

En hommage à Jean Alexandre, collègue et fondateur du journal Geo-Eco-Trop

Des déserts et des forêts, histoire du paysage et du climat de l'Afrique Centrale au Quaternaire Supérieur

Of deserts and forests, Late Quaternary landscape and climate history of Central Africa

Von Wüsten und Wäldern, Spätquartäre Landschafts- und Klimageschichte Zentralafrikas

JÜRGEN RUNGE¹

Abstract : Nowadays the Central African rain forest is destroyed by many disturbances like bush fires, clearing for agriculture and for needing wood. Economical and political crises with long lasting civil wars and thousands of refugees have locally led to a significant decrease of forested areas. As people in the western world countries commonly believe in an 'everlasting forest' in the 'Heart of Darkness' (Joseph Conrad), the perspective that these forests tend to disappear in the near future is regarded as a great threat. However, research in geo- and biological sciences over the last 40 years have proved that the ecosystem 'rain forest' is not at all as stable as supposed. It had been dramatically influenced by natural variations in climate during the Last Glacial Maximum (LGM) and also during a part of the Holocene. The study demonstrates by many examples from Central Africa how deeply the recent rain forest environments have changed.

Keywords: Central Africa, Late Quaternary, Landscape and Climate History.

Zusammenfassung : Heutzutage zerstören in Zentralafrika Buschfeuer, Rodung und Holzeinschlag die Ressource ‚Regenwald‘. Wirtschaftliche und politische Krisen mit Kriegen und Flüchtlingselend führen örtlich zu einem dramatischen Rückgang der Waldflächen. Da in der westlichen Welt die Vorstellung eines ‚ewigen Regenwaldes‘ im ‚Herzen der Finsternis‘ (Joseph Conrad) verbreitet ist, wird das zunehmende Verschwinden dieses Ökosystems vor dem Hintergrund globaler Umweltveränderungen als bedrohlich empfunden. Geo- und biowissenschaftliche Untersuchungen in den letzten 40 Jahren haben allerdings gezeigt, dass der Regenwald keineswegs ein dauerhaftes und stabiles Ökosystem ist. Während der Eiszeiten und teilweise auch im Holozän zeigten diese Wälder durch natürliche Klimaveränderungen eine erstaunliche Flächendynamik. An zahlreichen Beispielen aus Zentralafrika wird gezeigt, wie grundlegend sich die Umweltbedingungen in den heutigen Regenwäldern verändert haben.

Schlüsselwörter: Zentralafrika, Spätquartär, Landschafts - und Klimageschichte

Résumé : De nos jours, les feux de brousse, le défrichage et le déboisement détruisent en Afrique Centrale les ressources naturelles que représente la forêt équatoriale. Les crises économiques et politiques dégénérant en conflits armés qui, provoquant le drame d'innombrables réfugiés, se soldent localement par une réduction dramatique des zones forestières. En Occident où on entretient encore souvent l'illusion d'une "forêt équatoriale éternelle", "au cœur des ténèbres" (Joseph Conrad), la disparition croissante de cet écosystème dans le contexte des changements climatiques à l'échelle mondiale est vécue comme une menace. Cependant, des études scientifiques géologiques et biologique menées ces 40 dernières années ont révélé que la forêt équatoriale n'a rien d'un écosystème stable et durable. Pendant le Dernier Maximum Glaciaire (Last Glacial Maximum ou LGM) ainsi qu'une partie de l'Holocène, ces forêts ont manifesté, sous l'influence de changements climatiques naturels, une étonnante dynamique sur de larges superficies. En s'appuyant sur de nombreux exemples d'Afrique Centrale, cette étude démontre à quel point l'environnement s'est transformé dans les forêts équatoriales contemporaines.

Mots - clés: Afrique centrale, Quaternaire supérieur, Histoire du paysage et du climat.

¹ Industries Extractives CEMAC, Coopération allemande au développement, B.P. 930, Bangui, République Centrafricaine, email: J.Runge@em.uni-frankfurt.de

INTRODUCTION

En raison de son climat tropical chaud et humide, de sa mauvaise infrastructure et de son instabilité politique et économique, la région centrafricaine est considérée comme l'une des zones les plus difficiles pour réaliser des études scientifiques de terrain. Ceci expliquerait l'insuffisance des travaux de recherche qui lui sont consacrés, comparé au reste du continent. De même, du point de vue de la recherche paléoécologique, les zones de forêt équatoriale centrales et les savanes humides et boisées avoisinantes sont quasiment terra incognita. Jusque dans les années 1960, on était convaincu que la forêt équatoriale africaine formait l'un des écosystèmes le plus stable et le plus immuable de la planète. D'où la surprise de trouver sous forme de paléosols et de sédiments des témoins climatiques livrant des informations contrastées sur le passé, alors que le climat chaud et humide entraîne habituellement une altération chimique intense qui permet difficilement la conservation de la matière organique dans les sols.

Cette recherche constitue un condensé des connaissances des 40 dernières années sur l'histoire du paysage et du climat de l'Afrique centrale au Quaternaire supérieur. Elle associe les résultats d'études de terrain significatifs, propres à cette histoire, à l'analyse des sources afin de livrer une représentation différenciée de la genèse physiogéographique de l'environnement. Elle s'intéresse particulièrement à la reconstitution des conditions paléoécologiques en Afrique Centrale pendant et après le LGM (Last Glacial Maximum). En outre, elle tient compte des différentes théories et conceptions s'efforçant de reconstruire et d'expliquer l'existence d'espaces refuges ('core areas') potentiels pour l'écosystème de la forêt équatoriale sous des changements climatiques donnés.

CHANGEMENTS ECOLOGIQUES EN AFRIQUE CENTRALE SUR BASE DES DONNEES ACQUISES

Traces glacio-morphologiques

Des traces glacio-morphologiques interprétables du point de vue de l'histoire du climat, entre autres des moraines, des dépôts glaciofluviaux et des paléosols, sont décelables sur le bord est du bassin du Congo, le long de la transition continentale qui mène vers le haut plateau de l'Afrique orientale.

Plusieurs études ont été réalisées sur les glaciations du Mont Kenya (5199 m alt., Photos 1 & 2) et du Ruwenzori (5109 m alt.) (HASTENRATH, 1984; MAHANEY, 1990; ROSQUIST, 1990).

Les graviers glacio-fluviatiles de la formation Nanyuki qui s'étalent à 2000 m d'altitude au pied du Mont Kenya sont l'indice d'anciens processus glacio-morphologiques.

De profondes vallées formant des gorges ou des auges marquent la transition entre les sédiments des contreforts et l'aire des glaciers. La cendre volcanique a permis de dater le 'Naro Moru Till' d'au moins 320 ± 20 ka (ka=kilo annum, soit 1000 ans) (CHARSLEY, 1989:171), tandis que des mesures paléomagnétiques de composants de type loess du Naro Moru indiquent un âge de sédimentation maximal de 700 ka (époque Brunhes ; MAHANEY 1990:364).

Des moraines discernables morphologiquement descendent jusque dans la vallée du Teleki à 2850 m d'altitude (Photo 1). Le matériau y est légèrement érodé et recouvert de deux paléosols. Des datations à la thermoluminescence (TL) indiquent pour ce processus un âge d'environ 100 ka (MAHANEY, 1990), ce que l'on peut interpréter comme l'indice de la première forte extension des glaciers après l'ère interglaciaire du Teleki-Liki (Eemien).

Au Mont Kenya, on trouve encore d'autres moraines, entre 3100 et 4000 m, attestant d'autres poussées glaciaires. Ainsi, la naissance du glacier du Liki et ses phases principales I, II et III sont estimées se localiser entre le LGM et le glaciaire supérieur (MAHANEY, 1990:133).

Des couches de matière organique situées entre les moraines du Liki I et Liki II datées au ^{14}C donnent un âge maximal de 12 ka pour la fin de la poussée du glacier au LGM. Pour le Liki III, caractérisé par les moraines les mieux conservées morphologiquement, la datation au radiocarbone fournit un âge de 10-12,6 ka (ALEXANDRE *et al.* 1994:173) ; mais des fluctuations glaciaires plus jeunes, à l'évidence holocènes, datant de 4,4-6,7 ka, prouvent que, du moins localement, la poussée du Liki III est plus récente (JOHANSSON & HOLMGREN, 1985) (Photo 2).

Au Ruwenzori, pour lequel les études sont moins précises, les moraines descendent dans la vallée du Mobuku jusqu'à 2100 m d'altitude. LIVINGSTONE (1962:860) sur base de l'analyse d'un échantillon de forage prélevé au lac Mahoma (0°21'N/29°58'E) à 3000 m, estime, par la datation au radiocarbone, que les sédiments lacustres datent de 14,7 ka et fixe cet âge à la fin du LGM dans les zones élevées du Rift occidental. D'autres groupes de moraines, comme celles du Orumubaho, ne sont pas datés. Mais en raison de leur grande similitude morphologique avec les moraines du Liki III sur les versants du Mont Kenya, ALEXANDRE *et al.* (1994:174) supposent que l'âge minimum de ces formations glaciaires tourne également autour de 10 ka.

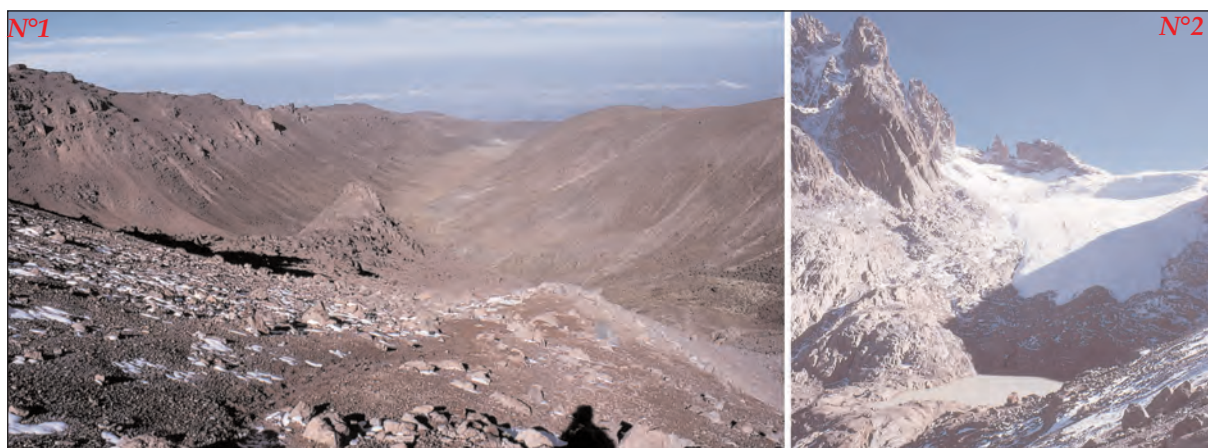


Photo 1 : Vallée en auge du Teleki (Mont Kenya) fortement marquée par le Quaternaire. Vue en direction de Naro Moru (J. Runge 2004)

Photo 2 : Le glacier Lewis et un petit lac glaciaire (Mont Kenya; 5199 m alt.) en 1988. Depuis, ce glacier tropical continue à fondre sous l'effet du réchauffement global de la terre (J. Runge 1988).

L'interprétation climatique des résultats d'analyses glacio-morphologiques pour le LGM (21-18 ka) et pour le point climatique culminant à l'Holocène (altithermal, 8-6 ka) en Afrique centrale et méridionale a été réalisée par PARTRIDGE *et al.* (1999). Tenant compte de l'étude de ROSQUIST (1990), PARTRIDGE *et al.* (1999:208) supposent que la partie montagneuse du Rift occidental a connu une forte poussée glaciaire dans des zones plus basses situées jusqu'à 2110 m d'altitude, un phénomène provoqué en montagne par une dépression thermique de 10 °C au LGM. Dans la partie centrale et orientale du bassin du Congo, les chutes de précipitations sont importantes, entre 50 et 60% selon les estimations de LIVINGSTONE (1971) et de RUNGE & RUNGE (1995). En ce qui concerne le haut plateau de l'Afrique Orientale (Mont Kenya et Kilimandjaro), la progression des glaciers est moins prononcée ; ce qui suppose des chutes de températures plus faibles au LGM, de 7,4 à 8,5 °C (PARTRIDGE *et al.* 1999). Pour la période holocène entre 8-6 ka, on constate un repli glaciaire d'environ 520 m en altitude, par une température 1 à 2 °C plus élevée que de nos jours au Ruwenzori et sur le haut plateau de l'Afrique Orientale. En même temps, le niveau des précipitations augmente de 10-20% par rapport aux relevés actuels dans le bassin oriental du Congo et dans la partie centrale de l'Afrique Orientale (PARTRIDGE *et al.* 1999:211), ce qui favorise l'extension de la forêt humide.

Variations des niveaux lacustres dans le Rift de l'Afrique Centrale

À l'exception des lacs intérieurs du bassin central du Congo, les lacs Tumba (Province de l'Equateur, R.D.Congo) et Mai-Ndombe (Bandundu, R.D.Congo), les systèmes lacustres significatifs pour la recherche paléoclimatique se trouvent à la périphérie orientale du bassin du Congo, dans la partie occidentale de la Vallée du Rift. Les variations de niveau des lacs du Rift peuvent être d'origine climatique et/ou tectonique. Pour l'époque succédant au LGM, ALEXANDRE *et al.* (1994:175) partagent l'idée que le climat serait le facteur essentiel des changements de niveaux lacustres, bien plus que les mouvements tectoniques (p.ex. le soulèvement ou l'affaissement du fond des fossés).

On dispose de données sur l'évolution des précipitations et des niveaux lacustres au Quaternaire supérieur relevées au lac Victoria par KENDALL (1969) et au lac Albert (ex- Mobutu) par HARVEY (1976), SOWUNMI (1991), ROBERTS & BARKER (1993) et SSEMANDA & VINCENS (1993). Pour le lac Kivu, on peut se référer aux études de DEGENS *et al.* (1973), DEGENS & HECKY (1974), HECKY (1978) et HABERYAN & HECKY (1987). Le lac Tanganyika, pour sa part, a été l'objet d'études de géoécologie et d'histoire du paysage dans le cadre d'un programme de recherche interdisciplinaire (e.a. COULTER 1991, TANGAHYDRO GROUP 1992a, 1992b, TIERCELIN *et al.* 1988, 1989, 1992, VINCENS 1993).

En exploitant l'ensemble des données, on remarque que les différents lacs d'étendues et de profondeurs variables que l'on rencontre dans le Rift occidental réagissent en partie de façon hétérogène aux changements climatiques de la fin du Quaternaire. En ce qui concerne le lac Tanganyika, très étendu, les niveaux lacustres ont nettement baissé entre 32-25 ka sous l'effet du froid et de la sécheresse, comme le révèle la présence, dans les sédiments, de pollens originaires des zones bordières montagneuses. Pendant la période LGM située entre 27-17 ka, voire même selon VINCENS (1993) jusqu'à 15 ka, le lac Tanganyika a un niveau plutôt élevé, mais ne s'écoule pas vers l'ouest (Lukuga). Ce n'est qu'à partir de 17-15 ka et constamment jusqu'à environ 12 ka que les eaux du lac diminuent nettement sous l'effet de conditions climatiques semi-arides à arides (froides?). L'aridité culmine aux environs de 14 ka avec une baisse maximale autour de 86 m par rapport au niveau actuel. Au début de l'Holocène, la dynamique des niveaux est très changeante. Les sédiments révèlent de fortes influences volcaniques dues au volcan Rungwe autour de 11 ka (TIERCELIN *et al.* 1988). Sous des conditions climatiques nettement plus humides, le débordement du lac Kivu autour de 9,5 ka (HECKY 1978) provoque quelques milliers d'années plus tard, entre 6,7-6,8 ka, le niveau maximal très marqué du lac Tanganyika. Après une phase intermédiaire entre 5-3 ka, les eaux du lac ont tendance à baisser jusqu'à nos jours.

Le lac Albert (58 m de profondeur), au nord-est du Rift occidental, enregistre un niveau élevé entre 27 et 25 ka, signe de conditions encore humides dans cette zone. Pendant le LGM (ici entre 25-19 ka), ce lac, relativement peu profond, est sans doute largement desséché sous l'effet de conditions climatiques sèches et froides. Dès la période suivante entre 19-14,5 ka, le climat semble s'humidifier rapidement et les eaux du lac remontent fortement. Le maximum d'aridité constaté au lac Tanganyika autour de 14 ka se manifeste également au lac Albert jusque vers 13 ka. Par la suite, le climat gagne constamment en humidité et en chaleur. Le lac commence à se remplir de nouveau jusque dans la moitié de l'Holocène, vers 5 ka. Ensuite et de manière continue jusqu'à nos jours, la profondeur du système lacustre du lac Albert varie selon un modèle intermédiaire de niveaux hétérogènes.

Le niveau du lac Kivu (Photo 3), un lac de retenue volcanique situé entre le lac Tanganyika et le lac Albert, chute de façon drastique de 310 m vers 12 ka! La période suivante, au début de l'Holocène, est nettement plus chaude et humide. Les eaux du lac remontent et dépassent désormais largement le niveau précédent. Le système lacustre du Kivu, jusqu'alors fermé, commence à déborder aux environs de 9,5 ka. A l'extrémité sud du lac, près de Bukavu, un nouveau drainage se développe sous l'action de la rivière Ruzizi (Photo 4),



Photo 3 :Vue aérienne du lac Kivu près de Bukavu(1992). Vue prise du côté congolais en direction du Rwanda. Le lac Kivu, un lac de retenue volcanique, a connu au Quaternaire supérieur des variations de niveaux très marquées (J. Runge 1992).

Photo 4 :La rivière Ruzizi, au sud du lac Kivu a, au début de l'Holocène, constitué un écoulement méridional du système lacustre auparavant fermé vers le lac Tanganyika. Photo prise du côté burundais en direction du Congo/ Zaïre (J.Runge 1991)

qui aboutit 700 m plus bas au niveau du lac Tanganyika. Vers 4 ka, une diminution des eaux d'environ 30 m ramène à nouveau le lac Kivu à un système lacustre fermé. Puis, jusqu'à 1,2 ka, le niveau remonte fortement, entraînant la réactivation de la Ruzizi (HECKY, 1978).

Alluvions et dépôts de pentes

Il n'existe pas de concepts de portée générale pour interpréter d'un point de vue de l'histoire du climat et du paysage les sédiments formés sur les versants et dans les vallées de la zone tropicale humide. Sous les tropiques, les alluvions sont à l'évidence bien plus engrenées avec les colluvions des interfluves que sous les latitudes tempérées. Dans la zone tropicale, le déplacement de matériau fin et grossier plus intense à l'ère glaciaire sur les versants et dans les vallées a entraîné une accentuation morphologique dans l'ensemble moins marquée par les terrasses fluviales. Selon les cas, ceci peut rendre beaucoup plus difficile la corrélation spatiotemporelle de différents niveaux de terrasses et de sédiments alluviaux.

Dans la province de Shaba (plateau du Bianco et vallée de la Lupembashi, ALEXANDRE-PYRE, 1971; MBENZA, 1983; MBENZA *et al.* 1984; ALEXANDRE *et al.* (1994:178) distinguent les sédiments fluviaux selon les phases climatiques humides et sèches. Les couches alluviales situées dans les systèmes de vallées plats et étendus contiennent à leur base, souvent en contact avec la roche mère, une couche compacte de graviers sous berge, également durcie en partie sous l'effet de dissolutions de fer. Celles-ci sont recouvertes de couches variables de sable ou d'argile interrompues par endroits par des bandes de matériau grossier. ALEXANDRE *et al.* (1994) y voient un débris résiduel mis à découvert et déplacé, en relation avec l'enfoncement linéaire du fleuve sous des conditions climatiques humides. VAN ZINDEREN BAKKER & CLARK (1962) situent des accumulations d'éboulis similaires observées près du fleuve Luembe dans le nord-est de l'Angola en premier lieu dans une phase climatique beaucoup plus aride ; l'érosion fluviale, plus récente sous des conditions humides, n'ayant pas encore conduit à une incision à travers le niveau d'éboulis. La datation au radiocarbone des zones supérieures aux couches de graviers sous berge fournit un âge holocène de 6,3-6,8 ka (VAN ZINDEREN BAKKER & CLARK, 1962; DE PLOEY, 1966-68, 1968; ALEXANDRE *et al.* 1994).

RUNGE & TCHAMIE (2000) décrivent des phénomènes semblables dans la vallée du Nianti dans le nord du Togo (Afrique de l'Ouest) et estiment que l'accumulation des larges traînées de matériau grossier date d'environ 18 ka, dans la période Ogolienne. Curieusement, les datations ¹⁴C (AMS) des sédiments organiques relevés dans la vallée du Nianti indiquent

un âge plus récent de quelques centaines d'années seulement. L'étude prouve que l'efficacité morphodynamique des processus fluviaux peut être très élevée sous les conditions semi-humides actuelles (érosion latérale et déplacement de la totalité du corps alluvial au cours d'événements de débits excessifs isolés (RUNGE & TCHAMIE 2000). Dans la vallée du Mbari en République Centrafricaine, on a pu dater à 8 ka des alluvions laissées au repos, épaisses de plusieurs mètres (RUNGE 2002). Ceci confirme la thèse de l'accumulation constante de sables et d'argiles sous des conditions climatiques humides au début de l'Holocène. Au Nigeria, au bord nord-ouest du plateau du Jos, ZEESE (1991) détermine deux phases climatiques humides et froides accompagnées d'un fort creusement de vallée vers 20-18 ka et autour de 11 ka (s'agirait-il éventuellement d'un Dryas plus récent ?). En outre, ZEESE (1991, 1996) fixe à la fin de l'ère glaciaire le comblement de la vallée et l'accumulation désordonnée de sédiments aussi bien alluviaux que colluviaux dans une couche qui atteint 15 m d'épaisseur.

Dans le bassin central du Congo, PREUSS (1986a, 1986b) estime que la sédimentation de la zone de la rivière Ruki (Province de l'Equateur, R.D.Congo), qui s'est déroulée sous des conditions climatiques arides, date environ de 19-17,7 ka, du LGM jusqu'au post-LGM. À la limite occidentale du bassin du Congo, dans le Malebo Pool (Région de Kinshasa, R.D.Congo), DE PLOEY (1964a, 1965, 1968) propose une stratigraphie sédimentaire sur quatre niveaux pour le Quaternaire supérieur: à partir de 42 ka au 'Maluékien', on constate un fort déplacement de matériau, suivi d'une accumulation de sables sur une large surface jusqu'à environ 37 ka; puis, au 'Ndjilien' une podzolisation des sables déposés sous des conditions climatiques humides, chaudes à froides; ensuite, le 'Léopoldvillien', plus froid et sec, indique sous des conditions semi-humides à semi-arides (?) une activité fluviale intense accompagnée d'une incision des surfaces. Avant même le début de l'Holocène, vers 16 ka et peu avant 11 ka, une mobilité sédimentaire marquée par l'érosion et le déplacement des couches supérieures modifie de nouveau le paysage du bassin du Congo. DE PLOEY en conclut à un bref éclaircissement de la couverture végétale sous l'effet du climat, accompagné d'une augmentation de l'activité morphodynamique. De 12 à 3 ka au 'Kibangien', la tendance générale des forêts de l'Afrique Centrale est de nouveau à l'extension.

Dans le bassin central et dans les régions de transition, on rencontre des nappes de gravats ('stone lines') à l'intérieur des couches de surface, un indice stratigraphique d'instabilité et de discontinuité fréquent dans l'évolution du paysage (WAEGEMANS, 1953; STOOPS, 1967; ALEXANDRE & SOYER, 1987; RUNGE, 1992; RUNGE 1997). Selon les chercheurs, les termites - en particulier les termites géants *Macrotermes subhyalinus* RAMBUR (ex *Bellicositermes bellicosus rex*) dont les termitières peuvent atteindre 3-5 m de hauteur et 10-60 m de diamètre (BOYER 1975) - jouent certainement un rôle dans la formation des couches de surfaces et des 'stone lines'. Les très grosses termitières, en partie fossilisées, que l'on trouve dans la forêt équatoriale contemporaine laissent supposer que ces modes de vie ont existé dans un environnement à l'origine de type savane peu boisée et ce n'est qu'à la période holocène que ces monticules ont été recouverts par la forêt en expansion et largement refoulés sous l'effet de changements écologiques. La nette réduction de taux de sédimentation dans la partie sous-marine de l'estuaire du Congo, qui diminue entre 11,2-10,3 ka et 10,3-8,4 ka de 160 cm en 1000 ans à 35 cm par millier d'années (ALEXANDRE *et al.* 1994:184), pourrait être un indice du recul soudain de l'activité des termites sous l'effet du climat et en conséquence d'une réduction de la bioturbation en Afrique Centrale. Des bilans de masses terrestres réalisés empiriquement par RUNGE & LAMMERS (2001) par bioturbation sur le plateau Mbomou pour l'espèce de termite *Cubitermis fungifaber* SJÖSTED indiquent des strates superficielles nées de l'accumulation zoogène jusqu'à 50 cm en 1000 ans sur les surfaces "lakéré" recouvertes de latérite.

Les données sur la dynamique fluvio-morphologique du Quaternaire Supérieur, dans l'ensemble encore peu datées et dispersées sur le bassin du Congo, montrent avec évidence que les changements de climat et de végétation survenus au LGM et au post-LGM ont une

influence sensible sur l'écoulement, la charge en sédiments et les processus d'érosion et de sédimentation des fleuves. La perte en matériau des versants et la structure sédimentaire des 'interfluves' sont, elles aussi, largement influencées par le climat.

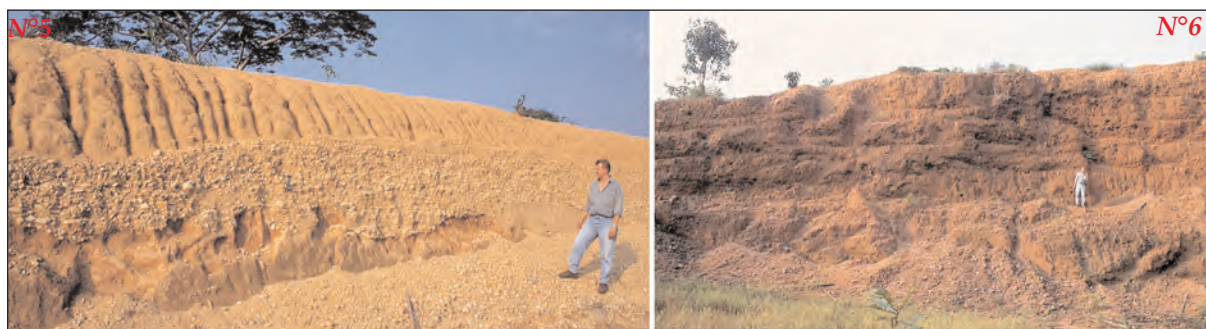


Photo 5: Gravier de terrasse du fleuve Lubutu bien visible datant vraisemblablement du LGM, entre Bukavu et Kisangani, accompagné d'une couverture sableuse holocène (J. Runge 1992).

Photo 6: Traînée puissante de matériau grossier, dont la pente est orientée en direction de l'intérieur du bassin du Congo près d'Amisi (Est du Congo). Cette forme a été interprétée comme le reste d'une traînée sédimentaire (pédiment) tertiaire au cours de la formation du Rift Centrafricain.



Photo 7: Blocs de quartz déplacés et autre matériau grossier au-dessus d'une couche saprolithique argileuse autochtone près de Walikale dans l'est de la R.D.Congo, couverts aujourd'hui par une forêt dense équatoriale (J. Runge 1994).

Photo 8: Importante ouverture de route près d'Osokari (Kivu, est du Congo). Couverture sédimentaire avec stone line et troncs d'arbres fossilisés incorporés (taches sombres dans le profil) dont l'âge a pu être estimé par les datations au radiocarbone du LGM et pré-LGM (J. Runge 1992)

Le long d'un projet de construction routière situé entre Kisangani et Bukavu dans l'ancien Zaïre oriental (Kivu), RUNGE (1997, 2001) trouve de nombreux exemples de structure stratifiée et de complexité des pèdisédiments sous une couverture forestière récente (Photos 5 et 7). En dessous des couches de surface datant de l'Holocène et épaisses par endroits de plusieurs mètres, on y trouve une 'stone line' dominée par du matériau grossier et contenant des quartz et des pisolithes fortement corrodés ainsi que des fragments d'anciennes latérites. Dans la localité d'Osokari près de Walikale, les zones d'érosion saprolithiques profondes formées en dessous des strates de matériau grossier ne sont pas, du moins par endroits, autochtones - contrairement à la conception pédologique largement répandue sous les tropiques - mais bien, elles aussi, le résultat d'intenses processus morphodynamiques de déplacements et d'échanges entre les différentes couches au LGM puis certainement de nouveau au début de l'Holocène (événement du Dryas plus récent). De nombreux troncs d'arbres fossilisés trouvés dans la zone de décomposition kaolinitique (Photo 8) et analysés par la méthode au radiocarbone pourraient remonter à la période comprise approximativement entre 35-15 ka (RUNGE, 2001, 2007).

Les recherches menées actuellement dans l'ouest de l'Afrique Centrale confirment également le haut degré de conservation aussi bien de couches de terrain organiques et par conséquent datables de manière absolue que de vrais paléosols situés dans les zones tropicales humides africaines (RUNGE *et al* 2005, 2006). Le delta intérieur du Ntem, près de Nyabessan dans le sud du Cameroun, permet de reconstruire l'histoire du paysage à proximité de l'Équateur jusqu'à -30.000 ans (Fig. 1, 2). De même, des forages effectués récemment ont permis de dater du LGM des échantillons de sédiments alluviaux relevés au bord du Nyong, son voisin fluvial au nord du Cameroun (SANGEN, 2007).

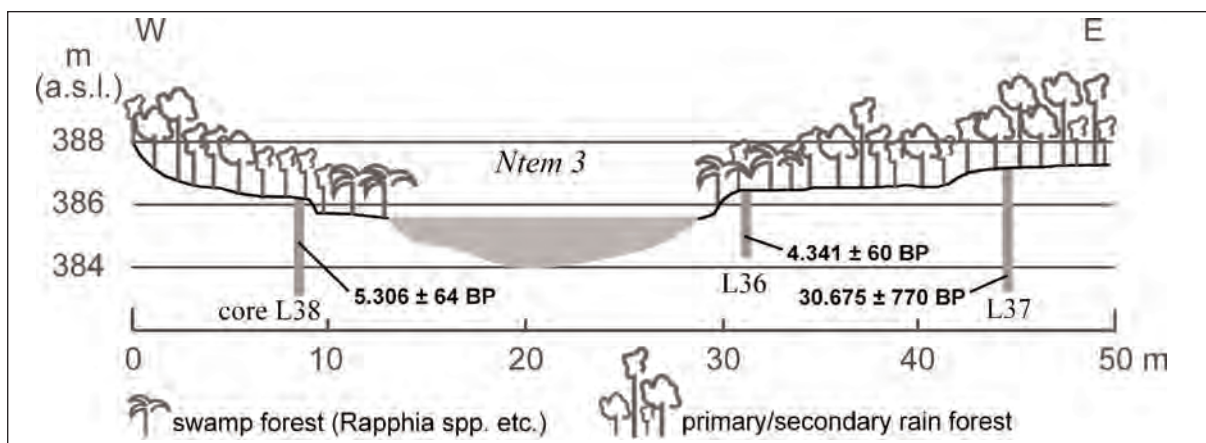


Fig. 1 : Exemple d'une coupe transversale permettant de reconstituer la genèse du paysage à travers le delta intérieur du Ntem près d'Aya'Amang, sur base de profils de forage et datations au ^{14}C dans les zones des berges récentes et des terrasses plus anciennes (SANGEN 2007: 91)

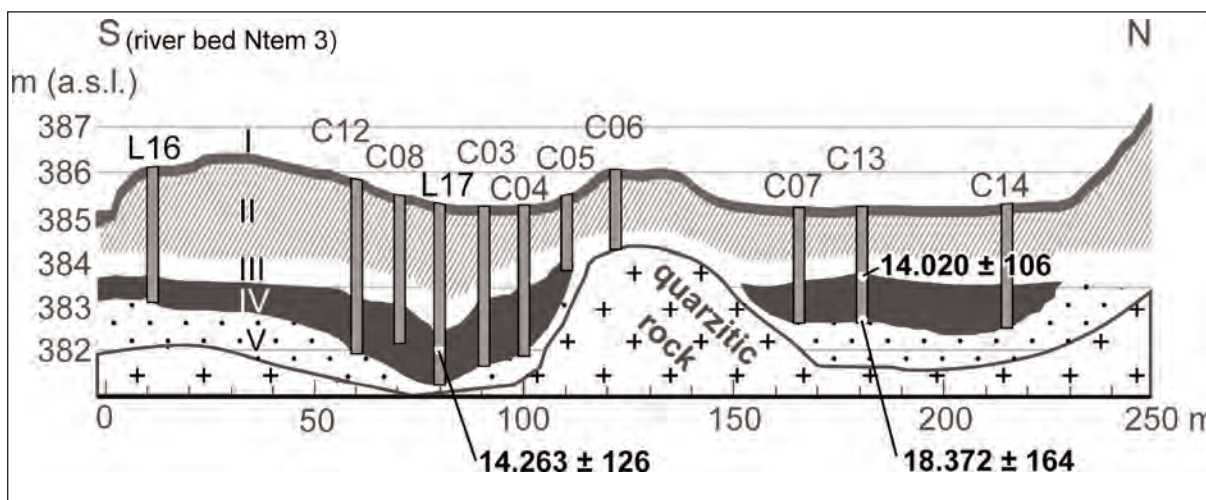


Fig. 2 : Exemple d'une autre coupe transversale à travers le delta intérieur du Ntem près de Meyos. Les échantillons de forage ont permis de reconstruire une large paléosurface et la genèse du paysage. Les datations absolues (^{14}C) des sédiments organiques indiquent un âge LGM (SANGEN 2007: 96).

Dans la forêt de Ngotto au sud ouest de la République Centrafricaine, NEUMER (2007) démontre, à l'aide de nombreuses données isolées relatives aux alluvions du fleuve Mbaéré et d'un 'fan' alluvial - aujourd'hui inactif - situé en forêt équatoriale, que la dynamique du climat et de la végétation reste par moments très forte pour la période holocène dans les basses latitudes de l'Afrique Centrale.

Tous ces exemples soulignent et prouvent que, du point de vue de la dynamique climatique naturelle, la forêt équatoriale n'a pas connu, elle non plus, de persistance géologique mais bien plus qu'elle a réagi de façon très sensible aux bouleversements climatiques.

Traces désertiques de morphodynamique aride

Dans le sud du bassin du Congo entre 5°-12° S et particulièrement dans la province de Shaba, sous des précipitations annuelles moyennes de 1600-1000 mm actuellement, on observe de nombreuses traces de morphodynamique éolienne préhistorique. ALEXANDRE-PYRE (1971:38) rapporte que les vastes niveaux de surface qui s'étendent du bas Congo (Bandundu) jusqu'au Shaba (Plateau du Bianco et Lubumbashi) portent fréquemment d'épais manteaux sableux. Les couches de sable déposées à l'évidence sous l'effet du vent reposent souvent sur une strate de grès polymorphe dont la formation paléogène remonte, selon CAHEN (1954) et ALEXANDRE-PYRE (1971), au Tertiaire. La présence isolée de crêtes d'érosion éolienne sur les cailloux dans le lit des manteaux sableux permet de conclure à un paysage de type fortement aride à semi-aride. Dans les vallées, la plupart de ces manteaux sableux ont été creusés par les processus fluviaux, de telle sorte que les sols sableux s'étendent surtout sur les interfluves et sur les plateaux à 1500-1600 m d'altitude.

Du point de vue morphologique, différents phénomènes paléoclimatiques livrent des informations sur la genèse du paysage du sud du Congo (Shaba):

- des langues de dunes plates dont le tracé parallèle suit depuis longtemps la direction des vents dominants (DE DAPPER, 1981, 1985; THOMAS & SHAW, 1991a);
- des dunes plus petites, en forme de tas, qui se développent sur les flancs de vallées de voies d'écoulement plus larges et viennent interrompre brièvement le système dominant de dunes longitudinales (ALEXANDRE-PYRE, 1971);
- des dunes transversales légèrement arquées et superposées sur leurs bords qui s'étendent perpendiculairement à la direction des vents dominants (DE DAPPER 1981);
- des dépressions plates (poêles) ovales à rondes, à proximité des fonds de vallées.

L'orientation régulière d'E-S-E à O-N-O des dunes de la province de Shaba (10°-11° S) indique d'après ALEXANDRE *et al.* (1994:190) que celles-ci se sont formées en même temps que la partie nord du système Kalahari (THOMAS & SHAW 1991a, 1991b). Dans le sud du Congo, elles se distinguent par leur étendue et la fréquence des dunes longitudinales des langues de dunes situées au nord et au sud du delta de l'Okavango au Botswana (THOMAS 1989:315). Dans un système de dunes réparties en longueur, large de plusieurs kilomètres, l'écart entre deux langues de dunes atteint environ 2 km au Congo, tandis qu'il se réduit nettement à 350 m dans le sud. La hauteur absolue de ces dunes, d'un mètre (!) seulement, indique elle aussi que celles du sud du bassin du Congo se sont très peu développées ou se sont mal conservées et ont souffert d'une forte dégradation. Les dunes du Kalahari situées aux environs des chutes Victoria, à la frontière entre la Zambie et le Zimbabwe, atteignent par contre une hauteur moyenne de 20 m (informations fournies par D.S.G. THOMAS, citation d'ALEXANDRE *et al.* 1994:190). La zone de dunes la plus septentrionale, déjà proche de l'Équateur (4°-5° S) près de Lusambo (LADMIRANT & ROCHE, 1988), s'étire d'O-S-O à E-N-E, ce qui laisse supposer que sa formation géologique se rattache à un autre système de dunes que celui du Kalahari.

SOYER (1983), pour sa part, relève des formes de relief de déflation fossiles sur le Plateau des Kundelungu dans la R.D. du Congo (ex-Zaïre). Selon ALEXANDRE *et al.* (1994), des précipitations annuelles d'au moins 300 mm sont les conditions climatiques préalables à un tel processus éolien. Selon HÖVERMANN (1988:75), des 'critical precipitation values' plus basses conduisent à la formation de formes « climato-morphologiques » de terrain et de sols caractéristiques des déserts du Kalahari et du Sahara. D'un point de vue paléoclimatique, les formations éoliennes complexes (p.ex. les poêles ou les dunes) du Shaba, où les précipitations annuelles récentes sont de 1000-1400 mm, permettent de conclure à un recul très sensible de

l'humidité et de la couverture végétale à l'ère préhistorique. On estime que les précipitations de l'époque atteignaient des mesures limites de 300 mm par an pour les processus morphodynamiques arides actifs des formes déflationnaires et de 150 mm par an pour la formation de dunes. Compte tenu des taux de précipitations actuels, la chute de précipitations de 50-60% survenue, selon les estimations de PARTRIDGE *et al.* (1999:208), dans le centre et le sud-est de l'Afrique au LGM ne suffirait pas à entraîner des processus morphodynamiques arides (voir aussi le grand pédiment sur la photo 6 à l'est du Congo). En l'absence de datations thermoluminescentes (TL) pour cette région, ALEXANDRE *et al.* (1994 : 193) se demandent à juste titre si finalement l'activité éolienne au Shaba ne remonterait pas plutôt au Tertiaire qu'au Quaternaire.

Variations du niveau de la mer

De façon comparable aux lacs du Rift sur le bord oriental du bassin du Congo, l'étude des variations du niveau de la mer sur le littoral atlantique de l'Afrique centrale ne permet pas toujours de différencier nettement les changements tecto-épirogénétiques des variations glacio-eustatiques. L'étroite bande de basses terres de la côte centrafricaine indique des mouvements tectoniques opposés: la zone angolaise a tendance à se soulever légèrement, tandis que les rivages de la République du Congo et du Gabon reculent (GIRESSE, 1980). Les variations glacio-eustatiques du niveau de la mer au Quaternaire supérieur constatées entre Lobito (Angola) et Pointe Noire (République du Congo) ont toutefois permis d'établir une chronologie d'événements paléoenvironnementaux qui se sont succédés au Pléistocène supérieur et à l'Holocène.

Pendant le stade isotopique « oxygène 3 », plus chaud, le niveau de la mer monte, de 42 à 37,7 ka, au - delà du niveau actuel (transgression 'Inchirienne'). Dans l'arrière-pays proche du littoral, des dépressions de terrain et des lagunes se développent, dans lesquelles des argiles compactes, noires et riches en foraminifères se déposent (MALOUNGUILA-NGANGA *et al.* 1990:91). Les pollens relevés dans les couches sédimentaires en partie tourbeuses attestent la présence d'un milieu naturel de forêt ombrophile dominée par les mangroves (CARATINI & GIRESSE 1979:381).

À partir de 24,6 ka, la progression générale des glaciers sur l'ensemble de la planète (stade isotopique « oxygène 2 ») se manifeste sur la côte atlantique centrafricaine par la régression 'Ogoliennne' (MICHEL, 1973; ALEXANDRE *et al.* 1994:194). Jusqu'à 18 ka, le niveau de la mer baisse de 110 à 120 m au-dessous du niveau actuel (CARATINI & GIRESSE, 1979; GIRESSE 1980). La présence de sables jaunes linéaires près de Pointe Noire serait due à des formations de dunes nées du socle continental et soulevées par les vents le long de la côte au LGM (ALEXANDRE *et al.* 1994). Le taux important de gypse observé dans les lagunes ainsi que l'absence totale de pollen de *Rhizophora* dans les sédiments sont les signes d'un écosystème littoral dénué de forêt et marqué par une semi aridité, voire même par moments par une aridité totale (CARATINI & GIRESSE, 1979; LANFRANCHI & SCHWARTZ, 1990). Les forages réalisés par JANSEN *et al.* (1984:242) dans la zone côtière permettent de constater une sédimentation fortement terrigène jusqu'à 14,5 ka, un phénomène interprété comme l'absence ou l'éclaircissement prononcé de la couverture végétale dans l'arrière-pays du bassin du Congo.

Avec la lente remontée du niveau de la mer à partir de 13 ka, renforcée au début de l'Holocène vers 10 ka, la base d'érosion se transforme sensiblement, ce qui affaiblit les processus fluvio-morphodynamiques de la zone littorale. Le développement simultané d'une importante couverture végétale dans le bassin du Congo (extension de la forêt) réduit de plus en plus le dépôt de sédiments terrestres dans l'océan à l'époque holocène (RUNGE & LAMMERS, 2001). Jusqu'à 5 ka, la mer progresse, jusqu'à atteindre son niveau actuel (GIRESSE *et al.* 1979). Les variations sont moins marquées au cours des derniers 5000 ans. Entre 4 et 3 ka, on constate une baisse du niveau de la mer d'un mètre, puis vers 2-1,5 ka une remontée de 0,5 m (ALEXANDRE *et al.* 1994).

DISCUSSION: CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN AFRIQUE CENTRALE AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE (LGM) ET A L'HOLOCENE

Sur base des sources discutées préliminairement, on obtient pour la zone centrafricaine la situation suivante: la majorité des indices géomorphologiques et paléontologiques les plus récents révèlent que la forêt équatoriale centrafricaine qui s'étend actuellement dans le bassin du Congo était beaucoup plus réduite en superficie au LGM en raison d'importantes chutes de températures et de précipitations (RUNGE, 1992, 2001; THOMAS, 1994; KADOMURA, 1995, 1998). A cette époque, dans de nombreuses régions de l'Afrique Centrale, la forêt équatoriale est refoulée par les savanes boisées et herbeuses mieux adaptées à la sécheresse. La présence de colonies de termitières en partie fossilisées au nord et au sud de l'Équateur témoigne aujourd'hui de l'ancienne prédominance d'écosystèmes de type savane dans le bassin du Congo (ALEXANDRE *et al.* 1994; BOULVERT, 1996). Sous l'effet de phénomènes de bioturbation et de dénudation survenus sur de larges étendues sous des climats saisonniers (alternance de périodes humides et sèches), la quantité de dépôts sédimentaires terrigènes transportés par les fleuves dans l'océan a augmenté de façon sensible au LGM (GIRESSE, 1980; JANSEN *et al.* 1984).

Néanmoins, il est probable que des zones favorables isolées géographiquement aient existé à la même époque dans le bassin du Congo et dans quelques zones de transition, servant de refuges ('core areas') à la forêt équatoriale. Cela dit, les concepts spatiaux appliqués à cette théorie de « refuges » ont largement évolué ces 30 dernières années (MEGGERS *et al.* 1973, HAMILTON, 1982; LITTMANN, 1988; COLYN *et al.* 1991). Le refuge fluvial de la forêt ombrophile sur les bords du Congo et de l'Oubangui (COLYN *et al.* 1992, MALEY, 1995), ainsi qu'un nombre plus élevé de secteurs forestiers denses formant des îlots géographiquement isolés et d'un système étendu de forêts galeries ont garanti la survie des espèces de la forêt équatoriale. Ceci explique la recolonisation rapide par celle-ci, à l'Holocène, du bassin du Congo en l'espace de quelques milliers d'années seulement.

L'intensité des baisses de températures et de précipitations reste l'objet de controverses. Selon des conceptions anciennes, la zone équatoriale aurait connu au LGM un refroidissement relativement important de 6-8 °C (HAMILTON, 1982; MALEY, 1987; BONNEFILLE *et al.* 1990). Cette estimation pourrait être due au fait que les spectres polliniques issus de séquences relevées en milieu montagnard sont fréquemment pris comme référence et que les gradients de températures sont plus prononcés en montagne qu'en plaine. D'après MALEY (1987), la température de la surface de la mer dans le Golfe de Guinée s'est également réduite de 2-5 °C pendant le LGM (déplacement vers le nord du courant Benguela), ce qui a entraîné un refroidissement de la partie occidentale du bassin du Congo et une réduction des précipitations convectives.

Des calculs numériques et des reconstructions de climat synoptiques pour le LGM (LAUTENSCHLAGER, 1991) et pour le point culminant climatique de l'Holocène (PARTRIDGE *et al.* 1999) permettent de constater que, dans les terres basses situées à l'Équateur, la température ne diminue que très légèrement de 1-2 °C en moyenne annuelle pendant le LGM, mais, à l'inverse, d'après les modèles et les données de terrain récentes, les précipitations augmentent à la même époque (RUNGE, 1997, 2001). Toutefois selon PARTRIDGE *et al.* (1999), une baisse des précipitations de 50-60% par rapport aux valeurs actuelles aurait été possible au LGM dans le bassin du Congo. Mais même une aridification aussi prononcée pendant le LGM ne permet pas d'expliquer de façon concluante la grande richesse de formes aujourd'hui fossilisées, de type morphodynamique aride désertique, que l'on rencontre dans le sud du bassin du Congo, au Kasai et au Shaba. Du point de vue de la genèse du climat, l'Afrique Centrale se trouve beaucoup plus sous l'influence du désert du Kalahari que du Sahara; cependant dans les zones de transitions du bassin du Congo au LGM, on ne peut morphologiquement déceler aucune autre avancée de dunes vers le sud à l'époque Ogolienne.

Pendant le point culminant de l'Holocène, autour de 8-7 ka, la forêt tropicale s'étend vers le nord et vers le sud au delà de ses limites actuelles. L'efficacité des processus morphodynamiques comme la dénudation des surfaces ou l'érosion latérale des fleuves diminue. Les dépôts de sédiments dans l'océan reculent nettement (CARATINI & GIRESSE, 1979). Le volume des précipitations est de 10-20% plus élevé que de nos jours et dans la même période, les températures augmentent de 1-2 °C (PARTRIDGE *et al.* 1999).

Les lacs centrafricains, déterminés par différentes situations écologiques (zones d'influences et profondeurs des eaux), réagissent à l'aridification du LGM avec un certain retard. Ce n'est qu'entre 14-12 ka, donc déjà à la fin du LGM, que l'on peut constater des bas niveaux lacustres aux lacs Albert, Kivu et Tanganyika sous l'effet de la sécheresse (HARVEY, 1976; DEGENS & HECKY, 1974; VINCENS, 1993; VINCENS *et al.* 1993).

D'autres études de terrain sur l'histoire de l'environnement de l'Afrique Centrale menées entre 2002 et 2007 par l'Université de Francfort/Main dans le sud du Cameroun (RUNGE *et al.* 2005, 2006 ; RUNGE, 2007 ; SANGEN, 2007), ainsi que dans l'est (Bangassou) et dans le sud-ouest de la République Centrafricaine (Mbaiki, Ngotto) (NEUMER, 2007 ; NEUMER *et al.* 2007) viennent étayer l'idée que les alluvions et les sédiments de versants ont une aptitude universelle à la reconstruction des situations paléocéologiques sous les basses latitudes. La conservation de couches organiques et de vrais paléosols, étonnante sous des conditions d'érosion tropicales humides selon l'enseignement classique, permet désormais - de même que dans les régions non tropicales - d'établir des chronologies absolues de l'histoire des paysages à l'aide de formes et de sédiments mis en corrélation.

Au moyen de larges coupes transversales de forage réalisées dans le delta intérieur du Ntem près de Nyabessan (2°14'N, 10°39' E), SANGEN (2007: 91, 96) montre que des macrorestes végétaux, des charbons de bois et des sédiments organiques ont pu se conserver près de la surface et jusqu'à plusieurs mètres de profondeur dans les couches sédimentaires des rives et des terrasses ainsi que dans les anciens bras du Ntem. Dans la coupe transversale Aya'Amang, les forages réalisés près de la rive mettent en évidence des sédiments datant de l'Holocène moyen (échantillons de forage L36, 38, figure 1). Les sédiments de terrasse plus éloignés du cours actuel, qui contiennent des restes organiques incorporés, indiquent par contre un âge approximatif de 30 ka, donc précédant le LGM.

Dans la coupe transversale Meyos dans le sud du Cameroun (fig. 2), des datations au radiocarbone entre 18 ka et environ 14 ka dans deux anciens bras séparés par une couche de quartz viennent confirmer la période du LGM. Des mesures $\delta^{13}\text{C}$ relativement basses révèlent que dans ces parties du delta et des dépressions favorisées hydrologiquement, la forêt équatoriale a pu se maintenir, y compris pendant des périodes de sécheresse répétées au cours du LGM et de l'Holocène (SANGEN, 2007). Compte tenu de l'aridité croissante constatée auparavant à grande échelle pour l'époque du LGM, ces particularités constatées localement soulignent le caractère hautement complexe du paysage, au sens où celui-ci forme une mosaïque spatiotemporelle extrêmement sensible de forêt équatoriale fermée et d'espaces de savanes ouvertes.

Au milieu de l'Holocène, vers 5 ka, le point culminant climatique est déjà dépassé. La superficie occupée par la forêt équatoriale diminue en raison de précipitations moins abondantes. De même, vers 3 ka, la forêt ombrophile perd du terrain (RUNGE, 2002) sous les effets anthropogènes de la croissance démographique due à la migration Bantu (SCHWARTZ 1992; ROCHE 1991,1996; WOTZKA, 1995). Les feux de brousse et le défrichage renforcé conduisent à l'apparition d'une mosaïque de milieux boisés hétérogènes et de savanes, en particulier dans les zones de contact forêt - savane (RUNGE *et al.* 2006). S'appuyant sur des données palynologiques, MALEY (1992:363) y voit l'indice d'un rapport entre le climat et l'avancée des premières populations humaines dans la forêt équatoriale. Une détérioration

climatique naturelle survenue en Afrique Centrale, prouvée par l'expansion de milieux ouverts herbacés vers 2,5-2 ka, entraîne par endroits le recul de la forêt équatoriale au profit de savanes boisées ou herbeuses clairsemées, plus faciles d'accès et favorisant ainsi l'avancée des populations Bantu vers le sud (Plateau du Batéké, République du Congo ; SCHWARTZ, 1992. Cameroun, RUNGE, 2007) et vers les hautes terres d'Afrique Orientale (Ouganda, Rwanda, Burundi, Kivu ; ROCHE, 1991, 1996 ; KABONYI, 2007).

Avec l'avènement de la technologie du fer et l'intensification des activités humaines (agriculture, pastoralisme, métallurgie) s'est produite une secondarisation des milieux naturels qui, amorcée au cours du premier millénaire de notre ère, s'est intensifiée par la suite pour atteindre localement, au cours des derniers siècles, un stade de dégradation sérieux (ROCHE, 1991).

Actuellement, la persistance de modes empiriques d'exploitation de l'environnement comme l'agriculture sur brûlis et l'abattage d'arbres pour la fabrication du charbon de bois, vecteurs d'érosion, l'extension des pâturages et des cultures de rente ainsi que le reboisement en espèces exotiques sont autant de facteurs faisant reculer le milieu naturel de façon drastique. S'y ajoutent bien souvent les crises économiques et politiques qui, dégénéralant souvent en conflits armés, ne font qu'aggraver la situation.

Le climat actuel étant présumé favorable au développement forestier, une phytodynamique progressive pourrait s'installer à condition de laisser le temps au milieu de se régénérer. Mais, vu la lenteur du processus (2-5 ans pour des recrûs préforestiers ; 25-30 ans pour une forêt secondaire ; plus de 40 ans pour une forêt primaire), il y a peu de chances d'aboutir sans un changement radical des mentalités, tant au niveau des décideurs que des populations locales (HABYIAREMYE & ROCHE, 2003)

CONCLUSION

De nombreuses études géologiques et biologiques menées ces quarante dernières années ont révélé que, durant le dernier maximum glaciaire (LGM) et pendant certaines périodes de l'Holocène, des conditions climatiques rigoureuses ont relégué la forêt dense équatoriale dans des zones refuges où sa survie a été assurée. Lors du retour à des conditions plus clémentes, la forêt regagnait naturellement et rapidement le terrain perdu. Au cours des deux derniers millénaires, la pression anthropique sur l'environnement a connu une telle progression que la régénération naturelle de la forêt s'en trouve aujourd'hui compromise malgré des conditions favorables à son expansion.

Epilogue

„Bescheiden wir uns damit, dass wir die Lösung der Eiszeitfrage um einen Schritt gefördert haben...“

„Contentons-nous modestement d'avoir fait progresser d'un pas la résolution de la question de l'ère glaciaire...“

Hans Meyer, Ostafrikanische Gletscherfahrten (1890)

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE, J. & J. SOYER 1987 - Les stone lines, conclusions de la journée d'étude. - *Géo-Eco-Trop*, 11: 229-239.
- ALEXANDRE, J., ALONI, K. & M. DE DAPPER 1994 - Géomorphologie et variations climatiques au Quaternaire en Afrique Centrale. - *Géo-Eco-Trop*, 16: 167-205.
- ALEXANDRE-PYRE, S. 1971 - Le plateau des Bianco (Katanga). Géologie et Géomorphologie.

- *Académie Royale des Sciences d'Outre-Mer, Classe des Sciences Naturelles et Médicales*, N.S. 18, 3: 1-151.
- BONNEFILLE, R., ROELAND, J.C. & J. GUIOT 1990 - Temperature and rainfall estimates for the past 40.000 years in equatorial Africa. - *Nature*, 346: 347-349.
- BOULVERT, Y. 1996 - Etude géomorphologique de la République Centrafricaine. Carte 1:1.000.000 en deux feuilles ouest et est. - *ORSTOM, Notice explicative*, 110: 1-258.
- BOYER, P. 1975 - Les différents aspects de l'action des Bellicositermes sur les sols tropicaux. - *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie*, 12: 447-503.
- CAHEN, L. 1954 - Géologie du Congo Belge. 1-450. Liège.
- CARATINI, C. & P. GIRESSE 1979 - Contribution palynologique à la connaissance des environnements continentaux et marins du Congo à la fin du Quaternaire. - *C.R. Acad. Sc.*, 288: 379-382.
- CHARSLEY, T.J. 1989 - Composition and age of older outwash deposits along the northwestern flank of Mount Kenya. - *in*: MAHANEY, W.C. (ed.): Quaternary and environmental research on the East African mountains: 165-174. Balkema, Rotterdam.
- COLYN, M., GAUTIER-HION, A. & W. VERHEYEN 1991 - A re-appraisal of palaeoenvironmental history in Central Africa: evidence for a major fluvial refuge in the Zaïre Basin. - *Journal of Biogeography*, 18: 403-407.
- COULTER, G.W., ed. 1991 - Lake Tanganyika and its life. With contributions from J.-J. Tiercelin, A. Mondegeur, R.E. Hecky & R.H. Spigel. - *Natural History Museums Publications*. 1-354. London, Oxford, New York.
- DE DAPPER, M. 1981 - The microrelief of the sandcovered plateaux near Kolwezi (Shaba, Zaïre) II. The microrelief of the crest dilungu. - *Géo-Eco-Trop*, 5: 1-12.
- DE DAPPER, M. 1985 - Quaternary aridity in the tropics as evidenced from geomorphological research using conventional panchromatic aerial photographs. Examples from peninsular Malaysia and Zaïre. - *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, 3: 199-207.
- DE PLOEY, J. 1964a - Cartographie géomorphologique et morphogenese aux environs du Stanley-Pool (Congo). - *Acta Geographica Lovaniensia*, 3: 431-441.
- DE PLOEY, J. 1964b - Nappes de gravats et couvertures argilo-sableuses au Bas-Congo: leur genèse et l'action des termites.- *in*: BOUILLON, A. (ed.): Etudes sur les termites africains: 399-414. Colloque International, Université Lovanium, Léopoldville, 11-16 mai 1964. Léopoldville (Kinshasa).
- DE PLOEY, J. 1965 - Position géomorphologique, genèse et chronologie de certains dépôts superficiels au Congo occidental. - *Quaternaria*, 7: 131-154.
- DE PLOEY, J. 1966-1968 - Report on the Quaternary of the Western Congo. - *Palaeoecology of Africa*, 4: 65-70.
- DE PLOEY, J. 1968 - Quaternary phenomena in the Western Congo. Proceedings of VII INQUA Congress.- *in*: MORRISON, B. *et al.* (eds.): Means of correlation of Quaternary Successions: 501-515. Salt Lake City, University of Utah Press.
- DEGENS, E.T. & R.E. HECKY 1974 - Paleoclimatic Reconstruction of Late Pleistocene and Holocene Based on Biogenic Sediments from the Black Sea and a Tropical African Lake. - *Colloques Internationaux du C.N.R.S.*, 219: 13-24 (les méthodes quantitatives d'étude des variations du climat au cours du Pléistocène). Paris.
- DEGENS, E.T., VON HERZEN, R.P. & H.-K. WONG 1971 - Lake Tanganyika: Water Chemistry, Sediments, Geological Structure. - *Naturwissenschaften*, 58, 5: 229-241.
- GIRESSE, P. 1980 - Carte sédimentologique du plateau continental du Congo. - *ORSTOM, Notice explicative*, 85: 1-24.
- GIRESSE, P., KOUYOU MONTZAKIS, G. & G. MOGUEDET 1979 - Le Quaternaire Supérieur du plateau continental Congolais. Exemple d'évolution paléocéanographique d'une plate-forme depuis environ 50000 ans. - *Palaeoecology of Africa and the surrounding islands*, 11: 193-218.
- HABERYAN, K.A. & R.E. HECKY 1987 - The late Pleistocene and Holocene stratigraphy and paleo-limnology of lakes Kivu and Tanganyika. - *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 61: 169-197.
- HABIYAREMYE, F.X. & ROCHE, E. 2003 - Incidence anthropique sur le milieu montagnard du graben centrafricain : complément phytodynamique aux interprétations palynologiques. - *Geo-Eco-Trop*.27, 1-2 : 53-62.
- HAMILTON, A.C. 1982 - Environmental History of East Africa. A study of the Quaternary. 1-328. London, *Academic Press*.
- HARVEY, T.J. 1976 - The palaeolimnology of Lake Mobutu Sese Seko, Uganda-Zaïre: The last 28.000 years. Ph.D. thesis, Duke University North Carolina.

- HASTENRATH, S. 1984 - The Glaciers of Equatorial East Africa. Solid Earth Sciences Library. 1-353. Dordrecht, Boston, Lancaster.
- HECKY, R.E. 1978 - The Kivu-Tanganyika basin: the last 14.000 years. - *Polske Archiwum Hydrobiologii* 25, 1/2: 159-165.
- HÖVERMANN, J. 1988 - The Sahara, Kalahari and Namib deserts: A geomorphological comparison. Proceedings of the Symposium on the geomorphology of Southern Africa: 71-83. Transkei.
- JANSEN, J.H.F., VAN WEERING, T.C.E, GIELES, R. & J. VAN IPEREN 1984 - Late Quaternary oceanography and climatology of the Zaire-Congo fan and the adjacent eastern Angola basin. - *Netherlands Journal of Sea Research*, 17: 201-249.
- JOHANSSON, L. & K. HOLMGREN 1985 - Dating a moraine on Mount Kenya. - *Geografiska Annaler*, 67: 123-128.
- KABONYI NZABANDORA, C. 2007 - Etude palynologique de la séquence sédimentaire de Musisi-Karashoma II - Synthèse de l'évolution environnementale du Sud Kivu au cours des deux derniers millénaires. Université de Liège ; mémoire D.E.A., 50 p. *Geo-Eco-Trop.* 31, 2007 (in press)
- KADOMURA, H. 1995 - Palaeoecological and Palaeohydrological Changes in the Humid Tropics during the last 20000 years, with reference to Equatorial Africa.- in: GREGORY, K.J., STARKEL, L. & V.R. BAKER (eds.): Global Continental Palaeohydrology: 177-202.
- KADOMURA, H. 1998 - Environmental changes in the humid tropics during the last 20.000 years: synopses of data sets and perspectives. - *Bull. of the Graduate School of Letters, Rissho University*, 14: 1-15, Kumagaya, Japan.
- KENDALL, R.L. 1969 - An ecological history of the Lake Victoria basin. - *Ecological Monographs*, 39: 121-176.
- LADMIRANT, H. & ROCHE, E. 1988 - Important Quaternary climatic changes as evidenced from remote sensing data (satellite Landsat) and from palaeobotanical studies; examples from Central Africa. Scope Belgium - Global change IGBP - *Acad. Roy. Sc. Belgique*, v.s.: 996 : 91-96.
- LAFRANCHI, R. & D. SCHWARTZ, ed. 1990 - Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale atlantique. Editions ORSTOM, *Collection Didactique*. 1-535. Paris.
- LAUTENSCHLAGER, M. 1991 - Simulation of the ice age atmosphere. January and July means. - *Geologische Rundschau*, 80: 513-534.
- LITTMANN, T. 1988 - Jungquartäre Ökosystemveränderungen und Klimaschwankungen in den Trockengebieten Amerikas und Afrikas. - *Bochumer Geographische Arbeiten*, 49: 1-210.
- LIVINGSTONE, D.A. 1962 - Age of Deglaciation in the Ruwenzori Range, Uganda. - *Nature*, 194: 859-860.
- LIVINGSTONE, D.A. 1971 - A 22000 years pollen record from the plateau of Zambia. - *Limnol. Oceanogr.*, 16: 349-356.
- MAHANEY, W.C. 1990 - Ice on the equator. Quaternary geology of Mount Kenya, East Africa. - Sister Bay, Wisconsin.
- MALEY, J. 1987 - Fragmentation de la forêt dense humide africaine et extension des biotopes montagnards au Quaternaire récent: nouvelles données. - *Palaeoecology of Africa*, 18: 307-336.
- MALEY, J. 1992 - Mise en évidence d'une péjoration climatique entre ca. 2500 et 2000ans B.P. en Afrique tropicale humide. Commentaires sur la note de D. Schwartz. - *Bull. Soc. géol. France*, 163: 363-365.
- MALEY, J. 1995 - Les fluctuations majeures de la forêt dense humide africaine au cours des vingt derniers millénaires.- *in*: HLADIK, C.M. *et al.* (ed.): L'alimentation en forêt tropicale: interactions bioculturelles et applications au développement: 1-12.
- MALOUNGUILA-NGANGA, D., NGUIE, J. & P. GIRESE 1990 - Les paléoenvironnements quaternaires du colmatage de l'estuaire du Kouilou (Congo). - *in*: LANFRANCHI, R. & D. SCHWARTZ (eds.): Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale atlantique: 89-97 (ORSTOM Collections didactiques). Paris.
- MBENZA, M. 1983 - Evolution de l'environnement géomorphologique de fonds de vallée au cours du Quaternaire dans une région tropicale humide. Thèse Doc. Univ. Liège, 1-278.
- MBENZA, M., ROCHE, E. & H. DOUTRELEPONT 1984 - Note sur les apports de la palynologie et de l'étude des bois fossiles aux recherches géomorphologiques sur la vallée de la Lupembashi (Shaba-Zaire). - *Revue de Paléobiologie, Volume Spécial.*, 149-154. Genève.
- MEGGERS, B.J., AYENSU, E.S. & W.D. DUCKWORTH, eds. 1973 - Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative Review. Smithsonian Institution Press: 1-350. Washington.

- MEYER, H. 1890 - Ostafrikanische Gletscherfahrten. Forschungsreisen im Kilimandjaro-Gebiet. - Duncker & Humblot, Leipzig, 1-376.
- MICHEL, P. 1973 - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie: étude géomorphologique. - *Mém. ORSTOM*, 63: 1-752.
- NEUMER, M. 2007 - Reliefformen, fluviale Morphodynamik und Sedimente in den wechselfeuchten Tropen Zentralafrikas: Indikatoren für die subrezente und rezente Landschaftsentwicklung. *Diss. Nat. Phil. Fachbereiche* Univ. Frankfurt, 1-304.
- NEUMER, M., BECKER, E. & J. RUNGE 2007 - Palaeoenvironmental studies on the Ngotto Forest: alluvial sediments as indicators of recent and Holocene landscape evolution in the Central African Republic. - *Palaeoecology of Africa*, 28: 121-137.
- PARTRIDGE, T.C., SCOTT, L. & J.E. HAMILTON 1999 - Synthetic reconstruction of southern African environments during the Last Glacial Maximum (21-18 kyr) and the Holocene Altithermal (8-6 kyr). - *Quaternary International*, 57/58: 207-214.
- PREUSS, J. 1986a - Jungpleistozäne Klimaänderungen im Kongo-Zaire-Becken. - *Geowissenschaften in unserer Zeit*, 4, 6: 177-187.
- PREUSS, J. 1986b - Die Klimaentwicklung in den äquatorialen Breiten Afrikas im Jungpleistozän. Versuch eines Überblicks im Zusammenhang mit Geländearbeiten in Zaire. - *Marburger Geogr. Schriften*, 100: 132-148.
- ROBERTS, N. & P. BARKER 1993 - Landscape stability and biogeomorphic response to past and future climatic shifts in intertropical Africa.- in: THOMAS, D.S.G. & R.J. ALLISON (eds.): Landscape Sensitivity: 65-82. Chichester, New York (Wiley & Sons).
- ROCHE, E. 1991 - Evolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 27 : 187-208.
- ROCHE, E. 1996 - L'influence anthropique sur l'environnement à l'âge du fer dans le Rwanda ancien. - *Géo-Eco-Trop*, 20: 73-89.
- ROSQUIST, G. 1990 - Quaternary glaciations in Africa. - *Quaternary Science Reviews*, 9: 281-297.
- RUNGE, J. 1992 - Geomorphological observations concerning palaeoenvironmental conditions in eastern Zaire. - *Z. Geomorph., N.F., Suppl.-Bd.*, 91: 109-122.
- RUNGE, J. 1997 - Alterstellung und paläoklimatische Interpretation von Decksedimenten, Steinlagen (stone lines) und Verwitterungsbildungen in Ostzaire (Zentralafrika). - *Geoökodynamik*, 18: 91-108.
- RUNGE, J. 2001 - Landschaftsgenese und Paläoklima in Zentralafrika. -*Relief, Boden, Paläoklima*, 17: 1-294.
- RUNGE, J. 2002 - Holocene landscape history and palaeohydrology evidenced by stable carbon isotope ($\delta^{13}\text{C}$) analysis of alluvial sediments in the Mbari valley (5°N/23°E), Central African Republic. - *Catena*, 48: 67-87.
- RUNGE, J. 2007 - Dynamics of forest ecosystems in Central Africa during the Holocene. Past - Present - Future. - *Palaeoecology of Africa*, 28: 1- 306.
- RUNGE, J. & K. LAMMERS 2001 - Bioturbation by termites and Late Quaternary landscape evolution on the Mbomou plateau of the Central African Republic. - *Palaeoecology of Africa*, 27: 153-169.
- RUNGE, J. & T. TCHAMIE 2000 - Inselberge, Rumpfflächen und Sedimente kleiner Einzugsgebiete in Nord-Togo: Altersstellung und morphodynamische Landschaftsgeschichte. - *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1*, 5/6: 497-508.
- RUNGE, J. & F. RUNGE 1995 - Late Quaternary palaeoenvironmental conditions in eastern Zaire (Kivu) deduced from remote sensing, morpho-pedological and sedimentological studies (Phytoliths, Pollen, C-14 data). - *Publication Occass. CIFEG*, 31: 109-122.
- RUNGE, J., EISENBERG, J. & M. SANGEN 2005 - Ökologischer Wandel und kulturelle Umbrüche in West- und Zentralafrika. Prospektionsreise nach Südwestkamerun vom 05.03.-03.04.2004 im Rahmen der DFG-Forschergruppe 510: Teilprojekt Regenwald-Savannen-Kontakt (ReSaKo). - *Geoökodynamik*, 26: 135-154
- RUNGE, J., EISENBERG, J. & M. SANGEN 2006 - Geomorphic evolution of the Ntem alluvial basin and physiogeographic evidence for Holocene environmental changes in the rain forest of SW Cameroon (Central Africa) - preliminary results. - *Z. Geomorph., N.F., Suppl.*, 145: 63-79.
- SANGEN, M. 2007 - New evidence on palaeoenvironmental conditions in SW Cameroon since the Late Pleistocene derived from alluvial sediments of the Ntem River. - *Palaeoecology of Africa*, 28: 79-101.
- SCHWARTZ, D. 1992 - Assèchement climatique vers 3000 B.P. et expansion Bantu en Afrique Centrale atlantique: quelques réflexions. - *Bull. Soc. géol. France*, 163: 353-361.

- SOWUNMI, M.A. 1991 - Late Quaternary environments in equatorial Africa: Palynological evidence. - *Palaeoecology of Africa and the surrounding islands*, 22: 213-238.
- SOYER, J. 1983 - Microrelief de buttes basses sur sols inondés saisonnièrement au Sud-Shaba (Zaire). - *Catena*, 10: 253-265.
- SSEMANDA, I. & A. VINCENS 1993 - Végétation et climat dans le bassin du lac Albert (Ouganda, Zaire) depuis 13000 ans B.P.: Apport de la palynologie. - *C.R. Academie des Sciences*, 316: 561-567.
- STOOPS, G. 1967 - Le profil d'altération au Bas-Congo (Kinshasa). - *Pédologie*, 17, 1: 60-105.
- TANGANYDRO GROUP 1992a - Les sites hydrothermaux sous-lacustres à sulfures massifs du fossé Nord-Tanganyika, Rift Est-Africain: Expédition Tanganydro 1991. - *C.R. Acad. Sci.*, 315: 733-740.
- TANGANYDRO GROUP 1992b - Sublacustrine hydrothermal seeps in northern Lake Tanganyika, East African Rift: 1991 Tanganydro Expedition. - *elf aquitaine production*: 55-81. Boussens.
- THOMAS, D.S.G. 1989 - Reconstructing ancient arid environments.- in: THOMAS, D.S.G. (ed.): *Arid Zone Geomorphology*: 311-334. London.
- THOMAS, D.S.G. & P.A. SHAW 1991a - The Kalahari environment. 1-284. Cambridge, New York. Cambridge Univ. Press.
- THOMAS, D.S.G. & P.A. SHAW 1991b - 'Relict' desert dune systems: interpretations and problems. - *Journal of Arid Environments*, 20: 1-14.
- THOMAS, M.F. 1994 - *Geomorphology in the Tropics. A study of weathering and denudation in low latitudes.* Wiley & Sons, New York, Brisbane, Toronto. 1-460.
- TIERCELIN, J.-J., MONDEGUER, A., GASSE, F., HILLAIRE-MARCEL, C. et al. 1988 - 25 000 ans d'histoire hydrologique et sédimentaire du lac Tanganyika, Rift Est-africain. - *C.R. Acad. Sci.*, 307: 1375-1382.
- TIERCELIN, J.-J., THOUIN, C., KALALA, T. & A. MONDEGUER 1989 - Discovery of sublacustrine hydrothermal activity and associated massive sulfides and hydrocarbons in the north Tanganyika through, East African Rift. - *Geology*, 17: 1053-1056.
- TIERCELIN, J.-J., SOREGHAN, M., COHEN, A.S., LEZZAR, K.-E. et al., 1992 - Sedimentation in large rift lakes: example from the middle Pleistocene - Modern deposits of the Tangayika trough East African Rift System. - *elf aquitaine production*: 84-111. Boussens.
- VAN ZINDEREN BAKKER, E.M. & J.D. CLARK 1962 - Pleistocene climates and cultures in North-Eastern Angola. - *Nature*, 196: 639-642.
- VINCENS, A. 1993 - Nouvelle séquence pollinique du Lac Tanganyika: 30 000 ans d'histoire botanique et climatique du Bassin Nord. - *Review of Palaeobotany and Palynology*, 78: 381-394.
- VINCENS, A., CHALIE, F., BONNEFILLE, R., GUIOT, J. & J.-J. TIERCELIN 1993 - Pollen-derived rainfall and temperature estimates from Lake Tanganyika and their implication for Late Pleistocene water levels. - *Quaternary Research*, 40: 343-350.
- WAEGERMANS, G. 1953 - Signification pédologique de la 'stone line'. - *Bull. agricole du Congo Belge et du Ruanda-Urundi*, 3, 44: 521-532. Bruxelles.
- WOTZKA, H.-P. 1995 - Studien zur Archäologie des zentralafrikanischen Regenwaldes. Die Keramik des inneren Zaire-Beckens und ihre Stellung im Kontext der Bantu-Expansion. - *Africa Praehistorica*, 6: 1-582.
- ZEESE, R. 1991 - Äolische Ablagerungen des Jungquartär in Zentral- und Nordnigeria. - *Sonderveröffentlichungen des Geologischen Instituts der Universität zu Köln*: 343-351, Köln.
- ZEESE, R. 1996 - Oberflächenformen und Substrate in Zentral- und Nordostnigeria. Ein Beitrag zur Landschaftsgeschichte. - *Berichte aus der Geowissenschaft, Habil-Schrift Univ. Köln*, 1-195.

