

ASPECTS DE LA MORPHOGENESE KARSTIQUE EN REGION
TROPICALE HUMIDE A SAISON SECHE

(Versant Sud -Est du plateau des Kibara. Shaba,Zaire)

Karst geomorphology in a tropical region with dry season
(SE slopes of the Kibara plateau, Shaba, Zaïre)

TSHIDIBI Nyama ya Badi*

ABSTRACT

Observations on tropical karst landforms of the south-eastern slope of the Kibara plateau allowed us to describe precisely, the mechanisms and the factors leading to a tropical superficial lapies and a pillar karst.

The delicately engraved lapies have been related to rain-water flow with a high CO₂ content from the atmosphere soil-vegetation complex of an intertropical environment; and also to the relative homogeneity of the limestone strata, particularly fine grained oolitic layers.

The pillars have been considered as the remains of a residual part of ancient cave walls. They became subaerial owing to the collapsing of the cave roof. This phenomenon is the result of two essential mechanisms : - important lateral solution that has contributed to coalescing of underground galleries (formation of the "pillar rooms"), - important vertical solution controlled by infiltration waters more important than the running waters in galleries. The large widening of the joints led to the formation of underground reversed funnels at the expense of the ceiling of the galleries, followed by overhanging rocks. The large amount of carbon dioxide from the tropical soil-vegetation complex also played an important role in these two last mechanisms.

RESUME

Les observations faites sur le karst tropical au sud-est du plateau des Kibara ont permis de connaître d'une part, certains facteurs de la dissolution du calcaire en surface, notamment les lapiés à ciselures fines; et d'autre part, les mécanismes qui ont contribué à la formation d'un

* Département de Géographie, UNAZA, B.P. 1825 Lubumbashi (Zaïre). Actuellement, Laboratoire de Géographie Physique, Université de Liège, 7, Place du 20-Août, 4000 Liège (Belgique).

karst à piliers.

Les ciselures fines ont été mises en relation avec d'une part, l'impact des gouttes de pluies et surtout avec un ruissellement subaérien utilisant des eaux riches en CO_2 produit par le complexe air-sol-végétation qui caractérise les régions intertropicales, d'autre part, l'homogénéité relative de certains bancs calcaires, notamment les assises du calcaire oolithique à grain fin.

Quant aux piliers karstiques, l'étude a permis de les considérer comme les vestiges de parois d'anciennes galeries souterraines devenues subaériennes après l'effondrement de leur toit. Ce fait a été mis en relation avec certains mécanismes dont deux principaux : - la dissolution latérale plus importante, débouchant sur la coalescence des drains souterrains (formation de salles à piliers), - l'augmentation de la dissolution verticale qui dépend plutôt de l'infiltration. Cette dissolution a engendré la formation d'entonnoirs, la mise en porte-à-faux de larges blocs puis l'éboulement de ceux-ci. Le rôle de la teneur en CO_2 du sol sur ces deux composantes a dû être prééminent.

INTRODUCTION

Les paysages karstiques ont été étudiés par MORTELMANS (1956), dans une partie du Shaba méridional; plus précisément dans le sud où le karst est installé sur le Kundelunguien plissé. Nous citerons notamment les dépressions et lapiés signalés dans les environs de Lubumbashi et à Kipushi dans le calcaire de Kakontwe (Kundelunguien inférieur). La grotte Kya N'topo à Lubudi est célèbre pour ses figurations rupestres. Les grottes dans les couches de Kakontwe à Likasi et à Mulunguishi sont également connues depuis bien longtemps.

Pour ce qui est du karst observé au sud-est du plateau des Kibara, sa formation s'est faite dans le Kundelungu supérieur (Précambien) qui, dans cette région, a conservé une structure tabulaire pendant le plissement lufilien. La lithostratigraphie dans cette partie du Shaba (entre Kiubo et Mitwaba), reste jusqu'ici mal connue (TSHIDIBI, 1979). Le niveau calcaire jalonné par les villages Mombolo, Muvule et Musabira (chutes de Kiubo), est assez bien connu par ses magnifiques grottes; celles-ci sont particulièrement bien développées respectivement à Kakilumbo, à Kibakishi et à Kiankomena (carte géologique C.S.K., 1952; Fig. 1).

L'étude pétrographique en lames minces de ces niveaux calcaires est encore en cours mais, elle révèle dès à présent l'existence d'une grande variété de roches carbonatées. On y trouve entre autre, de la

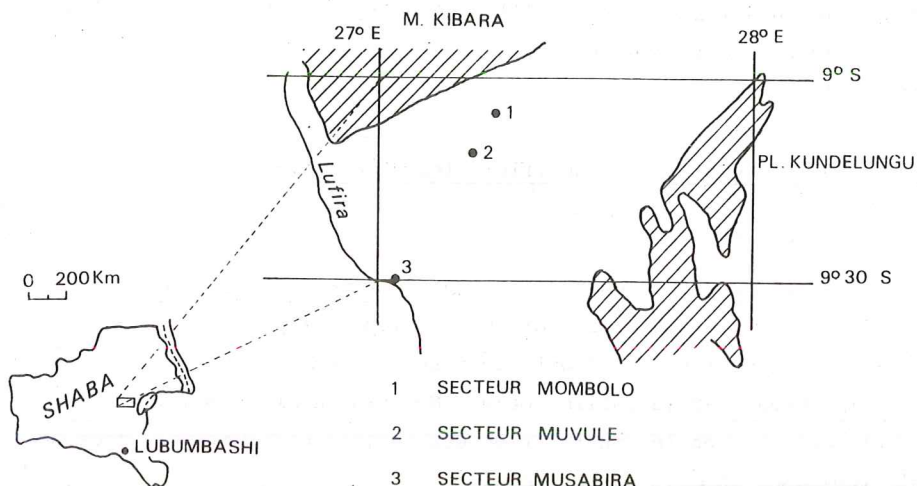


Fig. 1 : Carte de la localisation des paysages karstiques étudiés.

micrite (à grain fin), du calcaire très silicifié, du calcaire oolithique à grain fin (10 - 40 microns) et surtout du grès arkosique calcaireux. Il importe de signaler en passant que les calcaires de la région et surtout le calcaire oolithique à grain fin, renferment de nombreux cristaux de pyrite assez gros (souvent plus de 12 mm).

La région est caractérisée par la prédominance d'une végétation de miombo (forêt claire) et d'un couvert herbacé. Les horizons superficiels sont surtout composés d'altérites, de débris schisteux ou gréseux, de débris de cuirasses ferrugineuses et de sable produit par le démantèlement du plateau des Kibara situé plus au nord. La tectonique cassante a eu des répercussions importantes sur la morphogénèse de la région (TSHIDIBI, 1979).

A notre connaissance, les grottes ainsi que les autres formes karstiques de cette partie du Shaba, n'ont pas encore été l'objet d'une étude particulière. Nous en avons étudié les formes de dissolution superficielles (lapiés) ainsi que certains aspects particuliers du karst souterrain (grottes). L'analyse de ces derniers ne sera que partielle et concernera plus spécialement la formation des piliers karstiques. Cette limitation de l'étude vient du fait que si les macrostructures (failles) nous sont assez bien connues, il nous manque un relevé systématique des microstructures dues à la tectonique ou à la diagenèse, c'est-à-dire les

cassures, les diaclases et les failles à petites échelles dont on connaît bien le rôle déterminant dans la karstification souterraine (RENAULT, 1959).

Le développement des formes superficielles de dissolution.

Description des formes.

La dissolution du calcaire en surface est généralisée dans chacun des trois secteurs cités plus haut. Les formes de lapiés y sont particulièrement fréquentes. Elles ont été observées notamment sur les calcaires affleurant sur la colline Beza à Mombolo, à Kiankomena en aval de Kiubo et surtout dans les périphéries des grottes de Kibakishi, près de Muvule (collines Kamaulu et Kakimama).

Les lapiés sont composés essentiellement de rigoles assez étroites, de quelques centimètres à un décimètre. Des arêtes à peine émoussées, se raccordent par une pente qui diminue progressivement au centre des rigoles. Celles-ci partent de micro-dépressions à fond plat (30 à 80 cm de diamètre) situées sur la plan supérieur des bancs calcaires, la stratification étant ici horizontale. Les arêtes sont à quelques exceptions près plus étroites que les rigoles. Elles atteignent à peine quelques millimètres lorsqu'elles se présentent sur le calcaire oolithique à ciment largement cristallisé (oosparitique) - (Ks 132 ?). Sur le calcaire à grain fin, elles deviennent encore plus fines. La profondeur des creux est en général de 4 à 6 fois la largeur des arêtes. En revanche, la largeur de creux est inférieure ou égale à leur profondeur, sauf dans le cas de coalescence entre rigoles qui élimine deux ou plusieurs arêtes.

Le lapiés est particulièrement développé dans les dépressions supérieures à 50 m de diamètre, les parties frontales de ces bancs y sont très affectées par la dissolution. Rappelons que l'on attribue généralement à ces dépressions, une origine tectonique (TSHIDIBI, 1979). Grâce à la dissolution superficielle certains phénomènes sédimentaires des calcaires comme par exemple la stratification entrecroisée apparaissent en microrelief. Tel est le cas, notamment sur la colline Kamaulu près de Muvule.

Outre le lapiés à rigoles fines, des alvéoles de quelques centimètres de section (presque circulaire) et de profondeur de l'ordre de 2 - 4 cm, affectent certaines assises. On les trouve sur les calcaires comportant des lits silicifiés que l'on rencontre notamment au bas des versants de la colline Kimbidi; cette silicification est irrégulièrement

répartie dans la roche.

Les autres formes karstiques observées dans la région sont les dolines; elles se regroupent parfois en ouvalas. Comme ces formes se rencontrent surtout dans la vallée même de la Lufira à Kiankomena, les plus petites d'entre elles sont susceptibles d'être confondues avec des marmites dues à l'érosion fluviale; surtout lorsque ces dernières sont coalescentes et ont été comblées de colluvions. Toutefois, les marmites sont reconnaissables grâce à leurs parois verticales et aussi grâce à la présence de galets arrondis à proximité ou au fond des cuvettes.

Discussions.

Les lapiés observés sous d'autres climats présentent des formes plus grossières et de dimensions plus larges. C'est le cas notamment dans les régions tempérées océaniques où les rigoles ont une largeur de 20 cm et plus (EK, 1973, p. 119). Dans les Pyrénées, cette largeur peut atteindre 40 cm voire quelquefois 60 cm (LOMBARD et VAN DEN EECKHOUDT, 1953, p. 15). Aux flancs des arêtes, il peut exister des rigoles plus fines qui témoignent donc d'une deuxième génération de dissolutions superficielles. Dans les régions de climat subtropical ou méditerranéen (Maroc, Yougoslavie), des lapiés à ciselures fines comme ceux décrits dans le sud-est du plateau des Kibara, ont été rarement signalés (EK, communication orale). Dans d'autres régions intertropicales par contre il existe d'autres exemples de lapiés à ciselures fine; c'est le cas notamment des lapiés développés sur les célèbres pinacles dans la région de Gunong Mulu (Indonésie), (SWEETING, 1979; SWEETING *et al.* et LAVERTY *et al.*, 1980).

Au Shaba même, cette forme de dissolution n'est pas observée partout où l'on a des roches calcaires. Le calcaire de Kakontwe par exemple présente des formes de dissolution engendrées sous terrains de couvertures et dont certaines sont encore à l'heure actuelle en profondeur, quelquefois jusqu'à 60 m (Kipushi). De même à Mbaya et à Mulunguishi, les lapiés n'ont guère l'aspect de ceux observés dans notre région (MORTELMANS, 1956 et ALEXANDRE, communication orale), c'est-à-dire, qu'ils présentent des rigoles plus grossières et beaucoup plus irrégulières. Par contre, sur le plateau des Marungu, l'aspect et les dimensions des lapiés sont plus proches de ceux observés dans le sud-est du plateau des Kibara; les rigoles y sont par ailleurs, associées à de petits alvéoles de même diamètre lorsque la pente est nulle (d'après les diapositives prises par ALEXANDRE).

Les fines ciselures paraissent être uniquement le résultat direct de l'impact des gouttes de pluies et du ruissellement subaérien; tandis que l'action ne peut être aussi délicate sous terrains de couverture ou sous couvert neigeux (l'eau de fonte agissant sur le calcaire avant que la neige ne soit entièrement fondue). L'action du ruissellement subaérien sur le calcaire suppose naturellement la présence de CO_2 en suffisance dans l'eau de pluies. Il semble que cela puisse être le cas dans un climat chaud et humide où le complexe sol-végétation peut produire plus de CO_2 et non dans un climat tempéré ou froid.

Quant aux formes de lapiés développées dans d'autres parties du Shaba, comme le cas de Mbaya et Mulunguishi, les différences sont dues essentiellement à l'existence d'une importante couche d'altérites et de terres de recouvrement qui les mettent à l'abri de l'eau de pluie. Il se forme alors des lapiés et d'autres formes de dissolution couvertes. Ils sont dus essentiellement aux eaux d'infiltration. Il en sera vraisemblablement ainsi pour cette partie du Shaba aussi longtemps que le relief n'y sera pas disséqué pour amener la roche fraîche en affleurement, comme c'est le cas du plateau des Kibara (TSHIDIBI, 1979).

La différenciation des lapiés dans la région semble traduire la variété pétrographique des calcaires, les lapiés à fines ciselures apparaissent surtout sur le calcaire oolithique à grain fin, qui est plus homogène, donc relativement pur. Quant aux alvéoles observés sur le versant de la colline Kimbidi, ceux-ci seraient en relation avec l'hétérogénéité de certains niveaux calcaires. Les endroits plus riches en silice sont, en principe, les seuls à être épargnés de l'action dissolvante de la pluie.

Le relief karstique à piliers.

Observations.

Les piliers ont été observés à Mombolo au bas des versants des collines Beza et Kimbidi, non loin des grottes de Kakilumbo, et surtout à Muvule sur les collines Kakimama et Kamaubu, situées à proximité des grottes de Kibakishi. Les piliers comportent ordinairement deux parties :

- au-dessus, un *chapiteau* toujours constitué d'une même nature lithologique souvent avec des traces de corrosion;
- au-dessous, un *corps* ou *fût* souvent de section équidimensionnelle. Ce fût constitue la partie essentielle du pilier. Il peut être composé de roches différentes ou, au contraire être homogène.



Fig. 2 : Karst à piliers sur une pente faible. Absence totale de rentrants sur tous les piliers.



Fig. 3 : Pilier karstique situé dans une dépression. Chapeau avec l'ine stratification apparente; section différenciée selon la nature de la roche mais restant équidimensionnelle à tous les niveaux. Traces de corrosion visibles à la base.



Fig. 4 : Pilier karstique à fût composé de différentes variétés de calcaires. Angles vifs dus aux diaclases. A l'avant plan, lapiès à cisures fines au niveau du sol.

Le plancher de ces piliers, assez bien dégagé, est constitué dans la plupart des cas, par le niveau du *calcaire rose* qui est un calcaire oolithique à grain fin. Dans certains cas, la partie supérieure de ce niveau constitue la base des piliers. La stratification moins nette de ce niveau, est souvent masquée par sa grande homogénéité. Même s'il est taillé dans d'autres niveaux lithologiques, le fût est anguleux à sub-anguleux, trahissant ainsi le rôle joué par les diaclases. La hauteur totale peut atteindre 7 m, tandis que l'espace qui sépare les piliers est de l'ordre de 3 à 6 m. Le diamètre moyen du fût varie entre 1,3 et 2,5 m (Fig. 2, 3 et 4).

Les *chapiteaux* sont partout constitués d'un grès arkosique calcaireux à faciès schisteux dont la fine stratification apparaît grâce à l'érosion différentielle. Les creux y suivent d'une façon préférentielle les plans de stratification (Fig. 2). Les *fûts* composés d'une seule unité lithologique sont essentiellement formés de l'un des niveaux oolithiques (voir plus loin). Toutefois, bon nombre de fûts ont une composition complexe où se superposent plusieurs variétés de calcaires (Fig. 4). Ceux-ci laissent apparaître une alternance d'unités à caractère arénacé dominant et de couches oolithiques de nature presque uniquement carbonatée. L'examen pétrographique permet d'établir quelques différences parmi les couches de ces deux faciès. En outre, les deux ensembles se comportent de la même manière en ce qui concerne la taille de leurs composants minéraux respectifs. En effet, les deux côtés, les dimensions des grains décroissent du niveau supérieur vers le bas (grano-classement inverse).

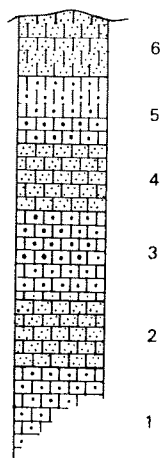


Fig. 5 : Succession lithostratigraphique d'une série récurrente observée sur certains piliers (voir Fig. 4, explications dans le texte).

Les assises 6, 4 et 2 (Fig. 5) sont constitués d'un grès arkosique calcareux; caractérisé par la présence de paillettes de chlorite authigène, d'oxyde de fer, de plusieurs cristaux de calcite de néoformation et surtout de plagioclases transformés ultérieurement en calcite. L'assise 2 diffère des deux unités arénacées supérieures par l'apparition de grains de quartz isométriques d'assez petite taille (quelques dizaines de microns). C'est l'une de deux couches arénacées supérieures qui forme souvent le *chapiteau* sommital des piliers. Les niveaux 5, 3 et 1 sont essentiellement oolithiques avec présence de feldspaths altérés et aussi de nombreux cristaux de pyrite parfois déjà limonitisés. Les oolites des formations 5 et 3 sont généralement zonaires (micrite et sparite). Pour ces deux niveaux c'est la structure oosparitique qui constitue le critère essentiel de différenciation avec la couche oolithique inférieure. En effet, les oolites du niveau 1 se caractérisent surtout par l'absence de zonations et la petite taille des cristaux, de diamètre inférieur à 0,01 mm (micrite). Ceci expliquerait son homogénéité et un degré de pureté plus élevé que les autres niveaux carbonatés.

Les cannelures qui burinent ces fûts rappellent les lapiés. Elles sont longues de quelques centimètres et s'élargissent vers le bas (1 cm) où elles se terminent par une légère concavité. Elles s'effilent progressivement vers le haut où la largeur est réduite à quelques millimètres. Cela semble traduire le rôle des gouttes d'eau de pluie ayant transité sur d'autres niveaux, notamment sur les *chapiteaux*.

Mécanismes de la formation des piliers karstiques.

L'apparition des piliers est associée seulement à certaines grottes (de Kibakishi et de Kakilumbo, voir plus haut), alors que dans les environs immédiats d'autres grottes, notamment celles de Kiankomena, la présence de piliers n'a pas été signalée. Cela semble être directement lié à leur évolution. En effet, les grottes observées dans le rebord sud-est des Kibara, montrent des différences assez marquées dans leur genèse. A Kiankomena, près de Musabira, les galeries sont plutôt courtes (6 à 10 m) et hautes d'environ 3 m; avec des plafonds dont la forme ressemble à celle du faîte d'un toit. En revanche, à Kakilumbo, près de Mombolo, le développement de galeries est beaucoup plus important, du point de vue longueur, largeur et nombre. Il l'est encore davantage à Kibakishi près de Muvule.

On peut considérer les piliers comme étant les vestiges des anciennes parois de galeries souterraines assez larges, devenues subaériennes

après l'effondrement de leur toit. Ces piliers ont ensuite été remodelés légèrement par des agents météoriques dont ils subissent encore l'action.

Nos observations sur le karst souterrain de la région, nous ont apporté des éléments d'explication. En effet, des traces de corrosion spécifiques des parois et surtout des plafonds de galeries souterraines (grottes de Kabakishi et de Kakilumbo) ont été retrouvées sur les piliers surtout au niveau des *chapiteaux*. Les attaques ont dû progresser latéralement et surtout de bas en haut, du toit vers la surface. Elles ont été susceptibles de créer des communications entre les galeries et des galeries vers l'air libre. En effet, sur les plafonds des grottes actuelles apparaissent des formes en entonnoirs (avec un diamètre à la base de l'ordre de 1,80 m et une hauteur de 2 à 3 m). Ces entonnoirs développés dans un niveau oolithique (probablement le niveau 5, Fig. 5) ne dépassent guère le plan de stratification inférieur du grès arkosique calcaireux (niveau 6 ?). Dans certaines galeries, ces entonnoirs deviennent coalescents. Outre ces entonnoirs, il existe également d'autres phénomènes qui ont été observés dans les grottes, notamment en ce qui concerne les importantes cassures qui s'y sont développées et qui sont souvent soulignées par des veines de calcite. Les planchers et surtout les pieds des parois des galeries sont recouverts de quelques petits blocs (les grands blocs (15 - 30 cm de diamètre) se rencontrent quasi exclusivement à l'entrée) et surtout d'autres produits d'altération des calcaires, notamment les argiles résiduelles.

A cause de l'élargissement des diaclases observées dans les drains souterrains et grâce à l'augmentation de l'infiltration depuis la surface, de nombreux blocs de taille réduite (15 à 30 cm de diamètre), se sont effondrés après leur mise en porte-à-faux sur le plancher des galeries. Leur dissolution dans leur nouvelle position a été assurée par l'eau s'écoulant horizontalement. Ils ont fini par être ainsi éliminés quasi complètement. La conséquence ultime de ce mécanisme a été la transformation des galeries souterraines en galeries subaériennes (Fig. 6 A et B). C'est alors que l'eau de pluie a commencé de s'attaquer aux piliers, formes résiduelles de cette érosion complexe.

Dans une telle phase subaérienne, une dissolution des calcaires telle qu'elle se produit dans les rivières souterraines, n'aurait plus été possible. En effet, l'étude expérimentale menée par EK (1969) a montré que dans de telles rivières, l'eau reste le plus souvent sursaturée en CO_2 . Par contre, l'action de dissolution devient négligeable dès que l'eau arrive dans les galeries bien aérées et de ce fait, moins riche

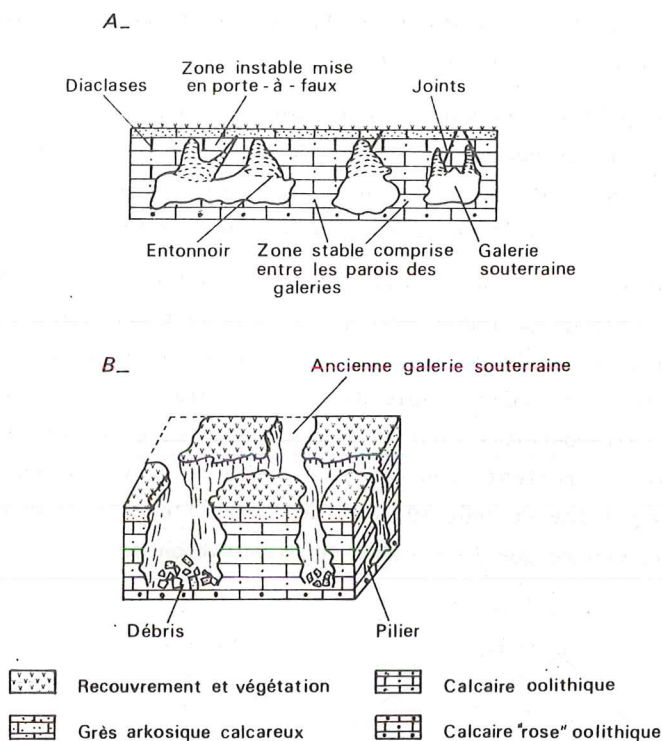


Fig. 6 : A : Coupe montrant la structure karstique souterraine; B : croquis montrant le passage des galeries souterraines aux galeries aériennes et la formation des piliers karstiques.

en CO_2 libéré par un processus régi par la loi de Henry (EK, 1969). Ceci sous-entend que la dissolution du calcaire ne s'exerce de façon importante que durant le parcours souterrain sans communication facile de l'atmosphère des grottes avec l'extérieur.

Il faut toutefois aussi tenir compte de la richesse en cristaux de pyrite de la plupart des calcaires attaqués. Par oxydation, ils sont susceptibles de produire une certaine quantité de H_2SO_4 et l'eau peut de ce fait rester agressive malgré le départ du CO_2 .

Les *fûts*, presque toujours élancés et de section équidimensionnelle, sont quelquefois massifs et de section rectangulaire, allongée selon une direction déterminée. Selon nos observations les formes équidimensionnelles sont situées dans les dépressions ou dans d'autres sites à pente assez douce (Fig. 2 et 3). Au contraire, les formes allongées ne

se rencontrent que sur les versants de collines dont la pente est relativement forte (supérieure à 8°, Fig. 4).

Pour certains piliers, la partie supérieure du fût a un diamètre plus étroit (sur quelques décimètres) donnant des rentrants très nets (Fig. 3). Ces amincissements favorisés par des diaclases, correspondent à des niveaux oolithiques avec une structure oosparitique prépondérante.

Cette augmentation de la dissolution dans des milieux tropicaux humides (vis-à-vis des régions tempérées) qui se poursuit par ailleurs, jusque dans la phase subaérienne des piliers, montre que la température n'est pas ici un facteur indispensable dans la dissolution du calcaire. Quelques relevés de températures ont été faits dans les galeries. Ils révèlent que celles-ci restent sous une atmosphère relativement chaude (de 20 à 24° C en juillet et août 1976). D'ailleurs l'examen du diagramme de la figure 7, montre que le maximum de dissolution du calcaire en

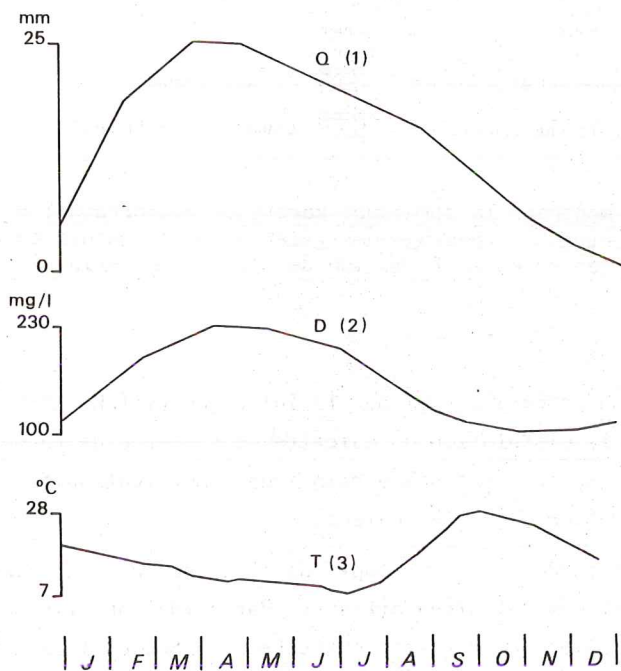


Fig. 7 : Trois diagrammes caractérisant une région intertropicale. 1 : débit des sources (ALEXANDRE, J., 1977 - Shaba); 2 : dissolution du CaCO_3 (ROSSI, E., 1976 - Madagascar); 3 : température (MALAISSE, F. et al., 1972 - Shaba).

région tropicale, coïncide avec la fin de la saison des pluies (ROSSI, 1967 - courbe (2)), période ne correspondant pas au minimum de température qui se situe entre juin et juillet (MALAISSE et al., 1972 - courbe (3)). On remarque aussi sur la même figure, que la courbe (2) a une même allure que la courbe (1) représentant le débit des sources (ALEXANDRE, 1977, p. 123); ce qui dénote une certaine corrélation existant entre la quantité de calcaire dissous et le débit des sources. Cette remarque confirme la thèse déjà avancée par ROSSI (1976) pour Madagascar, selon laquelle la quantité de calcaire dissout ne doit pas être liée à la fonction inverse de la température. En revanche, ce fait semble être révélateur du rôle prééminent joué par le CO₂ dans la dissolution du calcaire surtout pendant les périodes chaudes et humides; où la minéralisation des acides humiques paraît mieux indiquée.

Comme l'illustre la figure 3, les différents stades ayant favorisé le relief actuel des piliers karstiques dans cette partie du Shaba, peuvent être résumés de la manière suivante :

1. la formation des grottes;
2. la dissolution latérale devenant plus importante, comme conséquence de cela, on peut citer la coalescence des drains souterrains c'est-à-dire, la formation de salles à piliers;
3. la dissolution engendrée par la circulation verticale (probablement contemporaine de celle progressant latéralement) devient plus dominante grâce à l'infiltration et l'élargissement des diaclases et joints devenus plus actifs. Elle débouche sur l'apparition des entonnoirs, ensuite sur la mise en porte-à-faux et enfin sur les effondrements des blocs rocheux, qui seront éliminés ultérieurement par la dissolution horizontale encore active.

Il est vrai que ces trois stades ont contribué à la formation des piliers karstiques dans la région grâce surtout aux quantités élevées de CO₂ dues elles-mêmes à la minéralisation rapide des acides humiques, circonstances que l'on rencontre surtout en régions tropicales, et parfois même grâce à la présence des acides minéraux. En revanche, il importe de considérer que l'évolution qui en fait des formes superficielles serait due à un processus essentiellement mécanique.

CONCLUSION

Les secteurs Musabira, Muvule et Mombolo au sud-est du plateau des Kibara, constituent un bel exemple du karst tropical avec des aspects

assez spécifiques; notamment la présence de lapiés à ciselures fines d'une part, et le relief karstique à piliers d'autre part.

L'évolution de la morphogenèse produite dans cette partie du Shaba, par la dissection qui en fait une entité suffisamment érodée (disparition des roches sus-jacentes : grès, schiste, calcschiste, TSHIDIBI, 1979) a permis la mise à nu du calcaire. L'extension assez considérable de lapiés avec des rigoles à ciselures fines a été rendue possible grâce à la présence dans l'atmosphère ou sur la roche nue d'une quantité suffisante de CO_2 dont la relation avec le climat est très probable.

En ce qui concerne les piliers karstiques, on retiendra que ceux-ci sont probablement les vestiges d'anciennes parois de galeries souterraines très élargies et devenues subaériennes après l'effondrement de leur toit. Les mécanismes de leur formation sont principalement dépendants de deux composantes : - l'une horizontale, c'est la dissolution latérale, plus importante; évoluant par un déchaussement plus accentué des parois. La conséquence ultime de cette dissolution est la formation des salles à piliers grâce à la coalescence des drains.

- l'autre verticale, qui est la dissolution par les eaux descendantes. Elle est contrôlée par l'importance des eaux d'infiltration vis-à-vis de l'écoulement concentré dans les drains souterrains. Cela a eu pour conséquence, d'abord des éboulements ensuite, lorsque le plafond initial devenait plus proche de la surface, il y a eu apparition d'entonnoirs, suivie de mise en porte-à-faux et d'effondrement de blocs rocheux (Fig. 3 A et B). Ces derniers seront éliminés progressivement par la dissolution horizontale. Ces deux composantes trouvent leur origine dans la formation préalable de grottes. Elles ont été toutes les deux favorisées par d'importantes quantités de CO_2 disponible au niveau du complexe sol-végétation où la minéralisation des acides organiques est très importante (conséquence climatique). L'oxydation de sulfures de fer (pyrite) contenus dans les calcaires a été aussi susceptible de rendre l'eau beaucoup plus agressive. Chaque pilier karstique peut être considéré comme ayant été au préalable limité par des diaclases, qui sont ici verticales, étant donné la structure.

Il nous paraît donc évident que le développement des piliers est rendu possible grâce aux circonstances favorables ci-dessous :

- a) une structure subhorizontale avec une stratification bien développée;
- b) la présence de quantités importantes de CO_2 au niveau du complexe sol-végétation et la minéralisation des acides organiques (conditions

- climatiques de régions intertropicales);
- c) des niveaux solubles de faible puissance;
- d) la faible profondeur des formations solubles par rapport au relief préexistant.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE, J., 1977. Le bilan de l'eau dans le Miombo (forêt claire tropicale). *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 13, 107-126.
- EK, C., 1966. Faible agressivité des eaux de fonte des glaciers : l'exemple de Marmolada (Dolomite). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 89, B 177-B 188.
- EK, C., 1969. L'effet de la loi de Henry sur la dissolution du CO₂ dans les eaux naturelles. In : *Problems of the karst denudation*, Brno, 53-56.
- EK, C., 1973. Les phénomènes karstiques du bassin de Rio Aragón Subordan (Pyrénées). Leur étagement altitudinal. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 9, 117-122.
- EK, C., 1979. Variations saisonnières des teneurs en CO₂ d'une grotte belge : le trou Joney à Comblain-au-Pont. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 102, 71-75.
- LAVERTY, M., FRIEDERICH, H., WALTHAM, A.C. & BROOK, D.B., 1980. Water chemistry in the Gunung Mulu National Park including problems of interpretation and use. *The Geographical Journal*, 146, 2, 232-266.
- LOMBARD, A. & VAN DEN EECKHOUDT, J.C., 1953. Note sur les phénomènes karstiques dans les Pyrénées (Braces et Camp-Long, B.P.). *Bull. Soc. belge de Géol.*, 62, 9-17.
- MALAISSSE, F., ALEXANDRE, J., FRESON, R., GOFFINET, G. & MALAISSSE-MOUSSET, M., 1972. The Miombo ecosystem : a preliminary study. In : *Tropical Ecology*, P. et F. Golley (Eds), Athens, U.S.A., 363-405.
- MORTELMANS, G., 1956 a. Le pléistocène africain et la stratigraphie au IIIe Congrès Pan-Africain de Préhistoire (Livingstone, juillet 1955). *Soc. Belge de Géol.*, 58-73.
- MORTELMANS, G., 1956 b. Le Congrès Pan-Africain de Préhistoire visite le Katanga. Compte rendu de l'excursion (7 au 14 août 1955). *Soc. Belge de Géol.*, 74-119.
- RENAULT, P., 1959. Réseau de fentes et réseau de conduits en région karstique. *C.R. Som. Sciences Soc. Géol. de France*, 1, 16-17.
- ROSSI, G., 1976. Karst et dissolution calcaire en milieu tropical. *Z. Geomorph. N.F.*, suppl. Bd 26, 124-152.
- SWEETING, M.M., 1979. It always rains in Gunung Mulu. *Geographical magazine*, LI, 4, 271-277.

SWEETING, M.M., DAY, M.J., LEY, R.G., WOODROFFE, C.D. & OSMASTON, H.A., 1980. The Géomorphology of Mulu Hills. *The Geographical Journal*, 146, 1, 1-50.

TSHIDIBI, N.B., 1979. Cartographie géomorphologique d'une région inter-tropicale humide à saison sèche. Partie nord-occidentale du degré carré de Sampwe (Shaba - Rép. du Zaïre). *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, 102, 1, 243-257.