

**LES GROTTES DU MONT HOYO (NE ZAÏRE) .
UN PALÉOENVIRONNEMENT KARSTIQUE
DE PLUS DE 150.000 ANS**

*THE MOUNT HOYO CAVES .
A KARST PALAEOENVIRONMENT OF MORE THAN 150.000 YEARS*

par R. MICHEL

CONTENTS

Abstract	5.
INTRODUCTION	7.
<i>The karstic massive of Mount Hoyo</i>	8.
I. GRANULOMETRY	12.
1. <i>The results</i>	13.
2. <i>Discussion</i>	13.
II. CLAY MINERALOGY	14.
1. <i>The analysis</i>	14.
2. <i>The results</i>	14.
<i>The simple clay minerals</i>	14.
<i>The interstratified minerals</i>	17.
3. <i>Distribution and localization of the different clay minerals</i>	17.
4. <i>Discussion</i>	20.
5. <i>Conclusion</i>	20.
III. POLLEN AND SPORE ANALYSIS	22.
A. <i>The phytogeographical environment of Mount Hoyo</i>	22.
B. <i>The analyses</i>	26.
1. <i>The preparing techniques</i>	26.
2. <i>The results</i>	27.
3. <i>Discussion</i>	29.
4. <i>Conclusion</i>	31.
IV. THE AGE OF THE CONCRETIONS	32.
A. <i>The ¹⁴C dating method</i>	32.
1. <i>Principle</i>	32.
2. <i>Technique and analysis</i>	33.
3. <i>The results</i>	34.
4. <i>Discussion</i>	34.
B. <i>The Th/U dating method</i>	36.
1. <i>Technique and analysis</i>	36.
2. <i>The results</i>	37.
3. <i>Discussion</i>	39.
GENERAL DISCUSSION	40.
FINAL CONCLUSIONS	45.
References	47.
<i>Annexe I : Diffractograms of the clay minerals of some samples</i>	55.
<i>Annexe II : Details of the Th/U radiometric analysis of some carbonate concretions</i>	57.

SOMMAIRE

Résumé	5.
INTRODUCTION	6.
Le Massif karstique du Mont Hoyo	8.
I. GRANULOMÉTRIE	12.
1. Les résultats	13.
2. Discussion	13.
II. MINÉRALOGIE DES ARGILES	14.
1. L'analyse	14.
2. Les résultats	14.
Les minéraux argileux simples	14.
Les minéraux argileux interstratifiés	17.
3. Distribution et localisation des différents minéraux argileux	17.
4. Discussion	20.
5. Conclusion	20.
III. PALYNOLOGIE	22.
A. Le context phytogéographique du Mont Hoyo	22.
B. Les analyses	26.
1. Les techniques de préparation	26.
2. Les résultats	27.
3. Discussion	29.
4. Conclusion	31.
IV. LA DATATION DES CONCRÉTIIONS	32.
A. La méthode par le ^{14}C	32.
1. Principe	32.
2. Technique et analyse	33.
3. Les résultats	34.
4. Discussion	34.
B. La méthode par le Th/U	36.
1. Technique et analyse	36.
2. Les résultats	39.
3. Discussion	39.
DISCUSSION GÉNÉRALE	40.
CONCLUSION FINALE	45.
Bibliographie	47.
Annexe 1 : Diffractogrammes des minéraux argileux de certains échantillons	55.
Annexe 2 : Détails de l'analyse par Th/U de certaines concrétions carbonatées	57.

RÉSUMÉ

Cet article présente les résultats d'une étude multidisciplinaire réalisée sur le paléoenvironnement de deux grottes du massif du Mont Hoyo, situé au N.E. du Zaïre (1°13' N, 29°49' E, 1100 m). Ces grottes (Matupi, Kabambi) sont développées dans des dolomies datant du Précambrien (Lindien ?).

L'étude sédimentologique distingue deux types de dépôts détritiques : le cailloutis et le silt.

L'analyse des minéraux argileux réalisée par diffractométrie DRX a identifié un plus grand pourcentage de kaolinite bien cristallisée dans le silt et dans les planchers stalagmitiques, et la présence de smectite dans le cailloutis.

L'étude pollinique indique l'existence de taxons forestiers dans les planchers stalagmitiques, de taxons de forêt secondaire dans le silt et de taxons de milieu ouvert (savane et/ou de montagne) dans le cailloutis.

L'étude radiométrique (^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) des concrétions a permis de dater quatre phases humides : l'interglaciaire Teleki-Liki (situé entre 115 et 165 ± 15 ka), l'interstade de Kalambo (28.7 ± 0.5 ka), l'optimum thermal de l'Holocène (6.2 ± 0.5 ka) et la dernière grande phase humide de l'Holocène (2.2 ± 0.2 ka).

ABSTRACT

This paper presents the results of a multidisciplinary study of two caves of the Mt Hoyo located in N.E. Zaire (1°13' N, 29°49', 1100 m). These maze caves (Matupi, Kabambi) are developed in Precambrian dolomitic limestones (Lindian ?).

Sedimentology analysis shows two types of detrital deposit : mainly silty or gravelly.

The XRD analysis of clay minerals has identified a higher percentage of well-crystallised kaolinite in the silt deposit and in the flowstone levels, and smectite in the gravel.

The palynological results indicate pollens of equatorial evergreen forest in the flowstones, pollens of secondary forests (gallery forest) in the silt and pollens of grassland and open marsh (savane and/or mountain) in the gravel.

Isotopic and radiometric $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ and ^{14}C dated speleothems from Matupi and Kabambi produce a record of four wet phases during the last 150 ky BP : Interglacial Teleki-Liki (between 115 and 165 ± 15 ky BP), Kalambo interstadial (28.7 ± 0.5 ky BP), thermal optimum of Holocene (6.2 ± 0.5 ky BP) and the last long wet phase of Holocene (2.2 ± 0.2 ky BP).

INTRODUCTION

Durant les vingt dernières années, de nombreuses études réalisées dans des disciplines aussi variées que la limnologie, la géomorphologie, la paléoécologie et la palynologie ont permis de préciser les fluctuations climatiques qui ont affecté le paléoenvironnement en Afrique centrale et orientale depuis la fin du Pléistocène (CLARK & VAN ZINDEREN BAKKER, 1964; LIVINGSTONE, 1967; HARVEY, 1976; VAN NOTEN, 1977, 1982; STOFFERS & SINGER, 1979; ADAMSON *et al.*, 1980; VAN ZINDEREN BAKKER, 1982; VAN NEER, 1984; VINCENS, 1984, 1989; POKRAS *et al.*, 1985; COHEN, 1987; BONNEFILLE & VINCENS, 1989; CASSANOVA *et al.*, 1989; ELENGA *et al.*, 1989; MAHANEY, 1989; JOLY *et al.*, 1989; BROOK *et al.*, 1990; BENGU *et al.*, 1991; ROELAND, 1991; ROCHE, 1992; TAIEB *et al.*, 1991; VINCENS *et al.*, 1991; SOWUNMI, 1991; BONNEFILLE *et al.*, 1992; SSEMMANDA *et al.*, 1993).

L'ensemble des études réalisées à ce jour sur le paléoenvironnement de l'Afrique centrale et orientale ont mis en évidence des phases plus sèches et plus froides alternant avec des phases plus chaudes et plus humides que celles observées à l'heure actuelle. Ces fluctuations climatiques ont eu non seulement une influence directe sur la végétation (VINCENS, 1989, 1991; PREUSS, 1990; BONNEFILLE *et al.*, 1992; ROCHE, 1992) et le niveau des lacs (HARVEY, 1976; HECKY, 1978; COHEN, 1987), mais aussi sur l'environnement karstique (BROOK *et al.*, 1990, 1990b; VAN NOTEN, 1977; VAN NEER, 1984, 1990).

Bien que la connaissance sur les fluctuations climatiques depuis le Pléistocène se précise de jour en jour, les études polliniques réalisées jusqu'à présent ont montré qu'elle était relativement limitée en ce qui concerne l'Afrique.

Seules les études de POKRAS *et al.* (1984) et DE BENGU *et al.* (1991) ont permis de dresser une courbe de l'évolution du climat dans le Golfe de Guinée jusqu'à 150 000 ans BP. Mais, comme le signale BROOK *et al.* (1990), on ne connaissait pas de site continental qui témoigne d'un paléoenvironnement de cet âge en Afrique centrale.

Bien que peu développé au centre et à l'est du continent africain, le karst constitue un milieu privilégié pour l'étude des paléoenvironnements et cela pour plusieurs raisons :
• Les sédiments détritiques des grottes offrent des renseignements précieux concernant la sédimentologie, la palynologie (BROOK *et al.*, 1990), la minéralogie des argiles, l'archéologie (VAN NOTEN, 1977) et la paléoécologie (VAN NEER, 1984).

. A l'inverse des dépôts détritiques, les concrétions (stalagmite, plancher stalagmitique) ne sont pas souvent remaniés et restent donc généralement en vase clos; ils constituent donc des repères stratigraphiques beaucoup plus stables que les sédiments lacustres et les tourbes analysés jusqu'à présent par la palynologie. En effet, dans cette région d'Afrique, la connaissance de la tectonique est très active (CHOROWICZ *et al.*, 1980; MBULUYO *et al.*, 1989; MICHEL, 1991) car elle influence régulièrement les processus géomorphologiques (érosion, dépôt).

Les concrétions des grottes peuvent piéger pollens et minéraux argileux, offrant ainsi des renseignements précieux concernant les conditions climatiques régnant au moment du dépôt. De plus, deux techniques (^{14}C , $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$) permettent de dater les concrétions et dans le cas de celle $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ de dépasser largement les limites d'une datation sûre par ^{14}C qui, à l'heure actuelle sont de l'ordre de 35 000 ans.

LE MASSIF KARSTIQUE DU MONT HOYO

Le mont Hoyo est un massif karstique situé au N.E. du Zaïre, à près de 50 km au S.W. du lac Mobutu (Fig. 1). La couverture végétale y est constituée d'une forêt dense. Les études géologiques du substrat (SLUYS, 1947; RUSCART, 1951; LEPERSONNE, 1968; MICHEL, 1991) indiquent l'existence d'une dolomie gris-blanc datée du Lindien (VERBEEK, 1974) dans laquelle MICHEL (1991, 1992) a dénombré 12 réseaux de grottes dont les plus intéressantes sont appelées Kabambi et Matupi (Fig. 2 et 3).

Avant l'étude de MICHEL (1991), seule la grotte Matupi avait fait l'objet d'une étude descriptive (RUSCART, 1951; OLLIER & HARROP, 1963) et seul le plan de la grotte Matupi avait été dressé (MICHEL & POTY, 1973).

De par son origine, sa morphologie (un réseau en labyrinthe) et ses dépôts, le karst du Mont Hoyo constitue un bel exemple de karst noyé ayant évolué en karst polygénétique.

La corrélation existant entre l'orientation du réseau karstique et la tectonique cassante du Rift Ouest Africain (CHOROWICZ, 1983, 1985) montre l'influence déterminante de la structure géologique sur la genèse de ce karst dont l'origine doit se situer au Miocène ?

Les grottes du Mont Hoyo se caractérisent par un colmatage important d'éléments détritiques (silt, cailloutis) et de concrétions (particulièrement des planchers stalagmitiques étagés). L'analyse minéralogique des concrétions prélevées dans les deux grottes précitées (MICHEL, 1991, 1992) a permis d'identifier deux carbonates (calcite, aragonite) et un sulfate (gypse).

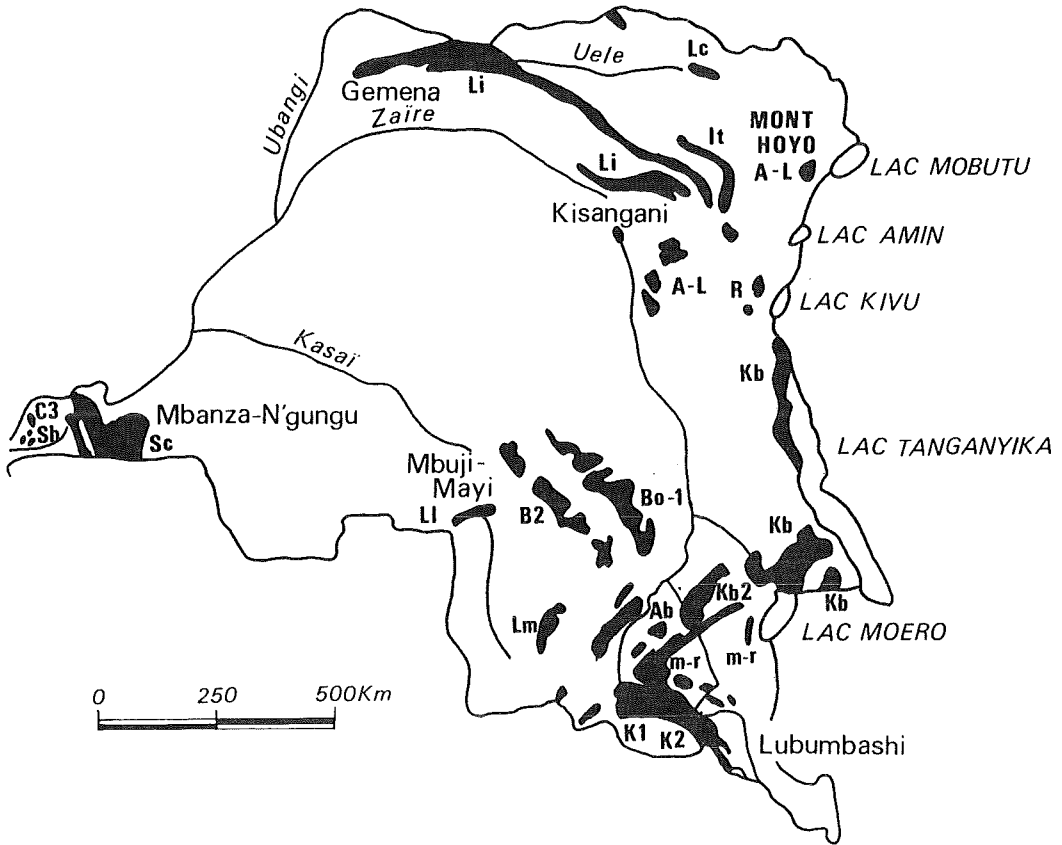
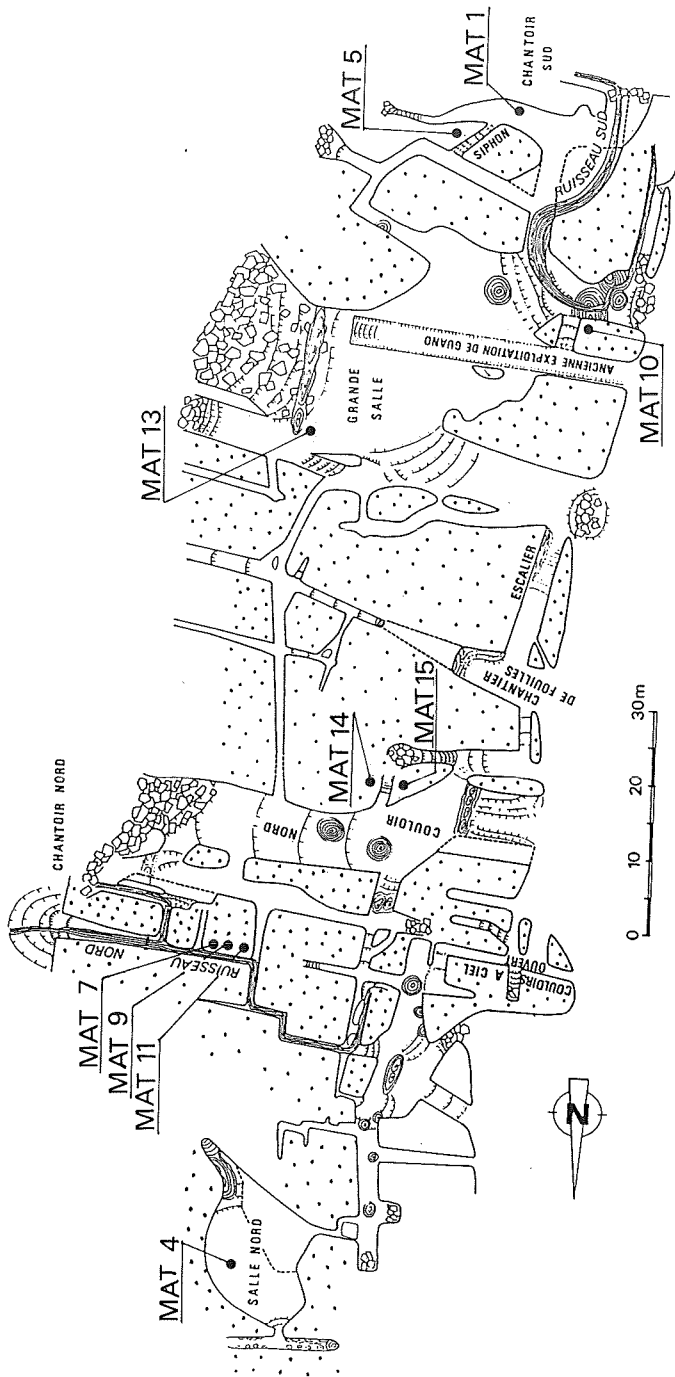


Fig. 1 : Formations carbonatées du Zaïre
Carbonate formations of Zaire



LEVÉ PAR R. MICHEL ET E. POTY, 1974

Fig 2 : Plan avec la localisation des dépôts et des concrétions étudiés dans la grotte Matupi.

Map with the localization of the studied deposits and concretions in the Matupi cave.

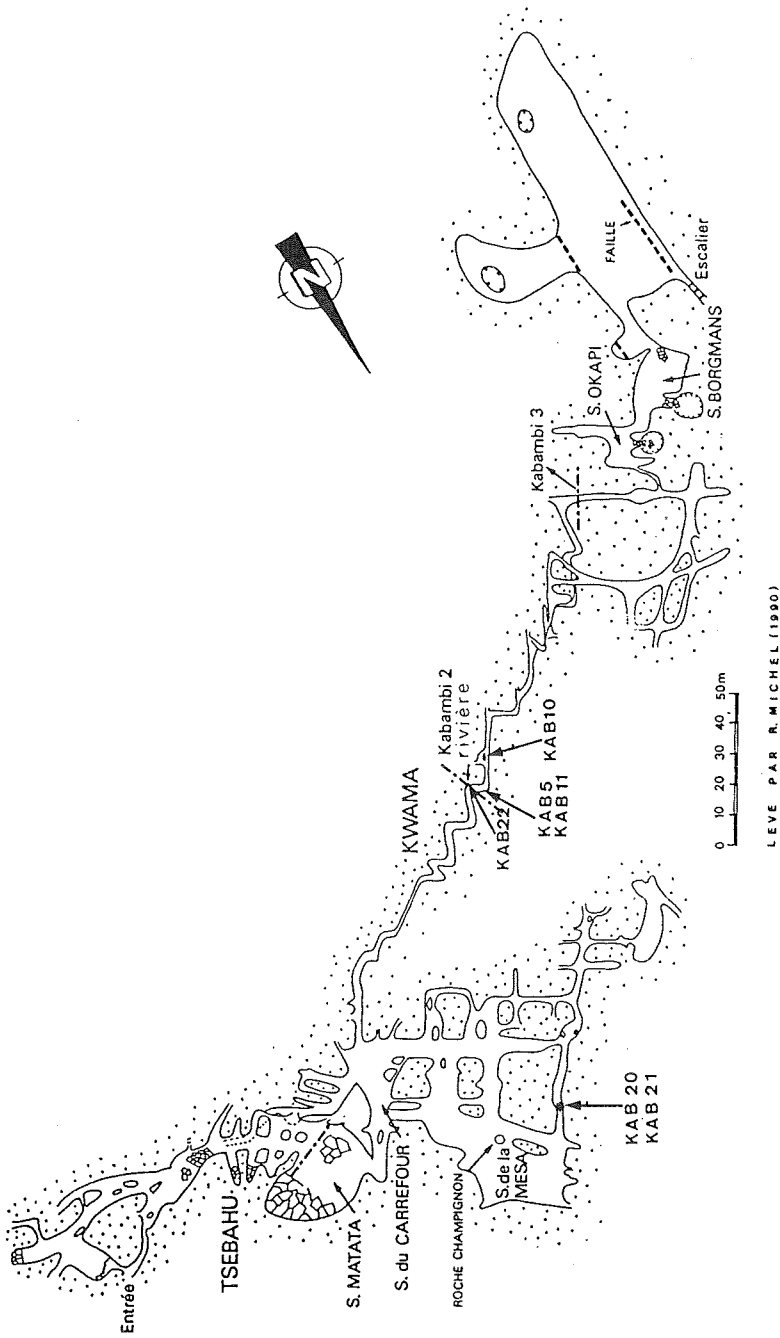


Fig. 3 : Plan avec la localisation des dépôts et des concrétions étudiés dans la grotte Kalambi
Map with the localization of the studied deposits and concretions in the Kalambi cave

La grotte Matupi a déjà fait l'objet de trois études de paléoenvironnement. VAN NOTEN (1977, 1982) et VAN NEER (1984, 1990) ont fait une analyse pollinique et paléoécologique des dépôts détritiques situés à l'entrée de la grotte. Tandis que BROOK *et al.* (1990, 1990b) ont réalisé une étude pollinique et radiométrique de plusieurs stalagmites.

Notre étude se fonde sur une analyse multidisciplinaire (géomorphologie, sédimentologie, minéralogie, palynologie, géochronologie) des dépôts détritiques et des concrétions (surtout les planchers stalagmitiques) de ces mêmes grottes Matupi et Kabambi, qui sont les plus représentatives et les plus complètes du massif.

Nous pensons qu'elle constitue la première étude de ce type qui ait été réalisée dans le karst de l'Afrique centrale.

I. GRANULOMÉTRIE

L'étude sédimentologique s'est concentrée sur les dépôts qui avaient été piégés dans les planchers stalagmitiques. Elle n'a pris en considération que les sédiments des conduits car les salles ont subi de profonds remaniements dont un des plus spectaculaires est le dépôt de guano.

Le profil type observé aussi bien dans la grotte Matupi que dans celle de Kabambi se caractérise de haut en bas de la manière suivante (entre parenthèses, les échantillons de référence) :

- cailloutis (schiste, grès) à matrice fine (MAT 9)¹;
- limon avec des éléments de schiste et de grès épars, très altérés (MAT 1);
- silt du siphon avec des traces de matières organiques (MAT 5).

A plusieurs endroits de ces deux grottes, la partie supérieure du cailloutis a été concrétionnée par un plancher stalagmitique. On observe des traces de ce cailloutis à la base des planchers MAT 10 et MAT 13.

Le limon fin (silt) de la base du profil constitue le dépôt le plus abondant (souvent plus de 2 m); il a obstrué le siphon de la grotte Matupi et les conduits (surtout les plus étroits) des grottes du massif.

¹ La localisation des échantillons est indiquée sur les figures 2 et 3.

- *The localisation of the samples are noted on Fig. 2 and 3.*

1. LES RÉSULTATS

L'analyse granulométrique s'est concentrée sur la matrice du cailloutis (MAT 9) et les silts de la grotte Matupi (MAT 1, MAT 5) : la matière du cailloutis grossier présente 58.8 % de grains inférieurs à 62.5 μm et contenant un cailloutis avec une médiane de 37 μm ; les limons fins (silts), 43.5 % de grains inférieurs à 62.5 μm et contenant une médiane de 10 μm .

	Plus grande largeur moyenne (mm)	Mediane		Indice d'Otto		Indice de Folk et Ward		Q de Φ Sigma Krumbein		HE de Cailleux
		Phi	μm	Phi	μm	Phi	μm			
1) Matrice de cailloutis (MAT 9)	31.2	4.74	37	2.41	187	3.10	109	4.84	7.17	2.296
2) Limon inter- médiaire (MAT 1)	0.42	6.63	10	-	-	-	-	-	-	1.109
3) Silt (MAT 5)	0.42	6.44	11	-	-	-	-	2.25	3.33	1.083

Tab. I : Analyse granulométrique - *Granulometric analysis*

Au point de vue du triage, on observe des indices correspondant à des matériaux mal classés. La courbe cumulative montre cependant un classement moins mauvais pour les grains dont la taille est comprise entre 4 et 50 μm .

2. DISCUSSION

L'analyse granulométrique des dépôts détritiques (cailloux, silt) suggère une évolution dans les conditions de mise en place.

Une succession de séquences similaires (dépôts fins, dépôts grossiers) a déjà été mise en évidence au Shaba (ALEXANDRE-PYRE, 1971; MOEYERSONS, 1975; ALEXANDRE, 1979; MBENZA & ROCHE, 1980; MBENZA *et al.*, 1984) et au nord-est de l'Angola, CLARK et VAN ZINDEREN BAKKER (1962).

Pour la plaine de Lupembashi, ALEXANDRE et STREEL-POTELLE (1979) suggèrent des conditions climatiques xériques pour la mise en place du complexe

sédimentaire grossier et un climat à saison contrastée pour le remblaiement des dépôts fins.

Dans le cas du Mont Hoyo, le dépôt du silt doit être contemporain d'une période érosive, celle-ci a dû se réaliser lors d'une régression forestière (DUNNE, 1971) (climat de transition : humide-sec).

Des conditions xériques seraient contemporaines du dépôt de cailloutis (granulométrie, classement).

II. MINÉRALOGIE DES ARGILES

1. L'ANALYSE

L'analyse des minéraux argileux réalisée par diffractométrie DRX a porté sur les dépôts détritiques, les concrétions et le substratum. L'appareil utilisé est de marque Philips P.W. 1050.

L'analyse diffractométrique classique (en routine) fait appel à trois tests (v. également annexe 1) :

- échantillon séché à l'air, dit échantillon normal (N);
- échantillon solvaté aux vapeurs d'éthylène glycol (EG);
- échantillon chauffé à 500° C (500).

Des post-traitements (saturations cationiques) au Li et au K ont été réalisées sur les échantillons contenant de la smectite.

2. LES RÉSULTATS

LES MINÉRAUX ARGILEUX SIMPLES

Les illites

L'illite constitue le principal minéral argileux observé dans les échantillons analysés; sa contribution relative varie cependant suivant le type et la localisation du dépôt (Tab. II) :

- cailloutis (MAT 4, MAT 9, KAB 5) : 79 %;
- limon intermédiaire (MAT 1) : 71 %;
- silt de base (MAT 5, MAT 5b) : 65 %;

- plancher stalagmitique (MAT 14) : 81 %;
- schiste non altéré du bed rock (MH 2)¹ : 90 %;
- schiste altéré du cailloutis (MAT 7) : 59%.

L'indice d'aigu varie entre 2 et 14 mm. Les valeurs les plus faibles (illite à pic-aigu) s'observent dans certaines concrétions (MAT 15, MAT 11), dans le bed-rock (MH 3) et dans le cailloutis (MAT 9, KAB 5).

Les valeurs les plus élevées (cf. illite ouverte) s'observent dans les dépôts fins (silt) observés dans le siphon de la grotte Matupi (MAT 5 et MAT 5b) et dans l'horizon humifère de surface (MH 1).

L'indice d'Esquevin oscille entre 0.36 (MH 2) et 0.50 (MH 1) indiquant par là une composition de muscovite.

La kaolinite

A l'exception de la dolomie et du schiste du bed rock, la kaolinite est observée dans tous les échantillons. Toutefois, il est important de faire la distinction entre les formations suivantes au point de vue de leur contenu relatif :

- dépôt de cailloutis (MAT 4, MAT 9, KAB 5) : 8%;
- silt (MAT 5 et MAT 5b) : 24 %;
- plancher stalagmitique (MAT 14) : 8 %.

A l'exception d'un échantillon (MAT 5), les valeurs des indices d'asymétrie indiquent des profils asymétriques vers les petits angles de diffraction ($a < b$; I.A. < 0).

La chlorite

Dans les échantillons analysés, la chlorite ne s'observe que dans le schiste non altéré, situé stratigraphiquement au-dessus de la dolomie où elle représente près de 10 % du total des minéraux argileux.

La vermiculite

L'examen des diffractogrammes montre que la vermiculite ne représente qu'un constituant peu important (3 %) des dépôts fins (MAT 5 et MAT 5b) et 13 % dans le schiste altéré (MAT 7).

¹ Les échantillons M.H. ont été prélevés dans ou sur le substrat de part et d'autre du niveau karstifié. Les sigles sont repris dans le Tableau II.

- *M.H. samples have been taken in or on the rocks under or over the karsted formation. The different notations are to be found in Table II.*

Tab. II : Analyse minéralogique des argiles (I : illite; c : Chlorite; K : Kaolinite; V : Vermiculite; Sm : Smectite; I_A : Indice d'Aigu; IE : Indice d'Esquevin; * (14 C - 14 Sm)
 - Clay mineral analysis

Minéraux argileux (%)	I	C	K	V	Sm (10-14V)	(10-14Sm)	Autres	I _A mm	IE	AS	K/I	Sm/I	Sm/I (10-14Sm)/I)	Sm/K
Nature et localisation des échantillons														
1. Schiste non altéré (escal. Venus) (MH 2)	90	10					Quartz	4	0.36					
2. Horizon (A) sol sur dolomies (MH 1)	65		11		24		Quartz	8	0.5	-0.33	0.16	0.37	0.37	2.2
3. Plancher stalagmitique (Matupi) (MAT 15)	96		4				Quartz	2	0.42	-0.5	0.03			
4. Plancher stalagmitique (Matupi) (MAT 14)	81		8		11		Quartz-Goethite	7	0.44	-0.5	0.1			
5. Schiste altéré cailloutis (Matupi) (MAT 7)	59		11	13	8	9	Quartz	6	0.41	-0.7	0.18	0.14	0.28	1.5
6. Cailloutis Salle N (Matupi) (MAT 04)	79		5		10	6	Quartz	6	0.38	-0.8	0.06	0.13	0.20	3.2
7. Cailloutis couloir (Matupi) (MAT 9)	77		7		6	10*	Quartz	4	0.38	-0.5	0.09	0.08	0.20	2.3
8 Cailloutis réseau actuel (Kabambi) (Kab 5)	80		13		13.5	3.5	Quartz	4	0.45	-0.6	0.16	0.07	0.09	0.5
9. Siphon haut (Matupi) (MAT 5B)	69		23	1	4		Goethite-Quartz>10		0.45	-0.2	0.33			
10. Siphon bas (Matupi) (MAT 5)	61		26	4.5	8.5		Goethite	>10	0.45	0.11	0.42			
11. Près chantoir sud (Matupi) (MAT 1)	71		13	6	3	7	Quartz	7	0.42	-0.2	0.18	0.04	0.04	0.23
12. Dolomie des grottes (MH 3)	100						Quartz	2	0.38					
13. Concrétion Matupi (MAT 11)	100						Quartz	2	0.43					

Les smectites

Sur le diffractogramme les smectites (*s.l.*) se distinguent des autres minéraux argileux par un pic à 17 Å (001) au test à l'E.G. (annexe 1). La différenciation entre smectites ne peut se faire que si on réalise un post-traitement (K, Li) dont le résultat dans le cas présent, indique une composition de montmorillonite.

La smectite s'observe tout particulièrement dans l'horizon humifère MH 1 (24 %), dans le schiste altéré (MAT 7) (8 %) et dans le cailloutis (MAT 4, MAT 9, KAB 5) (7 %). Le post-traitement (K) de l'échantillon MH1 indique dans ce cas la présence d'une argile de transformation. Un post-traitement (Li) a permis d'identifier de la montmorillonite.

LES MINÉRAUX INTERSTRATIFIÉS (10-14V) (10-14 Sm)

A l'exception de la dolomie (MH₃) et de l'horizon humifère (MH₂) les minéraux interstratifiés sont présents dans tous les échantillons étudiés. Cependant, il faut faire une distinction entre la présence de (10-14Sm) dans les cailloutis (MAT 4, MAT 9, KAB 5) et la présence de (10-14V) dans le silt (MAT 5, MAT 5B) et dans le plancher stalagmitique (MAT 14). Signalons également la présence de (14C-14Sm) dans l'échantillon MAT 9.

3. RÉPARTITION ET LOCALISATION DES DIFFÉRENTS MINÉRAUX ARGILEUX

De par sa morphologie et sa structure (graben inversé), le massif du Mont Hoyo constitue un site privilégié pour l'étude des paléoenvironnements à l'aide d'une analyse des minéraux argileux. En effet, les sédiments observés dans les grottes ne peuvent provenir que de la partie du massif située stratigraphiquement au-dessus de la dolomie des grottes.

Afin de mieux comprendre l'origine et la genèse des dépôts des grottes, l'étude des minéraux argileux a été réalisée dans quatre niveaux différents : le substratum, l'horizon humifère de surface, le dépôt des grottes et les concrétions (fig. 4 et Tab. II).

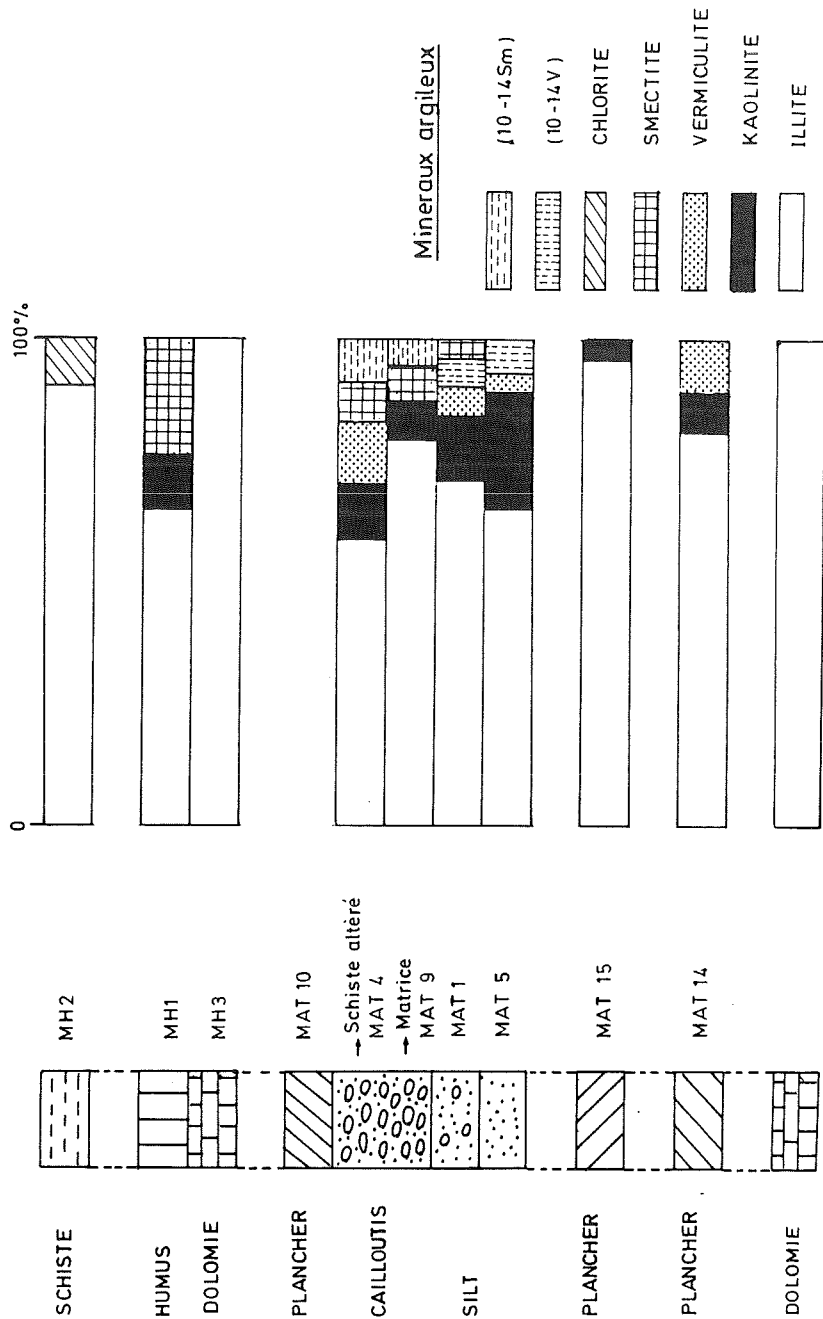


Fig. 4 : Les minéraux argileux dans la roche encaissante et dans une succession-type de dépôts de caverne (Matupi)

The clay minerals of substratum and in a typical sequence of cave deposits (Matupi)