



Les alluvions du fleuve Congo et leur signification paléoenvironnementale dans la région de Yangambi à l'Ouest de Kisangani (RDC)

Alluvial deposits from the Congo River and their paleoenvironmental significance in the Yangambi region, west of Kisangani (DRC)

Franck MWENZE MULENDA^{1,5}, Jürgen RUNGE², Walere MUHINDO SAHANI³,
Tina NKONKO MULENDA⁴ & MOKILI MBULUYO⁵,

Abstract : Current ecosystem changes ("Global Change") in low altitudes related to climate cannot be well understood if palaeoenvironmental conditions and processes, especially during the Pleistocene and Holocene, are also well known. Assessing the current impacts of these changes requires knowledge of past environmental and climatic processes. Within this study the main objective was to reconstruct the Quaternary paleoenvironment in the Yangambi region. It was necessary to reconstruct the river morphology, former fluvialmorphodynamic processes, alluvial sediments and identify indicators of the paleoenvironment to develop a paleoclimatic interpretation. A digital elevation model (SRTM) was used, and granulometric and morphoscopic analysis of alluvia along the Yangambi cliff was carried out. Especially yellow ochre sands and lateritic crusts characterise a formerly semi-arid climate and a tropical climate with a marked dry season. Morphoscopy of quartz grains showed that they were deposited in a sub-desert to desert environment. Subsequently, some of them were reworked by the Congo River and its tributaries. Landscape was fluvially reshaped by accumulating gravel and clay terraces covered by white sands in the Yangambi region. The relative stratigraphy of the alluvial sequence has not yet been dated exactly. The region, now characterized by dense tropical forest cover and an equatorial climate, obviously experienced dramatic climatic and environmental changes during the Quaternary.

Keywords : paleoenvironment, alluvia, lateritic crusts, desertification, Quaternary, Yangambi, DR Congo

Résumé : Les changements actuels des écosystèmes (« Global Change ») liés au climat dans les basses altitudes ne peuvent être bien compris que si les conditions et processus paléoenvironnementaux, surtout pendant le Pléistocène et l'Holocène, sont également bien connus. C'est dans ce cadre que cette étude a été menée avec comme objectif principal de reconstituer le paléoenvironnement quaternaire dans la région de Yangambi à l'ouest de Kisangani (RDC). Pour cela il a fallu reconstituer les processus morphologiques fluviaux et identifier les indicateurs du paléoenvironnement et développer une interprétation paléoenvironnementale. L'approche utilisée est basée sur l'utilisation d'un modèle numérique de terrain (SRTM), l'analyse granulométrique et morphoscopique de la Falaise de Yangambi. Parmi les indicateurs, les sables ocre jaunes et les cuirasses latéritiques caractérisent respectivement un climat semi-aride et un climat tropical à saison sèche bien marquée. La morphoscopie des quartz a montré que ces derniers s'étaient déposés dans un milieu subdésertique à désertique, puis certains ont été remaniés après par le fleuve Congo. Le fleuve Congo et ses affluents ont remodelé le paysage par la formation des terrasses et sables blancs dans la région de Yangambi. La stratigraphie relative des alluvions n'est pas encore datée. La région caractérisée aujourd'hui par un couvert forestier dense et un climat équatorial a connu des changements climatiques et environnementaux radicaux durant le Quaternaire.

Mots clés : paléoenvironnement, alluvions, cuirasse latéritiques, désertisation, Quaternaire, Yangambi, RD Congo

INTRODUCTION

Au cours des temps géologiques, le climat et les écosystèmes ont connu beaucoup de changements environnementaux. La connaissance des changements climatiques survenus dans le passé est utile pour la compréhension des phénomènes climatiques actuels. La région de Yangambi, à l'ouest de Kisangani en RDC, située aujourd'hui au milieu de la forêt tropicale dense humide n'est pas épargnée par ces changements.

¹ Université Officielle de Mbuji-Mayi, RD Congo, leopardmulenda@gmail.com

² Goethe-Universität/ZIAF, Altenhöferallee 1, 60438 Frankfurt, Allemagne, j.runge@em.uni-frankfurt.de

³ Université Catholique du Grabben, RD Congo, sahaniwalarem@gmail.com

⁴ Centre de Recherche Géologique et Minière, RD Congo, tinankonkomulenda@gmail.com

⁵ Université de Kisangani, RD Congo, mkm.raph@sympatico.ca

Cependant, les écosystèmes forestiers d'Afrique centrale sont fragiles et sensibles aux variations climatiques. Ces dernières, aussi minimes soient-elles, peuvent avoir des influences positives et négatives sur l'endémisme des végétaux, modifier leur composition ou même conduire à la disparition de certains d'entre eux (THOMAS *et al.*, 2004 ; SCHROTER *et al.*, 2005 ; THUILLER *et al.*, 2006).

Pendant longtemps, les zones de forêt équatoriale d'Afrique centrale et les savanes humides et boisées avoisinantes ont été quasiment une *terra incognita*. Jusque dans les années 1950, on était convaincu que la forêt équatoriale africaine formait l'un des écosystèmes le plus stable et le plus immuable de la planète (BUSH & SILMAN, 2007 ; BLAIN *et al.*, 2013). La surprise a été de trouver sous forme de paléosols, de sédiments, de pollens *etc.*, des témoins climatiques livrant des informations contrastées sur le passé, alors que le climat chaud et humide entraîne habituellement une altération chimique intense de la matière organique dans les sols (RUNGE, 2007a, 2007b).

Beaucoup de recherches ont été menées dans le bassin du Congo pour connaître les paysages qui se sont succédé dans le passé et les climats y afférents. Les modèles de reconstitution du climat montrent que ce dernier a, au cours du Quaternaire, présenté une alternance de phases de sécheresse d'assez longue durée (anciennement connu sous le nom de "interfluviales") et de phases d'humidité plus courtes (fluviales) (HALLEGOUËT & MORZADEC-KERFOURN, 1977 ; GARTET & GARTET, 2013). Ces différentes variations modifiaient les paysages (DUPLESSY, 1997 ; BARBER *et al.*, 1999 ; ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2010).

DE HEINZELIN (1952) et VAN WAMBEKE (1960) ont trouvé dans les sédiments, des traces de « désertification » ancienne dans le secteur Nord-Oriental du bassin du Congo. Ils attribuent cette période à des temps géologiques relativement récents. Les mêmes observations ont été faites sur le plateau de Batéké, autour du Stanley Pool. La morphoscopie des grains de quartz a révélé des pourcentages élevés des grains *rond-mats*, caractéristiques d'un transport éolien (KOECHLIN, 1957). L'origine de dépôt a été attribuée à l'expansion du désert de Kalahari vers le Nord (« *Mega Kalahari* »).

Les études de RUNGE (1992, 2001b) vers Lubutu/Walikale dans l'Est de la RDC ont montré que la forêt du bassin du Congo était beaucoup plus réduite en superficie au Dernier Maximum Glaciaire (DMG, en anglais LGM, Stade 2 de l'isotope de l'oxygène). Plusieurs indices géomorphologiques et paléoécologiques ont confirmé cela. Cette tendance s'observe aussi à Mbandaka, dans la cuvette centrale du bassin du Congo, où il a été constaté une progression de la savane boisée au DMG (PREUSS, 1986a, 1986b).

En revanche, la fin du Pléistocène et le début de l'Holocène constituent une période de transition au cours de laquelle, l'humidification progressive du climat a conduit à la recolonisation des savanes par les forêts (ROCHE, 1991). DE PLOEY (1968) dans le Stanley Pool ou le « *Pool Malebo* » ont mis en évidence d'une manière générale, l'augmentation en superficie des forêts du bassin du Congo depuis le début de l'Holocène jusqu'à 3000 ans. De même, NEUMER *et al.* (2007) ont mené une étude dans les forêts de Ngotto en République Centrafricaine, et ont trouvé que la dynamique du climat et de la végétation est restée très forte pendant l'Holocène.

Depuis les années 1950, peu de recherches sur le paléoenvironnement ont été réalisées dans la région de Yangambi, qui est pourtant un réservoir de la biodiversité. Le présent article consiste donc à faire une étude paléoenvironnementale des formations sédimentaires quaternaires des terrasses fluviales du fleuve Congo et ses affluents dans cette région, dans le but de reconstituer les conditions paléoenvironnementales y afférant pendant le Quaternaire. Spécifiquement, il est question de reconstituer les processus morphologiques fluviaux ainsi que déterminer les indicateurs indirects du paléoenvironnement et du paléoclimat (données de « proxies »).

ZONE D'ETUDE, MATERIELS ET METHODES

Milieu d'étude

La région d'étude est située aux environs de Yangambi (Province de la Tshopo), à environ 110 km à l'ouest de Kisangani, en République Démocratique du Congo (Figure 1). Le pays a été parcouru à pieds, de Lilanda jusqu'à Yangambi. Le climat qui règne dans cette région est équatorial, de type *Af* selon la classification de Köppen. Les précipitations annuelles moyennes avoisinent 1720 mm, et 25 °C pour la température annuelle moyenne (LOMBA, 2012).

Sur le plan géologique, la région d'étude est située dans le Supergroupe de la cuvette centrale et dans les alluvions et les sédiments subaériens récents. La cuvette centrale correspond à une vaste dépression morphologique d'environ 1300-1500 km de l'Est à l'Ouest et 1000-1200 km du Nord au Sud (GUILLOCHEAU *et al.*, 2015). Les sédiments du pléistocène inférieur au Pliocène recouvrant une grande partie de la cuvette centrale sont continentaux (CAHEN, 1954). Dans partie Nord de la cuvette centrale, il y a la couche de Yangambi qui est une unité essentiellement sableuse. Cette unité paraît probablement d'origine lacustre en région désertique (playa). Une autre partie de cette région est composée des alluvions et sédiments récents. Ces sédiments sont peu fossilifères, mais riches en artefacts de l'industrie préhistorique (LEPERSONNE, 1974). La plupart sont des haches polies du néolithique uélien (DE HEINZELIN, 1952).

Dans la région de Yangambi, la cote d'altitude du fleuve Congo est voisine de 400 m au-dessus du niveau de la mer. La surface topographique de la contrée est peu accidentée. Elle se maintient entre 50 -100 m au-dessus du niveau du fleuve Congo et de ses affluents. Le terrain est tellement plat qu'il n'offre presque pas d'affleurements. Seule, la Falaise de Yangambi sur la rive droite montre à l'observateur la succession des couches pédologiques.

Concernant la végétation actuelle, la région est située au milieu de la forêt tropicale dense humide du bassin du Congo. Elle est couverte par deux principaux types de formations végétales : les forêts denses humides sur terre ferme et les forêts sur sols hydromorphes. Les premières comprennent les forêts sempervirentes et les forêts semi-décidues et les secondes se retrouvent le long des cours d'eau et des zones fréquemment inondées (BOYEMBA, 2011).

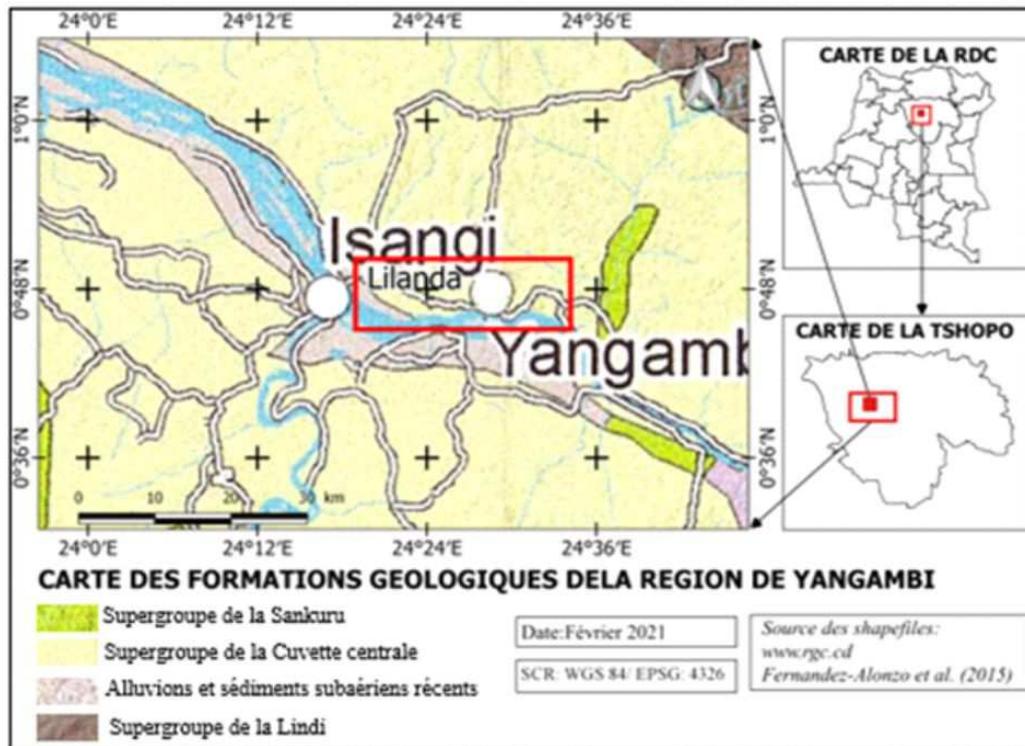


Figure 1. Localisation et formations géologiques de la zone d'étude entre Isangi et Yangambi (rectangle rouge).

Description du site et échantillonnage

Deux coupes ont été réalisées sur la Falaise de Yangambi et un puits de sondage dans le village de Lilanda (Figure 2). Ce dernier est situé dans une plaine couverte par une couche de sables blancs, sur la rive droite du fleuve Congo. Le puits y a atteint une profondeur de 90 cm sur laquelle a été établie la stratigraphie du sol. Le puits de sondage est localisé aux coordonnées géographiques 0° 49' 41,76" N et 24° 19' 11,15" E.

A Yangambi, deux coupes ont été réalisées sur la falaise. L'escarpement alluvial est très érodé par l'eau de ruissellement et l'eau du fleuve car elle est composée de 90 % de sable. Elle tire son origine de l'érosion fluviale des berges. L'eau du fleuve creuse dans le talus (affouillement), le haut du talus se décroche et tombe au niveau du sol. Le fleuve emporte le sol déposé et la pente devient très raide.

La Falaise de Yangambi est située entre 0° 45' 15" et 0° 44' 41" Nord et entre 24° 29' 26" et 24° 33' 30" Est. En remontant le fleuve Congo à partir du port de Yangambi vers Kisangani, elle commence à 100 m après le déversoir de la rivière Isalowe. Elle se termine à environ 1 km après l'embouchure de la rivière Lomonge. Sa longueur maximale est d'environ 10 km et sa hauteur maximale est d'environ 50 m. Elle ne garde pas la même hauteur sur toute sa longueur, car étant recoupée par les rivières Ilongo et Lomonge.

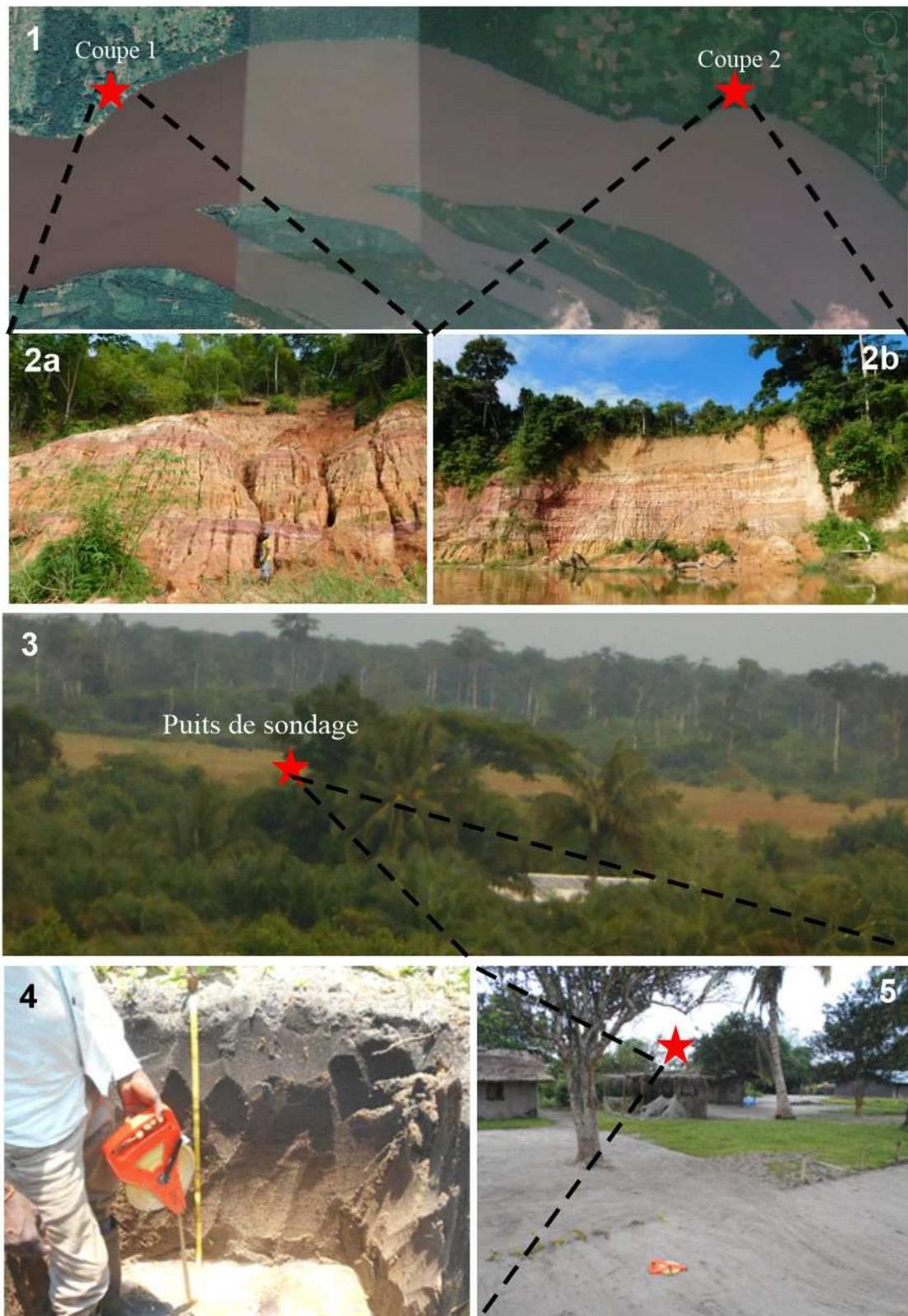


Figure 2. Localisation des coupes 1 et 2 et du puits de sondage (photo 1) : image du fleuve Congo et de la falaise, données de Google Earth, LANDSAT/Copernicus, 21/10/2020). Les étoiles rouges correspondent aux lieux où ont été réalisées les coupes stratigraphiques. Les photos 2a et 2b sont les endroits où les coupes ont été vues de près. Dépression près du village Lilanda (photo 3) : l'étoile rouge correspond à l'emplacement du puits de sondage (photo 4 : vue de près). Sable blanc dans la parcelle (photo 5) où a été réalisée le puits de sondage. © photos F. MWENZE MULENDA

L'échantillonnage de sable a été effectué dans chaque couche des sédiments en raison de sa couleur et de la taille des grains de quartz. Chaque échantillon correspond à une couche de la coupe. Au total, 19 échantillons de sol ont été prélevés sur la Falaise et deux échantillons d'une cuirasse latéritique. Les échantillons de sable ont subi par la suite l'analyse granulométrique et morphoscopique au laboratoire du Centre de Recherche Géologique et Minière de la RD Congo à Kinshasa. Les deux coupes (figure 2, photos 1, 2a, 2b) sont localisées aux coordonnées géographiques : coupe 1 : 0°45'34" N ; 24°30' E et coupe 2 : 0°45'8" N ; 24°33'5" E.

Analyses sédimentologiques

Analyse granulométrique

Les échantillons bruts sont lavés à l'eau distillée et séchés à l'étuve à 50° C pendant 24h. Après séchage, les échantillons sont attaqués à l'acide chlorhydrique pour éliminer les matières organiques et les carbonates, lavés à l'eau distillée et séchés encore à l'étuve à 50 °C pendant 24h. Après le nouveau séchage, une prise de 100g est tamisée sur une colonne de tamis de type Afnor dont les mailles sont de dimensions : 2000, 1600, 1000, 800, 500, 315, 250, 160, 125, 80, 63 µm. Le refus de chaque tamis a été pesé.

Pour chaque fraction grossière, c'est-à-dire supérieure à 63 µm, les courbes cumulatives semi-logarithmiques sont tracées. Ces courbes représentent le pourcentage cumulatif du refus en fonction du diamètre correspondant des grains du sédiment. C'est à partir de celles-ci que seront déterminés les paramètres granulométriques selon la classification de FOLK & WORD (1957).

Analyse morphoscopique

Les sables ont été étudiés suivant la méthode qui a été exposée et discutée par CAILLEUX (1942, 1969) et CAILLEUX & TRICART (1963). Les sables observés sélectionnés sont ceux compris entre 2000 et 250 µm. Les sables ont été lavés à l'eau. Ils ont été frottés fortement avec les doigts pendant 1 à 3 minutes pour enlever les enduits. Ils ont ensuite été séchés. Quand ils faisaient effervescence à l'acide, ils étaient d'abord traités à HCl, pour les débarrasser des carbonates et ne pas les confondre avec d'autres minéraux. Ils ont été rincés plusieurs fois à l'eau, en décantant chaque fois lentement. Les sables ainsi lavés, puis séchés ont été observés à la loupe binoculaire avec un grossissement de 5 à 100 fois, à sec sur fond noir.

Pour chaque échantillon, 50 grains de quartz, répartis en deux séries de 25 ont été comptés. Il est recommandé souvent d'en compter 100 par échantillon pour obtenir une meilleure précision. Mais RITCHOT & CAILLEUX (1971) ont montré que ce n'est pas le cas, ou très peu. Du fait de l'existence de grains de transition ou douteux : avec le temps, les yeux et l'esprit de l'observateur se fatiguent, de sorte que la précision finale n'est pas toujours meilleure que pour ceux qui en ont compté moins.

RESULTATS

Reconstitution des processus morphologiques fluviaux

Lorsqu'on quitte les berges basses du fleuve Congo, on parcourt une grande surface horizontale couvertes des sables blancs secs et mobiles avant d'atteindre les surfaces surélevées et couvertes de sable ocre jaune. Le site le plus remarquable est le sable blanc de Lilanda (figure 3). La surface couverte par le sable est située à une hauteur moyenne de 10 à 15 m au-dessus du fleuve (370 m au port de Yangambi). Ces sables blancs semblent ne plus être soumis aux mêmes conditions que celles qui leurs ont donné naissance.

La rivière Lokeli qui sillonne cette surface est longée des replats à environs 5 m au-dessus du lit actuel, qui figurent morphologiquement une terrasse fluviatile. Dans le lit de cette rivière coule une eau de couleur rougeâtre due à l'abondance de la matière organique. Le fond de la Lokeli est couvert d'une nappe de sables blancs qui proviendraient du lavage des sables ocres jaunes riverains de haute altitude, par l'eau de ruissellement.

Les bancs de sables blancs au-dessus de cette rivière sont semblables aux sables blancs de Lilanda qui sont comme des glacis alluviaux autour de la dépression du fleuve Congo. On observe sur la figure 4, une vaste dépression souvent inondée pendant les périodes des crues. C'est dans cette dépression qu'est localisé le village de Lilanda. La nappe de sables blancs de Lilanda est une formation fossile qui se serait formée à une époque où le niveau des rivières était plus élevé qu'actuellement.



Figure 3. Sables blancs de Lilanda (photo 6) et l'eau organique rouge-noir de la rivière Lokeli (photo 7),
© photos F. MWENZE MULENDA.

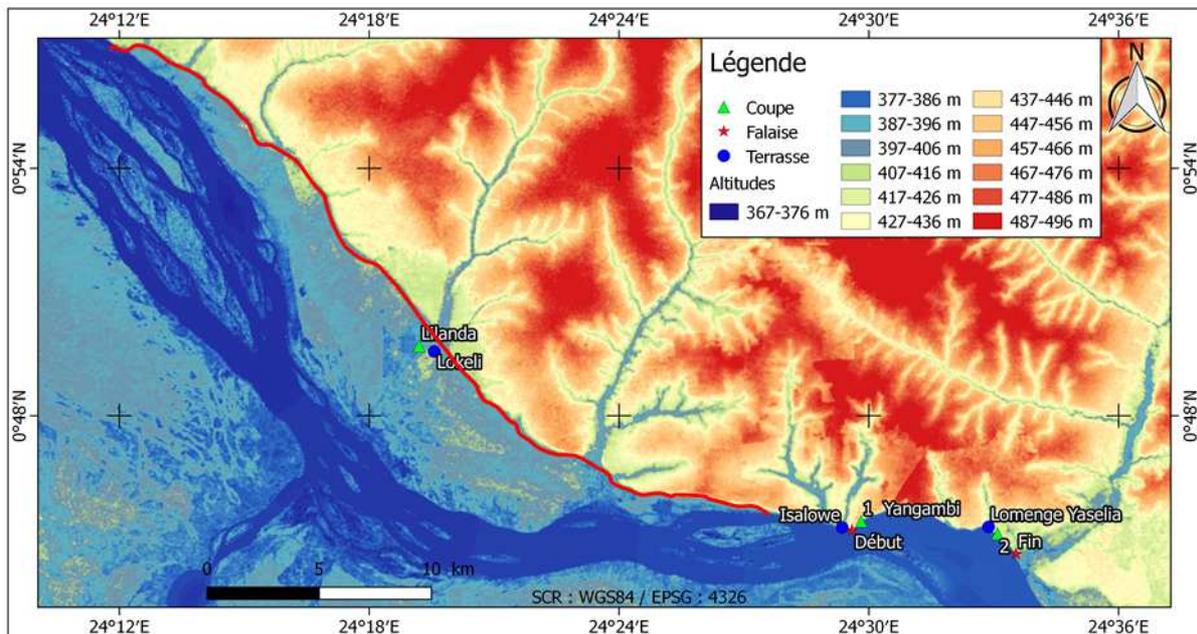


Figure 4. Modèle numérique de terrain (DEM) de la région de Yangambi (données SRTM).

Les sables blancs de Lilanda sont des dépôts alluviaux déposés probablement au début de l'Holocène par le fleuve Congo et ses affluents. Cet ancien lit n'est aujourd'hui qu'une dépression marécageuse immense dans laquelle échouent beaucoup de sédiments. La différence d'altitudes sur la figure 4 reflètent la topographie actuelle de la région. La ligne rouge sur la figure montre la position qu'occupait autrefois les eaux du fleuve. Actuellement, la ligne rouge marque le début de la dépression. Mais au début de l'Holocène, les rivières de la rive droite du fleuve se jetaient directement dans celui-ci par cette ligne rouge. Le fleuve Congo et ses affluents ont ainsi joué un rôle important dans le remodelage du paysage dans la région de Yangambi.

Trois terrasses fluviales ont été identifiées sur les replats des rivières Lomonge à Yaselia, Isalowe à Yangambi et Lokeli à Lilanda. Elles renseignent sur la fluctuation du niveau des rivières pendant le Quaternaire. Ces anciens lits des rivières sont situés à une altitude moyenne de 5 à 10 m au-dessus du fleuve et tapissés de graviers émoussés luisants. C'est à environ 100 m de la terrasse, sur la rivière Isalowe qu'a été trouvée une cuirasse avec des coquilles des mollusques (figure 6 b). La présence de ces coquilles de mollusques aquatiques dans cette formation indiquerait probablement le niveau d'eau qu'atteignait le fleuve Congo.

Un puits de sondage a été creusé à Lilanda pour établir le profil pédologique (figure 5). Ce puits est situé à environ 100 m de la route Yangambi-Isangi. A moins d'un mètre de profondeur, on a atteint la nappe phréatique qui témoigne encore aujourd'hui du rôle qu'ont joué le fleuve et ses affluents dans cette région.

Les altitudes du fleuve, du village Lilanda et de la rivière Lokeli montrent que cette dernière alimente la nappe phréatique qui, à son tour alimente le fleuve. Cela se remarque par le fait que la rivière est située à un niveau plus élevé que le village. L'eau de cette rivière stagne dans toute la dépression. A son tour la nappe phréatique qui est à moins d'un mètre de profondeur est au-dessus du niveau du fleuve.

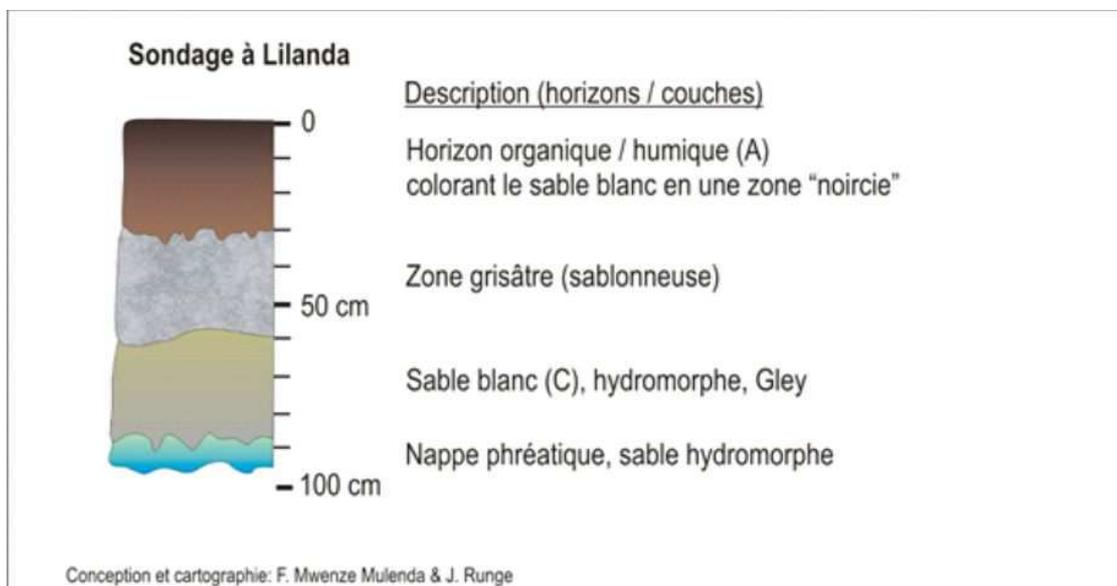


Figure 5. Profil d'un puits de sondage à Lilanda

Localisation : dans le village Lilanda, le long de la route Yangambi-Isangi, à environ 100 m du rond-Point.

Indicateurs du paléoenvironnement

Le sable ocre jaune et les cuirasses ferrugineuses

Dans la région de Yangambi, le couvert forestier ne permet pas de bien voir le sol. Sur la rive droite du fleuve Congo qui sillonne cette région, se dresse une grande falaise. Mesurant environ 10 km de longueur, celle-ci permet de voir « une réalité cachée » par le couvert forestier. Deux coupes stratigraphiques ont été établies sur la falaise (figure 6a et 6b), entre Yangambi et Yaselia.

Le sable ocre jaune identifié sur les deux coupes est répandu dans cette région. Il est situé à une altitude d'environ une vingtaine de mètres au-dessus du niveau du fleuve. Cette couche de sable ocre jaune se retrouve aussi à des altitudes plus élevées. Selon une analyse macroscopique, ce sable serait d'origine éolienne.

Les blocs de cuirasses ferrugineuses en démantèlement (figure 7) ont été trouvés sur les deux coupes, juste en-dessous de la couche d'humus. Ces blocs sont encastrés dans les différentes couches sous-jacentes. La présence de ces blocs de cuirasses est expliquée par leur chute sous le poids de la gravité. Ce sont les éboulis qui se retrouvent dans les couches inférieures. Du début de la falaise jusqu'à la rivière Ilongo, les cuirasses ferrugineuses sont à faciès pisolithiques et ont une couleur sombre. Par contre, vers l'embouchure de la rivière Lomonge jusqu'à la fin de la falaise, les cuirasses ferrugineuses sont à faciès gravillonnaires et ont une couleur rougeâtre.

La photo 8, sur la figure 7 montre la cuirasse à faciès gravillonnaire de la Falaise de Yangambi. Elle est de couleur rougeâtre et jaunâtre, composée des graviers brillants, d'environ 1 cm de diamètre. Les concrétions sableuses sont de dimensions assez homogènes. La cuirasse est compacte et présente quelques taches sombres dans une matrice de couleur rouge. En revanche, la cuirasse à faciès pisolithique de la Falaise de Yangambi, sur la photo 8 de la figure 7 a une couleur sombre. La matrice argileuse est de couleur brune. Sur une cassure fraîche, les minéraux de quartz sont millimétriques, visibles et brillants. Il y a aussi la présence des pisolithes ferrugineuses sombres. Ce sont pour la plupart, des blocs ayant des creux à la surface. Un bloc de cette cuirasse contient des mollusques bivalves fossilisés.

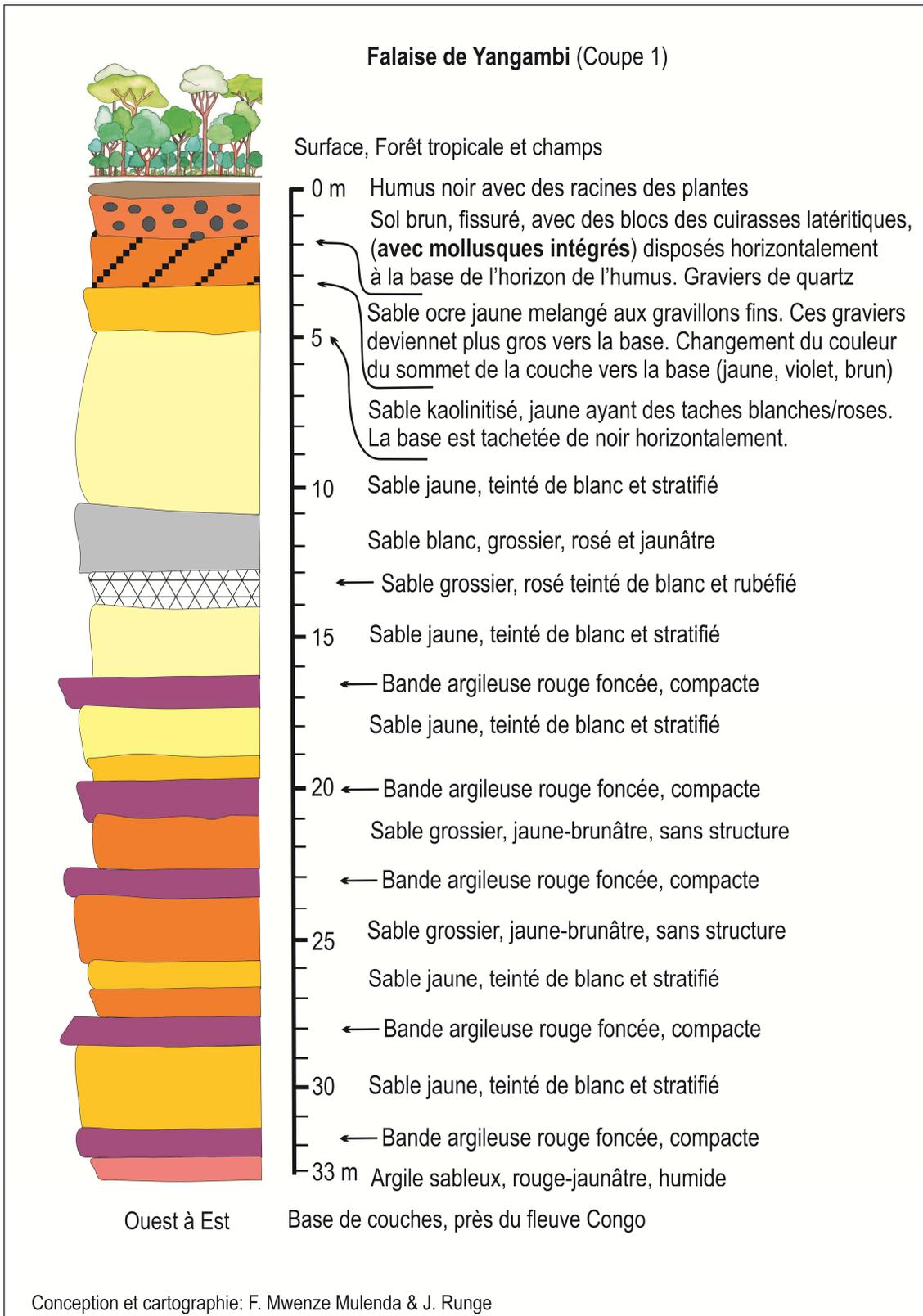


Figure 6a. Coupe stratigraphique (1) de la Falaise de Yangambi.

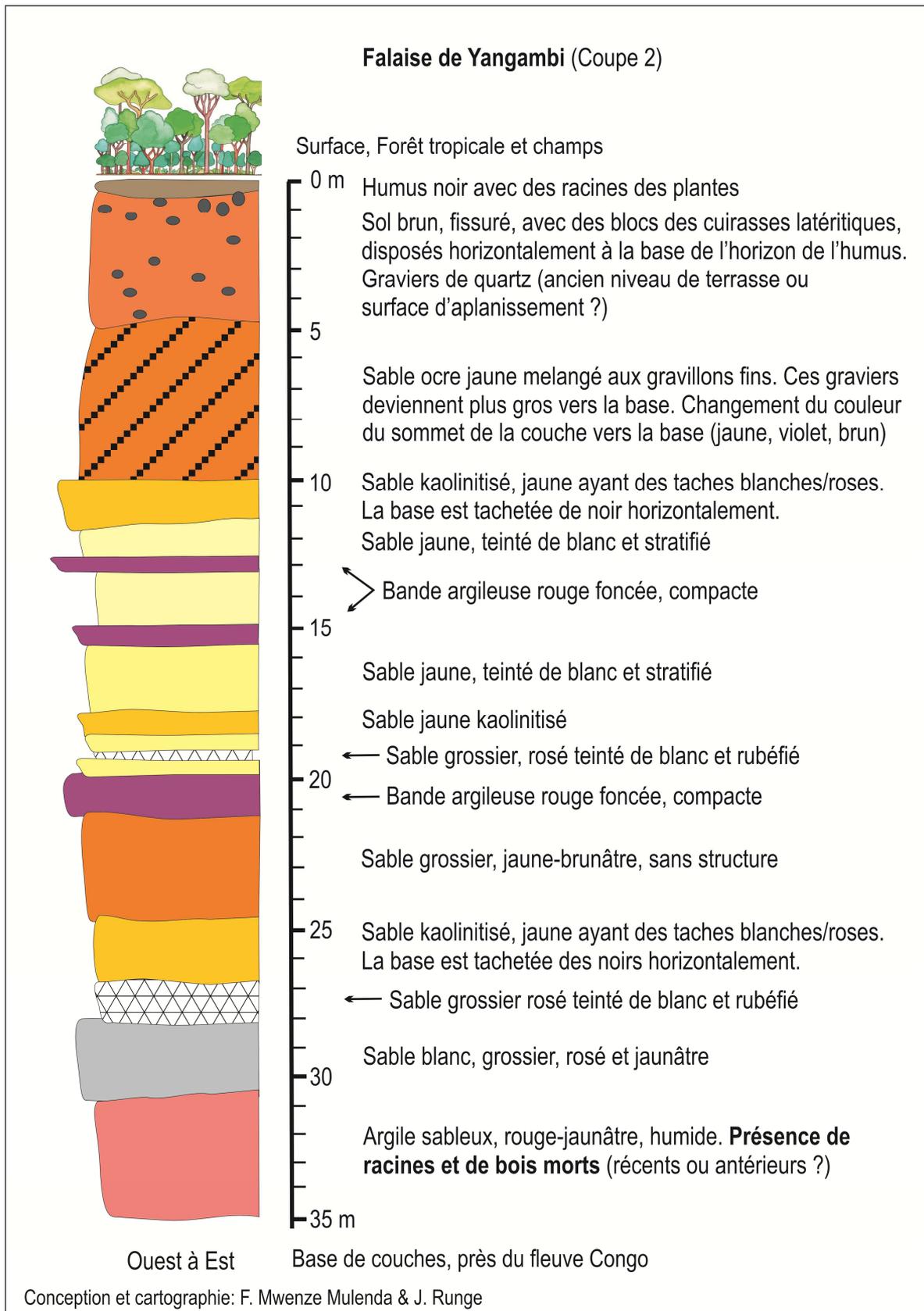


Figure 6b. Coupe stratigraphique (2) de la Falaise de Yangambi

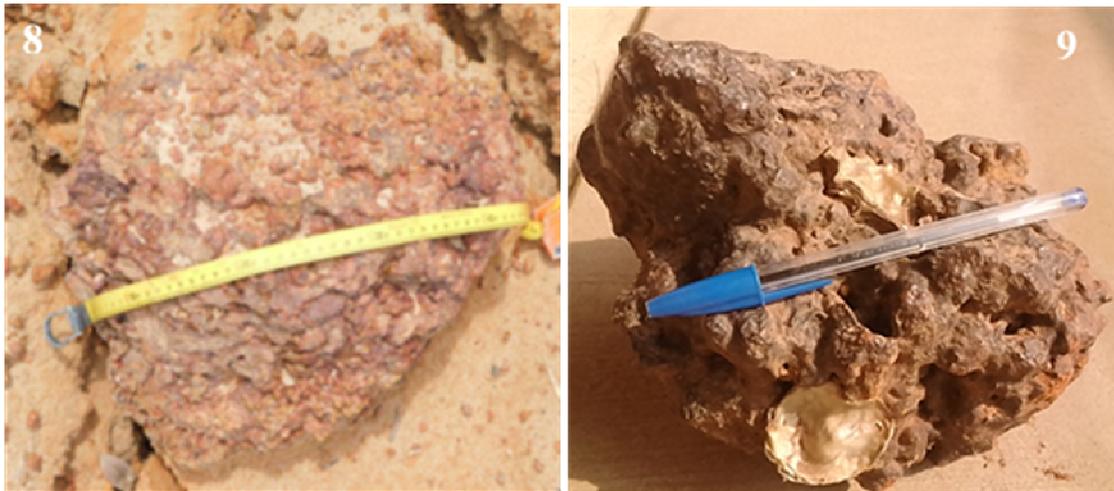


Figure 7. Cuirasses latéritiques avec des mollusques (coquilles) intégrés de la Falaise de Yangambi (© photos : F. MWENZE MULENDA).

Les cuirasses sont de véritables indicateurs de l'environnement et du climat dans lesquels elles se sont formées. Elles se forment dans un climat et un environnement bien précis. Elles sont caractéristiques d'un climat tropical semi-humide. Pour que les cuirasses se forment et parviennent au durcissement tel qu'elles se présentent actuellement sur le terrain, une saison sèche et bien démarquée est nécessaire (BEAUVAIS & TARDY 1991). Ce sont des formations qui ne pourraient pas exister dans une région comme celle actuelle de Yangambi où le climat est équatorial. Il pleut tellement toute l'année que le sol n'arrive pas à durcir et former une carapace. C'est pour cette raison que le processus de cuirassement a laissé place au processus de démantèlement qui est en cours dans la région. Que ces genres de roches se retrouvent dans une région telle que Yangambi ; cela prouve qu'il y avait dans la région, un climat propice à leur formation. Il y régnait donc, probablement, un climat tropical. Au lieu et à la place de la forêt dense humide actuelle, il y aurait eu une savane avec une forêt galerie le long des cours d'eau.

Analyse morphoscopique des quartz (Degré d'arrondissement)

Les résultats de l'analyse morphoscopique des sables de la Falaise de Yangambi ont montré une prédominance des grains émoussés-luisants et ronds-mats (figure 8). Dans 12 échantillons (Ybi 01, Ybi 02, Ybi 06, Ybi 07, Ybi 10, Ybi 12, Ybi 13, Ybi 14, Ybi 15, Ybi 16, Ybi 17, Ybi 18), les grains ont la forme *émoussés-luisants*. Les pourcentages des émoussés-luisants varient entre 50% et 84%. Ce sont les grains qui ont été transportés sur une certaine distance par les eaux du fleuve.

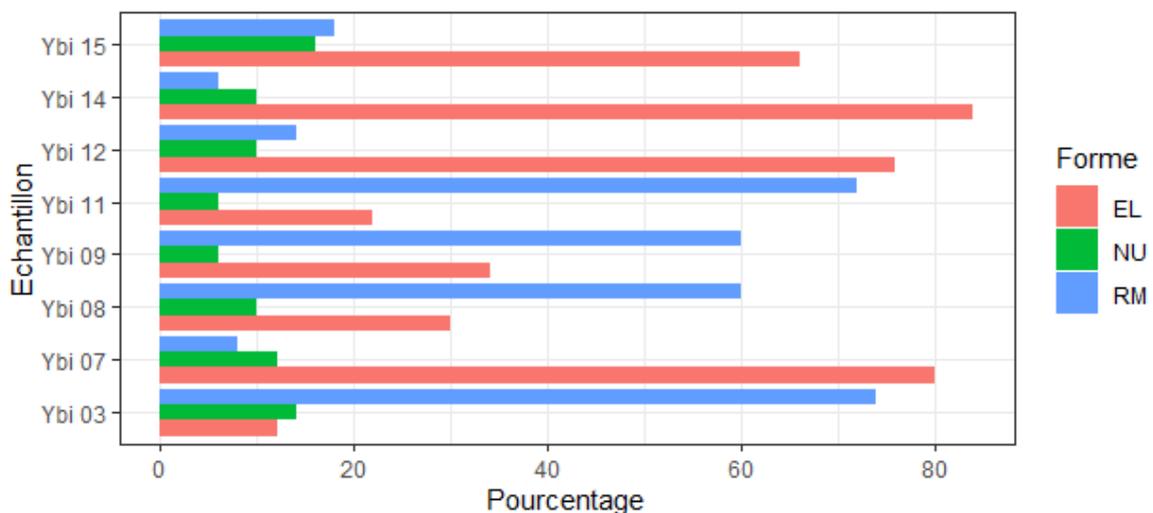


Figure 8 : Morphoscopie de sable de la Falaise de Yangambi (Ybi : code des échantillons prélevés à Yangambi ; EL : Emoussé-luisant ; NU : Non-usés ; RM : Rond-mat)

Mais, dans le reste des échantillons (Ybi 03, Ybi 04, Ybi 05, Ybi 08, Ybi 09, Ybi 11 et Ybi 19), c'est par contre la forme rond-mat qui est prépondérante, avec un pourcentage variant entre 56% et 74%. Ces grains sont d'origine éolienne et semble s'être déposés dans un environnement désertique. La particularité de la forme des grains de quartz de la Falaise de Yangambi est la présence des picotis à leur surface. Qu'ils soient émoussés-luisants ou *ronds-mats*, cette marque d'usure, due au choc pendant le transport est toujours présente à leur surface, comme l'illustre la figure 9.

Les grains d'origine éolienne sont entre autre à 3, 8 et 9,3 m de profondeur. Ils auraient été déposés dans un milieu désertique ou semi-désertique sous un climat aride ou semi-aride ; cela s'explique par la prédominance des grains ronds-mats dans certaines couches et la présence des picotis à la surface des grains. Puis le fleuve aurait remanié ces grains, d'où leur apparence émoussée-luisante. Au lieu et place de la forêt dense humide actuelle, il y aurait eu un paysage désertique ou semi-désertique.

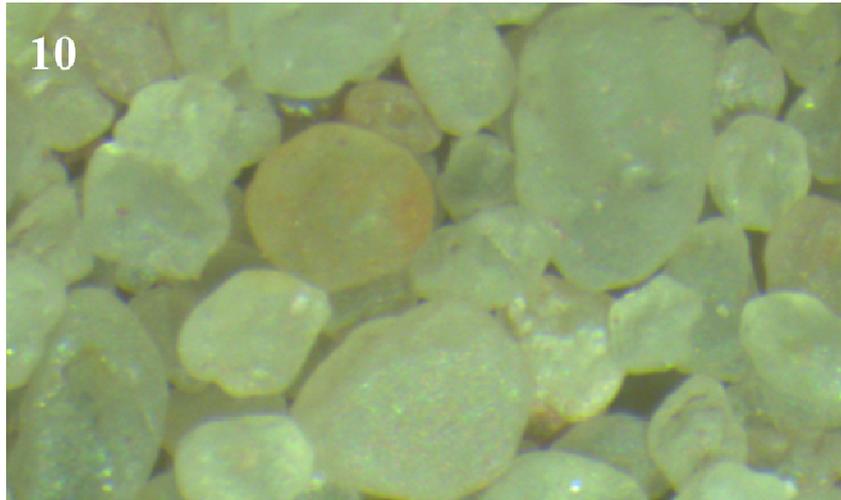


Figure 9 : Grains de quartz RM (100 µm) de la Falaise de Yangambi vus à la loupe binoculaire avec les marques d'usure à la surface (picotis).

Analyse granulométrique

Les courbes cumulatives

Les courbes cumulatives semi-logarithmique des sédiments de la Falaise de Yangambi ont des formes variées d'un échantillon à l'autre. Certaines courbes ont la forme en S redressé ou à forte pente et d'autres courbes ont des formes quelconques (figure 10). Le fait que les courbes cumulatives n'ont pas toute une forme en S régulier montre déjà un mauvais classement de ces sédiments. Sur les 19 échantillons prélevés sur la Falaise de Yangambi, 17 sont constitués d'au moins 50% des sables. Parmi ces échantillons constitués en majorité de sable, 12 sont composés majoritairement de sables grossiers, 2 de sables moyens et 4 de sables fins. La Falaise étant composée essentiellement de sables, cela indique qu'il s'agit des sables transportés en suspension et dans un courant tantôt agité, tantôt peu agité lors du remaniement des sédiments par le fleuve.

L'indice de Trask confirme l'interprétation des courbes cumulatives selon laquelle, les sédiments sont mal classés. Selon cet indice, aucun échantillon des sédiments de la Falaise de Yangambi n'est très bien ou bien classé. Leurs indices de Trask varient entre de 1,22 à 3,87.

Les sédiments de 6 échantillons sont assez bien classés, 6 sont moyennement classés, 5 sont mal classés et 2 sont très mal classés. L'indice d'asymétrie de Trask donne une asymétrie négative pour 11 échantillons, 4 ont une asymétrie positive et 4 sont symétriques. Le classement est respectivement meilleur du côté des sables grossiers, meilleur du côté des sables fins et autant pour les grossiers que les fins. Ces indices correspondent respectivement au courant fort, faible et moyen (sable à indice d'asymétrie de Trask : symétrique).

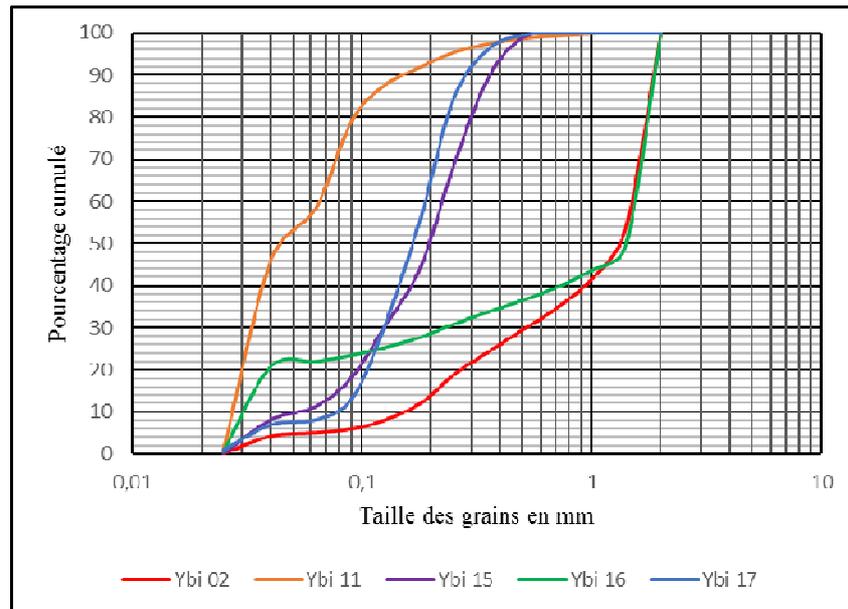


Figure 10 : Courbes cumulatives des sédiments de la Falaise de Yangambi.

DISCUSSION

Reconstitution des processus morphologiques fluviaux

Durant le Quaternaire, l'hydrographie de la région a remodelé les sédiments à maintes reprises par sa fluctuation. Les cours d'eau ont connu à cette période géologique, les mouvements d'agrandissement et de rétrécissement de leur lit (RUNGE, 2007c). Ces mouvements dus aux variations climatiques ont eu un impact sur l'environnement, conduisant à la formation des terrasses fluviales. Cette période correspondrait probablement à la phase transgressive qui avait atteint son point culminant à 8 000 BP (MALEY, 1983, 1987 ; ROCHE, 1991).

L'idée d'une origine climatique des terrasses est d'ailleurs établie depuis plusieurs décennies (ZEUNER, 1945 ; BOURDIER, 1968). Elles reflètent les fluctuations climatiques du passé. La présence de ces terrasses traduit une réponse des cours d'eau aux fluctuations climatiques (BRIDGLAND *et al.*, 2012). Dans la région intertropicale où est située la zone d'étude, la période « fluviale » correspond à un climat plus humide alors que la période « interfluviale » est dominée par une grande sécheresse ou un climat aride/semi-aride (HALLEGOUËT & MORZADEC-KERFOURN, 1977 ; GARTET & GARTET, 2013).

Dans la dépression trouvée dans cette région, il s'observe une nappe de sables blancs issus du remodelage des sables préexistants par l'hydrographie. Ce même constat avait déjà été fait bien avant à Yambuya et à Lilanda par DE HEINZELIN (1952) pour qui, les plages de sables blancs colmatent des dépressions moins profondes, actuellement dépourvues de cours d'eau. Les sables blancs sont rencontrés surtout sur les terrasses fluviales. Ces sables étant complètement lavés, ils ne possèdent presque pas d'argile. C'est pour cette raison que ce milieu est dépourvu des termitières.

Paléoenvironnement Quaternaire

Sur les coupes stratigraphiques relevées sur le terrain, figure le sable ocre-jaune dans les couches supérieures de la Falaise ; l'analyse morphoscopique des grains de quartz confirme une forte origine éolienne de ce sable à prédominance des grains ronds-mats, caractéristique d'un milieu désertique ou de dunes littorales (CAILLEUX 1942, 1969 ; CAILLEUX & TRICART 1963). Mais les picotés à la surface des grains de quartz sont les marques d'usure à sec et de chocs des particules dans le vent. Cela est comparable aux observations faites dans certaines zones désertiques d'Afrique (LAQUINI *et al.*, 2019).

DE HEINZELIN (1952) est arrivé au même résultat après avoir observé ce type de sable dans le bassin du Congo. Il a attribué cela à une progression vers le nord d'un système désertique jeune de Kalahari (THESIGER, 1950 ; BAGNOLD, 1951). Des observations similaires d'origine éolienne ont été faites par VAN WAMBEKE (1960) à Yanonge et GUILLOCHEAU *et al.* (2015), dans le bassin du Congo. Sur la Falaise Yangambi, on remarque une prédominance des grains ronds-mats et émoussés-luisants. Ceux-ci proviendraient d'une redistribution du sable par le réseau hydrographique.

Des résultats analogues ont été obtenus sur les Falaises dites « de Douvres » (appellation donnée par STANLEY en 1877) en bordure NW du Stanley Pool (KOECHLIN, 1957). Les grains prélevés dans le système géologique du Kalahari, qui constitue vers le Nord de vastes surfaces des Plateaux Batéké avaient des formes émousées-luisantes et rond-mat. Cette dernière forme proviendrait de l'expansion du désert de Kalahari ou « *Mega-Kalahari* » (STOKES, 1997 ; MATMON *et al.*, 2015). Quant à la forme émousés-luisants, elle résulterait d'un remaniement par les eaux du fleuve.

De même, les sables ocre-jaunes semblables à ceux trouvés à Yangambi ont été découverts à Lusambo, au centre de la RDC. La présence de dunes fossiles linéaires d'origine éolienne au Kasai, dans la région de Lusambo, actuellement en zone forestière (LADMIRANT & ROCHE, 1988) souligne les variations de l'environnement et du climat au cours des temps géologiques. Pour ces auteurs, cette période coïnciderait au recul des forêts denses humides, laissant place à une savanisation de la région vers le milieu de l'Holocène. Cette hypothèse concernant la datation devrait, selon nous, être remise en question.

Si on se réfère aux diagrammes palynologiques réalisés sur des séquences sédimentaires argilo-tourbeuses des dorsales des Mitumba et Congo-Nil dans le secteur Kivu-Tanganyika du rift occidental albertin, on remarque, environ 4000 ans BP, un pic de Poaceae révélateur d'une expansion des savanes et des landes altimontaines au détriment de la forêt afro-montagnarde (ROCHE, 1991 ; ROCHE *et al.*, 1988 ; ROCHE et BIKWEMU, 1989 ; ROCHE *et al.*, 2015 ; KABONYI NZABANDORA et ROCHE, 2015). A basse altitude, la forêt dense équatoriale planitiaire subit une contraction dans la cuvette centrale congolaise et une fragmentation à sa périphérie (MALEY *et al.*, 2017). Le pic de Poaceae, témoin d'une xéricité favorisant l'expansion des milieux ouverts a été reconnue par RUNGE & RUNGE (1998) et par RUNGE (2001a) sous l'appellation « Older Poaceae Period (OPP) » de l'Holocène. Cependant, cette période est de trop courte durée que pour justifier la mise en place de structure d'aridification de type « kalaharien » telles que décrites par LADMIRANT et ROCHE (1988). Toutefois, si de telles structures seraient relativement récentes, comme le suggèrent de HEINZELIN (1952) et VAN WAMBEKE (1960), il serait raisonnable de les situer au Dernier Maximum Glaciaire/Last Glacial Maximum (DMG/LGM) dont la durée, de 24000 à 18000 BP, correspond mieux à leur mise en place. Dans le diagramme de la séquence de Kashiru (Burundi), on remarque d'ailleurs que l'expansion des Poaceae est nettement plus importante au DMG/LGM qu'à l'OPP (ROCHE & BIKWEMU, 1989).

Dans notre étude, à Yangambi, l'analyse des courbes granulométriques a permis de mettre en évidence un faciès sédimentaire sableux, avec une prédominance de la fraction grossière. Ce faciès est localisé dans presque toutes les couches de la falaise et sa mise en place est étroitement liée à l'hydrodynamisme du milieu régi par un courant fort (SAÏDI *et al.*, 2004). C'est un faciès qui caractérise surtout les milieux agités (MAANAN, 2003). L'indice de Trask révèle que ce sont en majorité des sédiments compris entre assez bien et très mal classés. L'indice d'asymétrie de Trask, par contre, est contrasté à cause de différents épisodes de dépôt des sédiments. Beaucoup de sédiments ont une asymétrie positive, ce qui correspond à un courant fort ; d'autres ont une asymétrie négative, correspondant au courant faible et d'autres enfin sont symétriques, caractéristiques d'un courant moyen (FOURNIER *et al.*, 2012). Les cuirasses ferrugineuses trouvées sur les coupes stratigraphiques de la Falaise de Yangambi sont aussi des indicateurs du paléoenvironnement et du paléoclimat. Elles ne se forment pas dans n'importe quel climat et quel environnement. D'autres auteurs ont interprété de façon similaire la présence des cuirasses dans les zones à climat équatorial. Pour ces auteurs (Du TOIT, 1939 ; AUBREVILLE, 1947 ; de HEINZELIN, 1952), les cuirasses sont des formations anciennes qui ont pris naissance dans un climat tropical avec une saison sèche bien marquée, dans les couches d'argiles riches en fer et aluminium.

Les mêmes conclusions ont été tirées des observations faites en Ituri oriental, où le cuirassement constitue l'empreinte des variations climatiques anciennes (MBULUYO, 1991). L'auteur montre qu'à cette latitude subéquatoriale de l'Ituri (2° Nord), de véritables paysages soudaniens ont existé et que les processus morphogénétiques récents et actuels s'efforcent de les réduire en un paysage de type subéquatorial.

Pour BEAUVAIS & TARDY (1991), les cuirasses apparaissent comme des reliques, témoins des paléoclimats. Le cuirassement perdure sous des climats tropicaux contrastés, dans un environnement savanicole. Mais dans les domaines de forêts équatoriales, elle se démantèle. Ces auteurs abondent dans le même sens que nos observations en affirmant que les cuirasses sont les restes qui témoignent du climat du passé. Mais la différence se porte dans les milieux d'étude. Leur étude a été menée dans une région à climat tropical contrasté, où le cuirassement est encore possible ; alors que cette étude est menée dans une région à climat équatorial, où le cuirassement s'est déjà arrêté.

CONCLUSION

Les alluvions de la région de Yangambi ont permis de reconstituer les processus morphologiques fluviaux et éolien, et mettre en évidence plusieurs types de paysages et climats qui s'y sont succédé probablement durant le Quaternaire. Les sables blancs observés dans la dépression du village Lilanda ainsi que les terrasses fluviales sur lesquelles ils se trouvent, montrent les variations du niveau d'eau des rivières dû aux oscillations climatiques pendant le Pléistocène et l'Holocène.

Parmi les indicateurs du paléoenvironnement et paléoclimat, les cuirasses ferrugineuses trouvées sur les coupes stratigraphiques faites sur la Falaise de Yangambi. Les cuirasses à faciès gravillonnaire et celles à faciès pisolithique. Ces cuirasses ont montré qu'il y a eu, dans le passé (DMG/LGM ?), dans la région de Yangambi, un paysage savanicole sous un climat tropical au lieu et place de la forêt dense humide actuelle.

Par ailleurs, le sable ocre jaune trouvé dans les premières couches des coupes stratigraphiques quant à lui, est caractéristique d'un paysage désertique. Les analyses morphoscopiques des grains de quartz a mis en évidence la prépondérance des grains ronds-mats et émoussés-luisants. Les résultats de cette analyse ont montré que la région de Yangambi aurait été, à une certaine époque, un paysage désertique avec un climat aride. Après ce paysage désertique, l'augmentation des niveaux d'eau des rivières a conduit au remodelage de ce sable par l'hydrographie. La datation des fossiles (coquilles des mollusques bivalves, bois mort) trouvés dans les sédiments serait très importante pour de déterminer l'âge minimum de différentes couches, et par ricochet la chronologie des différents événements qui n'ont pas encore été datés pour le moment mais qui seraient d'âge pléistocène (DMG/LGM) plutôt qu'holocène et vraisemblablement concomitant des structures décrites par RUNGE (2001b) dans l'est de la RDC (Walikale).

Remerciements

Cet article est une synthèse du mémoire de master réalisé grâce à un financement de l'Union Européenne (UE). Je remercie donc grandement l'Union Européenne, le Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR) et l'Université de Kisangani (UNIKIS) pour l'octroi de la bourse de master obtenue avec l'appui du programme FORETS (Formation, Recherche et Environnement dans la Tshopo).

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE, J., 1991. Structure et site topographique originels des cuirasses latéritiques. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 27 : 125-137.
- ALEXANDRE, J., 2002. Les cuirasses latéritiques et autres formations ferrugineuses tropicales exemple du Haut Katanga méridional - *Mus. Roy. Afr. Centr., Tervuren, Ann. Sc. Géol.*, 107.
- ASSI-KAUDJHIS, C., DIGBEHI, B. Z., ROCHE, E., & LEZINE, A. M., 2010. Synthèse sur l'évolution des paléoenvironnements de l'Afrique occidentale atlantique depuis la fin de la dernière période glaciaire. Influences climatiques et anthropiques. *Geo-Eco-Trop*, 34 (Decembre) : 1-28.
- AUBREVILLE, A., 1947. Erosion et bovalisation en Afrique noire française. *Agronomie tropicale*, 7-8 : 339-357.
- BAGNOLD, R. A., 1951. Sand formations in Southern Arabia. *The Geographical Journal*, CXVII : 78- 86
- BARBER, D.C., DYKE, A., HILLAIRE-MARCEL, C., JENNINGS, A.E., ANDREWS, J.T., KERWIN, M.W., BILODEAU, G., MC NELLY, R., SOUTHONS, J., MOREHEAD, M.D. & GAGNON, J.M., 1999. Forcing of the cold event of 8.200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, 400, 22 : 344-348.
- BEAUVAIS, A. & TARDY Y., 1991. Formation et dégradation des cuirasses ferrugineuses sous climat tropical humide, à la lisière de la forêt équatoriale, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 313, *Série H* : 1539-1545.
- BLAIN, H. A., SESE, C., RUBIO-JARA, S., PANERA, J., URIBELARREA, D., & PEREZ-GONZALEZ, A., 2013. Reconstitution paléoenvironnementale et paléoclimatique du pléistocène supérieur ancien (mis 5a) dans le centre de l'Espagne : Les petits vertébrés (amphibia, reptilia & mammalia) des gisements de hat et preresca (sud-est de Madrid). *Quaternaire*, 24 (2) :191-205.
- BOURDIER, F., 1968. Les caractéristiques pédologiques des glaciations quaternaires de la Bièvre-Valloire. *Excursions Sous-Commission INQUA pour la stratigraphie du Quaternaire européen*, 9-10 May, 12p.
- BOYEMBA, F., 2011. Écologie de *pericopsis elata* (harms) van meeuwen (fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée. Thèse de doctorat, *Université Libre de Bruxelles*, 181p.
- BRIDGLAND, D., WESTAWAY R. & CORDIER, S., 2012. Les causes de l'étagement des terrasses alluviales à travers le monde. Factors affecting the worldwide development of long timescale fluvial terrace staircases. *Quaternaire*, 20, (1) : 5-23.
- BUSH, M. B. & SILMAN, M.R., 2007. Amazonian exploitation revisited : ecological asymmetry and the policy pendulum. *The ecological society of America*.
- CAHEN, L., 1954. Géologie du Congo belge. *H. Vaillant-Carmagne*, Liège. 577p.
- CAILLEUX, A., 1942. Les actions éoliennes périglaciaires en Europe. *Mém. Soc. Géol. Fr., n.s.*, E. 21, 46, Paris, 176p.
- CAILLEUX, A., 1969. Quaternary Periglacial Wind-Worn Sand-Grains in U.R.S.S. *In : Periglacial Environment Past and Present*, McGill Univ. Press , Montréal, p. 285-301.
- CAILLEUX, A., & TRICART, J., 1963. Initiation à l'étude des sables et galets. *CDU, 5 pi. de la Sorbonne*, 5, 1 vol., Paris, 369 p.

- DE HEINZELIN, J. B., 1952. Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord oriental du Bassin du Congo. *INEAC*, Bruxelles, 200p.
- 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*.
- DUPLESSY, J.C., 1997. Vers un refroidissement de l'Europe ? *La Recherche*, 295 : 52-56.
- DU TOIT, A. L., 1939. The geology of South Africa, 2^{ème} ed. *Oliver Boyd*, Edinburgh-London.
- FOLK R. & WORD W., 1957. Brazors river bors, a study in significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*, 27 : 13-27.
- FOURNIER, J., BONNOT-COURTOIS, C., PARIS R., VOLDOIRE, O. & LE VOT, M., 2012. Analyses granulométriques, principes et méthodes. *CNRS, Dinard*, 99p.
- GARTET, J. & GARTET, A., 2013. Signification des formes et des formations fluviales du Quaternaire supérieur dans la vallée de l'Ouerrha, Rif méridional. *Revista de geomorfologie*, 15 : 97-107.
- GUILLOCHEAU, F., CHELALOU, R., LINOL, B., DAUTEUIL, O., ROBIN, C., MVONDO, F., CALLEC, Y. & COLIN, J-P., 2015. Cenozoic Landscape Evolution in and Around the Congo Basin: Constraints from Sediments and Planation Surfaces. In : *Geology and Resource Potential of the Congo Basin* (December issue). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29482-2>.
- HALLÉGOUËT, B. & MORZADEC-KERFOURN, M. T., 1977. Terrasses climatiques ou terrasses eustatiques pleistocènes le long des cours d'eau de Bretagne occidentale. *Bulletin de l'Association de géographes français*, 54e année , 441-442 : 81-89.
- KABONYI NZABANDORA, C. & ROCHE, E. 2015. Six millénaires d'évolution environnementale sur la dorsale occidentale du Lac Kivu au Mont Kahuzi (R.D.Congo). Analyse palynologique de la séquence sédimentaire de Ngushu. *Geo-Eco-Trop.*, 39, 1 : 1-26.
- KOECHLIN, J. 1957. Morphoscopie des sables et végétation dans la région de Brazzaville. Extr. *Bulletin Institut d'Eudes Centrafricaines*, nouvelle Série, N° 8, 13-14 : 39-48.
- 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 - Acad. roy. Sc. Belgique*, v.s.: 996.
- LAOUNI, H., HACINI, M., DAMNATI B., CHERIF, A. & REMITE, A., 2019. Sedimentological and paleoenvironmental analysis of chott Baghdad deposit (Northern Algerian Sahara). *Energy Procedia*, 157 : 59-67.
- LEPRONNE, J., 1974. Carte géologique du Zaïre au 1/2000 000 et notice explicative. *République du Zaïre, Département des Mines, Direction de la Géologie*, Kinshasa.
- LOMBA, C., 2012. Systèmes d'Agrégations et structures diamétriques en fonction des tempéraments de quelques essences dans les dispositifs permanents de la Yoko et Biaro (Ubundu, Province Orientale, R.D. Congo). Thèse de doctorat. *Université de Kisangani*, Kisangani, 220p.
- MAANAN, M., 2003. Étude sédimentologique du remplissage de la lagune de Sidi Moussa (Côte atlantique marocaine) : caractérisations granulométriques, minéralogique et géochimique. Thèse de doctorat, *Université Chouaib Doukkali*, 131p.
- MALEY, J., 1983. Histoire de la végétation et du climat de l'Afrique nord-tropicale au Quaternaire récent. *Bothalia*, 14, 3-4 : 377-389.
- MALEY, J., 1987. Fragmentation de la Forêt dense humide africaine et extension des biotopes montagnards au Quaternaire récent : nouvelles données polliniques et chronologiques. Implications, paléoclimatiques, chronologiques et biogéographiques. *Palaeoecology of Africa*, 18 : 307-334.
- MALEY, J., DOUMENGE, C., GIRESE, P., MAHE, G., PHILIPPON, N., HUBAU, W., LOKONDA, M.O., TSHIBANDA, J.M. & CHEPSTOW-LUSTY, A. 2017. Late Holocene forest contraction and fragmentation in Central Africa. *Quaternary Research*, 1-17
- MATMON, A., HIDY, A., VAINER, S., CROUVI, O., FINK, D., EREL, Y., ARNOLD, M., HORWITZ, L. & CHAZAN, M., 2015. New chronology for the southern Kalahari Group sediments with implications for sediment-cycle dynamics and early hominin occupation. *Quaternary Research*, 84,1 : 118-132, <https://doi.org/10.1016/j.yqres.2015.04.009>.
- MBULUYO, M.K., 1991. Les principales entités géomorphologiques de l'Ituri oriental et les faciès cuirassés associés (Nord-Est du Zaïre). *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 27 : 139-148.
- NEUMER, M., BECKER, E. & RUNGE, J., 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.
- PREUSS, J., 1986a. Jungpleistozäne Klimaänderungen im Kongo-Zaire-Becken. - *Geowissenschaften in unserer Zeit*, 4, 6: 177-187.
- PREUSS, J., 1986b. Die Klimaentwicklung in dem äquatorialen Breiten Afrika im Jungpleistozän. Versuch eines Überblicks im Zusammenhang mit Geländearbeiten in Zaire. - *Marburger Geogr. Schriften*, 100: 132-148.

- RITCHOT, G. & CAILLEUX, A., 1971. Taxonomie géomorphologique et morphoscopie de sables au Québec méridional. *Cahiers de géographie du Québec*, 242-238.
- ROCHE, E., 1991. Évolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bulletin - Société Géographique de Liège*, 27, 187–208.
- ROCHE, E., BIKWEMU, G. & NTAGANDA, C. 1988. Evolution du paléoenvironnement Quaternaire au Rwanda et au Burundi. Analyse des phénomènes morphotectoniques et des données sédimentologiques et palynologiques. *Inst. fr. Pondichéry, Trav. Sec. Sci. Tech.*, XXV : 105–123.
- ROCHE, E. & BIKWEMU, G. 1989. Paleoenvironmental change on the Zaïre-Nile ridge in Burundi; the last 20 000 years: an interpretation of palynological data from the Kashiru core, Ijenda, Burundi. *In: Quaternary and Environmental Research on East African Mountains*, 231–242. Edited by W.C. Mahaney (York University, Toronto). A.A.Balkema Publishers, Rotterdam (NL).
- ROCHE, E., KABONYI NZABANDORA, C. & NTAGANDA, C. 2015. Aperçu de la phytodynamique holocène du milieu montagnard sur la chaîne volcanique des Virunga (Nord du Rwanda). *Geo-Eco-Trop.*, 39, 1 : 27-54.
- RUNGE, F. & RUNGE, J. 1998. Phytolithanalytische und klimageschichtliche untersuchungen im Musisi-Karashoma-Sumpf, Kahuzi-Biega-Nationalpark, Ost-Kongo (ex-Zaïre). *Paderborner Geographische Studien*, 11: 79–104.
- RUNGE, J., 1992. Geomorphological observations concerning palaeoenvironmental conditions in eastern Zaïre. *Z. Geomorph., N.F., Suppl.-Bd.*, 91: 109-122.
- RUNGE, J., 2001a. Landschaftsgenese und Paläoklima in Zentralafrika. *Relief, Boden, Paläoklima*, 17: 1-294.
- RUNGE, J. 2001b – On the age of stone-lines and hillwash sediments in the Eastern Congo basin - Palaeoenvironmental implications. *Palaeoecology of Africa*, 27: 19–36.
- RUNGE, J., 2007a. Des déserts et des forêts, histoire du paysage et du climat de l'Afrique Centrale au Quaternaire Supérieur. *Geo-Eco-Trop*, 31, (1) : 1–18.
- RUNGE, J., 2007b. Dynamics of forest ecosystems in Central Africa during the Holocene. Past- Present - Future. - *Palaeoecology of Africa*, 28: 1- 306.
- RUNGE, J., 2007c. The Congo River, Central Africa. *Gupta, A. (ed.) Large Rivers: Geomorphology and Management. J. Wiley & Sons*, pp. 293–308.
- SAÏDI, H., BRAHIM, M. & GUEDDARI, M., 2004. Caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments de surface de la frange littorale Sidi Bou Said - La goulette. *Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô*, 31 : 97-106.
- SCHRÖTER, D., CRAMER, W., LEEMANS, R., PRENTICE, I., C., ARAUJO, M., B., ARNELL, N., W., BONDEAU, A., BUGMANN, H., CARTER, T., R., GRACIA, C., A., DE LA VEGA-LEINERT, A., C., ERHARD, M., EWERT, F., GLENDINING, M., HOUSE, J., I., KANKAANPÄÄ, S., KLEIN, R., J., T., LAVOREL, S., LINDNER, M., METZGER, M., J., MEYER, J., MITCHELL, T., D., REGINSTER, I., ROUNSEVELL, M., SABATE, S., SITCH, S., SMITH, B., SMITH, J., SMITH, P., SYKES, M., T., THONICKE, K., THUILLER, W., TUCK, G., ZAEHLE, S. & ZIERL B., 2005. Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science*, 310:1333-1337.
- STOKES, S., THOMAS, D., & WASHINGTON, R., 1997. Multiple episodes of aridity in southern Africa since the last interglacial period. *Nature*, 388 : 154-158.
- THESIGER, W., 1950. Deserts borderlands of Oman. *The Geographical Journal*, vol. CXVI, pp. 138-171.
- THOMAS, C., D., CAMERON, A., GREEN, R., E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L., J., COLLINGHAM, Y., C., ERASMUS, B., F., N., FERREIRA DE SIQUEIRA, M., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARVELD, A., S., MIDGLEY, G., F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M., A., TOWNSEND PETERSON, A., PHILLIPS, O., L. & WILLIAMS, S., E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 247 :145-148.
- THUILLER, W., MIDGLEY, G., F., HUGHES, G.O., BOMHARD, B., DREW, G., RUTHERFORD, M.C. & WO, O., 2006. Endemic species and ecosystem sensitivity to climate change in Namibia. *Global Change Biology* 12 : 759-776.
- VAN WAMBEKE, A., 1960. Notice explicative de la carte des sols de la région de Yanonge-Yatolema. *Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo (I.N.E.A.C.)* : 7-28.
- ZEUNER, F.W., 1945. The Pleistocene Period : its Climate, Chronology and Faunal Successions (1st edition). *Ray Society*, London, publication N° 130, 322p.