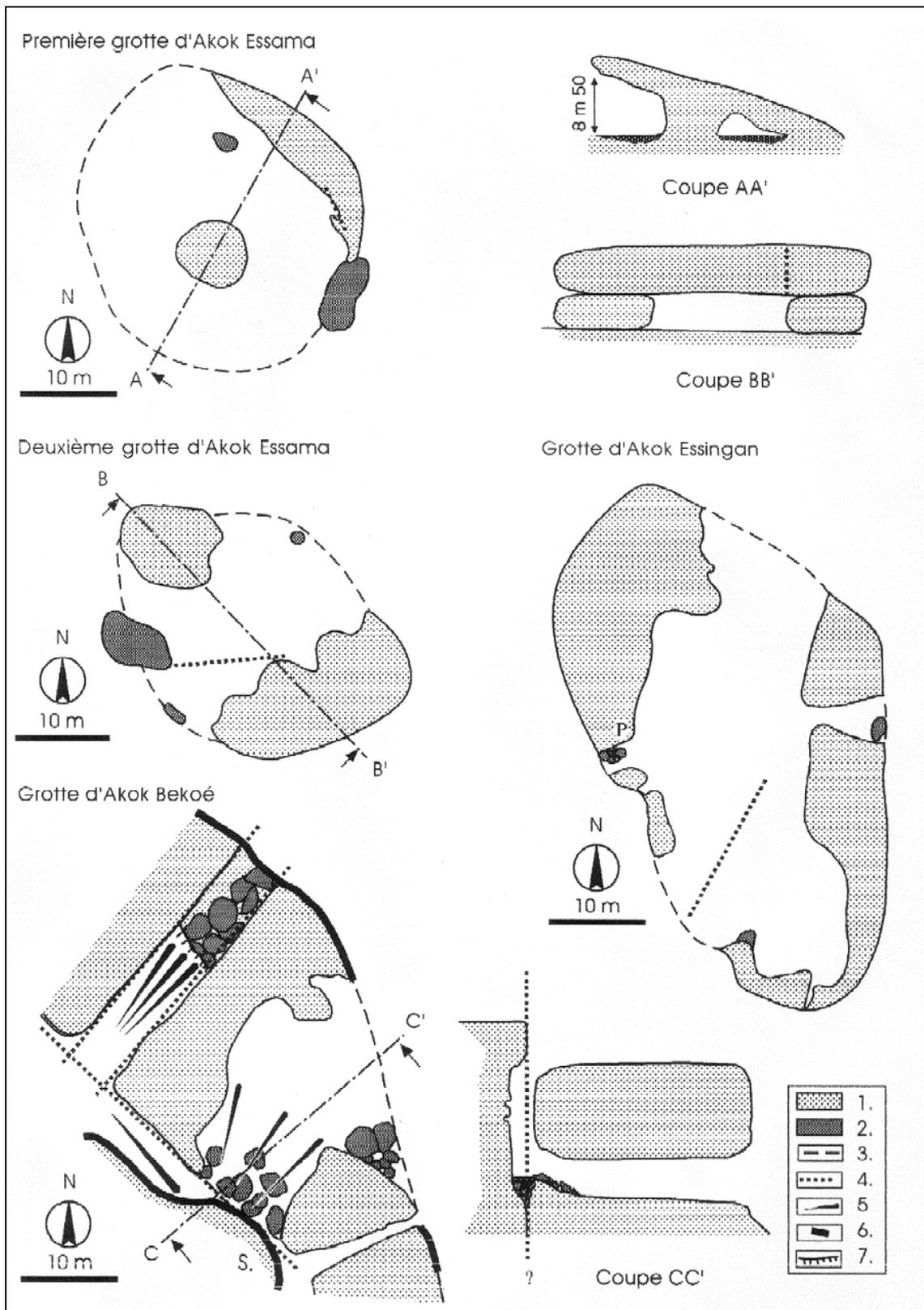


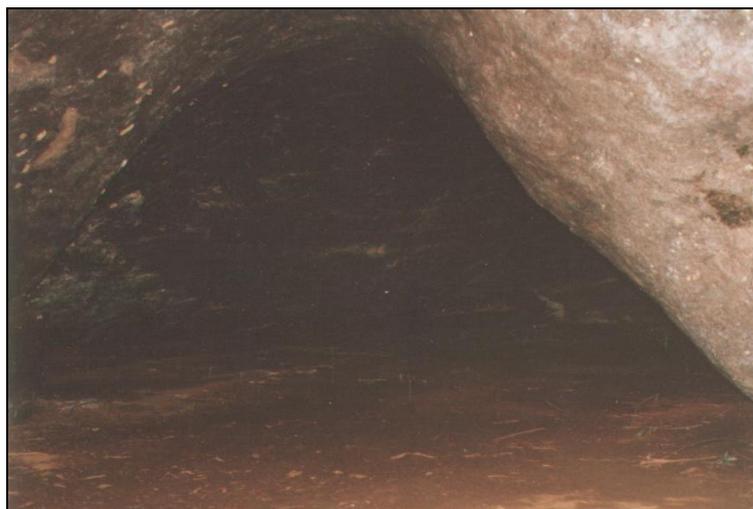
Fig. 65. Plans et coupes des grottes d'Akok Bekoé, d'Akok Essingan et d'Akok Essama. 1 : roche; 2 : blocs effondrés; 3 : rebord extérieur de grotte; 4 : fracturation; 5 : ligne de plus grande pente; 6 : rebord abrupt; 7 : seuil. P : conduits; S : surplomb (L. WILLEMS, Ch. MBIDA, Ch. MAKANG, Y. SALI et M. ATANGANA BALA, 08/96) (d'après Willems *et al.*, 2000).



a.



b.



c.

Photos 49. Vues sur la première grotte d'Akok Essigan. a. : vue sous la «corolle » avec à droite du cliché le pilier central, b. et c. : Intérieur de la grotte, le pilier central étant sur la droite (remarquez la voûte arrondie) (largeur : + 10 m).

5.6 La grotte d'Akok Bekoé

Le site d'Akok Bekoé se compose d'un ensemble de rochers à proximité de la route de Mbalmayo (Fig. 59B, photos 50).

Celui dans lequel se développe la grotte a son bord oriental limité par une falaise NW-SE à NNW-SSE (Fig. 65) de 15 mètres de hauteur. Un système de fractures SW-NE le découpe. Son côté ouest présente un abrupt de quelques mètres et garde une orientation identique à celle du bord est. Un autre monolithe à parois verticales le surplombe partiellement.

La cavité traverse de part en part le monolithe principal. Sa hauteur atteint 4 m et, par endroits, son sol est couvert de gravats et de dalles effondrées provenant du plafond. Aucune fracturation n'est visible dans le toit de la grotte. L'accès sud-ouest de la cavité, en pente vers le nord-est, est occupé par un éboulis et par des matériaux amenés par le ruissellement actuel.



a.

Photo 50a. Vue sur l'entrée la falaise et l'entrée inférieure de la grotte d'Akok Bekoé (au niveau des personnes).

Une analyse de la paroi montre qu'elle est en partie couverte d'un enduit essentiellement siliceux (Tableau 6c).

5.7 Origine des formes - Discussion

La morphologie des rochers de la zone d'Akok Bekoé montre l'influence directe de la structure géologique (Fig. 66). Les plans C2 sont à l'origine des nombreux joints subhorizontaux que l'on retrouve dans les différents sites. L'élargissement de ceux-ci donne, comme à Nga Fouda, l'impression de chaos alors que les rochers sont le plus souvent en place. La coupe du premier rocher champignon de Nga Fouda (AA', Fig. 61) ainsi que celle de la grotte champignon d'Akok Essama (AA', Fig. 65) montrent nettement l'influence des plans C2 sur leur morphologie. Ce plan

d'érosion préférentiel se marque également dans les microformes telles que la coupole emboîtée de Ndikon (Fig. 63) ou les micro-conduits d'Akok Essingan (P, Fig. 65).



Photos 50b et c. Partie supérieure de la grotte avec l'éboulis (Fig. 65) (a) et « couloir de fracturation » au nord-ouest de la grotte (Fig. 65) (b).

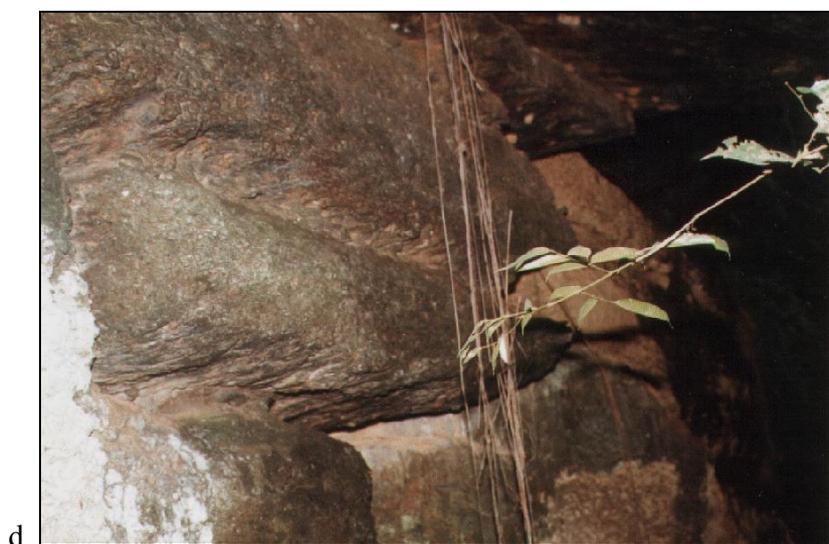


Photo 50d. Alvéoles sous le surplomb supérieur coiffant la sortie haute de la grotte d'Akok Bekoé (Fig. 65)

La schistosité de flux S1 a localement joué un rôle dans le façonnement des différentes formes. Elle a notamment favorisé l'apparition de fissures obliques lors de la décompression des roches au moment de l'abaissement des reliefs et du creusement des thalwegs.

L'analyse des différents plans des sites d'Akok Bekoé indique la présence de fractures subverticales ainsi que d'orientations préférentielles dans les parois des cavités (Figs. 61 et 66) notamment N25°-35°, N60°-70°, N80°-90° et N140°-170°. Certaines seraient le prolongement des failles du craton sous-jacent à la nappe de Yaoundé. Elles contribuent donc à découper la roche en parallélépipèdes qui vont être plus ou moins rapidement transformés en monolithes résiduels par l'érosion. La forme allongée de certaines alvéoles ou grottes parallèlement au plan de cisaillement (par ex. : l'alvéole au fond de la cavité de Ndikon) peut résulter, comme à Mfoula, de la présence locale de plis en doigts de gant.

L'importance de l'érosion chimique dans le façonnement des différentes formes des sites d'Akok Bekoé ne fait aucun doute. Elle seule peut expliquer la genèse d'alvéoles emboîtées les unes dans les autres tout autour du rocher de Ndikon, tant en surplomb que sur des parois verticales ou dans le fond de cavités. La présence de colonnes au sein de monolithes, la morphologie de la première grotte d'Akok Essama et les microconduits de la grotte d'Akok Essingan confirment son action prédominante.

La comparaison des deux colonnes de Ndikon montre que les formes exhumées, à l'abri des intempéries, ne subissent pratiquement plus d'érosion (Photo 47). Les formes soumises aux intempéries ont des parois beaucoup plus irrégulières (Photo 48). Cette différence s'explique par l'attaque des eaux de pluie sur la surface des rochers exposée à l'extérieur. Cette eau, généralement acide (pH moyen de 4,9) (SIGHA-NKAMDJOU *et al.*, 1998), conduit à l'élimination rapide des plagioclases et autres minéraux les moins résistants constituant la roche. Les parois lisses des diverses formes répertoriées permettent donc d'écarter une genèse à l'air libre.

Comme le souligne Thomas (1994), le problème est de savoir si les différentes formes que l'on retrouve sont le résultat d'une altération dans un sol, phénomène similaire à la formation des *boulders* ou si elles sont générées par un passage plus ou moins libre d'eau.

L'aspect relativement arrondi de nombreux blocs rocheux sur le site de Nga Fouda ou encore sur celui d'Akok Essingan rappelle sans conteste les blocs résiduels dégagés d'une couverture ferrallitique. Par ailleurs, les petites cavités et rentrants aux parois relativement lisses et régulières observés à Ndikon et à Akok Bekoé sont comparables aux cavités ou formes apparentées répertoriées à la base de rochers dans différentes lithologies. Ces dernières sont souvent attribuées à l'altération chimique de l'humidité contenue dans un sol au contact du rocher (TWIDALE, 1962, 1984). Twidale trouve des encoches basales ("*flared slopes*") tant dans des granites que dans des grès arkosiques ("*cliff-foot cave*"). Ces formes ont généralement, en section verticale, une zone déprimée à la base du rocher où elles se localisent (TWIDALE et BOURNE, 1975, p. 479), morphologie absente des différents sites étudiés de la zone d'Akok Bekoé. D'autres auteurs répertorient des formes basales au pied de pitons calcaires en zone intertropicale ("*foot cave*", LEHMAN, 1954; "*solution notch*", "*korrosionskehlen*", JENNINGS, 1987; "*swamp slot*", WILFORD et WALL, 1965). Jennings (1987) reprend le même mécanisme de formation que celui proposé par Twidale pour expliquer ces formes. Pour ce qui est des *swamp slots* ("encoche ou

entaille de marais”), elles sont associées aux eaux marécageuses riches en matières organiques et se retrouvent également à des niveaux plus élevés dans les falaises des pitons calcaires. Ces derniers correspondraient à d’anciens niveaux de plaines alluviales avant l’abaissement des thalwegs (JENNINGS, p. 80, 1987).

Des alvéoles et taffonis sont également connus dans pratiquement toutes les lithologies. Outre l’haloclastie, d’autres hypothèses de genèse sont avancées. Twidale et Bourne (1975) pensent que les lignes plus ou moins horizontales de taffonis répertoriées sur certains inselbergs de grès arkosiques ont une genèse similaire à celle des encoches basales. Dans les grottes carbonatées, des alvéoles se retrouvent dans les plafonds ainsi que dans les murs (*wall and ceiling pockets*) et sont plus ou moins emboîtées les unes dans les autres. White (1988) note que leur genèse est généralement attribuée à une corrosion par des eaux plus ou moins stagnantes. De plus, il remarque que les alvéoles de mur et de plafond sont généralement hémisphériques et peuvent s’enfoncer sur plusieurs mètres dans la roche. L’abondance des poches de plafond semble être plus grande dans les karsts tropicaux. La plupart des alvéoles trouvées autour du village d’Akoko Bekoé sont des ouvertures lisses dans le bedrock et se développent en dehors de tout joint. Les hypothèses de corrosion préférentielle ou d’écoulements d’eau localisés liés à la présence de joints (WHITE, 1988, THOMAS, 1994) sont donc exclues.

Les alvéoles trouvées dans les différents sites peuvent être également mises en parallèle avec celles présentes dans les parois de la grotte de Mfoula (voir VII.4.4.1). Rappelons que cette cavité s’enfonce à l’horizontale sur une soixantaine de mètres à l’intérieur d’un inselberg, ce qui écarte toute possibilité de croissance au sein d’un manteau d’altération. La genèse d’alvéoles en milieu noyé est donc également possible. Cet environnement génétique est également celui proposé pour expliquer l’origine des alvéoles emboîtées de la grotte/effondrement de Guéssédoundou (Niger) (circulation d’eau le long de plans de cisaillement subverticaux) (voir IV.4.2).

Si une altération au sein d’un manteau ferralitique a pu générer certaines des morphologies rencontrées sur les différents sites de la zone étudiée, plusieurs phénomènes indiquent un autre environnement génétique.

La grotte de Ndikon présente un développement principalement horizontal et conforme à la progression d’un front d’altération au niveau d’un sol (TWIDALE, 1962, 1984). Cependant, l’alvéole et les micro-alvéoles observées au fond de cette cavité ont un axe de croissance à composante verticale. De plus, elles ne contiennent aucun résidu d’altération pédologique. Leur position indique que la grotte est antérieure à leur formation. Grotte et alvéoles seraient donc formées avant la mise en place d’un manteau ferralitique.

L’axe vertical de croissance également observé pour les alvéoles ouvertes dans les surplombs, en l’absence de toute fracturation, permet un raisonnement analogue à celui tenu pour les alvéoles au fond de la grotte de Ndikon. Certaines alvéoles (dans les surplombs) sont recoupées par les rebords actuels des monolithes qui présentent souvent des flancs arrondis. Ces derniers sont attribués à une érosion au sein d’un manteau d’altération (formation de boulders). Le recoupement des alvéoles

dans les surplombs indiquerait donc qu'elles sont également antérieures à la mise en place d'une couverture pédologique.

La grotte d'Akok Essingan, cavité pratiquement close, et ses conduits horizontaux développés au milieu de parois verticales semblent difficilement compatibles avec une genèse dans une couverture pédologique.

Pour White (1988), les alvéoles ainsi que certains piliers sont principalement générés par l'action corrosive d'eau plus ou moins stagnante. Cette hypothèse peut être également reprise pour expliquer la genèse de certaines formes de la zone d'Akok Bekoé.

Un tel contexte peut être facilement admis pour le sous-sol d'Akok Bekoé. La source située au pied du rocher champignon de Nga Fouda, les nombreuses mares tapissant les sous-bois de la zone et la faible différence d'altitude des sites avec le fleuve Nyong, situé à quelques kilomètres, permettent d'envisager un aquifère proche de la surface. Cet environnement peut expliquer la formation des alvéoles dans les surplombs en l'absence de fracturation par un mécanisme similaire à celui proposé pour le dôme de la grotte de Mfoula (Photo 31, VII.4.4.1). Une mise sous pression de poches d'air lors de variation du niveau hydrostatique augmenterait la pression en CO₂ et provoquerait une corrosion des parois.

Tout comme pour la grotte de Mfoula, il faut également envisager un mécanisme capable de solubiliser les différents constituants de la roche de façon simultanée. La présence d'un aquifère dans un sous-sol fortement fracturé correspond bien aux conditions environnementales dans lesquels de nombreuses populations de micro-organismes ont été trouvées. Leur rôle a donc pu être déterminant dans l'apparition de certaines grottes, alvéoles et colonnes retrouvées sur les différents sites d'Akok Bekoé.

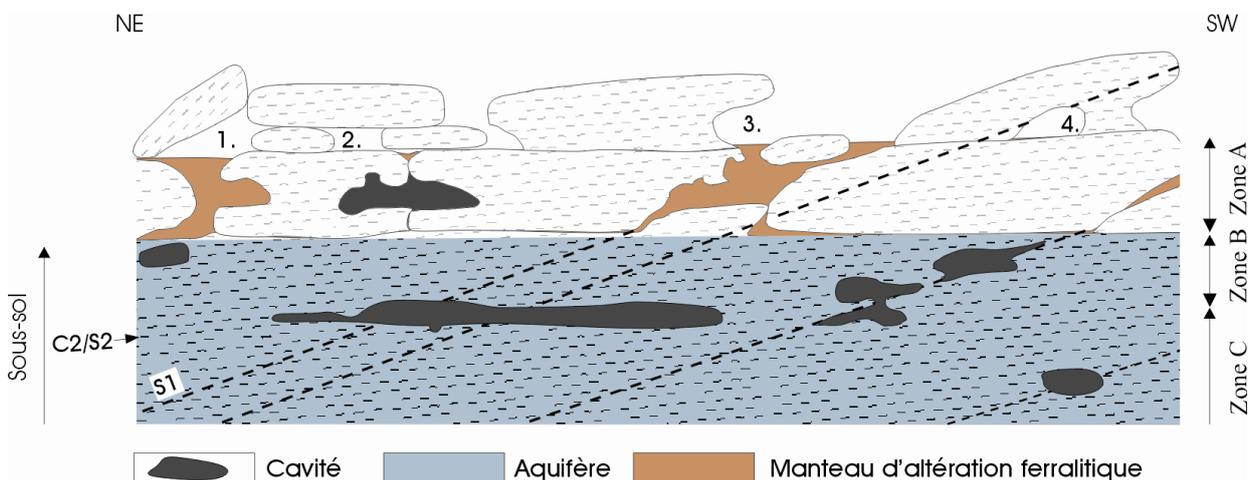


Fig. 66. Mise en place des grandes formes karstiques dans la nappe de Yaoundé, zone d'Akok Bekoé. C2 : plans de cisaillement; S2 : schistosité subparallèle à C2. S1 : schistosité de flux antérieure à C2 et S2. 1. : bloc effondré et grotte "d'éboulis"; 2. : grotte sous blocs résiduels (cas des grottes d'Akok Bekoé, d'Akok Essingan, de la deuxième grotte d'Akok Essama); 3. : rocher champignon - abris sous roche (Fig. 62); 4. : grotte "champignon" (cas de la première grotte d'Akok Essama). Zone a : zone d'altération au sein du manteau ferralitique ; Zone b : zone de battement de l'aquifère ; Zone c : sous-sol occupé par un aquifère permanent.

Les différentes observations effectuées sur les sites autour du village d'Akok Bekoé permettent d'ébaucher un scénario général de mise en place des différentes formes dans les micaschistes de cette zone (Fig. 66). Lors de la mise en place de la nappe de charriage Yaoundé, il y a 600 millions d'années, les plans de cisaillement, la schistosité et les fractures associées aux failles du craton sous-jacent apparaissent et déterminent le découpage des micaschistes. Dans la zone d'Akok Bekoé, le "maillage rocheux" est suffisamment profond (60 à 80 m d'épaisseur) pour être occupé par un aquifère important. Ce dernier est peut-être en relation avec le réseau fluvial du Nyong et de ses affluents. L'érosion chimique, en relation avec des micro-organismes, agit à partir des différentes fractures et façonne diverses formes (grottes, piliers, alvéoles, conduits) (Zone c ; Fig. 66). Le creusement des thalwegs se poursuivant, l'aquifère s'abaisse et les blocs rocheux supérieurs sont peu à peu démantelés au sein d'un manteau d'altération ferrallitique (Zone a). La signification de l'enduit siliceux retrouvé sur les parois de la grotte d'Akok Bekoé serait la même que celle envisagée pour les karsts du Niger. Ce dépôt serait issu de la destruction des complexes acides organiques/silice à l'interface sous-sol/sol au contact de l'aquifère (Zone b). Les bords des rochers s'arrondissent et certaines formes souterraines sont plus ou moins reprises par une altération pédogénétique.

Une dissolution complète de la roche est donc à la base d'une partie des formes répertoriées autour du village d'Akok Bekoé. Les phénomènes développés dans les micaschistes s'apparentent donc à des karsts en roche calcaire. Rien ne s'oppose à penser que la nappe tectonique de Yaoundé est encore actuellement le siège d'une karstification en profondeur, dans le substratum sain, comme cela a été démontré pour la grotte de Mfoula (WILLEMS *et al.*, 1997). Les morphologies visibles d'Akok Bekoé seraient donc la partie exhumée de ce karst encore en formation de nos jours.

VII.6 Karsts dans les granites - les exemples d'Ako Akas et de Mezesse

6.1 Le site d'Ako Akas

6.1.1 Morphologie et géologie générale

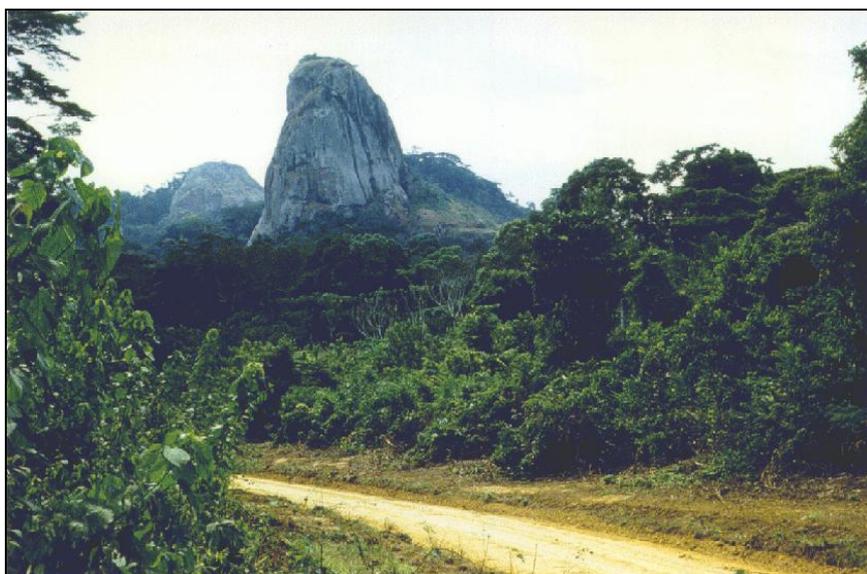


Photo 51. Vue générale du site d'Ako Akas avec le rocher principal au premier plan et deux collines secondaires à l'arrière-plan.

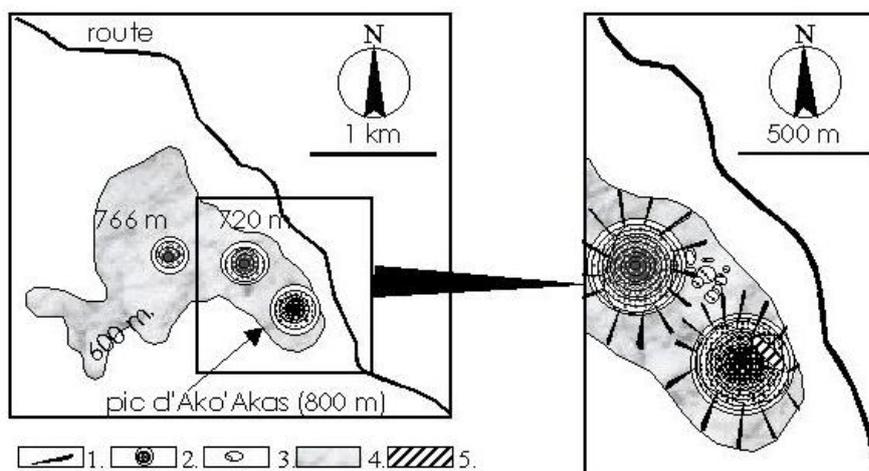


Fig. 67. Plans généraux du site d'Ako Akas. 1. : direction de pente générale au pied des pitons granitiques, 2. : pitons granitiques limités par des rebords abrupts ou par des falaises, 3. : blocs effondrés avec lapiés secondaires (voir texte), 4. : mégalapiés. Au nord-ouest, à quelques centaines de mètres du rocher d'Ako Akas s'élèvent deux autres collines qui semblent de même lithologie, partiellement dénudées et aux flancs plus arrondis (Fig. 67, photo 51).

Le site d'Ako Akas se situe à une trentaine de kilomètres au sud-est de la ville d'Ebolowa (Fig. 47). Un piton granitique, aux flancs en partie subverticaux, s'élève de près de 200 m. au-dessus du paysage environnant (Photo 51).

	AKO AKAS	
	sain	altéré
SiO ₂	74,72	75,22
TiO ₂	0,26	0,31
Al ₂ O ₃	15,16	12,56
Fe ₂ O ₃	0,47	0,52
FeO	1,57	1,72
MnO	0,03	0,03
MgO	0,38	0,36
CaO	1,5	0,97
Na ₂ O	3,02	2,1
K ₂ O	3,36	3,21
P ₂ O ₅	0,08	0,08
P.F.	0,31	2,21
TOTAL	100,56	97,08
total + pf	100,87	99,29
Fe ₂ O ₃ /FeO	0,3	0,3

CIPW CALCUL DE LA NORME		
SiO ₂	74,31	77,48
TiO ₂	0,26	0,32
Al ₂ O ₃	15,08	12,94
Fe ₂ O ₃	0,47	0,53
FeO	1,57	1,78
MnO	0,03	0,03
MgO	0,38	0,37
CaO	1,49	1
Na ₂ O	3	2,16
K ₂ O	3,34	3,31
P ₂ O ₅	0,08	0,08
TOTAL	100	100

Quartz	39,53	48,69
Orthose K(Si ₃ AlO ₈)	19,75	19,54
Albite Na(Si ₃ AlO ₈)	25,41	18,3
Anorthite Ca(Si ₂ Al ₂ O ₈)	6,93	4,47
Hypersthène (Mg, Fe) ₂ (SiO ₃) ₂	3,06	3,28
Magnétite Fe ⁺⁺ Fe ⁺⁺⁺ O ₄	0,68	0,77
Ilménite FeTiO ₃	0,49	0,61
Corindon Al ₂ O ₃	3,98	4,16
Apatite Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH, F, Cl)	0,17	0,18
TOTAL	100	100

Tableau 8 : Composition chimique de la roche d'Ako Akas. Analyses par ICP, Service d'analyses de l'Université d'Orléans. CIPW-Programme A. POUCKET, Orléans

Le rocher d'Ako Akas est un inselberg, reste d'un batholite granitique d'âge Archéen (TOTEU *et al.*, 1994; TCHAMENI, 1997) appartenant à l'unité du Ntem. Il est entouré de micaschistes, de gneiss et d'amphibolites.

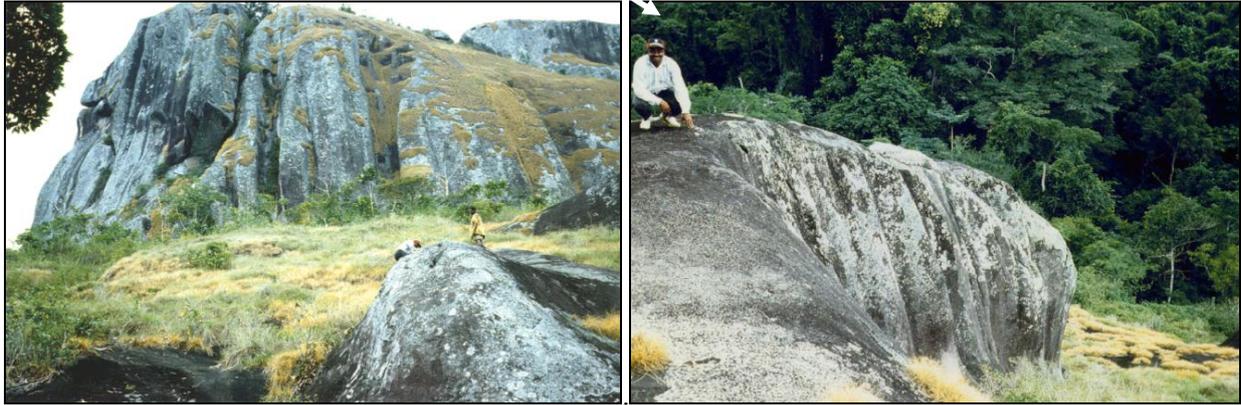
Le piton est structuré verticalement par des cisaillements ductiles dextres développés lors des dernières phases de structuration du pluton. Des plans de variation granulométrique subverticaux s'observent également et sont dus à un litage magmatique subvertical du bord du pluton (Comm. pers. A. POUCKET)

Une analyse des roches d'Ako Akas donne une composition calco-alcaline potassique du granite de cette zone (Tableau 8).

6.1.2 Formes de surface

Sur le flanc nord-est du rocher d'Ako Akas se localisent des lapiés plurimétriques à pluridécimétriques dont la profondeur peut dépasser le mètre (Photos 52).

Des fractures ouvertes d'orientation N 40° sont également visibles principalement sur la partie est, en direction de la principale falaise d'Ako Akas (Photo 53).



Photos 52. Vues sur le flanc NE du piton d'Ako Akas, sur les mégalapiés (photo de gauche) et sur les lapiés (photo de droite, partie de l'avant-plan du cliché de gauche où se situent deux personnes).

L'intérieur de ces mégalapiés se présente souvent sous forme de petits ressauts formant des sortes d'escaliers abrupts. Ces immenses entailles recourent des formes tubulaires dont nous reparlerons ci-après (Photos 55). D'autres lapiés, de dimension métrique, entaillent également le granite de la partie basale du rocher. Des formes subcirculaires évasées (Photos 52b et 54) y sont également présentes, ressemblant aux vasques décrites à Mezesse dont nous parlerons plus loin. Les lapiés et les vasques disparaissent progressivement lorsque l'on contourne le rocher en direction du nord.

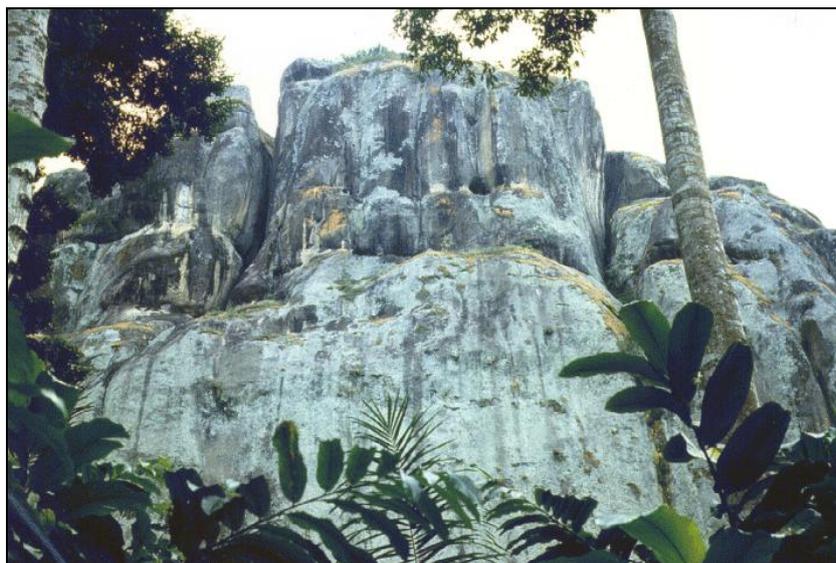
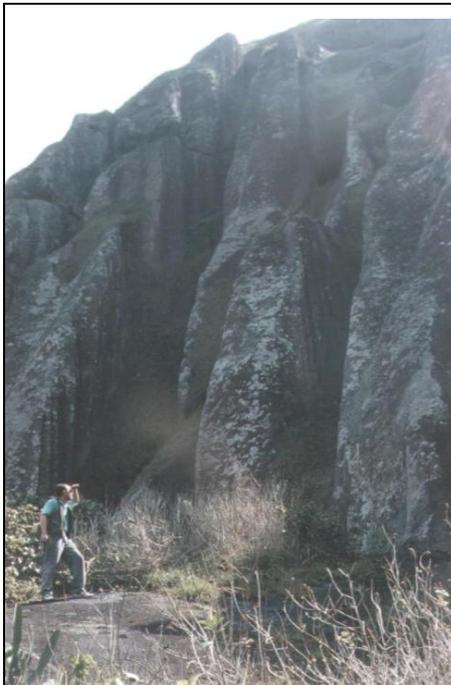


Photo 53. Vue sur la falaise orientale du piton d'Ako Akas (remarquez les cavités visibles dans le haut de la paroi)



Photo 54. Exemple de formes évasées au pied du rocher d'Ako Akas



a.



b.

Photos 55a et b. Vues sur les lapiés. Limite entre le pied du versant subvertical et la base du piton granitique en pente plus douce (a) (cliché A. Pouclet) et forme tubulaire (b) au creux d'un lapié (remarquer la végétation qui occupe son entrée)

6.1.3 Autres observations

Comme nous l'avons mentionné auparavant, les mégalapiés recoupent des conduits tubulaires d'une dizaine de centimètres de diamètre et pénétrables sur un mètre environ. Ces derniers ont leurs rebords extérieurs généralement arrondis (Photos 55d, e et f). Notons que les formes tubulaires, uniquement en association avec les mégalapiés, ne présentent aucune répartition selon un niveau

préférentiel. Leur extrémité visible est constituée de microfractures et est plus ou moins régulière. Ces formes se développent généralement horizontalement et parfois avec une pente descendante vers l'intérieur du rocher. Certains de ces tuyaux sont occupés par de la végétation et, d'après les villageois, aucun écoulement n'en sort en saison des pluies.

L'entrée des conduits est parfois surcreusée dans la partie inférieure par rapport au "toit" formant un petit surplomb (Photo 55f.).

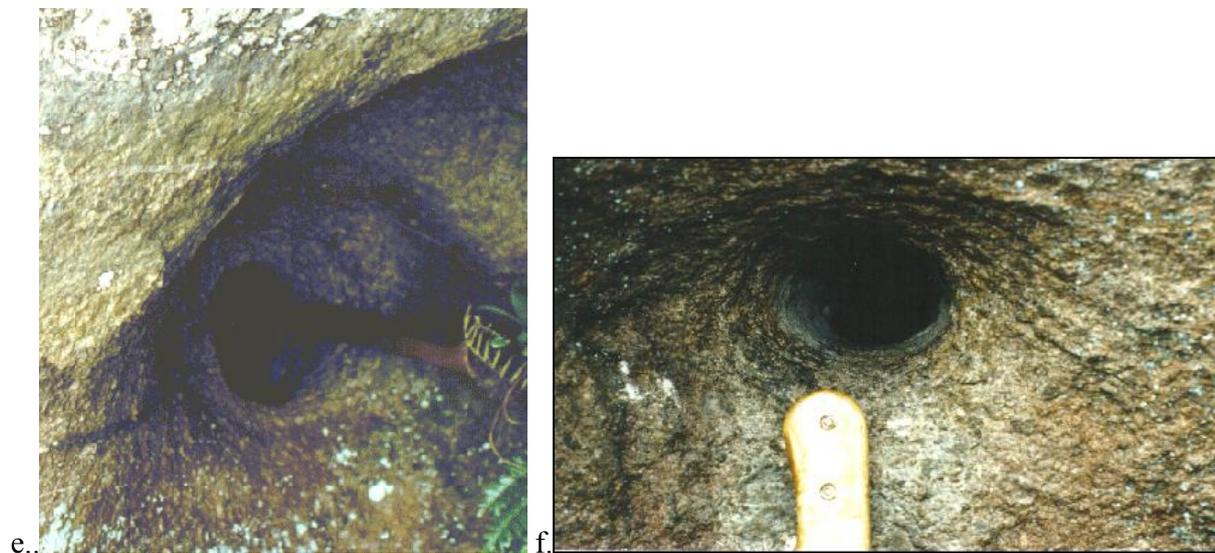
Sur le flanc du rocher d'Ako Akas faisant face au second piton situé au nord-ouest, les lapiés et les tuyaux ne sont plus visibles. Seules quelques entailles aux formes arrondies et évasées se marquent encore. Un plan de fracture subhorizontal arrondi souligne la jonction entre la partie basale et les versants redressés du piton.

Au sein de la forêt, un amoncellement de blocs pluridécamétriques granitiques se localise au pied de cette partie du rocher d'Ako Akas. Les flancs de certains de ces blocs présentent des lapiés en position verticale recoupant des cannelures obliques (Fig. 68). Ces blocs se sont donc détachés d'une falaise supérieure où une première génération de lapiés s'était formée. Une fois tombés, les blocs subissent une nouvelle corrosion générant une deuxième génération de lapiés recoupant les formes les plus anciennes.



Photos 55c et d. Détails des mégalapiés et des formes tubulaires. c. : vue sur la morphologie en gradin à l'intérieur d'un creux d'un lapié (cliché A. Pouclet) ; d. : formes tubulaires avec axe de développement varié

Des vides formant de véritables grottes se trouvent dans ces chaos de rochers. (Photo 56). Morphologiquement, les flancs occidentaux et orientaux du piton d'Ako Akas diffèrent principalement par l'importance de la base du rocher en pente moins abrupte qui sépare les versants redressés du batholite des thalwegs. Pour la falaise principale, cette partie basale ne fait qu'une dizaine de mètres de large alors que celle du versant « griffé » par les mégalapiés dépasse la centaine de mètres (Fig. 69a et b). Cette différence morphologique pourrait résulter d'une érosion différentielle des versants liée à leur exposition aux pluies. Les flancs du piton où se localisent les mégalapiés seraient ceux principalement soumis aux pluies. Leur développement sous un climat chaud et humide est notamment confirmé par l'observation des lapiés de différentes générations décrits plus haut (Fig. 68).



Photos 55e et f. Détails des formes tubulaires. e. : détail de la forme tubulaire de droite sur le cliché d ; f. : détail sur l'entrée d'une forme tubulaire (remarquer la dissymétrie entre le haut et le bas de l'ouverture).

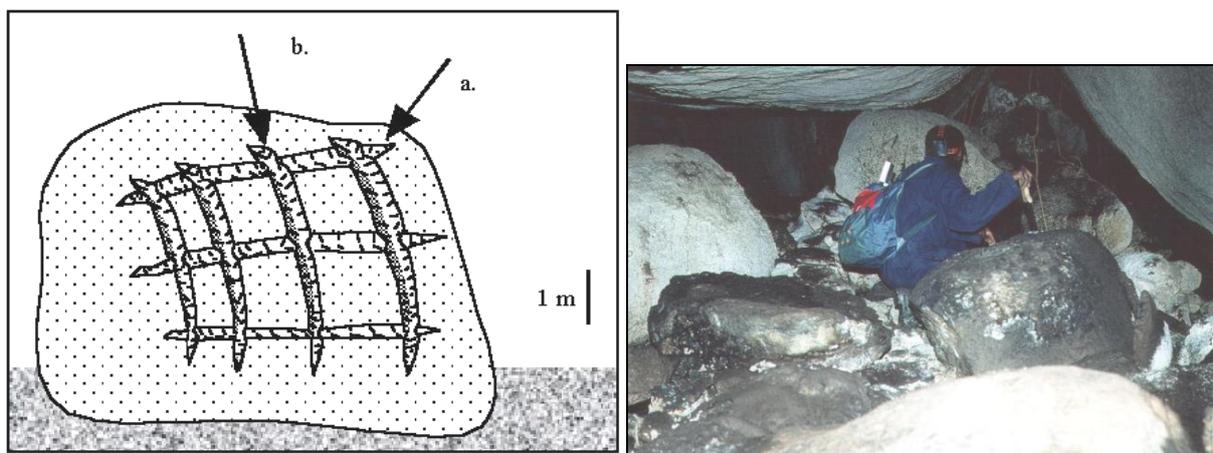


Fig. 68. Croquis d'un bloc erratique. a : lapiés de première génération; b : lapiés contemporains. Photo 56. Grotte dans les blocs chaotiques d'Ako Akas

Par contre, le versant oriental du piton serait relativement à l'abri des précipitations et du ruissellement qui en découle. Aucune trace d'une action de ce dernier n'y a été décelée. Aussi, la largeur de la base granitique en pente plus faible peut-elle être considérée comme la marque du recul des différents versants considérés (Fig. 69). Pour ceux qui seraient soumis principalement aux pluies, des lapiés découpent les parois et contribuent à un retrait plus ou moins rapide des flancs, dégageant une vaste surface basale. A l'inverse, la falaise à l'abri de l'action des pluies, ne s'érode que peu, reculant lentement et n'ayant produit à ce jour qu'une marge étroite à sa base.

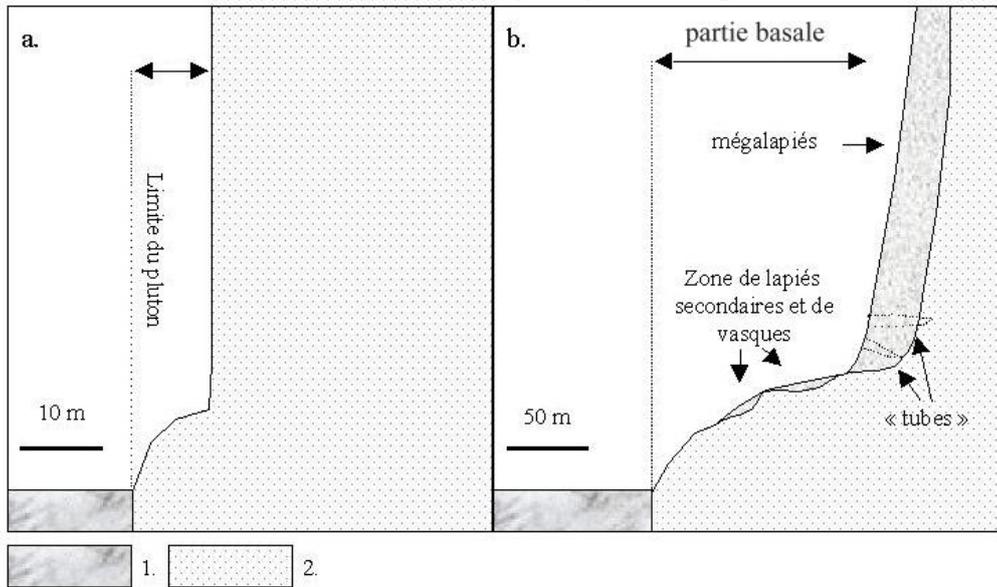


Fig. 69. Coupe transversale schématique de deux versants du piton d'Ako Akas. a : falaise orientale, b : versant nord-est. 1. : micaschiste, gneiss ou amphibolite, 2. : granite.

A notre connaissance, des mégapapiés tels que ceux que nous observons à Ako Akas ne se retrouvent qu'en climat chaud et humide. Des générations différentes de lapiés entrecroisés sur certains blocs au pied du piton confirment leur genèse dans un tel type de climat.

6.2 Le site de Mezesse

6.2.1 Morphologie et géologie générales

Le site de Mezesse se situe en bordure du village du même nom à une vingtaine de kilomètres à l'est de la ville de Sangmelima (Fig. 46b). En bordure de l'agglomération, une colline granitique d'une centaine de mètres de hauteur domine le paysage environnant. Ses flancs sont arrondis, souvent abrupts. Le bord méridional est relativement régulier alors que la partie nord-est de la colline présente un aspect plus chaotique. Cette dernière est constituée d'un ensemble de blocs arrondis, de plusieurs dizaines de mètres de diamètre, bien individualisés et placés les uns à côté des autres (Photo 57). C'est le site de la grotte de Mezesse. Nous reviendrons plus en détail sur l'étude de cette cavité au chapitre VII.6.4.

Des filons ou fissures d'orientation N 175°, N 165° et N 160° marquent la surface de cette colline. Des fissures sub-parallèles à la surface de la colline montrent par endroits des suintements. (Photo 58).

Les granites de Mezesse appartiennent à l'unité du Ntem et ont un âge archéen tout comme ceux d'Ako Akas (TOTEU *et al.*, 1994; TCHAMENI, 1997). Leur composition chimique montre une lithologie calco-alkaline potassique commune à l'ensemble de la région (Tableau 9).

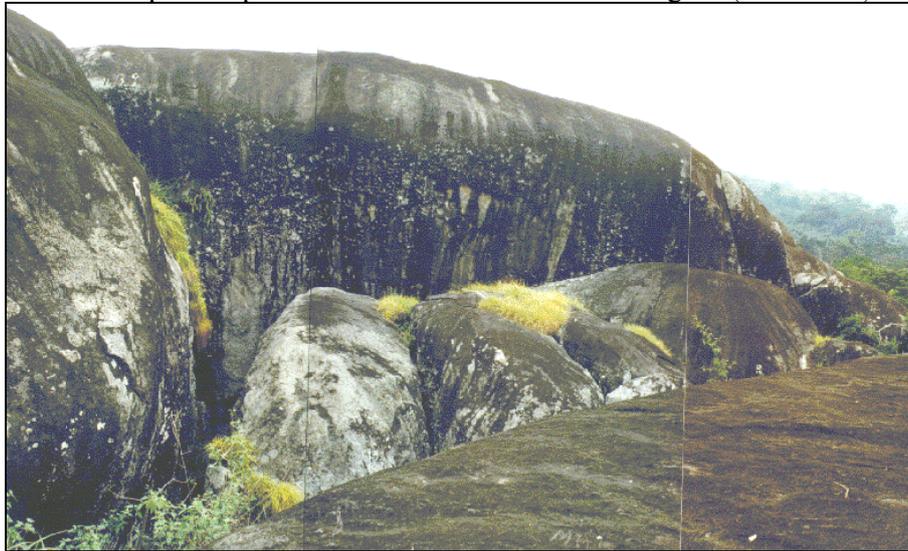


Photo 57. Sommet du rocher de Mezesse et bordure supérieure de la grotte



	MZ1	MZ2
SiO ₂	70,11	46,39
TiO ₂	0,33	0,58
Al ₂ O ₃	15,43	14,74
Fe ₂ O ₃	2,05	4,50
MnO	0,03	0,07
MgO	0,43	1,26
CaO	2,41	1,88
Na ₂ O	3,90	2,26
K ₂ O	3,81	1,98
P ₂ O ₅	0,14	0,17
P.F.	0,57	26,98
Total	99,21	100,81

Photo 58. Exemple de fissures sub-parallèles à la surface de la colline de Mezesse et suintement superficiel. Tableau 9. Composition chimique de la roche de Mezesse. MZ1 : roche saine; MZ2 : fraction argileuse du remplissage des cuvettes. (Analyses par ICP, Service d'analyses de l'Université d'Orléans. CIPW-Programme A. POUCKET, Orléans).

6.2.2 Formes karstiques de surface

La surface du rocher principal et son flanc sud présentent plusieurs vasques métriques à décamétriques. Ces formes se disposent de façon aléatoire ou en relation avec une fracturation (Photos 59).



Photos 59. Exemples de vasques sur le flanc sud-est de la colline de Mezesse sans relation apparente avec la fracturation, (a) et le long d'une fracture. (b)



Photo 60. Exemple de vasque colonisée par la végétation à proximité du sommet de la colline de Mezesse.

Les plus petites poches de dissolution sont bien individualisées et séparées les unes des autres. Elles sont généralement subcirculaires avec un rebord amont arrondi bien marqué, abrupt, et un évasement vers le bas de pente où se marquent des traces d'écoulements. Les formes les plus grandes, lorsqu'elles se situent sur un versant, sont généralement coalescentes et reliées localement par un chenal d'écoulement. A l'exception de la dépression la plus en "amont", la forme subcirculaire n'est conservée que partiellement sur les flancs de ces microvallons. Plusieurs de ces dépressions sont colonisées par de la végétation (ananas, palmiers) (Photo 60), tapissées par endroits de mousses et de lichens. Elles sont remplies épisodiquement par des eaux de pluies. Outre ces vasques, on trouve également quelques lapiés métriques.

6.3 Origines des formes de surface des sites d'Ako Akas et de Mezesse

L'observation des différentes formes de surface implique une altération relativement importante des roches que l'on retrouve en surface. Les mécanismes de cette altération sont principalement dus à la faune et à la flore luxuriante de la zone équatoriale. Les conditions de température et d'humidité du climat camerounais favorisent une décomposition rapide des matières organiques et la production d'une grande quantité d'acides organiques. Cette dernière est renforcée par celle produite par les mousses, les algues, les lichens et les bactéries.

La formation des mégalapiés d'Ako Akas et de ceux que l'on peut retrouver dans les granites de cette région s'effectue à l'air libre. Les lapiés verticaux qui recoupent une génération de lapiés plus ancienne et oblique sur le bloc effondré (Fig. 68) en attestent. Toutes proportions gardées, les lapiés trouvés à Ako Akas sont similaires à ceux du menhir de Saint Uzek, en Bretagne, où une genèse à l'air libre est également indéniable (TWIDALE, 1997).

L'importance des lapiés d'Ako Akas peut être due également à la structuration verticale du rocher qui favorise leur développement. La végétation (mousses, lichens) sur le haut du rocher doit également produire des acides qui, lors des pluies, peuvent être lessivés et rendre les solutions de ruissellement d'autant plus agressives.

Les cuvettes granitiques (*vasques rocheuses*, *opferkessel*, *rock basin*, *gnamma*) que l'on retrouve notamment sur le site de Mezesse sont plus connues. Twidale (1984) les attribue à une altération du granite par l'eau. La présence, au sein de nombreuses cuvettes, d'une végétation plus ou moins bien développée, de mousses, de champignons et de lichens favorise cette altération. Le facteur principal qui contrôle la morphologie des cuvettes semble être la pente. En effet, on retrouve sur les flancs d'Ako Akas et de Mezesse, toutes les formes intermédiaires entre le lapié « classique », développé sur une pente raide, la cuvette plus ou moins éventrée ouverte sur des pentes plus douces et les bassins fermés sur les surfaces subhorizontales et occupés par de la végétation.

L'origine des conduits tubulaires recoupés par les mégalapiés d'Ako Akas est plus difficile à expliquer. Vicat *et al.* (1997) les attribuent à des exurgences localisées au niveau de joints de décompression subhorizontaux. Les conduits correspondraient donc aux lignes de croisement entre

ces derniers et des plans de fracturation verticaux. Outre le témoignage des villageois qui nous affirment ne pas connaître d'écoulement sortant de ces conduits, quelques observations nous font douter de l'hypothèse d'exurgence. Plusieurs conduits, proches les uns des autres, ont un axe de croissance qui peut varier de l'horizontale à l'oblique. Aucune trace d'écoulement n'a été trouvée à la sortie des conduits que nous avons examinés. La plupart se terminent par des microfissures et leur fond est très irrégulier en regard de leur entrée subcirculaire. Lorsque l'on examine attentivement l'entrée de certains conduits, on s'aperçoit que la partie supérieure est en surplomb par rapport à la partie inférieure. De plus de la végétation s'y trouve souvent. Elle serait à l'origine de cette dissymétrie. Les acides synthétisés par les racines provoqueraient un surcreusement vers le bas. Contrairement à l'hypothèse de Vicat *et al.* nous pensons que ces formes résultent plus d'une érosion progressant de l'extérieur vers l'intérieur du massif rocheux et contribuant à régulariser la forme des conduits. La présence de "bouchons végétaux" à leur sortie doit entretenir des atmosphères confinées, humides et chargées en CO₂ qui vont conduire à la corrosion de la roche le long de microfissures.

6.4 Forme karstique de profondeur - La grotte de Mezesse -

6.4.1 Analyse géomorphologique de la grotte de Mezesse

La cavité (Fig. 70) fait une soixantaine de mètres dans sa plus grande longueur, pour une largeur pouvant atteindre 5 à 6 mètres. L'entrée inférieure se situe environ trente mètres plus bas que le bord supérieur de la grotte.

Sur le flanc nord-ouest de cet ensemble s'ouvrent les gradins abrupts d'une ancienne carrière. La cavité s'est développée à la jonction d'une fissure courbe avec des plans de fracturation subverticaux (Photo 61). Cette fissure courbe est subparallèle au flanc de la colline. Il s'agirait donc d'un joint de décompression élargi.

La cavité peut être schématiquement subdivisée en trois parties (Figs. 71). La première, au nord-ouest, présente une morphologie d'élargissement simple du plan de décompression (Fig. 71a). Une rigole de quelques mètres de longueur, de plus ou moins 50 cm de largeur sur autant de profondeur, suit la plus grande pente de la grotte. Ses flancs présentent une succession de creux et ses rebords sont en surplomb par rapport au chenal principal (Photos 62).

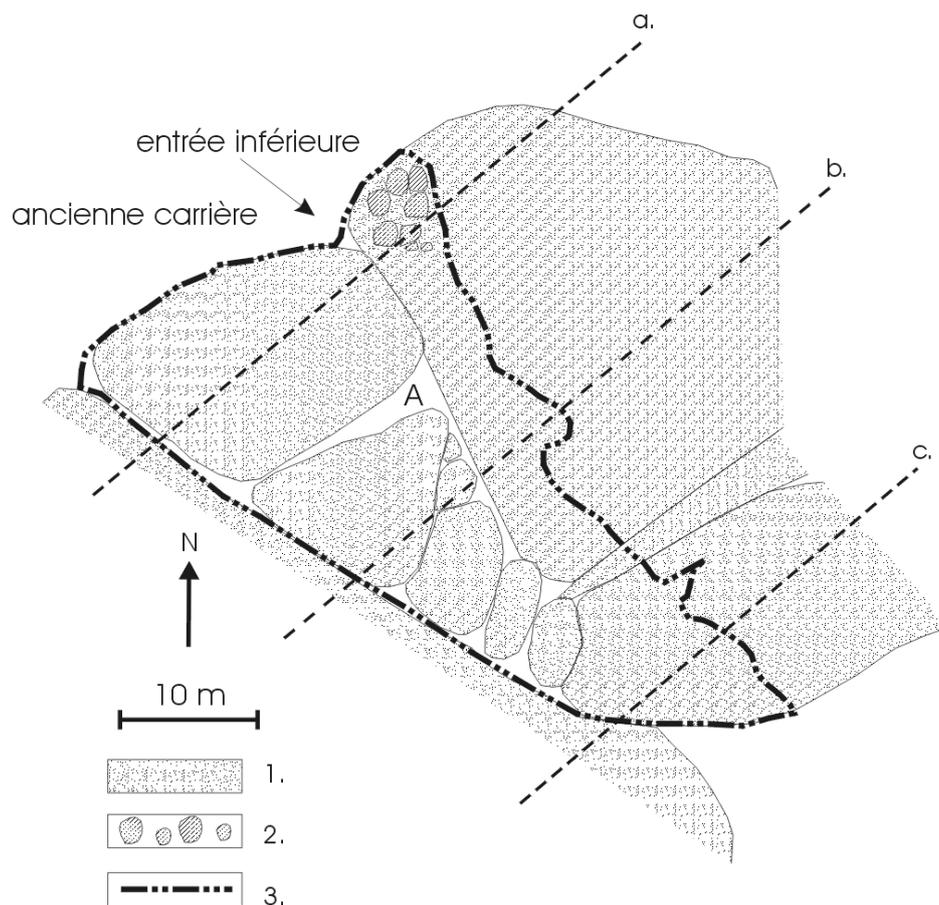
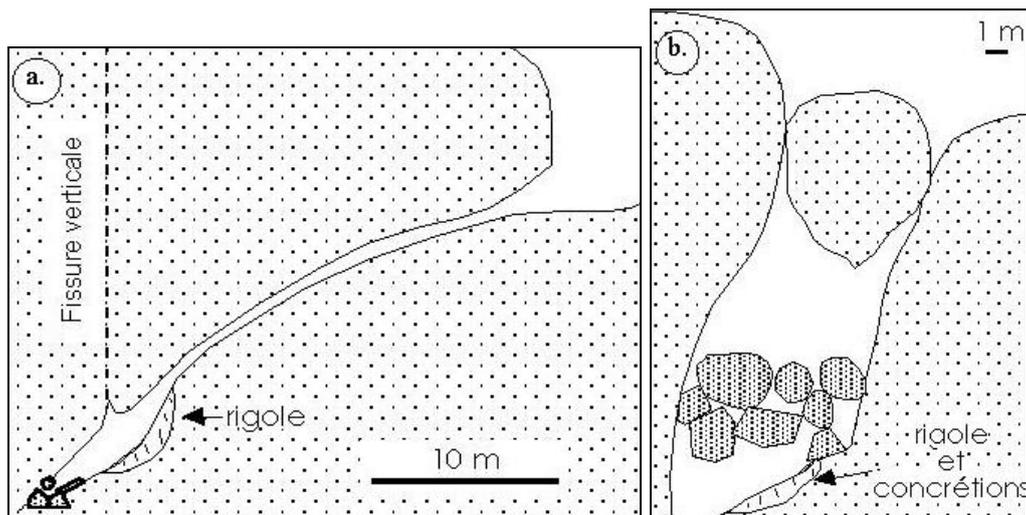


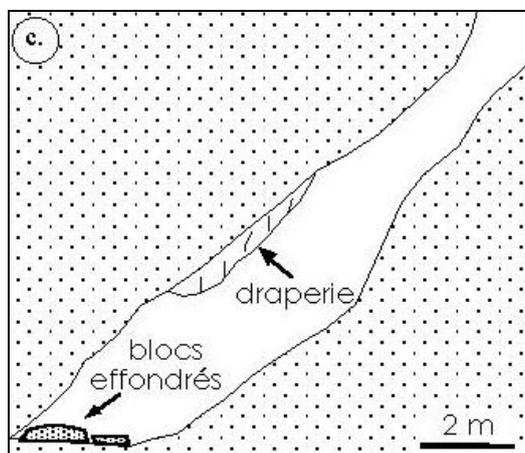
Fig. 70. Plan de la grotte de Mezesse. 1. : limites de la cavité, 2. : rebords abrupts, 3. : blocs effondrés, A : puits principal, a., b., c. : coupes transversales (voir Figs. 71).



Photo 61. Site de la grotte de Mezesse vu de la carrière située au nord-ouest de la colline (ancienne carrière). E.I. : entrée inférieure (dans le cercle, deux personnes donnent l'échelle).



Figs. 71. Coupes verticales schématiques de différentes parties de la grotte de Mezesse. a : partie nord-ouest, b : partie centrale (voir Fig. 69).



Figs 71c. Coupe verticales schématiques de la partie sud-est de la grotte de Mezesse (voir Fig. 69).



Photos 62. Vues sur la rigole développée dans la partie nord-ouest de la grotte de Mezesse (a. avec flash) (personnage dans le cercle).



c.

Photo 62c. Vue de l'entrée inférieure.

La partie centrale de la grotte est constituée principalement d'une petite salle (Fig. 71b, photo 63). Son toit est formé de monolithes plurimétriques dont la face interne présente une morphologie en lames (L, Fig. 71b, photo 64). Le plancher de la salle est un amas de blocs anguleux qui recouvre le fond de la cavité. Une rigole similaire à celle trouvée dans la première partie s'est formée sous cet éboulis (c., Fig. 71b). Elle présente une section semi-circulaire et ses flancs latéraux sont tapissés de concrétions. (Photos 65).

La troisième partie de la cavité, au sud-est, présente une morphologie comparable à la première (Fig. 71c). Des draperies, dont la nature exacte nous est inconnue, s'y forment (d., Fig. 71c, photos 66).

Les parois verticales des fractures donnant accès à la cavité ainsi qu'une partie des sols présentent une altération en "nid d'abeilles" (Photo 67). Le fond visible de la grotte est souvent recouvert de blocs détachés de la voûte, associés à des mousses et à des excréments de chauves-souris. Le sol, en forte déclinaison le long du plan de décompression courbe, porte, par endroits, des traces de suintement d'eau.

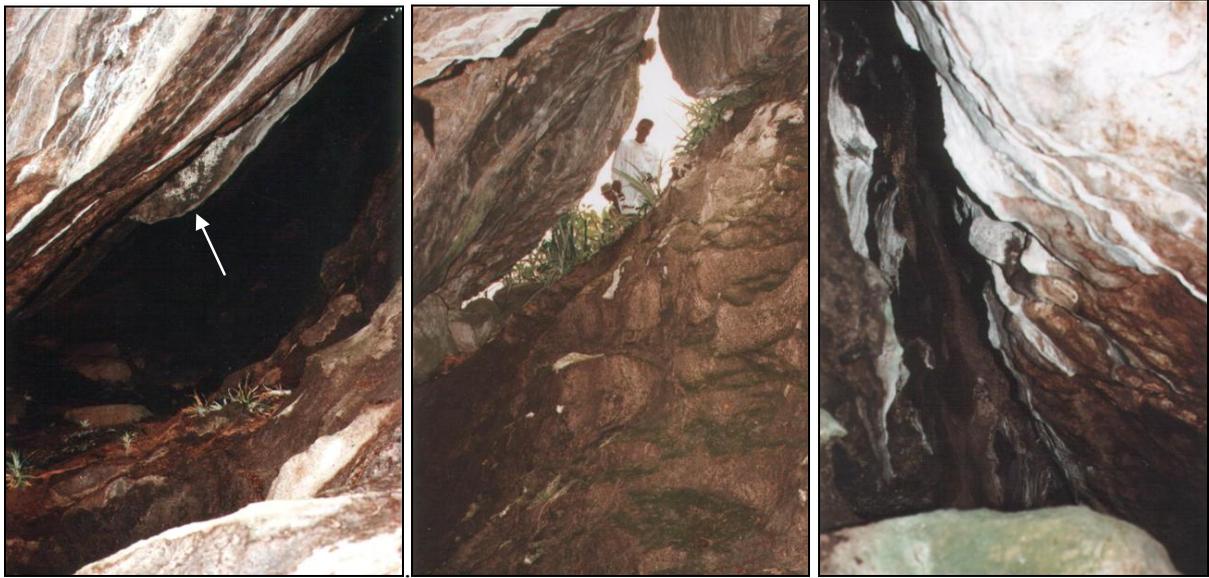
La présence d'anciennes conduites forcées au fond de la grotte montre que des vides dus à une dissolution du granite se sont ouverts à la faveur du croisement de fractures, comme c'est le cas dans les calcaires. Le développement de concrétions notamment de draperies et de morphologies en nids d'abeille indiquent que des phénomènes de dissolution/précipitation se déroulent toujours à l'heure actuelle.



Photos 63 et 64. Photo 63 (gauche) : Vue sur la partie centrale de la cavité de Mezesse, sous le puits principal (personnage dans le cercle). Remarquez la corrosion de la paroi de gauche. Photo 64. Vue sur la face interne des blocs formant le toit de la partie centrale de la cavité de Mezesse



Photos 65. Vues des concrétions coralloïdes tapissant les parois de la rigole centrale, au centre de la grotte de Mezesse.



a.

b.

c.

Photos 66. Vues sur la partie sud-est de la grotte de Mezesse. a. : partie inférieure, b. : vue sur le rebord supérieur de la grotte (avec formes de corrosion des parois), c. : draperies sur un des flancs de la cavité.



Photo 67. Altération en nid d'abeille sur une des parois verticales de la cavité de Mezesse

La présence de concrétions sur les parois d'une conduite forcée montre également que cette dernière n'a pas été colmatée par des argiles résiduelles depuis sa création. Deux conclusions

peuvent en être tirées. La première est qu'une dissolution généralisée de la roche s'est déroulée, assurant la pérennité des vides au cours de l'ouverture de la grotte. La seconde est que le développement de la grotte s'est réalisé en dehors de tout contexte pédologique. En dehors de l'aspect arrondi externe des blocs au toit de la grotte, rien dans les morphologies ne semble indiquer une altération au sein d'un manteau ferralitique. Les suintements d'eau observés sur la surface de la colline de Mezesse (Photo 58) prouvent que des circulations d'eau existent dans les granites en l'absence de toute couverture.

6.4.2 Analyses de concrétions coralloïdes de la grotte de Mezesse

A. Introduction



Photo 68. Détail des concrétions coralloïdes de la grotte de Mezesse. (Photos 65)

L'analyse des concrétions trouvées dans la partie centrale de la grotte permet de préciser les conditions de leur genèse et l'histoire de la mise en place de la grotte de Mezesse.

B. Matériel et méthodes

Les concrétions sont de type coralloïde et très friables (Photo 68). Elles ne font que quelques millimètres d'épaisseur. Une démarche similaire à celle appliquée à l'analyse des spéléothèmes du Niger a été suivie. Les observations ont été réalisées par différentes techniques : analyses au microscope optique et au microscope électronique à balayage, microanalyses qualitatives aux RX (EDX), diffraction aux RX et cathodoluminescence²⁶. Des lames minces des concrétions récoltées ont été réalisées et polies à partir d'abrasifs libres au carbure de silicium. Celles-ci ont d'abord été observées en lumière polarisée à l'aide d'un microscope optique. Ensuite, certaines d'entre elles et des échantillons bruts préalablement fracturés, ont été examinés à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB) (JEOL JSM-840A) après métallisation Au/Pd (Balzers sputtering unit) et sous une tension d'accélération de 20 kV. L'identification et la distribution des éléments chimiques formant ces concrétions ont été réalisées par microanalyse aux rayons X en dispersion

²⁶ Les lames minces ont été réalisées au service de Géologie du Prof. Dimanche, à l'ISSEP par M. D. Leclercq. et par le Pr. F. Boulvain, Dpt Géologie, Pétrologie et Géochimie de l'Université de Liège. Les microanalyses ont été réalisées par le Dr. Ph. Compère et l'auteur au Laboratoire de Biologie Générale et de Morphologie Ultrastructurale du Professeur Goffinet, Université de Liège, Institut de Zoologie, 22 Quai van Beneden, B-4020 Liège-Belgique. Les diffractions aux rayons X et leur interprétation ont été effectuées par M. F. Hattert au Dpt de Minéralogie du Prof. Fransolet, Université de Liège.

d'énergie. L'appareillage utilisé se compose d'un détecteur de marque et de type LINK Pentafet, d'un analyseur LINK eXI-10 montés sur le microscope électronique à balayage précité. Les microanalyses ont été réalisées sous une tension d'accélération de 10 ou de 15 kV et avec le détecteur en fenêtre ouverte ou muni d'une fenêtre fine de Be afin de permettre la détection des éléments légers.

Pour la taranakite, minéral dont nous allons parler ci-dessous, les paramètres cristallographiques sont calculés avec le programme d'affinement par moindres carrés LCLSQ version 8.4 (Burnham, 1991), sur la base des valeurs de d corrigées avec le nitrate de plomb comme étalon interne (Comm. pers. F. Hattert).

C. Observations

L'observation de lames minces polies au microscope optique montre que les spéléothèmes se constituent d'un ensemble de couches concentriques de quelques dizaines de microns d'épaisseur. Deux phases de concrétionnement successives sont visibles (Photo 69).

La première, au contact de la roche support, présente un ensemble de lamines brun clair de quelques centaines de microns d'épaisseur alternant avec des lamines plus foncées, plus minces et d'épaisseur assez constante. Le contact entre la roche support et la première lamine est très franc. La zone externe des lamines brun clair montre des cristaux croissant perpendiculairement au substrat. Les lamines plus sombres montrent localement une lamination beaucoup plus fine, de l'ordre de 10 microns, due à un empilement de feuillets ou de filaments parallèles au substrat. Les lamines sombres moulent les terminaisons cristallines des lamines plus claires. La première lamine brun clair, déposée sur le substrat rocheux, présente une épaisseur très variable, s'épaississant entre les cristaux protubérants de quartz ou de feldspath de la roche support. Ces derniers ne sont pas altérés. Le concrétionnement s'infiltré sur 1 à 2 mm dans les microfractures de la roche. (Photos 70).

La deuxième phase de concrétionnement se compose d'une succession de lamines jaunâtres et de lamines brunes similaires à celles observées dans la première phase.

Les lamines jaunâtres, épaisses de quelques centaines de microns à 1 mm, présentent une faible biréfringence. Elles présentent rarement des morphologies cristallines perpendiculaires au substrat à l'inverse des zones externes des lamines brun clair de la première phase de concrétionnement. Les lamines brunes, plus minces, montrent une fine microlamination de lits clairs et sombres d'une vingtaine de microns d'épaisseur. Elles sont très crénelées. Elles moulent les irrégularités des lamines jaunâtres et englobent des particules détritiques.

Des cristaux non altérés de biotite sont également visibles, principalement au sein des strates périphériques.

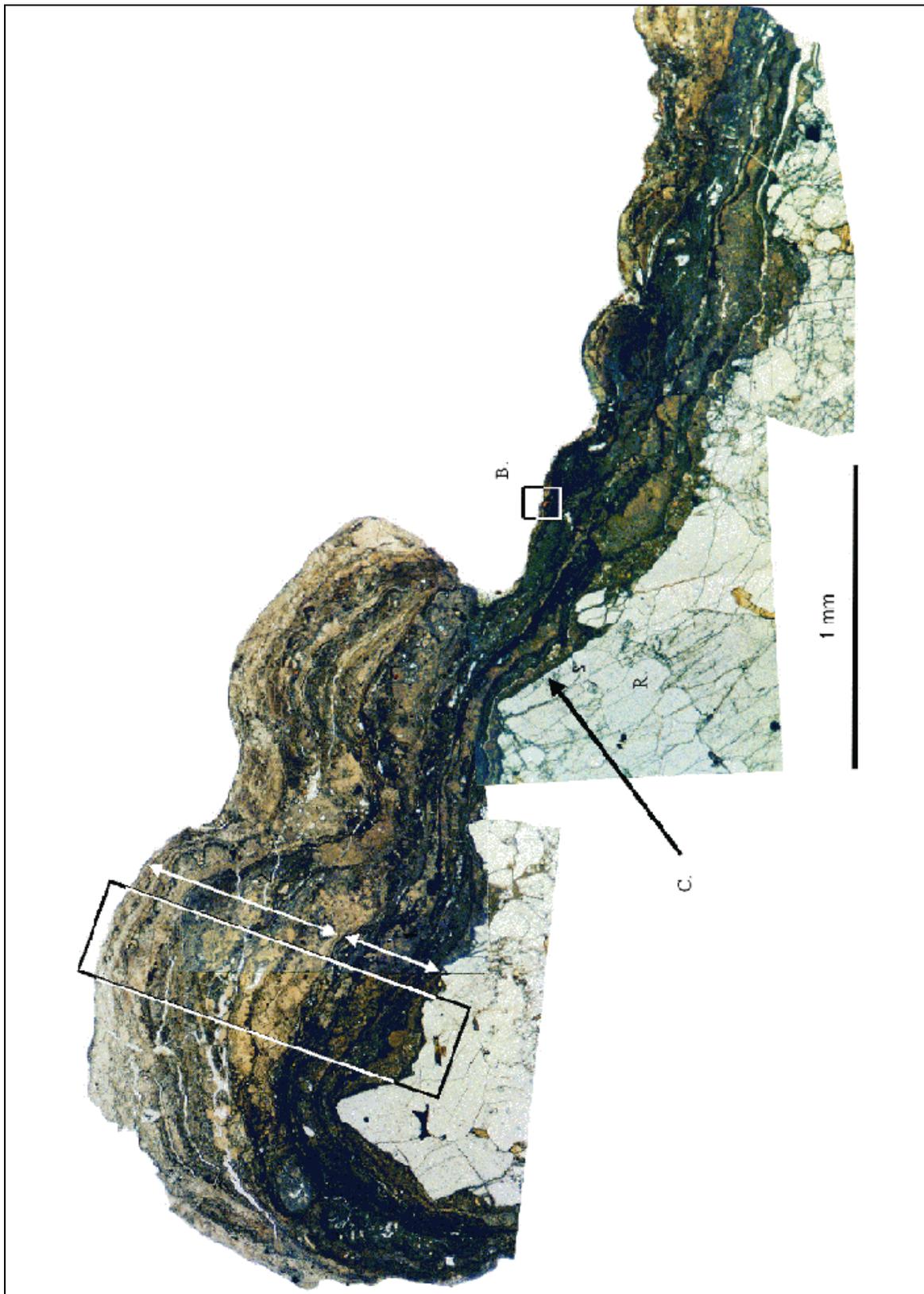
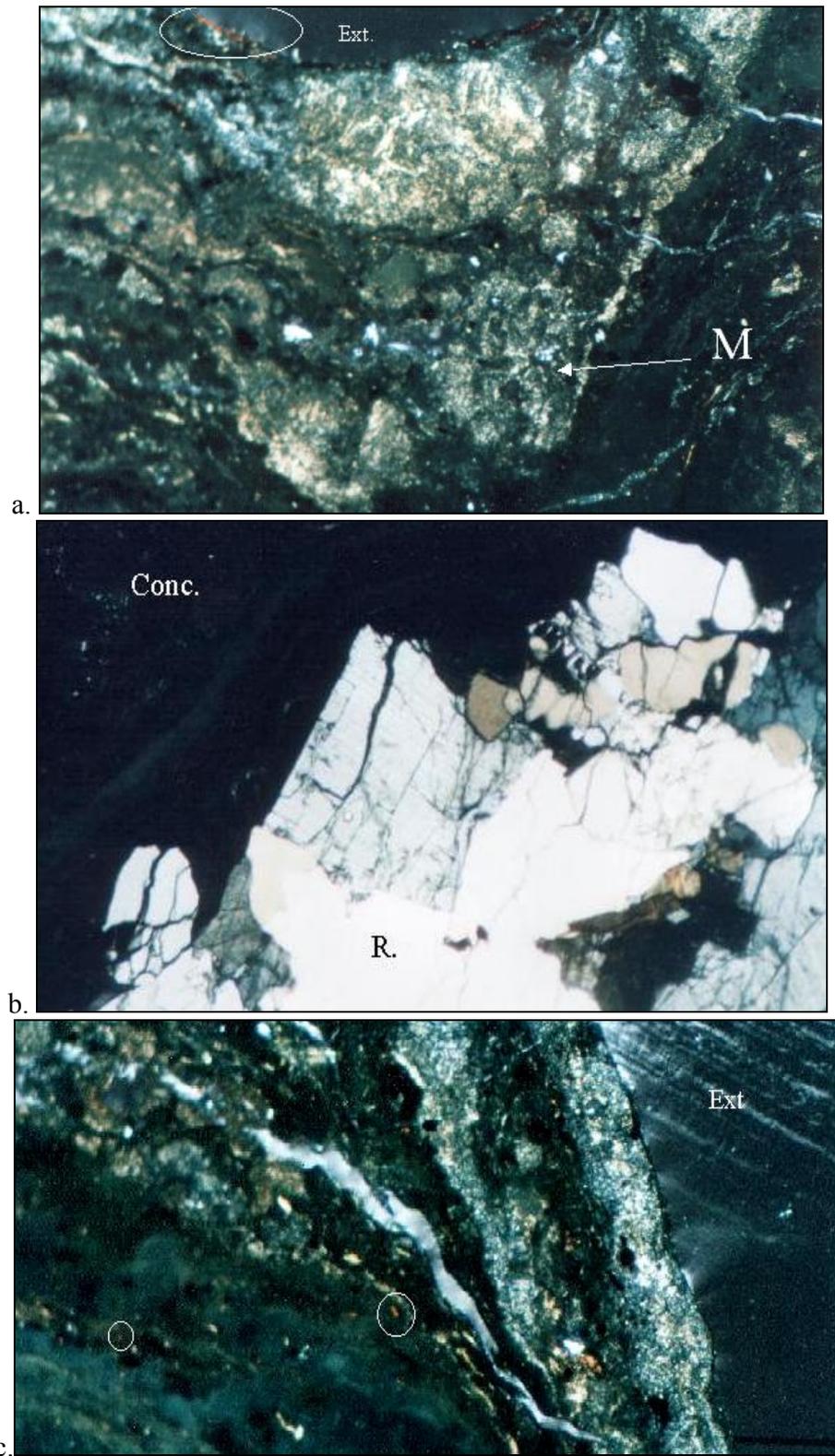
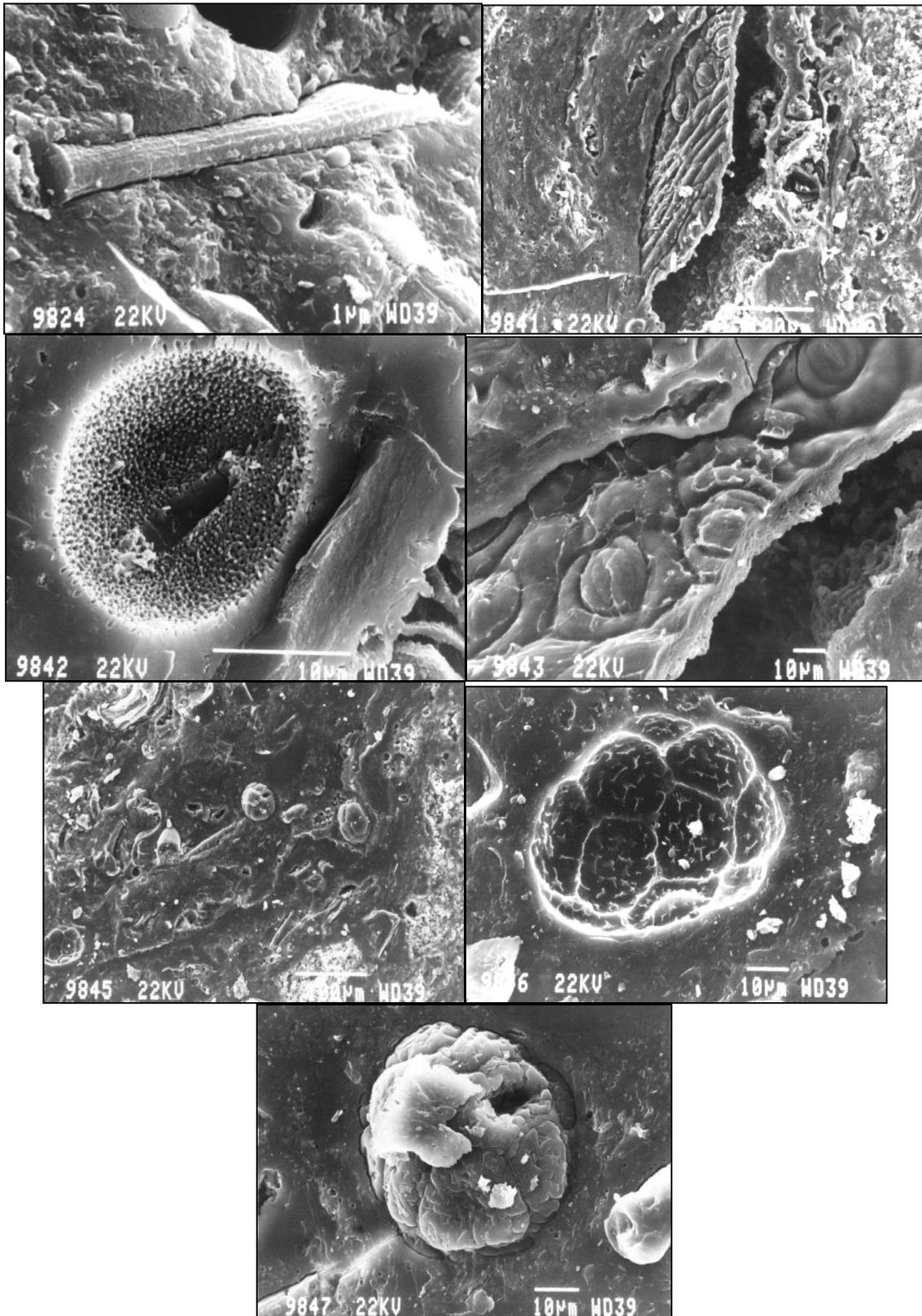


Photo 69 : vue d'une lame mince polie d'une des concrétions de Mezesse au microscope optique. Encadré : zone soumise au mapping compositionnel (Fig. 72a), C : contact entre la roche support (R) et le concrétionnement, B : exemple de cristaux de biotite non altéré. Les flèches correspondent aux deux phases de concrétionnement successives (voir texte) et reprises sur le mapping compositionnel.



Photos 70. Détails morphologiques de la concrétion vus au microscope optique. a. : zone entre deux replis du concrétionnement. La flèche indique une zone de la concrétion moins bien structurée (M). a. c. : : Ext. : extérieur de la concrétion, conc. : concrétion. Des cristaux de biotite non altérés sont entourés en blanc à titre d'exemple (a. et c.). R. : roche support.



Figs. 72a. Vues au M.E.B de débris organiques silicifiés ou de leur empreinte (spores, pollens, feuilles...) trouvés au sein de la concrétion (Voir texte ci-dessous) - Lab. de Biologie générale et de Morphologie ultrastructurale, Institut de Zoologie, Université de Liège.

Des petits dômes à relief millimétrique et à lamination épaissie vers le centre sont développés principalement au sein de certaines strates du second concrétionnement. L'observation à plus fort grossissement révèle que l'ensemble des strates renferme des filaments similaires à ceux que l'on retrouve dans les aiguilles de Nkongmeyos.

Outre les deux zones de concrétionnement et les lamines identifiées optiquement, l'examen au microscope électronique à balayage montre que la surface externe des spéléothèmes se constitue de matériaux détritiques non structurés, de cristaux en forme d'aiguille et de filaments différents de ceux observés dans les lamines. Souvent, les matériaux détritiques masquent un réseau de fentes de dessiccation qui se prolonge dans les couches les plus périphériques des spéléothèmes. Des micro-alvéoles se retrouvent entre ou au sein des lamines. D'une façon générale elles sont plus importantes et plus nombreuses dans la seconde phase de concrétionnement. Ces micro-alvéoles ont leurs parois souvent tapissées de microcristaux, ce qui exclut une formation par fragmentation mécanique lors de la préparation des échantillons. Des filaments identiques à ceux trouvés en périphérie sont également présents. Au sein de différentes couches, on observe également des éléments organiques fossilisés (Figs. 72).

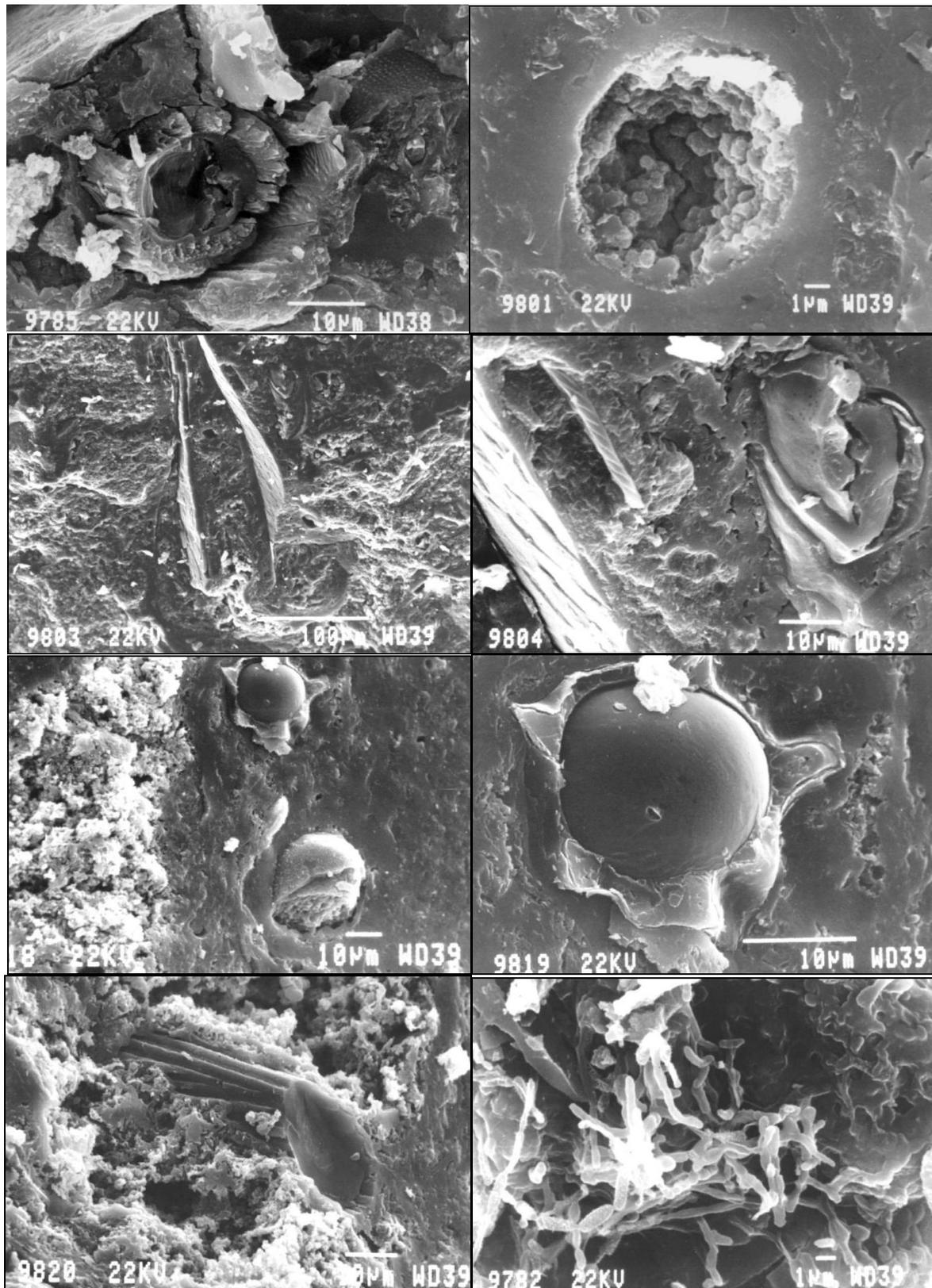
Nous avons soumis les différents clichés à deux palynologues, les Professeurs Streel (Université de Liège) et Maley (Université de Montpellier). Voici leurs principales interprétations et conclusions.

Pour Streel, les clichés 9845, 9846 et 9847 (Figs. 72a) montrent clairement une polyade de Mimosacées *Parkia bicolor* A Chevalier. Cependant, il note que ces pollens sont généralement deux fois plus grands que ceux trouvés dans la concrétion et en conclut que ces derniers pourraient donc être immatures. Maley n'est pas convaincu par cette interprétation car chez *Parkia bicolor*, les creux qui matérialisent en surface les parois soudées des différentes monades composant la polyade sont présents partout en surface. Or ce n'est pas le cas par ex. sur les images 9846 et 47. De plus sur le corps en question, il semble exister une grosse cellule centrale entourée de plus petites - ce qui ne correspond pas à *Parkia* ou toutes les monades sont de taille égale. Pour Maley, la piste des champignons ou des algues serait peut-être plus appropriée.

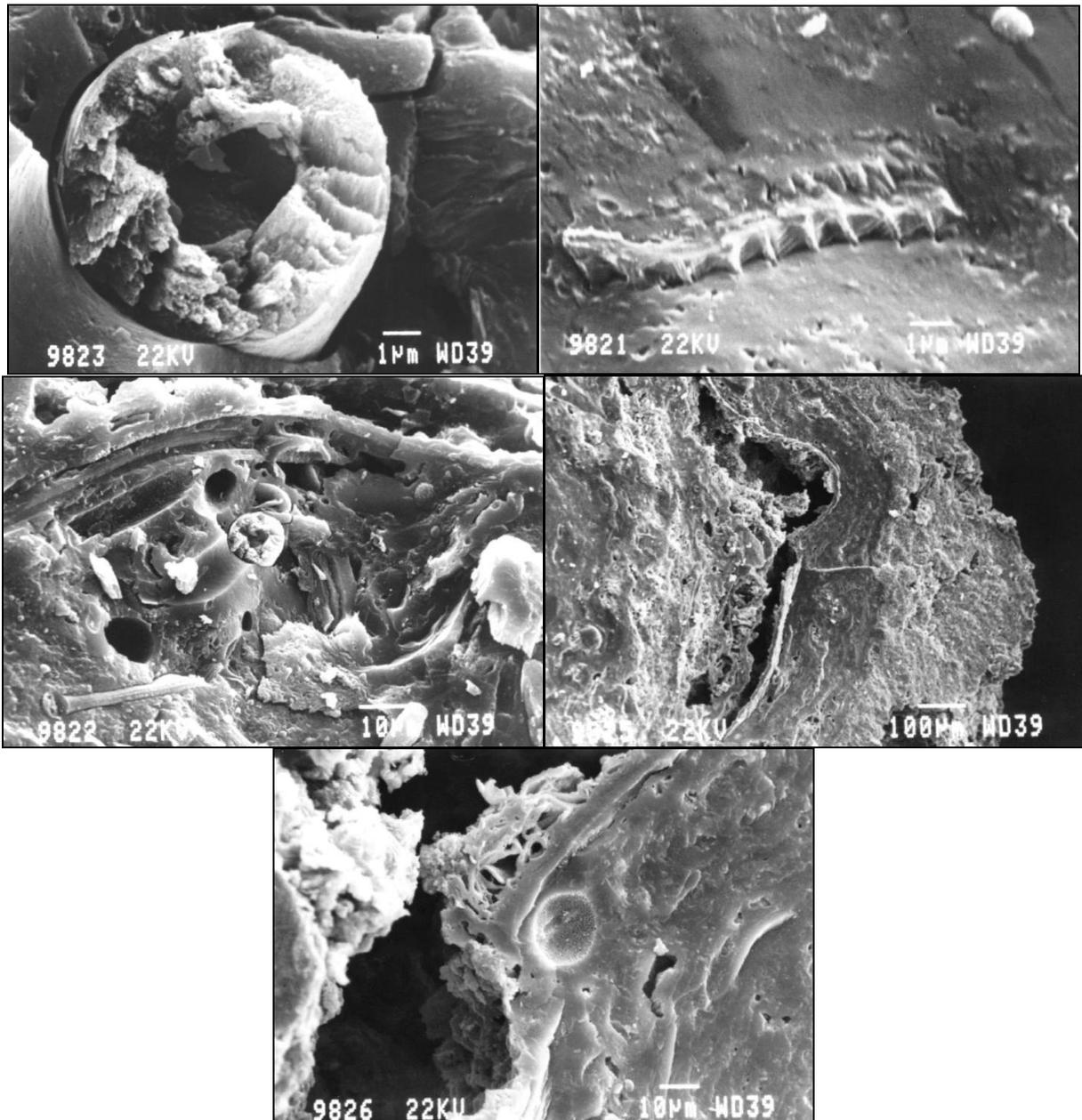
Pour Streel, le cliché 9824 serait un vaisseau de bois avec des ponctuations alignées au moins sur un côté. Les clichés 9841 et 9843 sont ceux d'une cuticule de feuille montrant des stomates. Les deux cellules centrales sont entourées d'un bourrelet attestant d'un caractère xérique indiscutable (9841, 9843) (Figs. 72a).

Le cliché 9842 (Figs. 72a) serait un pollen de palmier (*Hyphaenae thabaica* (L.) Martin ou d'une espèce voisine. Cependant, Maley réfute cette interprétation en se basant sur le nombre trop important de baccules et leur forme trop fine. A nouveau, il privilégie l'hypothèse d'une grosse spore.

Ainsi, à l'exception de l'identification de stomates d'une feuille, la reconnaissance des différents éléments d'origine organique reste problématique, notamment concernant d'éventuels pollens de *Parka bicolor* (arbre de la forêt dense) ou de palmier (espèce plutôt de savane arborée). Leur identification ultérieure pourrait éventuellement permettre de préciser avec plus d'exactitude le milieu environnant et peut-être la période climatique durant laquelle se sont édifiées les concrétions



Figs. 72b. Vues au M.E.B de débris organiques silicifiés ou de leur empreinte non identifiés et trouvés au sein de la concrétion (Voir texte ci-dessous) - Lab. de Biologie générale et de Morphologie ultrastructurale, Institut de Zoologie, Université de Liège.



Figs. 72b. Vues au M.E.B de débris organiques silicifiés ou de leur empreinte non identifiés et trouvés au sein de la concrétion (Voir texte ci-dessous) - Lab. de Biologie générale et de Morphologie ultrastructurale, Institut de Zoologie, Université de Liège.

et donc, indirectement la grotte de Mezesse. La présence de reste de feuilles à caractère xérique suggère une formation des concrétions dans un environnement proche de la surface où le climat était marqué par une certaine sécheresse.

D'autres formes organiques ont été examinées mais restent non identifiées à ce jour (Figs. 72b).

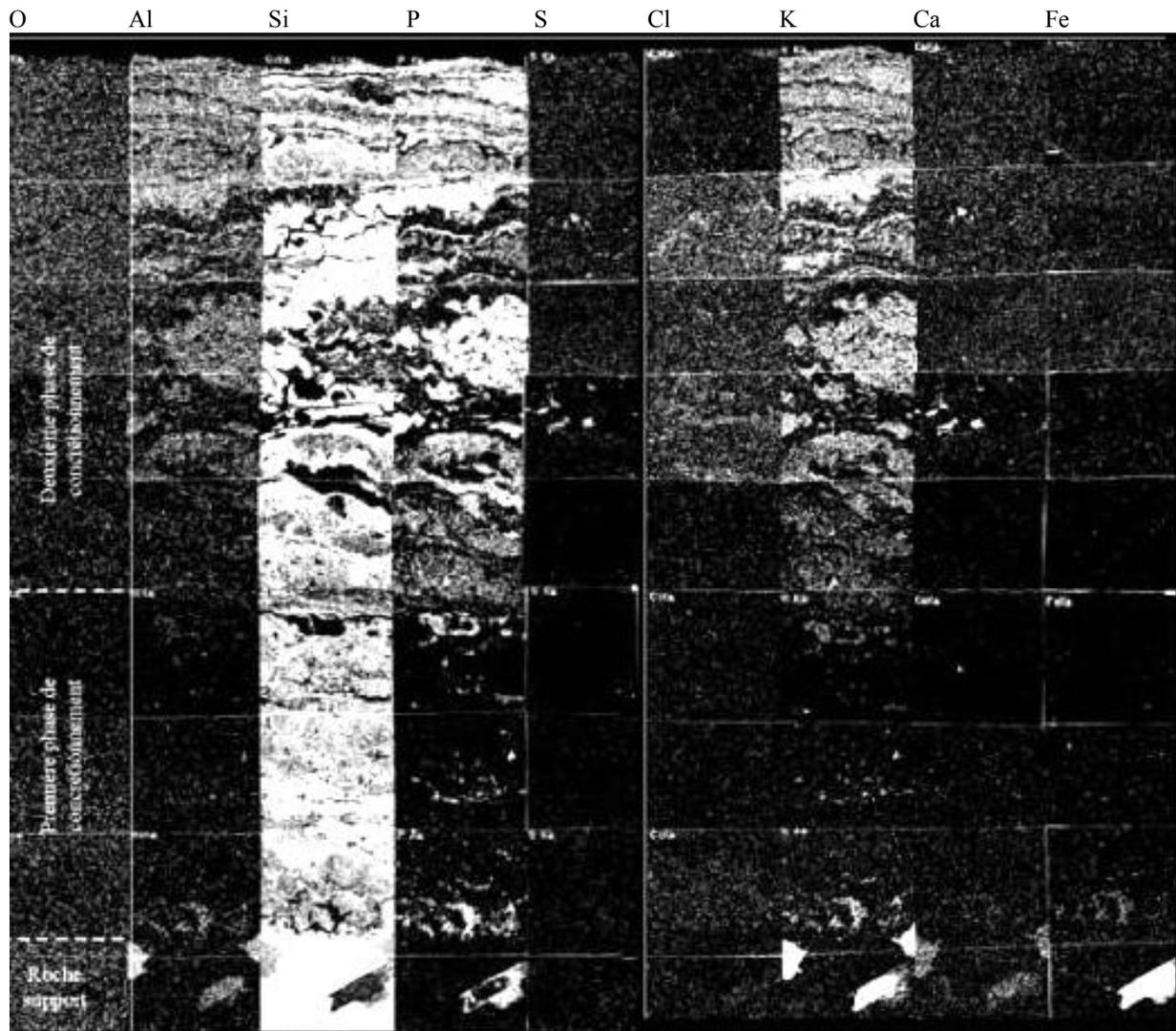


Fig. 73a. Mapping d'une concrétion coralloïdes de Mezesse. Zone encadrée de la photo 69 (Lab. de Biologie générale et de Morphologie ultrastructurale, Inst. de Zoologie, Université de Liège).

Un mapping d'une lame mince polie (Figs. 73) et des microanalyses par rayons X (Fig. 74) montrent que la première phase de concrétionnement se constitue essentiellement de Si.

La seconde phase se caractérise par une alternance de strates riches en Si et de strates associant les éléments Si, Al, P et K. Les premières correspondent aux lamines brunes sombres et claires de l'ensemble de la concrétion, les dernières correspondent aux lamines jaunâtres vue au microscope optique. Des zones associant Ca et S sont bien visibles et correspondent aux cristaux des micro-alvéoles et aux aiguilles de la bordure périphérique des concrétions. Tous les restes organiques trouvés sont silicifiés et semblent toujours inclus dans des couches associant Si, Al, P et K comme l'indiquent les spectres réalisés sur leur pourtour (Figs. 75).

L'analyse par diffraction des rayons X montre que ces couches riches en Si, Al, P et K sont constituées de cristaux de taranakite, $H_6K_3Al_5(PO_4)_8 \cdot 18H_2O$ associés à de la silice sous forme amorphe. Celles riches en Si sont uniquement constituées de silice amorphe (Fig. 76). La taranakite

est un minéral associé au guano de chauve-souris (voir VII.6.4.2.5). La présence de silice, non incluse dans la taranakite, indique qu'elle précipite de façon continue pendant l'édification de la concrétion

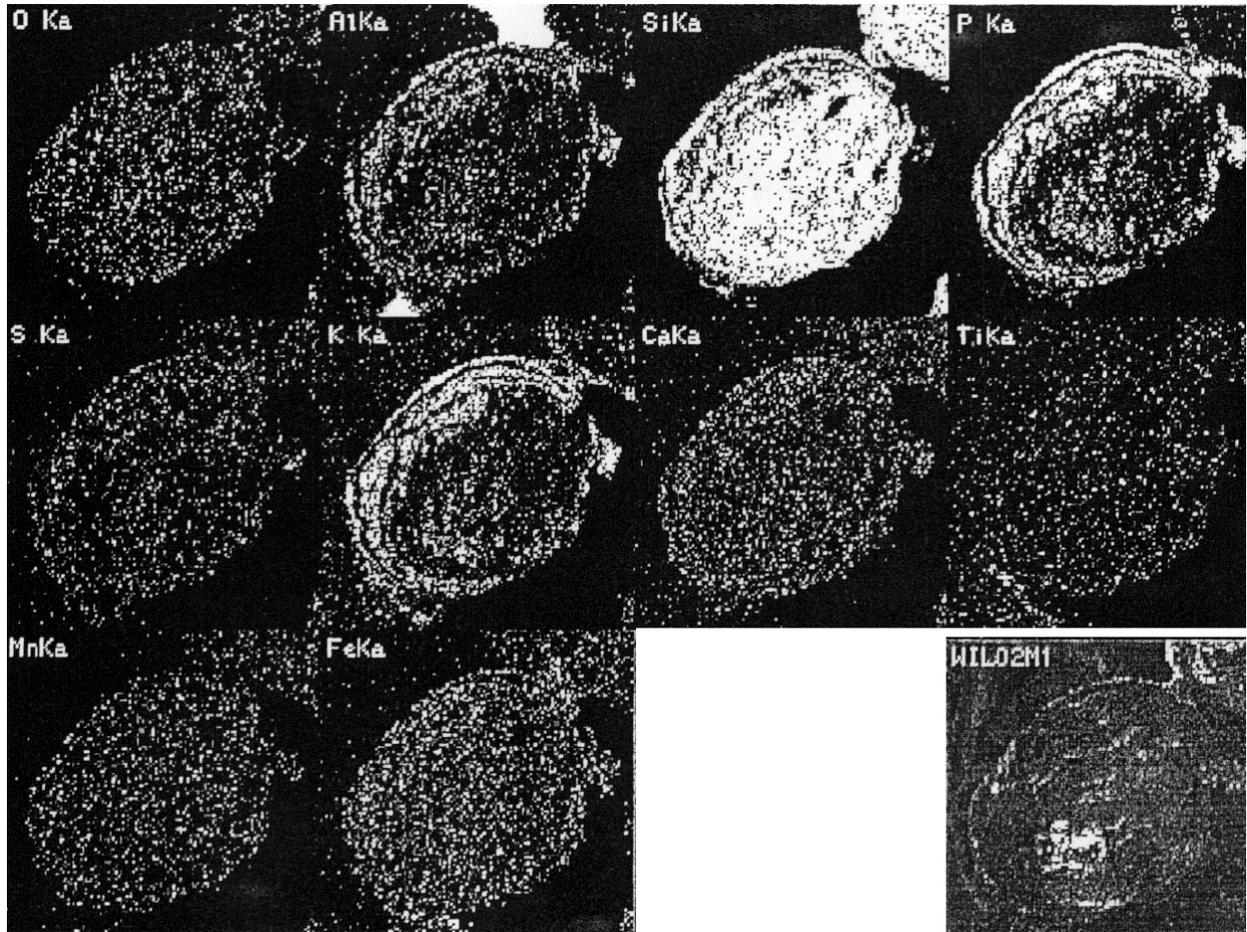


Fig. 73b. Mapping d'une concrétion coralloïde de Mezesse fracturée perpendiculairement à son axe de croissance 63b (Lab. de Biologie générale et de Morphologie ultrastructurale, Inst. de Zoologie, Université de Liège).

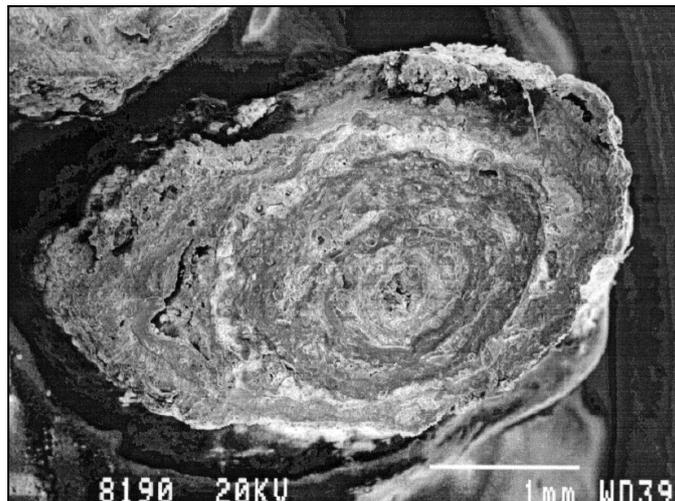


Fig. 73c. Vue en MEB d'une concrétion similaire à celle étudiée pour la fig. 73b (Lab. de Biologie générale et de Morphologie ultrastructurale, Institut de Zoologie, Université de Liège).

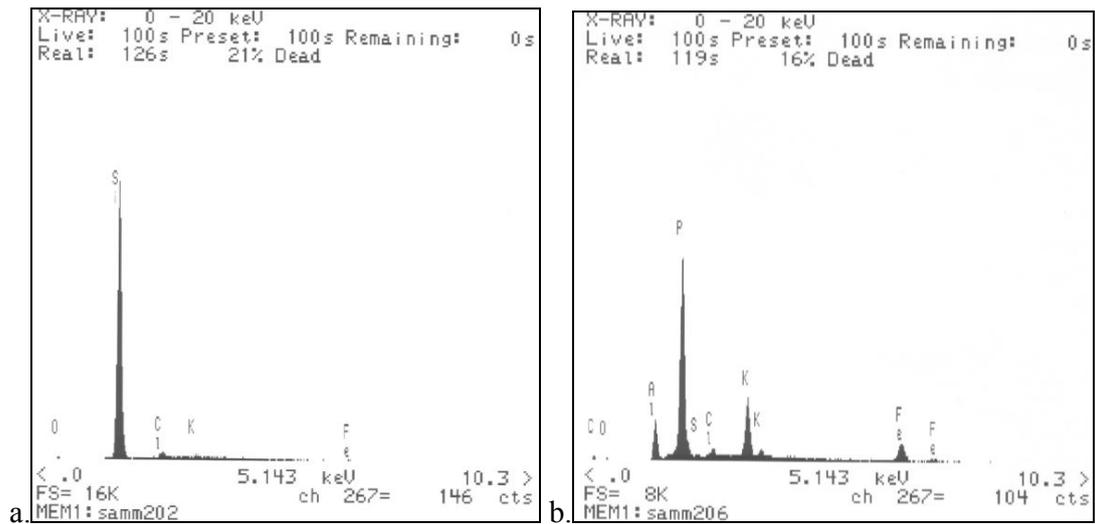
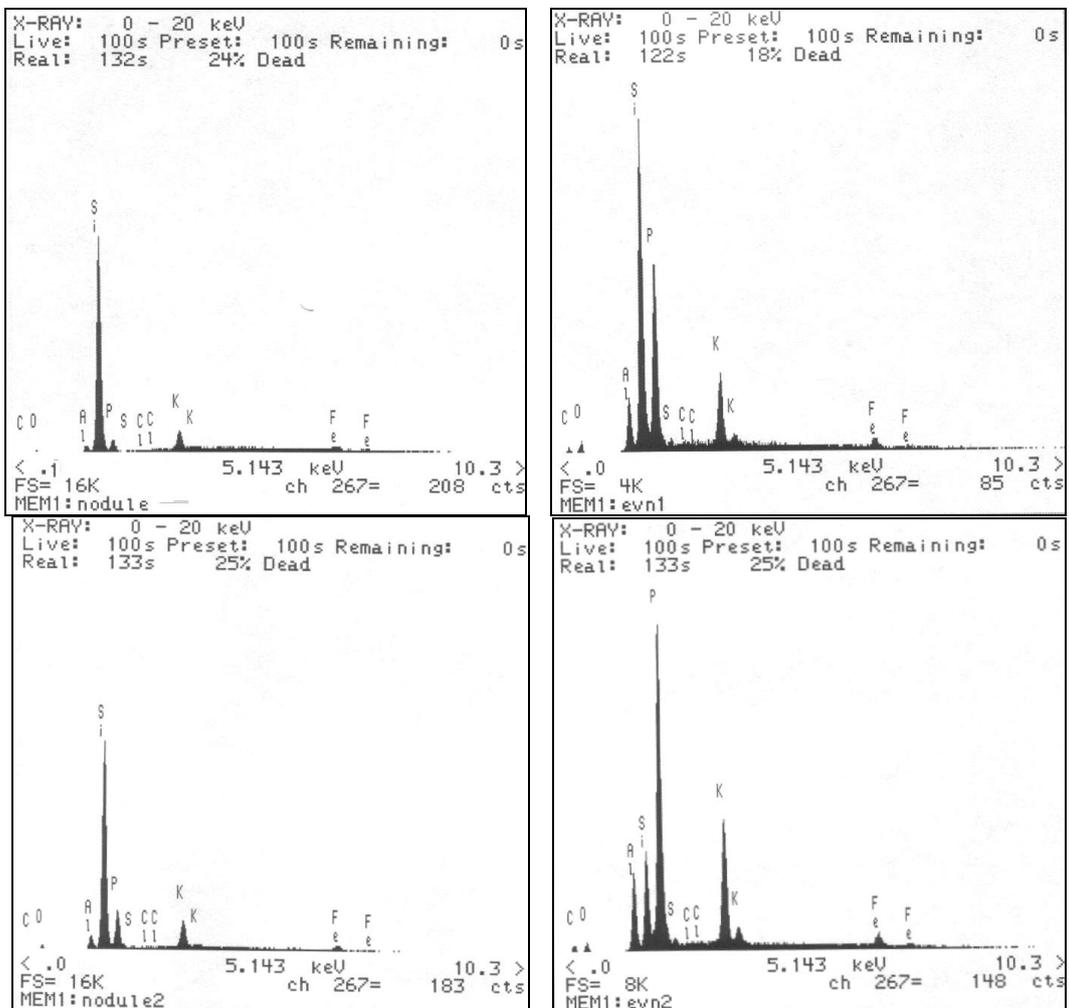


Fig. 74. Spectres de différentes strates d'une concrétion de Mezesse. a : exemple de spectre d'une strate de silice; b : exemple de spectre d'une strate riche en taranakite.



Figs. 75. Spectres réalisés sur les matériaux d'origine organique et sur leur pourtour à l'intérieur des concrétions de Mezesse. Nodule x : spectre sur les nodules, env x : spectre de l'environnement immédiat des nodules.

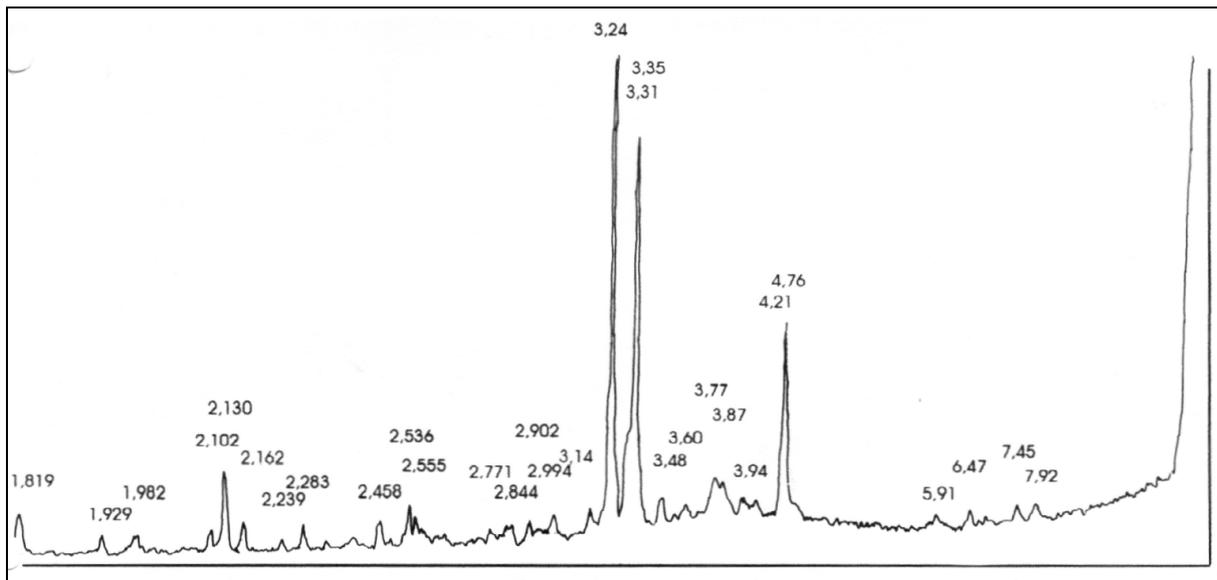


Fig. 76. Diffractogramme obtenu par rayons X d'une concrétion de Mezesse (F. HATTERT, Dpt. de Minéralogie, Université de Liège).

D. Formation des concrétions

Les parois en "nid d'abeilles", la morphologie des planchers et les conduits dans la grotte démontrent un rôle incontestable de l'érosion chimique dans la formation de la grotte de Mezesse. L'analyse des concrétions coralloïdes précise les conditions de cette édification.

Les concrétions coralloïdes trouvées dans des grottes carbonatées sont associées généralement à deux types d'environnement. Le premier correspond à une genèse dans un milieu subaérien, le second dans un environnement plus ou moins ennoyé (HILL et FORTI, 1997). La situation des spéléothèmes de Mezesse sur les flancs d'une conduite forcée appuie l'hypothèse d'une genèse dans un système vadose. La mise en place des concrétions siliceuses a dû se réaliser à la limite fluctuante d'eaux peu agitées et renouvelées à chaque saison des pluies après un passage relativement rapide dans les fissures supérieures du système. La présence de certains restes organiques silicifiés au sein des concrétions montre que la conduite était sous l'influence des conditions de surface lors de leur édification. Cette genèse est comparable à celle observée pour certaines silicifications à la base de vides où les circulations de solutions sont lentes et les eaux stagnantes (THIRY, 1997).

Dans la deuxième phase de concrétionnement, l'alternance relativement régulière de couches taranakite/silice amorphe avec des couches constituées exclusivement de silice montre une certaine périodicité dans la genèse des spéléothèmes. La taranakite, trouvée également dans des grottes calcaires, résulte de l'interaction entre des solutions phosphatées dérivées du guano de chauve-souris et les minéraux argileux du substrat, sous des conditions humides permanentes (FIORE et LAVIANO, 1991). Dans le cas de Mezesse, chaque couche de ce minéral marquerait un lessivage annuel du guano dans la partie supérieure du réseau de la grotte lors d'une saison des pluies. La

taranakite précipite conjointement à la silice. Lors de la saison sèche, le lessivage du guano s'arrête. L'apport de phosphates dans la conduite et la formation de taranakite sont donc stoppés. Seule de la silice continue à précipiter.

La taranakite, qui ne se forme qu'à un pH inférieur à 3,5 (HASEMAN *et al.*, 1950, 1951; FILIPOV, 1978; HILL et FORTI, 1997; FIORE et LAVIONO, 1991), témoigne de l'acidité des solutions parcourant la conduite forcée. Une diminution de pH des solutions de la surface vers la profondeur du réseau a donc dû se produire. Or, le parcours des solutions pour arriver à la conduite souterraine où se sont formés les spéléothèmes devait être relativement court à travers des roches peu favorables à leur acidification. Cette acidification est donc difficilement explicable même si on considère que les pluies étaient acide en arrivant au sommet du système comme c'est le cas à l'heure actuelle (pH moyen de 4,9, SIGHA-NKAMDJOU *et al.*, 1998).

Comme nous l'avons vu au chapitre III.2.1, la solubilité de la silice dépend peu du pH lorsqu'il est inférieur à 9 (Fig. 10) ce qui est le cas pour les solutions de Mezesse.

Des mécanismes similaires à ceux produisant des gels de silice des grottes peuvent jouer. Finlayson et Webb (1985) suggèrent deux processus principaux : l'évaporation et des températures basses. Dans le cas de Mezesse, en climat équatorial, le rôle de températures basses est exclu. L'étude géomorphologique de la rigole dans laquelle ont été prélevés les spéléothèmes montre qu'il s'agit d'une conduite éventrée. Durant la formation des concrétions cette dernière devait être fermée comme l'attestent les rebords en surplomb, restes d'un toit aujourd'hui disparu. La présence des concrétions uniquement sur les flancs subverticaux s'explique par une érosion ultérieure du fond de la conduite par ruissellement lors de l'ouverture du système. Ainsi, les spéléothèmes ont grandi dans un milieu fermé, à quelques dizaines de mètres sous la surface, dans la partie vadose d'un système peu favorable à des phénomènes d'évaporation et de variations de température. Seule une recharge en eau correspondant à une saison des pluies a dû influencer leur formation. Des processus d'évaporation et de variations de température nous semblent donc devoir être écartés.

Une certaine analogie peut être faite avec ce qui se passe à la base des profils kaoliniques. Thiry (1998) a montré que, dans un environnement acide, seule la silice reste sous forme d'opale alors que l'aluminium est lessivé. Une des hypothèses avancées implique un environnement hydromorphique tout comme celui qui a dû exister dans la grotte de Mezesse. Deux réactions peuvent apparaître : une libération d'un électron durant l'oxydation du Fe produisant un H^+ ou une rétention d'un autre H^+ durant la formation d'hydroxydes (BRINCKMANN, 1970, FRIPIAT, 1971, BRINCKMANN *et al.*, 1973, CHAUSSIDON et PEDRO, 1979; ESPIAU et PEDRO, 1983 in THIRY, 1997). Une "autolyse" progressive des minéraux argileux serait induite (PEDRO et DELMAS, 1979) avec migration d'Al et rétention de Si dans des phases Si désordonnées.

Ce mécanisme suppose une alternance de périodes sèches et de périodes humides. Durant les premières, un environnement acide se développe, libérant Al. Durant les secondes, Al se complexerait avec des composants organiques et serait évacué du profil (THIRY, 1997).

Cette première hypothèse repose sur le fait que la solubilité de la silice varie peu pour des pH inférieurs à 9. Or, comme Bennett *et al.* (1988) l'ont montré, la vitesse de dissolution du quartz diminue parallèlement à une diminution de pH (voir Fig. 4b, III.3). Aussi, peut-on se poser la question de savoir si la silice amorphe ne présente pas un comportement analogue. Si c'était le cas, une saturation en Si des solutions suite à la diminution du pH se produirait, provoquant le dépôt de silice amorphe.

Une autre solution possible pour résoudre le problème d'acidification du milieu vient de la présence de filaments au sein des concrétions. La taille et les morphologies de ces derniers montrent que ce sont des bactéries. Leur rôle est actuellement encore mal connu, surtout à température ambiante et dans des conditions acides. Des bioconstructions microbiennes siliceuses ont été décrites à proximité de sites hydrothermaux, en milieu océanique (JUNIPER et FOUQUET, 1988; ZIERENBERG et SCHIFFMAN 1990; COOK et STAKES, 1995 ; JUNIPER *et al.*, 1995) ou dans des lacs alcalins (RENAUT *et al.*, 1998). Des bactéries vivant en eau douce et chargées en silice ont été répertoriées dans les cuves de l'Otake Geothermal power plant (Japon) mais ce sont des eaux chaudes (85 °C) et à pH de 7,2 (INAGAKI *et al.*, 1997). Ces bactéries se fossilisent dans de la silice amorphe (90 % du poids en SiO₂ avec des traces de Fe et d'Al) ce qui est fort proche de ce qui est observé à Mezesse. Par ailleurs, Urrutia et Beveridge (1995) ont montré que d'allophane²⁷ pouvait se former en surface de cellules de *Bacillus subtilis*, incubées dans des solutions contenant des combinaisons variées d'Al, Si, Zn, Cd, et d'acides citriques et fulviques.

Le problème est de savoir si les bactéries silicifiées des concrétions ont joué un rôle actif et/ou passif. La morphologie des spéléothèmes, l'existence de crénulations, la formation de petits dômes, la présence d'un fin feuilletage, dû vraisemblablement à un feutrage de filaments sont autant d'éléments qui indiqueraient une origine au moins partiellement organique des concrétions (cf. par exemple les critères définis par GALL, 1990). La morphologie de ces dernières n'est pas sans rappeler la structure spongiostromate définie par Pia (1927). De nombreuses études sédimentologiques (WALTER, 1976) ont montré depuis que cette structure est liée au développement, à la dégradation et à la diagenèse de tapis microbiens édifiés par des bactéries, des cyanobactéries ou des algues. Ces petites concrétions rappellent également les "microstromatolithes" décrits dans des cavités des récifs frasniens par Mamet et Boulvain (1988) et érigés partiellement par des bactéries ferro-oxydantes.

De plus, les spéléothèmes de Mezesse rappellent fortement les microstromatolithes siliceux décrits par RENAUT *et al.* (1998) et édifiés par des communautés microbiennes complexes. Cependant, dans ce cas précis, des eaux alcalines, chaudes et riches en silice fournissent en abondance la silice qui est fixée par les micro-organismes (leur silicification pourrait être la conséquence de la disponibilité d'OH⁻ et de groupes carboxyles à la surface des tapis microbiens). Des expériences

²⁷ Allophane : minéral alumino-silicaté hydraté et amorphe qui présente une consistance de gel. Il s'observe habituellement sur des concrétions (d'après Hill et Forti, 1986)

menées par Urrutia et Beveridge (1994) sur la bactérie *Bacillus subtilis* ont par ailleurs montré des précipitations de silicates sur les parois microbiennes dans des conditions de pH acide (5,5) et de concentration de Fe, Al et silice proches de celles des sols.

Comme nous l'avons vu au chapitre III.8.3, certaines bactéries ne produisent que H^+ et sont donc capables de diminuer le pH des solutions (BROCK *et al.*, 1994). Un rôle actif des bactéries dans l'édification des concrétions de Mezesse est donc probable. La diminution du pH qu'elles entraîneraient diminuerait la vitesse de dissolution de la silice amorphe, provoquant une saturation en Si des solutions au niveau de la conduite.

Un scénario peut être raisonnablement envisagé pour expliquer la genèse des concrétions de la grotte de Mezesse. Durant la première phase d'édification, seule la silice précipite. Les solutions parcourent un système de passages étroits ne permettant pas encore la colonisation d'une faune cavernicole. L'acidification des solutions au sein de la conduite provoque une saturation partielle en Si solubilisé qui entraîne son dépôt. Parallèlement, la solubilité d'Al s'accroît. Cette augmentation de l'acidité des solutions serait induite par oxydation du fer ou par l'activité de micro-organismes (les deux mécanismes pouvant être liés). Dans la seconde phase de concrétionnement, la partie supérieure du réseau de Mezesse s'ouvre, permettant la colonisation par les chauves-souris. Ces dernières sont à l'origine de dépôts de guano. Les eaux s'infiltrant dans le massif lessivent périodiquement ces dépôts organiques, en relation avec les saisons des pluies. L'acidification des solutions au niveau du conduit provoque la précipitation simultanée de la taranakite et de la silice.

E. Vitesse de concrétionnement et âge des concrétions

Outre la présence de taranakite au sein des spéléothèmes, l'observation de feldspaths au sein de la roche support et de biotites dans les concrétions appuient l'hypothèse d'une formation rapide des concrétions. Ces minéraux, très sensibles à l'altération chimique, sont habituellement très vite éliminés. Or les feldspaths dans la roche, à proximité du contact avec la concrétion et les biotites dans les spéléothèmes ne montrent pas d'altération. Les solutions responsables du concrétionnement sont donc d'origine allochtone. D'autres observations supportent une genèse rapide des cave pop-corns : le contact franc de la roche support avec la première strate concrétionnée, la présence de nombreuses vacuoles entre ou dans les lamines, les restes organiques normalement très vite dégradés et pourtant fossilisés par le biais d'une silicification, la friabilité du spéléothème. Cette friabilité suggère également que les concrétions sont relativement récentes. Soumises à une érosion prolongée, elles devraient être rapidement éliminées.

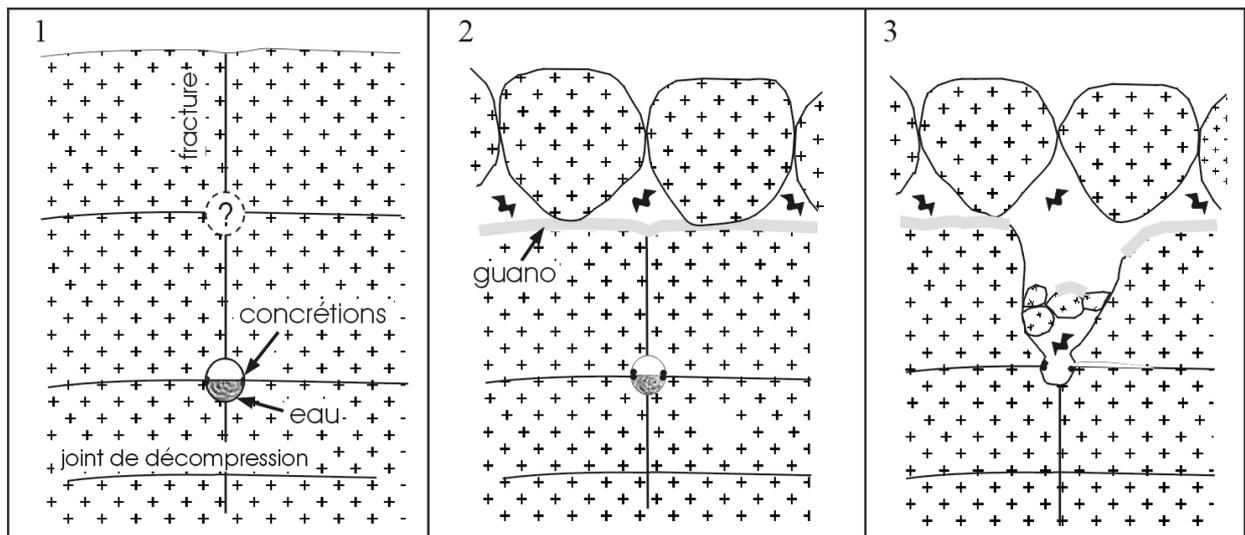
L'alternance relativement régulière de couches riches en taranakite ou en silice amorphe dans la deuxième phase de concrétionnement montre une certaine périodicité analogue aux lamines de croissance observées dans les stalagmites carbonatées (voir V.3.4). Dans le cas de Mezesse, chaque

couche de taranakite marquerait un lessivage annuel du guano dans le réseau supérieur de la grotte lors d'une saison des pluies. Le mapping compositionnel d'une des concrétions montre une dizaine d'alternance de couches de taranakite et de silice amorphe. Si on considère l'épaisseur moyenne de chaque couple de strates et qu'on l'extrapole à la première phase de concrétionnement, on peut raisonnablement supposer que l'ensemble de la concrétion se serait édifiée sur quelques décennies.

Les spéléothèmes de Mezesse se seraient donc formés sous un climat où alternent saisons sèches et saisons des pluies. Ce climat correspond au contexte climatique camerounais actuel avec deux saisons sèches (décembre-janvier et juillet-août) alternant avec deux saisons des pluies étalées sur le reste de l'année. Cependant, on peut se demander si des saisons sèches aussi courtes et peu marquées peuvent suffire à l'élimination de toute la taranakite en solution et laisser précipiter uniquement la silice. Un climat à saison sèche plus longue et mieux prononcée semble plus favorable à ce processus. Comme nous l'avons vu précédemment pour la grotte de Mbilibekon, le cadre climatique entre -3000 et -2000 ans BP a été marqué par un assèchement dans cette partie de l'Afrique. Les analyses palynologiques indiquent en effet pour cette période une ouverture et un recul brutal du massif forestier au profit des savanes (MALEY, 1987, 1990, 1991 et 1992; ELENGA *et al.*, 1992; SCHWARTZ, 1992, MALEY et BRENAC, 1998). Les concrétions pourraient dater de ce climat plus sec. Etant friables et très sensibles à l'érosion, elles ne peuvent guère être plus anciennes.

F. Modèle de formation de la grotte de Mezesse

Au vu des différents éléments observés, un scénario de formation de la cavité de Mezesse peut être proposé (Fig. 77).



Figs. 77. Hypothèse de mise en place de la grotte de Mezesse (1, 2, 3 : voir texte).

Le substratum granitique est traversé par un système de fractures subverticales et par des plans de décompression de la roche (Fig. 77-1). Des conduits se mettent en place à la croisée de fissures à quelques dizaines de mètres de profondeur. Ils sont mis peu à peu en décharge partielle. Une fluctuation de remplissage s'effectue pendant la saison des pluies. L'eau qui arrive dans le conduit ne contient pas ou peu de matières organiques à l'exception de bactéries. Des concrétions coralloïdes constituées uniquement de silice amorphe se mettent en place. Le système est relativement fermé en faible relation avec la surface.

Progressivement, le système s'ouvre dans la partie supérieure du massif (Fig. 77-2). La corrosion élargit les fissures et isole peu à peu des blocs qui deviennent suspendus. Les espaces créés accueillent une faune cavernicole qui dépose du guano au sol. Les conduits inférieurs sont toujours soumis à une recharge liée à la saison des pluies. Cependant, les solutions qui y arrivent traversent maintenant le guano et provoquent le concrétionnement saisonnier de taranakite alors que de la silice amorphe se dépose de façon continue. Parallèlement, l'arrivée des solutions se fait plus rapidement et se marque par un dépôt plus perturbé des différentes couches.

Le système s'ouvre de plus en plus (Fig. 77-3) et localement s'effondre. Certains conduits sont éventrés. Le réseau s'assèche dans sa partie supérieure et des eaux ruissèlent jusqu'au fond de la cavité actuelle. Les concrétions, entièrement exondées, n'évoluent plus qu'au rythme des fluctuations d'humidité de l'atmosphère de la grotte. Les spéléothèmes se dessèchent partiellement, donnant naissance sur leur surface à des fentes de dessiccation. Le brassage de l'air par les chauves-souris met en suspension des poussières qui viennent se coller sur les rebords des concrétions. Des microcristallisations de gypse ou d'anhydrite se font à l'intérieur des vacuoles et sur le pourtour des spéléothèmes. Des conduits inférieurs se mettent en place sous le fond de la cavité actuelle. Ils suivent une évolution similaire aux conduits maintenant éventrés et accessibles.

A l'heure actuelle, le ruissellement le long des parois accessibles de la grotte provoque la formation de draperies. Sur les parois les plus verticales, des formes de corrosion se mettent en place (formes en nid d'abeilles) certainement en relation avec les mousses et autres organismes tapissant certains murs. La capacité du milieu à former des complexes organiques est également présente, pouvant assurer une partie de la dissolution de la roche.

6.5 Chaos granitique - exemple de la grotte troglodyte dans la zone de Mezesse

Une grotte troglodyte se situe à une quarantaine de minutes de marche du village de Mezesse. La cavité se développe au sommet d'une colline et est constituée d'un énorme bloc granitique plurimétrique reposant sur deux autres blocs latéraux (Photos 71 et 72).

Le propriétaire a simplement fermé les différentes ouvertures pour en constituer une habitation. A l'intérieur, un bloc sert de pilier central autour duquel s'organise le logement. La situation au sommet d'une petite colline de ces blocs prouve l'origine autochtone de ceux-ci et rappelle les chaos granitiques décrits dans de nombreuses régions du globe. L'ensemble des blocs du site présente un

aspect arrondi. Généralement attribué à l'amoncellement de blocs résiduels dégagés de leur manteau d'altération (Fig. 78), ces boulders, pourraient avoir été le siège de processus d'érosion similaires à ceux constater dans la grotte de Mezesse, bien qu'aucune forme de corrosion de parois n'y a été retrouvée.

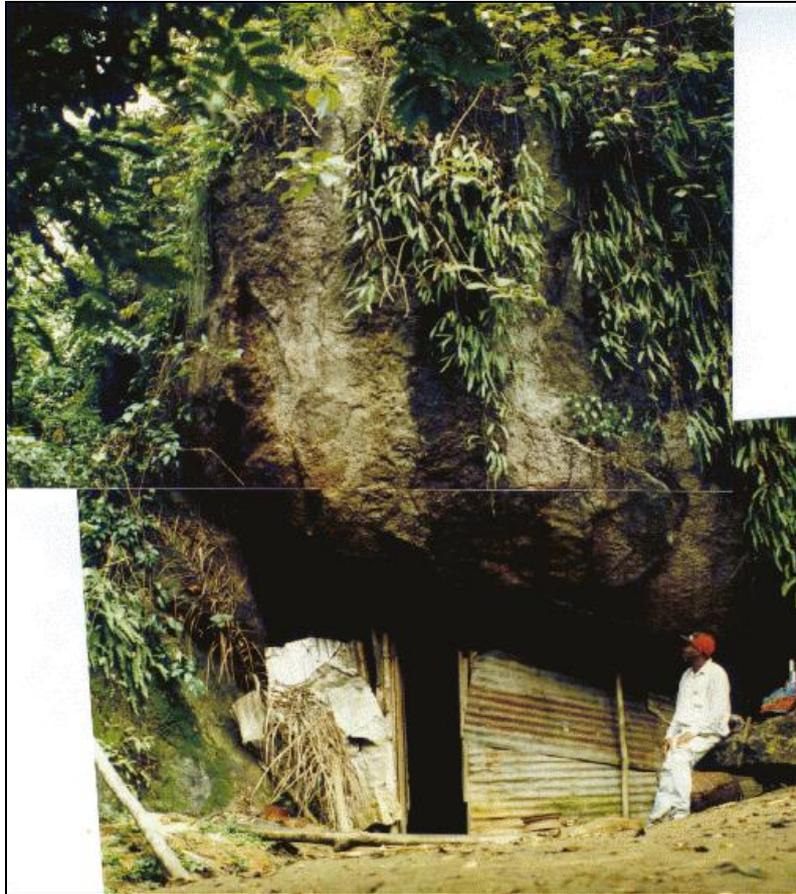


Photo 71. Vue de la grotte troglodytique à proximité du village de Mezesse.



Photo 72. Vue de l'intérieur de la grotte troglodytique à proximité du village de Mezesse.

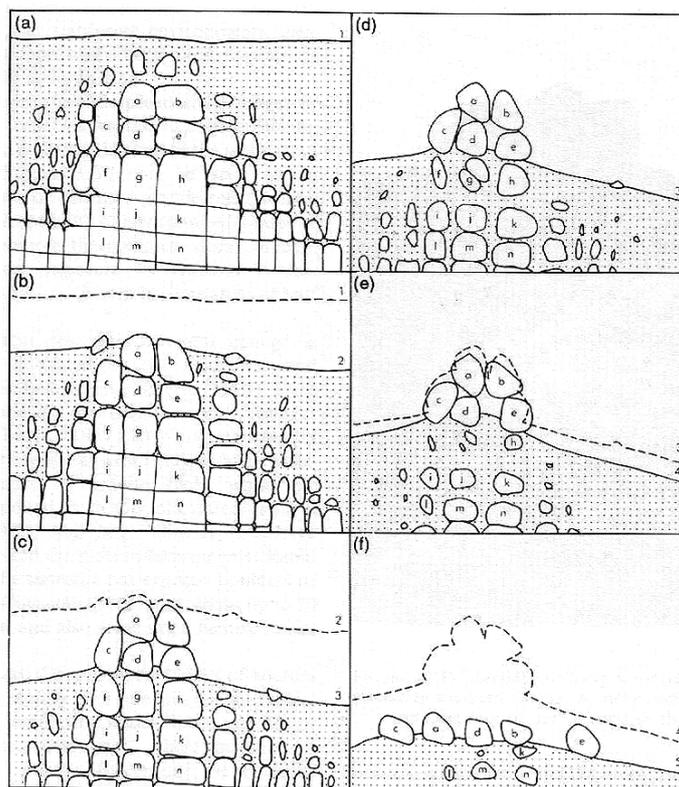


Fig. 78. Formation des chaos granitiques (d'après LINTON 1955 in Thomas, 1994)

6.6 Conclusion

L'ensemble des observations réalisées sur le site de Mezesse et d'Ako Akas montre que de nombreuses morphologies étudiées s'apparentent à celles rencontrées dans les karsts classiques. Fracturations, circulation d'eau, érosion chimique, érosion mécanique, concrétionnement, lapiés sont autant de phénomènes identiques à ceux rencontrés en roches carbonatées. La nature des processus chimiques semble plus complexe. Dans le cas de Mezesse, une dissolution généralisée de la roche est à envisager tout au moins pour la genèse de la conduite forcée. L'analyse de concrétions siliceuses, la découverte de matériaux organiques silicifiés ou de leur empreinte montrent la rapidité de formation du système et une mobilisation importante de la silice. La présence de très nombreux filaments bactériens au sein des spéléothèmes et la morphologie des concrétionnements laissent présager un rôle majeur des micro-organismes dans le développement de ce type de morphologie. Une étude des formes souvent appelées "pseudokarstiques" dans les lithologies granitiques s'avère de plus en plus nécessaire afin de mieux cerner la part des différents facteurs intervenant dans leur genèse et dans la mise en place d'éventuels réseaux souterrains.

VII.7 Conclusions sur les formes du Cameroun méridional

Une partie des différentes morphologies tant souterraines que de surface trouvée au Cameroun méridional montrent la diversité lithologique dans laquelle se développent des formes comparables à celles existant dans les roches carbonatées. Pour certains des cas abordés dans ce travail, l'intervention de micro-organismes semble déterminante dans l'apparition et la pérennisation de vides (grotte de Mfoula, VII.4.3.1, cavité de Mezesse, VII.6.2) ou la formation de concrétions (VII.6.4.1-6.4.2.4). Ils permettraient une dissolution de la roche sur un temps suffisamment long pour permettre la naissance de cavités de grandes dimensions. Ces dernières seront reprises par des processus ultérieurs d'altération liés à l'abaissement des reliefs et éventuellement à une couverture pédologique. Lors de ce dégagement, on peut supposer que le rôle de la dissolution généralisée cède peu à peu le pas à une dissolution partielle de la roche, l'altération se faisant par le biais des minéraux les plus fragiles.

Certains sites, tels que ceux de Mbilibekon (VII.3), Nkolondom-Nkongméyos (VII.4.6.1), Mbasbekon (VII.4.3.2), Angoula (VII.4.4.3), la grotte troglodyte de Mezesse (VII.6.5), s'ils abritent quelques formes de dissolution, sont issus principalement de phénomènes mécaniques (fractures, fissures de décompression, glissement de blocs...) ou une genèse au sein d'un manteau ferrallitique plus ou moins dégagé par des processus mécaniques. D'un point de vue génétique, ils sont donc différent du karst. Cependant, dans le cas de nombreuses formes rencontrées autour du village d'Akok Bekoé (VII.5), une altération ferrallitique peut avoir repris des formes plus anciennes, issues d'une dissolution généralisée de la roche au sein d'un sous-sol. La présence d'enduits siliceux marquerait, sur certaines parois de grottes, la transition entre le sous-sol et la couverture pédologique.

Le nombre de cavités trouvées et explorées, souvent à proximité de nouvelles routes forestières, laisse présager d'importantes découvertes futures dans cette partie de l'Afrique. Ainsi, l'impression de rareté de formes karstiques en roches silicatées non carbonatées peut-elle être le fruit d'un manque d'accès (parfois culturel dans le cas de grottes rituelles), de prospection et non celui d'une réalité. Des recherches ultérieures devraient en apporter la preuve.
