



**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**

**Six millennia of environment evolving on the western ridge of the Kivu Lake in the  
Mount Kahuzi area (D.R.Congo)  
Palynological analysis of the Ngushu sedimentary sequence**

Chantal KABONYI NZABANDORA<sup>(1)</sup> & Emile ROCHE<sup>(2)</sup>

**Abstract :** Palynological analysis of sedimentary deposits of the Ngushu marsh (alt.: 2202 m) in the Mount Kahuzi surroundings revealed 6000 years of environment evolving on the western ridge of the Kivu Lake.

Around 6000 yrs BP, a heterogeneous rain forest occupied the highlands of the area. After drought conditions ca. 4000 yrs BP, climate evolved to shifting rainfall patterns from 2700 to 2000 yrs BP with particular intensity between 2600 and 2300 yrs BP. These conditions with the soil instability induced by extension of the bamboos had as consequence a serious erosion on the slopes. From 2000 yrs BP, the return to climatic conditions like the actual ones led, despite a little drought peak around 500 yrs AD, to a regeneration of the mountainous rain forest. At the beginning of the 2<sup>d</sup> millennium AD, effects of human influence appeared in the lowlands while, in the highlands, that one occurred really from the 17<sup>th</sup>- 18<sup>th</sup> centuries.

**Keywords :** Congo D.C. – Southern Kivu – Mount Kahuzi – Ngushu sedimentary sequence – Palynological analysis – Holocene environmental evolution

**Résumé :** L'analyse palynologique des dépôts argilo-tourbeux du marais de Ngushu situé à 2202 m d'altitude au pied du Mont Kahuzi révèlent l'archivage de 6000 ans d'histoire environnementale de la dorsale occidentale du Kivu.

A la fin de l'optimum climatique holocène, ca. 6000 ans BP, une forêt afro-montagnarde hétérogène à caractère ombrophile occupe les hauts reliefs de la région. Après une phase de xéricité apparue ca. 4000 ans BP, s'installe une instabilité climatique jusqu'à ca. 2000 ans BP avec une période plus intense se situant entre ca. 2600 et ca. 2300 ans BP. Celle-ci se traduit par des phénomènes érosifs consécutifs à une déstabilisation des pentes concomitante d'une extension de l'horizon à bambous sur la dorsale. Un retour à la normale se manifeste ca. 2000 ans BP à la suite du retour de conditions climatiques proches des actuelles avec toutefois une brève pointe de xéricité survenant ca. 500 ans AD. Au début du deuxième millénaire AD, les premiers effets anthropiques apparaissent dans l'horizon inférieur du domaine forestier. La secondarisation des horizons supérieurs traduite par une accentuation du caractère mésophile de la forêt résulte de l'augmentation de la pression démographique régionale à partir des 17<sup>ème</sup> – 18<sup>ème</sup> siècles.

**Mots-clés :** R.D. du Congo – Sud Kivu – Mont Kahuzi - Séquence sédimentaire de Ngushu – Analyse Palynologique – Evolution environnementale holocène

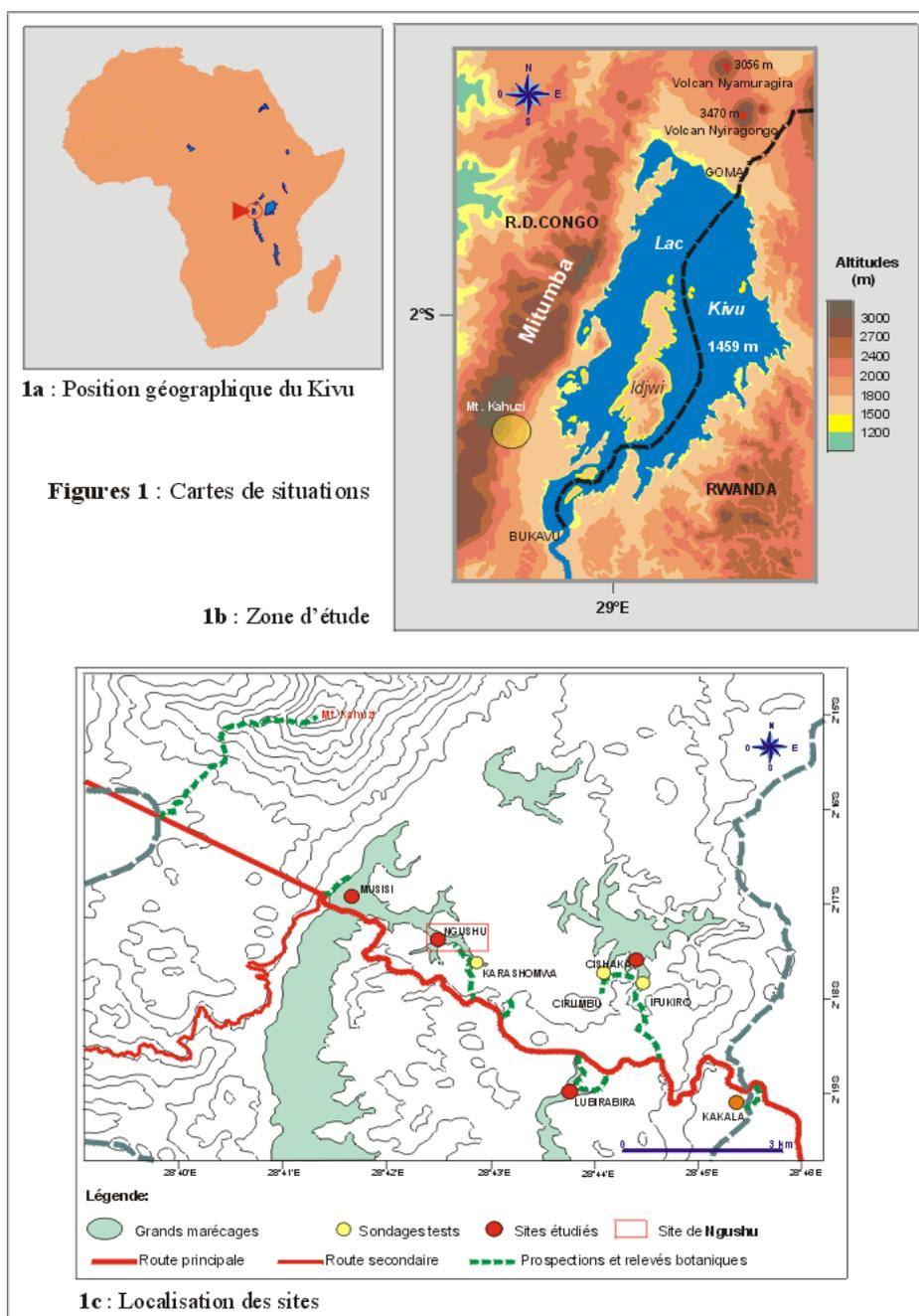
<sup>(1)</sup> Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université Officielle de Bukavu (R.D.Congo)

<sup>(2)</sup> Maître de Conférences émérite à l'Université de Liège  
Chef de service honoraire de l'Africamuseum Tervuren (Belgique)  
Membre de l'Académie royale belge des Sciences d'Outre-Mer

## INTRODUCTION

Dans l'est de la R.D.Congo, la chaîne des Mitumba, d'orientation S.O.-N.E., constitue la dorsale occidentale du rift centrafricain. Dans la région du Kivu, elle culmine à 3308 m d'altitude au Mont Kahuzi (Fig. 1b).

Le massif de Kahuzi-Biega, au N.O. de Bukavu, présente, vers 2200 à 2400 m d'altitude, des replats qui ont abrité, au début de l'Holocène, de vastes étendues lacustres ; celles-ci ont, au cours du temps et au gré des variations climatiques, évolué en marécages et en tourbières (ILUNGA, 1991). Au Sud-Kivu, les grandes dépressions marécageuses d'âges Pléistocène terminal et Holocène ne sont toutefois pas localisées uniquement sur les hauts plateaux ; on en rencontre à différentes altitudes jusqu'à proximité du lac.



Depuis 25 ans, ces dépôts tourbeux ont fait l'objet d'investigations palynologiques aux fins de reconstitutions paléoenvironnementales. Après les premiers travaux de S.VILIMUMBALO (1993 ; 1995) effectués essentiellement sur des sites de basse altitude dans les zones bordières du lac, les premières recherches sur la haute altitude ont été entreprises par M.MOSCOL-OLIVERA (1997) et par J.RUNGE et F.RUNGE (1998) sur des séquences sédimentaires prélevées par J.RUNGE dans le grand marais de Musisi en 1994. Cette recherche a été poursuivie ultérieurement par C.KABONYI NZABANDORA (2007).

A la suite de prospections initiées plus récemment par la Faculté des Sciences de l'U.O.B. (Université officielle de Bukavu) des recherches concernant de nouveaux sondages en haute altitude ont apporté des précisions sur l'évolution paléoenvironnementale du milieu afro-montagnard (KABONYI NZABANDORA, 2012 ; KABONYI NZABANDORA & ROCHE, 2015). A cet égard, deux séquences se sont montrées particulièrement significatives : celle de Cishaka ayant déjà fait l'objet d'une publication (KABONYI NZABANDORA *et al.*, 2015) et celle de Ngushu, concernant la présente étude. Cette dernière, de 8 m d'épaisseur, couvre un espace-temps de quelque 6 millénaires ; son analyse pollinique permet de reconstituer l'évolution de l'environnement altimontain sur la période considérée.

## CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

### Climat

#### *Régime des vents*

Les variations climatiques conditionnées par le mouvement des masses atmosphériques influencent la répartition des grandes communautés végétales en Afrique intertropicale. Dans cette zone, le climat dépend des alizés, vents soufflant des hautes pressions subtropicales vers les basses pressions équatoriales. Ceux-ci génèrent un front intertropical connu sous le nom de Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT / ITCZ) dont la mobilité au cours de l'année détermine les alternances saisonnières ainsi que la distribution et la répartition des pluies entre les tropiques. A cette interaction s'ajoute celle des alizés de l'océan indien qui créent, au niveau du Congo, un front équatorial de convergence interocéanique influant sur les courants aériens de l'est du Congo. A ces grands courants, s'ajoute, en Afrique orientale, le courant égyptien qui participe à l'inflexion de la ZCIT en Afrique orientale en période hivernale. Ce dernier, en s'insinuant selon une direction N-S entre le Kordofan et le Darfour vers la cuvette du Bahr El Gazal, pénètre dans la branche occidentale du rift où son influence peut atteindre le nord du Tanganyika (LEROUX, 1992).

Aux conditions créées au Kivu par les grands courants aériens qui entretiennent une forte humidité sur les dorsales du Rwanda et du Congo s'ajoute un phénomène particulier lié à l'inflexion des masses d'air au passage des reliefs : un effet de foehn, vent chaud de vallée entraînant des conditions desséchantes au niveau du lac Kivu et de ses abords y favorisant le développement d'une végétation méso-xérophile (LEBRUN, 1935). Cette zone se caractérise aussi par un régime de vents alternants qui détermine un microclimat local, les brises de lac et de terre (LEONARD, 1962). Ces conditions climatiques variées auxquelles sont soumises les régions montagneuses du Congo oriental expliquent la diversité de la végétation régionale.

#### *Températures – Précipitations - Insolation*

Le régime des températures et des précipitations sur le fossé tectonique du Kivu est lié à la structure du relief et à la circulation des courants aériens. Dans les années 30, un réseau climatologique avait été installé sur les dorsales Congo-Nil : une centaine de postes d'enregistrement échelonnés de 800 à 2500m d'altitude. Relayé ensuite dans les années 50 par le réseau de l'INEAC (Institut National pour l'Etude Agronomique au Congo), il a constitué une source de documentation importante. Actuellement les données les plus récentes sont fournies par la station de Lwiro (1750 m), la seule encore fonctionnelle sur les bords du Kivu.

Dans les régions montagneuses, les températures diminuent avec l'altitude. Sur le flanc oriental de la crête des Mitumba qui domine le lac Kivu, la décroissance thermique altitudinale a été estimée à 0,6°-0,7°C en moyenne tous les 100 m. Ainsi, la température moyenne annuelle est de 21°C au niveau du lac de 15°C à 2400 m et de 7°-8°C à 3200 m d'altitude.

Les précipitations sont déterminées par l'action combinée des courants aériens et de l'altitude. La face orientale de la dorsale est particulièrement bien arrosée toute l'année. Au niveau du lac, la pluviosité est de 1300-1400 mm/an. Avec l'altitude, l'ennuage et la pluie augmentent, la zone des précipitations maximales se situant entre 2200 m et 2600 m où elles peuvent atteindre 2000 mm/an et se présenter sous forme d'averses violentes. A plus haute altitude, les précipitations diminuent pour se transformer en pluies fines et brouillards. Du point de vue du régime pluviométrique, selon les critères de KÖPPEN (1931), la crête relève de la zone climatique Cw équatoriale de haute altitude à climat tempéré et à saison sèche de courte durée n'excédant guère 1 mois (juillet). Au niveau du lac, le climat est de type Aw, caractérisé par un certain nombre de mois secs. A Bukavu, la saison sèche est de 3 mois.

Quelques données générales relatives à l'insolation annuelle ont été recensées pour la région nord du Sud-Kivu. L'insolation tend généralement à diminuer avec l'altitude et l'accroissement de la nébulosité. Ainsi, par exemple, vers 1600 m d'altitude sur les hauteurs de Bukavu, on peut compter 2000 heures d'insolation annuelle, soit 45% d'insolation relative alors qu'à 2200 m, le nombre d'heures tombe à 1800 pour une insolation relative de 41%. Toutefois, en amont de la forêt de montagne, l'insolation augmente du fait que l'on passe au-dessus de la couverture nuageuse maximale (LEONARD, 1962).

## Végétation

Les régions montagneuses du Congo oriental, soumises à des conditions climatiques variées présentent une végétation régionale particulièrement diversifiée. Dans les années 30, les formations végétales couvrant les flancs du Mont Kahuzi constituaient encore un des plus beaux massifs forestiers montagnards de l'Est du Congo, bien que les horizons inférieurs aient été, déjà à l'époque, fort dégradés. Toutefois, les horizons moyen et supérieur de la forêt afro-montagnarde étaient encore fort bien tranchés et indicateurs de ce à quoi devait ressembler la flore originelle (LEBRUN, 1934, 1935, 1936).

Dans la « bande du foehn », vent sec desséchant du fond du rift, entre les bords du lac (1500 m) et la limite inférieure de la forêt ombrophile de montagne qu'on peut estimer à 1700 m d'altitude sur le flanc oriental de la dorsale du Congo, existait autrefois une forêt mésophile, aujourd'hui quasi disparue, dont LEBRUN (1956) a pu reconstituer la composition sur base d'observations de boqueteaux relictuels. Parmi les essences les plus typiques de cette forêt semi-caducifoliée on relevait : *Albizia gummifera*, *Carapa grandiflora*, *Celtis* sp., *Fagara mildbraedii*, *Ficus* div.sp., *Myrica salicifolia*, *Newtonia buchananii*, *Sapium ellipticum*.

Faisant suite à la forêt mésophile, la forêt ombrophile de montagne (forêt primaire) s'étendait anciennement entre 1700 m et 2600 m d'altitude (étage montagnard, sensu LEBRUN, 1960). En fonction des conditions de lumière, de température et d'humidité, on pouvait distinguer trois horizons :

L'horizon inférieur (1700 m à 1900m) : comme espèces caractéristiques de cette futaie à sous-bois dense, on notait parmi les grands arbres, *Entandrophragma excelsum*, *Ficalhoa laurifolia*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Strombosia grandifolia*, *Symphonia globulifera* et, dans les strates inférieures, *Allophylus abyssinicus*, *Apodytes dimidiata*, *Galiniera coffeoides*, *Syzygium guineense*. Certaines espèces mésophiles se mêlaient à cet ensemble : *Albizia gummifera*, *Carapa grandiflora*, *Fagara mildbraedii*, *Newtonia buchananii*...

Saccagée par l'homme, cette forêt a fortement régressé, de même que la forêt mésophile. Des coupes forestières y font apparaître des savanes arborées à *Pennisetum*, alors qu'une action anthropique plus soutenue donne naissance à des savanes herbeuses à *Hyparrhenia*.

L'horizon moyen (1900 m à 2200 m) : cet horizon correspond à la moyenne montagne où se développe la plupart des espèces arborescentes et où abondent les épiphytes. On y recensait la présence de : *Alchornea hirtella*, *Carapa grandiflora*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Ekebergia capensis*, *Entandrophragma excelsum*, *Ficalhoa laurifolia*, *Ilex mitis*, *Neoboutonia macrocalyx*,

*Olea capensis*, *Parinari holstii*, *Prunus africana*, *Strombosia grandiflora*, *Symphonia globulifera*. La secondarisation de l'horizon moyen due à l'impact anthropique se traduit par l'intrusion d'espèces de substitution à croissance rapide telles que : *Macaranga neomildbraediana*, *Croton macrostachys*, *Maesa lanceolata*, *Polyscias fulva*, *Trema guineensis*.

L'horizon supérieur (2200 m à 2600 m) : Cet horizon correspond à la forêt de haute montagne à *Podocarpus*. C'est une forêt basse dont la composition floristique comporte notamment : *Podocarpus milanjanus*, *Ilex mitis*, *Myrica salicifolia*, *Prunus africana*, *Syzygium parvifolium*. Sur le Kahuzi, des peuplements quasi purs et denses de Bambous (*Sinarundinaria alpina*) se rencontrent entre 2400 m et 2600 m d'altitude, là où un certain caractère de sécheresse se manifeste. Au-dessus de l'horizon à Bambous, on peut retrouver des espèces de la forêt dense de montagne présentant une certaine rusticité, comme : *Podocarpus milanjanus*, *Afrocrania volkensis*, *Prunus africana*, *Syzygium parvifolium*. On observe aussi, entre 2600 m et 3000 m, des peuplements à *Hagenia abyssinica*. A l'analyse, on peut constater que les formations denses à Bambous font partie de l'horizon supérieur de la forêt ombrophile de montagne, pouvant, dans certains cas, atteindre 2700 m d'altitude.

Au-delà de 2700 m d'altitude on rencontre une zone boisée à Ericaceae arborescentes auxquelles se mêlent des *Podocarpus* rabougris couverts d'Usnées. Sur les hauts sommets, on trouve une végétation à *Dendrosenecio*, *Helichrysum*, *Lobelia*, Poaceae, *Vaccinium*

Dans un travail récent, FISCHER (1996) a établi un inventaire botanique dans le Parc de Kahuzi-Biega et a proposé, sur base d'observations faites principalement sur la face Ouest de la dorsale du Congo un schéma de l'étagement des ceintures altitudinales de la végétation. Il a ainsi distingué :

- de 800 m à 1300 m : des forêts sempervirentes péri-guinéennes de basse et moyenne altitude
- de 1300 m à 1700 m : une forêt submontagnarde de transition entre la forêt péri-guinéenne et la forêt afro-montagnarde
- de 1700 m à 2400 m : la forêt ombrophile de montagne
- de 2400 m à 2700 m : une zone hétérogène à Bambous, *Hagenia* et *Podocarpus*
- de 2700 m à 3200 m : une ceinture à Ericaceae
- au-dessus de 3200 m : des formations herbeuses et arbustives afro-alpines.

Le flanc oriental, plus secondarisé, n'offrait pas une succession aussi nette, ni aussi complète étant donné que la mise en culture y atteint actuellement 1900 m d'altitude ; cela se perçoit sur le schéma proposé par FISCHER où la zonation est moins évidente.

Ces deux dernières décennies, la pression démographique ainsi que les conséquences de la période troublée que la région a connue ont profondément marqué le paysage sur les pentes de la crête bordière du Kivu. Pour rendre compte de l'aspect du couvert végétal, les relevés faits par LEBRUN peuvent paraître quelque peu obsolètes. C'est pourquoi, il a paru opportun de refaire un inventaire actualisé des formations végétales de la zone étudiée. Celui-ci a déjà été publié dans des travaux antérieurs (KABONYI NZABANDORA, 2012 ; KABONYI NZABANDORA & ROCHE, 2015). Les milieux naturels tels qu'on pouvait encore les voir en 2010 sur le flanc oriental de la dorsale sont figurés et sommairement décrits à la Planche 1. Certains ne sont plus que des reliquats, surtout à basse altitude, de ce qui existait encore dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Il importe donc de signaler que certains taxons identifiés par l'analyse palynologique de la séquence de Ngushu et repris dans le diagramme (Figure 4) se sont soit raréfiés, soit ont quasi disparu de l'environnement actuel comme suite aux déprédations subies par le milieu afro-montagnard au cours des 50 dernières années.

## MATERIEL ET METHODES

### Localisation du site

Après avoir parcouru 9 km de route au départ de Tshivanga, l'entrée du Parc national située à 2000 m d'altitude, on parvient au marais de Ngushu (Fig.2) en suivant une pente abrupte de quelque 500 m NNO à partir d'un virage à droite de la route. Ce marais constitue en réalité une ramification vers l'est du grand marécage de Musisi (Fig.1c). Un sondage y a été réalisé à une distance d'environ 1 km de la route (coordonnées géographiques : 2°17'25'' S – 28°42'28'' E ; altitude : 2202 m).

## Planche 1 - Légende

### Milieus afro-alpins / subalpins. (2800-3300 m)

1. Mont Kahuzi (altitude: 3310m) - vue d'ensemble sur le milieu montagnard supérieur.  
avant plan: Forêt ombro-mésophile; second plan: zone à Bambous; arrière-plan: végétation alpine et subalpine
2. Sommet du Kahuzi: Formation à Ericaceae et *Podocarpus* rabougris couverts de lichens (*Usnea* sp.) surmontée de pelouses alpines à *Alchemilla johnstonii*, *Deschampsia flexuosa*, *Helichrysum formosissimum*, *Helichrysum forskahlii*, *Helichrysum mildbraedii*, *Hyperzia saururus*, *Lobelia stuhlmanii*...
3. Zone à brouillards persistants: formations alpines et subalpines mélangées à Ericaceae (*Agauria salicifolia*, *Erica arborea*, *Erica kingaeensis*, *Vaccinium stanleyi*), *Dendrosenecio johnstonii*, *Helichrysum forskahlii*, *Helichrysum mildbraedii*, *Lobelia stuhlmanii*, *Lycopodium clavatum*, *Podocarpus milanjanus*, *Senecio subsessilis*, *Vernonia scaettae*...

### Forêt afro-montagnarde (2000-2800 m)

4. Forêt primaire ombrophile à *Carapa grandiflora*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Ficalhoa laurifolia*, *Ilex mitis*, *Newtonia buchananii*, *Parinari excelsa*, *Syzygium guineense*, *Symphonia globulifera*...
5. Forêt secondaire mésophile à *Albizia gummifera*, *Croton megalocarpus*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*, *Sapium ellipticum*, *Trema orientalis*...
6. Horizon à Bambous (*Sinarundinaria alpina*) dominants, incluant des individus isolés de *Hagenia*, *Podocarpus*, *Polyscias* et de petits massifs d'Ericaceae.

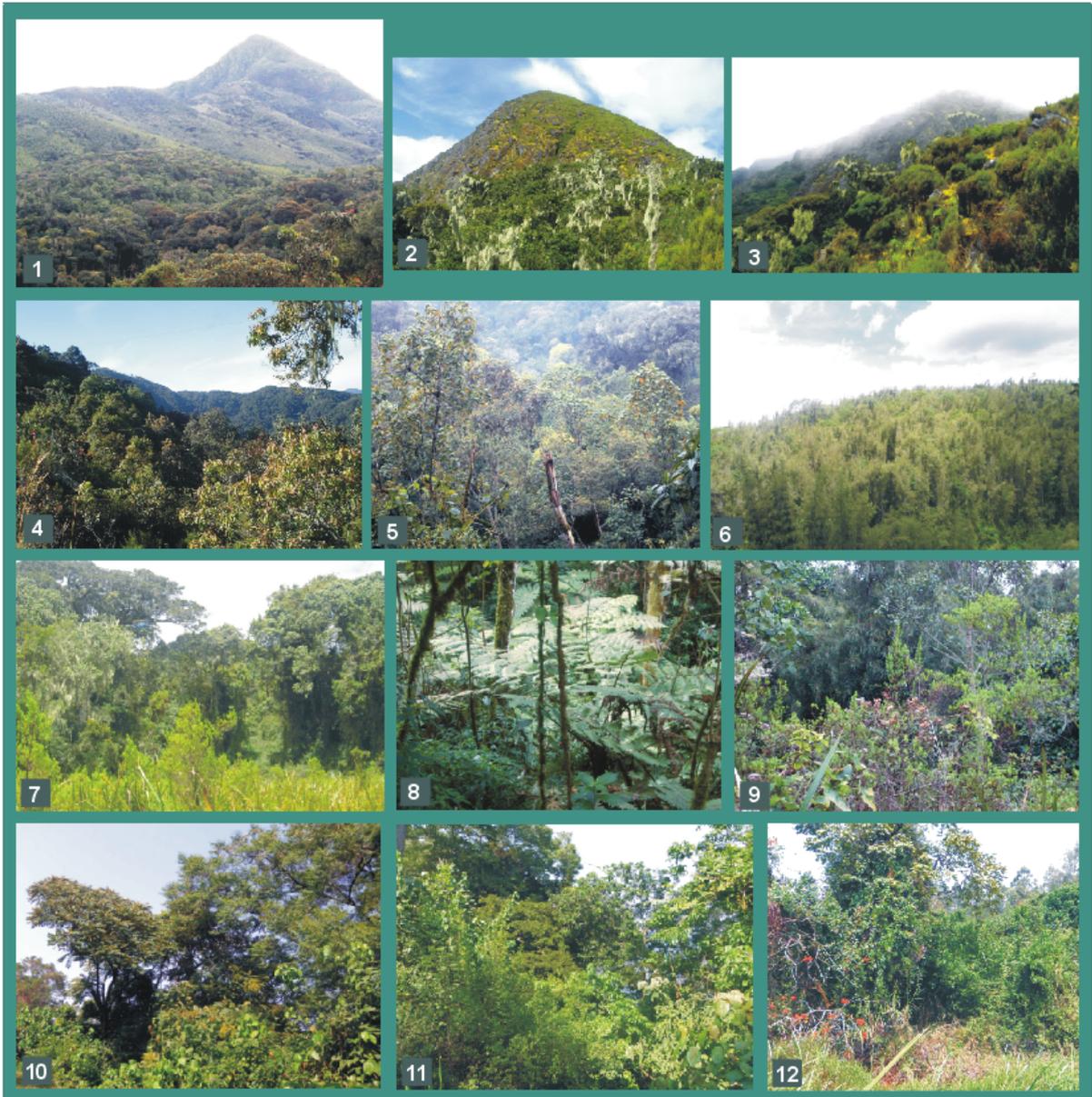
### Milieus marécageux (2200-2300 m)

7. Forêt environnante à composante mésophile marquée à *Carapa grandiflora*, *Dombeya goetzenii*, *Ficalhoa laurifolia*, *Hypericum revolutum*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium rowlandi*... Végétation herbacée à *Cyperus denudatus*, *Cyperus latifolius*, *Brillantaisia cicatricosa*, *Gladiolus dalenii*, *Impatiens burtoni*, *Osmunda regalis*.
8. Groupement à *Cyathea manniana* sur sols hydromorphes de fonds de vallons
9. Assemblages des franges bordières des marais à *Erica arborea*, *Hypericum revolutum*, *Mimulopsis arborescens*, *Macaranga neomildbraediana*, *Sinarundinaria alpina*, *Tabernaemontana johnstonii*...

### Reliques forestières (1500-1800 m)

Lambeaux forestiers mésophiles; friches et jachères post-culturelles à *Albizia gummifera*, *Polyscias fulva*, (10), *Alchornea cordifolia* (11), *Erythrina abyssinica* (12), *Solanum terminale*, *Pennisetum purpureum*...

## Planche 1



Photos :

Chantal Kabonyi - 2009 (2, 3, 6, 7, 8, 9)  
Jean de Dieu Mangambu Mokoso - 2009 (4, 5)  
A. Balezi Zihahirwa - 2010 (1)  
Neville Mapenzi - 2011 (10, 11, 12)

La séquence de 8 m de profondeur, faite d'une succession de dépôts variés, tourbes, argiles tourbeuses, argiles, argiles sableuses, couvre une période de +/- 6000 ans (Fig. 3). La végétation au fond de la dépression est constituée essentiellement de Cyperaceae (*Cyperus denudatus* et *Cyperus latifolius*) Les environs immédiats du site sont occupés par une forêt mixte afro-montagnarde (Planche 1, photos 7.8.9).



**Figure 2 :** Le marais de Ngushu et l'emplacement du sondage

### **Description de la séquence et chronologie**

Le sondage a été réalisé à l'aide d'une sonde de type « Russe ». Seize carottes de 50 cm ont été extraites puis préservées dans des ½ tubes en PVC emballés dans des sacs en plastique. L'échantillonnage pour analyse a été effectué ensuite tous les 10 cm.

L'évolution sédimentologique de la séquence est décrite à la figure 3. Des datations <sup>14</sup>C conventionnelles effectuées tous les 150 cm établissent sa chronologie. La succession des datations suggère une sédimentation en continu qui aurait été favorisée par l'humidité quasi permanente régnant dans ce secteur de la dorsale depuis le début de l'Holocène.

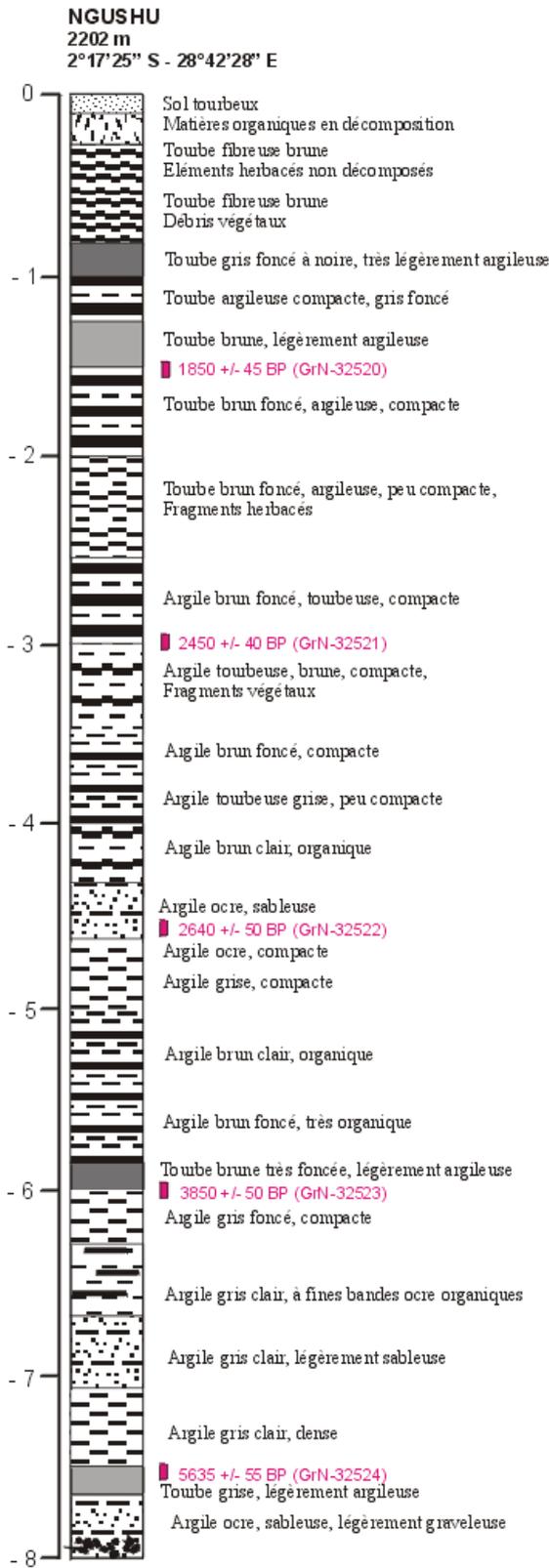
Les datations <sup>14</sup>C ont été réalisées au Centrum voor Isotopen Onderzoek de Groningen (NL).

### **Traitement de l'échantillonnage**

L'extraction du matériel fossile a été réalisée par le procédé de l'acétolyse, technique mise au point par ERDTMAN (1960). Elle comprend une déshydratation du matériel à l'acide acétique glacial ; un traitement par un mélange d'anhydride acétique et d'acide sulfurique (proportions : 9 pour 1 en volume) et une filtration. Pour les échantillons contenant des particules minérales, l'acétolyse est précédée d'un traitement à l'HF.

### **Déterminations et comptages des pollens**

La détermination des taxons a été effectuée sous microscope photonique ZEISS JENAVAL à l'aide d'une collection de lames de références et d'une collection iconographique du Laboratoire de Paléopalynologie de l'Université de Liège (Belgique) Pour chaque lame, un minimum de 500 grains a été compté.



**Figure 3** :Description et chronologie de la séquence sédimentaire de Ngushu

## Présentation des résultats

Les proportions de chaque taxon pour tous les niveaux analysés ont été exprimées en fréquences relatives, c'est-à-dire par rapport aux grains de pollen comptés. Les fréquences relatives des taxons représentatifs de la flore régionale sont calculées à l'exclusion de la flore locale, celle du marécage. Cette dernière est exprimée en fonction de la totalité des pollens comptés.

Dans les diagrammes polliniques, les taxons identifiés sont classés selon les types de végétation qu'ils représentent tels que décrits dans les ouvrages de botanique relatifs à la région concernée et selon les observations de terrain faites en cours d'étude.

On a ainsi regroupé les taxons polliniques dans des ensembles palyno-écologiques caractérisant les zones montagneuses de la dorsale congolaise du Kivu, à savoir :

Pour la flore régionale :

- les formations afro-alpines et subalpines
- la forêt primaire ombrophile de montagne
- la forêt secondaire mésophile de montagne
- les milieux ouverts ligneux et herbacés de type savane

Pour la flore locale :

- les milieux marécageux

Un découpage du diagramme en zones et en sous-zones est réalisé en fonction des fluctuations des spectres polliniques qui le constituent, permettant ainsi une visualisation de l'évolution de l'environnement qu'ils évoquent.

## Analyse du graphique et considérations particulières

Le décodage des diagrammes se fait sur base de la signification écologique des taxons inventoriés et des fluctuations des assemblages polliniques regroupant ces taxons en fonction de leurs affinités. Le schéma classique communément utilisé pour déduire une évolution paléoenvironnementale des variations qui apparaissent dans les diagrammes polliniques consiste à se référer au mouvement des ceintures de végétation à flanc de montagne ; toutefois, sur la dorsale du Congo, où la pluviosité est très importante, l'utilisation du système apparaît moins évidente que dans les régions orientales aux conditions climatiques plus contrastées. Se référer au comportement particulier de certains genres au sein du milieu afro-montagnard permet d'affiner certaines déductions. C'est le cas notamment pour *Hagenia*, *Podocarpus* et *Sinarundinaria*.

Ainsi, *Podocarpus* est considéré comme une essence de forêt afro-montagnarde suggérant des conditions de refroidissement sous une humidité atmosphérique entretenue par des bruines et brouillards, *Hagenia* est une espèce orophile des forêts de montagne, indicateur de la limite supérieure forestière. A plus basse altitude ; il peut s'introduire dans des vallons encaissés à la faveur d'un microclimat local, humide et froid mais aussi former des savannes-parc secondarisées. Quant à *Sinarundinaria*, qu'on rencontre parfois dans des « Horizons à bambous » dans l'étage supérieur de la forêt, il peut jouer un rôle de déstabilisateur des pentes dans des peuplements purs, favorisant l'érosion. Son pollen se distingue de celui des autres Poaceae du milieu montagnard par sa taille plus grande, sa forme oblongue, son gros anulus et son exine plutôt épaisse, très finement structurée.

## RESULTATS

### Zonation et description du diagramme pollinique

L'analyse palynologique de la séquence de Ngushu (Fig.4), datée vers sa base de 5635 +/- 55 BP (GrN-32524) et dont 4 autres datations suggèrent une sédimentation continue, reflète l'évolution de la végétation au cours des 6 derniers millénaires. Par suite du regroupement des taxons polliniques en assemblages représentatifs des groupements végétaux qui caractérisent les pentes de la dorsale congolaise au Kivu, le diagramme a été découpé en 5 zones polliniques majeures dont certaines ont été subdivisées en sous-zones en fonction de fluctuations d'ordre secondaire des

composantes des spectres polliniques. Ainsi, les zones 1 et 2 comportent 2 sous-zones, la zone 3, 5 sous-zones et la zone 5, 3 sous-zones.

Zone 1 : -780 cm à -650 cm

A la base du profil sédimentologique, cette zone traduit une présence marquée de taxons de la forêt afro-montagnarde, surtout de sa composante ombrophile. Elle a été subdivisée en deux sous-zones, indicatrices de situations particulières :

Sous-zone 1a : -780 cm à -730 cm

Cette sous-zone se distingue par une dominance d'*Erica* (9 %), d'*Olea* (15 %) et de *Syzygium* (8 %), taxons auxquels sont principalement associés : *Cassipourea*, *Entandrophragma*, *Galiniera*, *Ilex* et *Jasminum*. On note la présence modérée de *Podocarpus* (5 %) et discrète de *Sinarundinaria* (2 %). La composante mésophile constituée de *Hagenia*, *Macaranga*, *Alangium*, *Albizia*, *Allophylus*, *Celtis*, *Croton*, *Maesa*, *Myrica*, *Neoboutonia*, *Newtonia* et *Trema* paraît plus diversifiée mais reste globalement inféodée à la forêt ombrophile. On constate une progression des *Amaranthaceae* (*Sericostachys*) à 5 % tandis que le milieu marécageux semble peu étendu.

Sous-zone 1b : -730 cm à -650 cm

Dans cette sous-zone, la végétation reste similaire à celle de la sous-zone 1a mais, à côté d'*Olea* et de *Syzygium* toujours éléments dominants, on observe une raréfaction d'*Erica* et une progression de certains éléments ombrophiles tels que *Ekebergia* (4 %) et *Fagara* (3 %), l'apparition de *Ficalhoa* et la disparition d'*Entandrophragma*. Parmi les mésophiles, restent stables : *Hagenia*, *Macaranga*, *Celtis*, *Croton*, *Neoboutonia*, *Newtonia* et *Trema* tandis que les autres éléments régressent et qu'*Alangium* et *Albizia* disparaissent. On enregistre aussi une fluctuation des *Cyperaceae* au sein du marais ainsi qu'une progression régulière des *Poaceae* jusqu'à 36 % au sommet de la zone.

Zone 2 : -650 cm à -490 cm

Cette zone correspond à l'installation d'une forêt hétérogène en évolution progressive vers un stade plus fermé. Deux sous-zones distinguent cette période :

Sous-zone 2a : -650 cm à -570 cm

Datée de 3850 +/- 50 BP (GrN-32523) à -600 cm, cette sous-zone se caractérise par un retrait de certains éléments ombrophiles : *Ekebergia*, *Fagara* et *Syzygium* et la progression de la composante mésophile qui concerne *Bridelia* (2 %), *Maesa* (2 %), *Neoboutonia* (3 %) et *Trema* (5%). On note également à ce niveau la présence de *Solanum* et une avancée des *Asteraceae* (11,5 %), ainsi qu'un pic d'*Amaranthaceae* (5,5 %) en début de période et de *Vernonia* (12 %) à la fin. Ces taxons sont des indicateurs de milieux ouverts. La progression assez marquée des *Cyperaceae* dans cette sous-zone est aussi à souligner.

Sous-zone 2b : -570 cm à -490 cm

Durant cette phase, on enregistre la progression de la forêt vers un stade plus fermé dont *Ficalhoa* (6,5 %), *Ilex* (8 %), *Olea* (13 %), *Syzygium* (6 %) et *Macaranga* (8 %) sont les éléments les plus importants, associés à *Celtis*, *Croton*, *Dombeya*, *Ekebergia*, *Hypericum*, *Jasminum*, *Myrica*, *Neoboutonia* et dans laquelle *Sinarundinaria* (9,5 %) affirme sa présence tandis que *Podocarpus* reste limité à des pourcentages très moyens (3,5 %). On perçoit également un net recul des *Cyperaceae* à 7,5 % au cours de cette période.



### Zone 3 : -490 cm à -150 cm

La progression de *Podocarpus* et de *Sinarundinaria* permet à ce niveau de distinguer cinq sous-zones sur base, principalement, des fluctuations très nettes du bambou soulignées par trois pics d'extension.

#### Sous-zone 3a : -490 cm à -440 cm

On assiste dans cette sous-zone, datée de 2640 +/- 50 BP (GrN-32522) à -450 cm, à une représentation accrue de *Podocarpus* (8,5 %) et à une forte progression de *Sinarundinaria* (1<sup>er</sup> pic à 23 %), des Poaceae (20 %) et d'*Impatiens* (13 %). On observe aussi un pic d'*Hypericum* (10 %), une avancée de *Macaranga* (14 %) et de *Dombeya* (3,5 %), un maintien de *Ficalhoa* et un recul d'*Ilex* et d'*Olea* respectivement à 2 % et à 2,5 %.

#### Sous-zone 3b : -440 cm à -390 cm

On recense ici un ensemble à caractère mésophile dominé par *Macaranga* qui progresse à 17,5 % tandis que *Dombeya* se signale par deux pics en début et en fin de zone (4,5 % et 5 %). *Podocarpus* (10 %) et *Olea* (9 %) sont les deux taxons ombrophiles dominants alors que *Sinarundinaria* subit un recul très net à 1,5 %. On remarque aussi l'expansion des Cyperaceae à 32 %. Les Poaceae restent stables à 16,5 %.

#### Sous-zone 3c : -390 cm à -300 cm

Cette séquence correspond à une réoccupation du terrain par une forêt hétérogène dominée par *Podocarpus* (13 %), *Sinarundinaria* (18,5 %) et *Macaranga* (10 %) malgré un léger tassement de ce dernier. A noter la progression d'*Alchemilla* (7,5 %) et d'*Hypericum* (9,5 %) et une diversification de taxons ligneux soulignée par une avancée d'*Acanthus*, *Bridelia*, *Celtis*, *Combretum*, *Trema* et *Vernonia* à côté de taxons ombrophiles en progrès dont *Ficalhoa*, *Ilex* et *Olea*. Asteraceae et *Impatiens* sont aussi en expansion alors que Poaceae et Cyperaceae sont en nette régression.

#### Sous-zone 3d : -300 cm à -260 cm

Au cours de cette courte période, datée de 2450 +/- 40 BP (GrN-32521) à -300 cm, on enregistre un important pic d'Asteraceae (40 %), une présence marquée de *Faurea*, la continuation de la progression de *Sinarundinaria* (2<sup>ème</sup> pic à 22,5 %) et une légère avancée de *Macaranga* et de *Celtis* alors que *Podocarpus* régresse à 6 %.

#### Sous-zone 3e : -260 cm à -150 cm

Ce dernier épisode correspond au 3<sup>ème</sup> pic de *Sinarundinaria* (18,5 %). On remarque aussi un pic d'*Alchemilla* (10 %), la progression sensible de *Podocarpus* (18 %) et, dans une moindre mesure, d'*Olea* (9 %). *Macaranga* (15,5 %) et *Hagenia* (2,5 %) s'affirment comme éléments mésophiles les plus significatifs. A noter également l'importante avancée des Poaceae (34 %) et des Cyperaceae (49 %).

### Zone 4 : -150 cm à -110 cm

Datée de 1850 +/- 45 BP (GrN-32520) à -150 cm, on y relève une dernière phase à Bambous, moins importante que les précédentes (4<sup>ème</sup> pic à 8,5 %). Malgré la forte expansion des Poaceae à 34 %, on assiste à la réinstallation d'une forêt afro-montagnarde à caractère ombrophile plus accentué avec une forte dominance de *Podocarpus* (16,5 %) associé à *Cassipourea*, *Ficalhoa*, *Galiniera*, *Ilex*, *Olea*, *Prunus* et *Syzygium*. On enregistre également un léger recul de *Macaranga* et de *Hagenia* alors qu'apparaît *Polyscias*. Le pourcentage de Cyperaceae (53,5 %) reste important.

Zone 5 : -110 cm à -35 cm

La dernière partie du diagramme pollinique révèle dans son ensemble une évolution de la forêt marquée par une nette régression des taxons ombrophiles et une progression des formations secondaires à *Macaranga* et *Polyscias*.

La secondarisation du milieu évolue en trois phases :

Sous-zone 5a : -110 cm à -70 cm

Cette sous-zone se distingue par l'installation d'une forêt secondaire largement dominée par *Macaranga* (27,5 %). On remarque une forte régression du Bambou et de *Podocarpus* (6 %) alors que la composante ombrophile, bien qu'en retrait, reste diversifiée. *Afrocrania*, *Alchornea* et *Fagara* réapparaissent à ce niveau.

Sous-zone 5b : -70 cm à -50 cm

La secondarisation de la forêt se poursuit avec une tendance mésophile dominante caractérisée par une avancée sensible de *Maesa* (8 %) et de *Myrica* (2,5 %) et malgré une régression modérée de *Macaranga* (12 %). Dès cette zone, on observe une progression des Amaranthaceae alors que Poaceae et Asteraceae y connaissent des pics importants, respectivement de 33 % et 15 %.

Sous-zone 5c : -50 cm à -35 cm

Après un léger tassement, les Poaceae (31,5 %) repartent à la hausse dans cette sous-zone. Au sein d'une forêt hétérogène, les taxons ombrophiles sont dominés par les mésophiles qui se signalent par leur diversité : *Macaranga* (6 %) est moins présent dans cet ensemble alors qu'*Allophylus*, *Harungana*, *Maesa*, *Myrica*, *Polyscias* et *Trema* sont en progrès de même que certains ligneux de milieux ouverts.

## INTERPRETATION DES RESULTATS

### Evolution de l'environnement local

La zone 1, dont on peut situer la base à ca. 6 000 ans BP reflète une période d'occupation forestière dont l'importance se manifeste surtout dans sa première partie (sous-zone 1a) où le caractère ombrophile du milieu est plus sensible. La présence d'essences comme *Albizia* et *Entandrophragma*, celle peu marquée de *Podocarpus* et la diversité des taxons mésophiles suggère un assemblage de type « horizon inférieur » de la forêt afro-montagnarde se développant sous une humidité importante mais non maximale et sous une température modérée. L'expansion des Amaranthaceae (*Sericostachys*) en fin de sous-zone préfigurerait l'ouverture du milieu enregistrée ultérieurement. Au niveau local, le marais semble peu étendu, étant donné le faible taux des Cyperaceae ; des zones exondées y seraient envahies par *Erica*, *Myrica* et *Syzygium*, phénomène décrit par DEUSE (1966) pour des marécages dont la nappe phréatique est en baisse.

De l'avancée des NAP (sous-zone 1b), principalement des Poaceae, on peut déduire que le milieu devient plus ouvert. La disparition d'*Albizia* et d'*Entandrophragma* représentants de l'horizon inférieur de la forêt montagnarde (ROBYNS, 1935) et le tassement des taxons mésophiles donne à l'ensemble forestier un caractère « horizon moyen » consécutif à un abaissement de température. L'association d'*Olea* et de *Jasminum* y apporte un aspect sclérophylle qui traduirait un déficit hydrique (LEBRUN & GILBERT, 1954). Le pic de Poaceae, en fin de période, correspondrait à l'« Older Poaceae Period » de RUNGE (2001) qui se situerait vers 4 000 ans BP. Parmi les Poaceae, l'espèce dominante pourrait être à cette altitude, *Eragrostis olivacea*, reconnue comme telle lors d'un recul forestier (HABIYAREMYE, 1993). A relever aussi une stabilité du marais qui reste peu étendu.

La zone 2 reflète un regain du terrain par une forêt hétérogène après la phase d'ouverture du milieu observée à la fin de la zone 1. Cette recolonisation s'opère en deux temps :

Dans la sous-zone 2a, l'assemblage à *Macaranga*, *Allophylus*, *Cissus*, *Neoboutonia*, *Newtonia*, *Vernonia*, *Impatiens*, *Lobelia*, *Rumex* donne à l'ensemble forestier l'aspect d'une forêt primaire secondarisée (SCHMITZ, 1988) dont la composante ombrophile est ici en retrait par rapport à la mésophile. Les pics successifs des Amaranthaceae (*Sericostachys*) et de *Vernonia* que l'on observe ici sont un des aspects de la dynamique de la réoccupation des clairières et de resserrement du milieu tandis que l'avancée de *Tricalysia* est l'indice d'un reboisement des vallons.

Dans la sous-zone 2b, la composante ombrophile de la forêt s'affirme à nouveau avec la progression de *Cassipourea*, *Ekebergia*, *Ficalhoa*, *Ilex*, *Olea*, *Syzygium* ce qui suggère un milieu à forte humidité alors que l'avancée de *Sinarundinaria* due vraisemblablement à une descente de l'horizon à Bambous à flanc de montagne serait consécutive d'un nouvel abaissement de la température.

La progression forestière de la zone 2 s'accompagne d'un important recul des milieux ouverts herbacés de même que d'un rétrécissement du marécage qui semble ici être à son stade le moins développé.

L'avancée du *Ficalhoa* à la fin de la zone 2 anticiperait celle de *Podocarpus* enregistrée dans la zone 3. Ces deux composantes fondamentales de la forêt ombrophile de montagne vont cohabiter pendant toute la période à des degrés divers. On remarque que la zone 3 couvre une importante partie de la séquence sédimentaire. Lorsqu'on représente cette zone en fonction du temps, on perçoit que la sédimentation s'est accélérée pendant une période relativement courte de 900 ans avec un dépôt de l'ordre de 35 cm tous les cent ans alors que le dépôt sous-jacent s'est sédimenté beaucoup plus lentement, de l'ordre de 10 cm par siècle (Fig. 5). Cette brièveté du dépôt et sa nature, faite d'alternance d'argiles organiques brun clair à ocre, certaines compactes, et de tourbes argileuses brun foncé, noirâtres, parfois légèrement fibreuses, pourrait être due à une instabilité climatique influant sur l'érosion des pentes et l'activité turfigène. Une concomitance peut être observée entre ces alternances dans la sédimentation et les pics de *Sinarundinaria* qui rythment l'évolution de la végétation durant cette période. Sur base des avancées et des retraits du Bambou, liés vraisemblablement à des oscillations de températures, cinq phases évolutives de l'environnement ont été dégagées.

La première phase (sous-zone 3a) atteste la présence d'une forêt hétérogène ombro-mésophile dans laquelle le Bambou aurait pu s'insérer par massifs à la suite d'un abaissement de température favorisant sa descente dans l'horizon moyen de la forêt. LEBRUN (1935) signale des cas semblables d'intrusion de Bambous dans la forêt humide montagnarde formant alors un groupement mixte avec celle-ci. La progression d'*Impatiens* pourrait être liée à un couvert moins dense permettant le développement du genre, surtout en lisière. Dans cette première phase, on constate que le marécage reste peu étendu.

Dans la sous-zone suivante (3b), on remarque un recul important de *Sinarundinaria* concomitant d'une reconquête du milieu par un ensemble forestier fort diversifié à allure mésophile qui aurait pu se développer à l'occasion de conditions climatiques redevenues plus clémentes. L'avancée très marquée de *Macaranga*, conjointe de celle plus modeste de *Neoboutonia* caractérise une telle reconquête forestière (LEBRUN, 1960), alors que *Ficalhoa* marque le pas et que *Podocarpus* reste discret. La légère expansion des Poaceae et d'*Hypericum* serait liée à cet environnement plus ouvert qui, associé à un regain d'humidité ambiante pourrait expliquer la progression du marais.

La reconquête de l'espace par la forêt hétérogène variée se poursuit ensuite (sous-zone 3c) mais dans un contexte plus ombrophile attesté par une recrudescence des taxons représentatifs de ce type de milieu et par la présence plus prononcée de *Podocarpus*. La progression sensible de *Sinarundinaria* témoigne à nouveau d'une intrusion du Bambou dans la forêt humide, vraisemblablement consécutive à un rafraîchissement de la température.

Si, dans les phases précédentes les progressions conjointes de *Podocarpus* et de *Sinarundinaria* suggèrent une pénétration de massifs de Bambous dans la forêt humide, dans le cas de la sous-zone 3d les évolutions opposées des deux genres, progression de *Sinarundinaria*, recul de *Podocarpus* s'accompagnant de celui de la plupart des genres forestiers incitent à croire à l'installation d'un horizon à Bambous dominant dans lequel des éléments forestiers peuvent être

disséminés. La demi-obscurité qui règne dans le sous-bois à Bambous est peu favorable au développement d'une strate inférieure herbacée (LEBRUN, 1935 ; PECROT & LEONARD, 1960) ce qui prédispose le sol à des effets érosifs. La faible représentation des Poaceae irait donc de pair avec le développement d'un horizon à Bambous. Comparée à d'autres écosystèmes forestiers, la Bambousaie du PNKB se caractérise par une faible diversité spécifique. Cette faiblesse spécifique a également été observée pour les espèces ligneuses (AMANI *et al.* 2008). La progression de *Faurea* et l'explosion des Asteraceae pourraient aussi être liées : le genre développerait de petits massifs dans les Bambous avec un Sénéçon qui lui est associé, *Senecio mariettae* (TROUPIN, 1985). D'autres Sénéçons pourraient accompagner ce dernier : *Senecio subsessilis* et *Senecio transmarinus*. Cette situation pourrait justifier à ce niveau non seulement une nouvelle chute de température mais aussi une baisse des précipitations.

Après le deuxième pic de *Sinarundinaria*, on assiste à une nouvelle reprise de la forêt hétérogène mais dans un environnement plus ouvert qui se traduit principalement par la progression des Poaceae. A la base de la sous-zone 3e on observe un pic d'*Alchemilla* qui coïncide avec une expansion maximale des Cyperaceae. Ce taxon qui pourrait être *Alchemilla ellenbeckii* formant de vastes tapis envahissants dans les marécages, suit d'ailleurs la même évolution progressive que ces dernières depuis la base de la sous-zone. On pourrait avancer l'hypothèse qu'une pulsation humide aurait fait remonter la nappe phréatique à ce moment, favorisant l'extension du marais. L'expansion du *Podocarpus* et le regain de *Ficalhoa* ainsi que de la plupart des ombrophiles en attesterait.

Dans la partie supérieure de la sous-zone, le spectre pollinique semble avoir archivé deux aspects concomitants de l'environnement : à proximité du marais se serait développée une forêt à caractère mésophile plus prononcé alors que, en amont, *Podocarpus* qui continue à progresser et ne serait plus accompagné que par des taxons davantage présents dans des zones plus élevées tels que *Canthium*, *Ilex*, *Myrica*, *Olea*, *Prunus*, *Syzygium*... aurait pu former avec le bambou un groupement mixte parfois réduit à l'association *Podocarpus-Sinarundinaria* tel que cela a pu être observé localement sur les reliefs du rift occidental (DEVRED, 1958 ; PIERLOT, 1966). Dans le contexte mésophile inférieur la progression simultanée des Poaceae et de *Hagenia* laisse supposer que ce dernier, taxon héliophile, en occupant des espaces libres, aurait pu créer de petits massifs de « savane-parc » avec *Hyparrhenia cymbaria* comme l'ont noté PECROT & LEONARD (1960), aux alentours de 2000 m d'altitude. L'ouverture du milieu aurait été aussi favorable à la progression des Amaranthaceae (*Sericostachys*) en lisières et clairières.

Dans la zone 4, *Podocarpus* atteint son extension maximale dans un ensemble ombro-mésophile où la présence de *Ficalhoa* devient anecdotique et où on recense des taxons susceptibles de supporter des conditions climatiques plus rudes, basses températures et précipitations moindres, tels *Croton*, *Galiniera*, *Hagenia*, *Ilex*, *Olea*, *Prunus*, *Syzygium* et dont certains peuvent atteindre des altitudes proches de 3000 m dans les conditions environnementales actuelles (ROBYNS, 1935). Notons ici l'apparition de *Polyscias* qui, dans l'horizon supérieur de la forêt de montagne peut, tout comme *Hagenia*, se développer dans des clairières ou en lisières. Le milieu devait être, semble-t-il, assez ouvert pour favoriser une importante progression des Poaceae. Celle-ci, par comparaison avec l'OPP et l'YPP de RUNGE (2001) pourrait être considérée comme une MPP (Medium Poaceae Period) intermédiaire. Le quatrième pic de *Sinarundinaria*, moins marqué que les précédents, signifierait qu'on se trouve dans des conditions climatiques propres aux altitudes quelque peu supérieures à celles des zones à Bambous.

Sous des conditions climatiques devenant proches des actuelles, la dernière phase évolutive du milieu forestier montagnard prend dans la zone 5 un aspect mésophile prononcé dû, très probablement, à des causes extérieures à celles-ci. Dans un premier temps (sous-zone 5a), la composante ombrophile est toujours bien présente et diversifiée alors que la mésophile est surtout représentée par *Macaranga* qui apparaît comme un élément prépondérant dans l'environnement proche. Le retrait de *Podocarpus* et de *Sinarundinaria* peut être attribué à une amélioration des conditions climatiques, réchauffement et pluviosité plus intense, repoussant ces taxons vers les étages supérieurs. Dans la sous-zone 5b on perçoit la mise en place d'une forêt de remplacement à *Polyscias*, *Macaranga*, *Newtonia*, *Neoboutonia* dans laquelle s'affirment davantage, dans la sous-zone 5c, *Allophylus*, *Combretum*, *Grewia*, *Harungana*, *Impatiens*, *Maesa*, *Myrica*, *Trema*, ce qui soulignerait, à ce niveau, une secondarisation qui serait plutôt d'origine anthropique. L'avancée d'*Alchornea* serait un des aspects de la dégradation du milieu (MALEY, 1992) de même que la

progression des Poaceae qui s'apparenterait à la YPP « Younger Poaceae Period » de RUNGE (2001) atteste l'ouverture de ce dernier. Par ailleurs, le léger retrait du marais où progresse *Lobelia* serait le signe d'une pulsation sèche modérée, ce que traduit la faible avancée de *Sericostachys*

La figure 5 résume les événements climatiques qui ont marqué les six derniers millénaires à Ngushu et qui y sont perçus au travers de modifications diverses affectant l'environnement afro-montagnard pendant toute la période.

Vers 6000 ans BP, la forêt originelle telle que révélée par le diagramme pollinique se présente sous forme d'un ensemble hétérogène à connotation ombrophile se développant sous un climat relativement doux et humide, à précipitations modérées. Cette première période d'occupation forestière se déroulant sous un climat relativement clément, favorisait le développement d'une végétation plutôt dense, fixatrice des sols, assurant une sédimentation lente au niveau du marécage.

Le milieu évolue ensuite vers un stade plus ouvert qui atteint son maximum ca. 4000 ans BP, suggérant une chute de la température et une réduction des précipitations et de l'humidité ambiante, sans toutefois atteindre un stade de sécheresse prononcé, ce qui maintiendrait un couvert forestier sus-jacent à la zone du marais.

Après cette période régressive, la forêt se reconstitue en deux phases progressives. Au cours de la première, elle présente un caractère mésophile dominant ; au cours de la seconde, elle acquiert un caractère plus ombrophile. A la fin de cette deuxième phase, l'avancée de *Sinarundinaria*, aux alentours de 3000 ans BP, dénote l'installation de conditions climatiques plus fraîches que celles du milieu d'origine. On notera toutefois que, pendant cette période, le taux de sédimentation a légèrement augmenté, passant de 8.5 cm à 13 cm/siècle.

L'étape évolutive suivante présente un aspect totalement différent de la précédente. La sédimentation au sein du marais faite d'une succession de couches argileuses et tourbeuses suggère une instabilité climatique qui aurait agi sur l'érosion des pentes bordières du marécage.

L'évolution de la végétation semble confirmer cette façon de voir : en l'espace de seulement 900 ans, on recense trois pics significatifs de *Sinarundinaria* séparés par deux intervalles forestiers diversifiés où le genre est régressif.

L'évolution du couvert végétal n'est donc pas ici un phénomène linéaire mais s'effectue par paliers. Après une intrusion par bouquets au sein de la forêt afro-montagnarde, *Sinarundinaria* y développerait un horizon à bambous avant qu'une association *Sinarundinaria-Podocarpus* s'installe en fin de processus. Cela impliquerait à la fois une baisse de la température et de la pluviosité. Toutefois, c'est la température qui semble être l'élément déterminant dans le mouvement des zones de végétation alors que l'humidité ambiante, à défaut de pluies régulières, peut être entretenue par des bruines et des brouillards.

Sous le couvert des bambous, une maigre strate herbacée expose le sol à des effets érosifs qui se traduiraient par des apports argileux dans le marais alors qu'un milieu forestier, même moins dense que précédemment, serait fixateur des sols et permettrait à des dépôts tourbeux de se former, ceux-ci étant plus ou moins argileux selon l'importance des précipitations.

Sur l'ensemble de la période, le taux de sédimentation dans le marécage atteint 35 cm/siècle. On remarque toutefois que c'est entre l'intrusion de *Sinarundinaria* dans le massif forestier et son évolution vers un « Horizon à bambous » que l'érosion est la plus importante, le taux de sédimentation passant à 50 cm/siècle avant de retomber à 27 cm/siècle par la suite.

Alors que le massif forestier ombrophile s'est reconstitué au début de notre ère, un quatrième pic de *Sinarundinaria* survient, vraisemblablement vers 500 ans AD, lors d'une « Medium Poaceae Period » alors que *Podocarpus* connaît son expansion maximale ; ce qui signifierait qu'on se trouverait, pour une courte période, dans des conditions climatiques plus froides assorties d'une pointe de xéricité.

Ensuite, l'environnement reprend un aspect méso-ombrophile sous un climat proche de l'actuel, moins rigoureux. Initialement, la reconquête du milieu est réalisée par un ensemble dominé par *Macaranga* ; puis l'évolution se poursuit avec l'installation d'une forêt secondaire dont la composition est déterminée par une pression anthropique croissante.

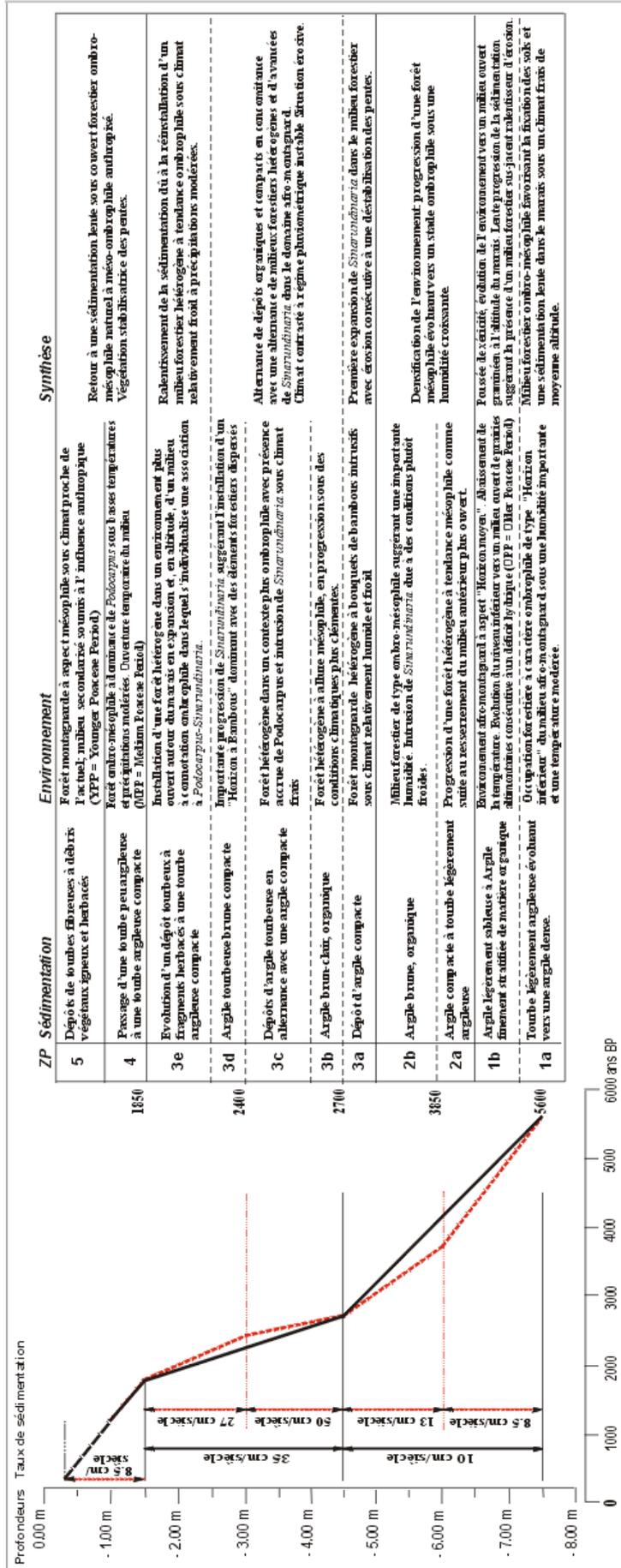


Figure 5 : Evolution de la vitesse de sédimentation marécageuse en fonction de la couverture végétale liée aux conditions climatiques

## Discussion

Dans le cadre du présent travail ont été mises en évidence différentes phases de l'évolution du milieu montagnard du secteur « haute altitude » du PNKB (Parc National de Kahuzi-Biega) pour les 6 derniers millénaires. Cette reconstitution réalisée par l'analyse pollinique de la séquence sédimentaire tourbeuse provenant du marais de Ngushu situé à 2202 m, au pied du Mont Kahuzi (3310 m) est basée sur la dynamique de la végétation liée aux variations climatiques. La chronologie des événements a été établie sur base de datations  $^{14}\text{C}$  conventionnelles. Les faits marquants relevés au niveau local peuvent être intégrés de façon élargie à l'évolution paléoenvironnementale régionale et, dans un contexte plus vaste, à celle de l'Afrique intertropicale pour la période considérée.

L'Optimum Humide Holocène a été identifié par RUNGE (2001a, 2001b) sur base de la progression de la forêt dense guinéenne enregistrée à Osokari, en marge du Bassin du Congo, entre 11 000 et 5 000 ans BP et de la forêt afromontagnarde à Musisi (PNKB – 2193 m) entre 6 500 et 5 000 ans BP, ces progressions étant favorisées par l'installation de conditions climatiques chaudes et humides.

En ce qui concerne le profil étudié à Ngushu, on constate que la séquence n'a commencé à enregistrer la période Holocène qu'à partir d'un intervalle de temps se situant entre 6 000 et 5 000 ans BP. Par ailleurs, l'étude palynologique de la séquence de Cishaka, marais proche de Ngushu (2260 m d'altitude) a révélé un hiatus palynologique correspondant à une faible couche sableuse stérile déposée entre la fin du Pléistocène et 6000 ans BP (KABONYI NZABANDORA *et al.*, 2015). Ces observations tendent à prouver que la formation holocène des marécages n'a débuté au pied du Mt Kahuzi qu'à la fin de l'Optimum Humide (RUNGE, 2001b) et qu'ils seraient dérivés d'anciens lacs, comme proposé pour Musisi par BOUTAKOFF (1939). Cette période « lacustre », concomitante des hauts niveaux enregistrés au lac Kivu entre 10 000 et 7 000 ans BP serait due à une augmentation sensible des précipitations, supérieures aux actuelles (RUNGE, 2001b) alors que l'élévation des températures serait assez modérée.

La séquence de Ngushu a archivé diverses phases environnementales évolutives dont on peut retracer 6000 ans d'histoire. La première phase Holocène reconnue dans le sondage se caractérise par une poussée des taxons à connotation afro-subalpine au sein d'une forêt hétérogène ombromésophile où la présence de *Podocarpus* s'affirme avec l'altitude. Cet événement qui coïncide avec le commencement de la régression du lac Kivu pourrait être assimilé à la petite avancée glaciaire signalée entre ca. 6 500 et 5 500 ans BP au Mont Kenya par MAHANEY (1990). Au Kivu on enregistrerait à cette époque une chute modérée conjointe de la température et des précipitations.

La forêt évolue ensuite vers un stade plus ouvert suggérant une nouvelle réduction des précipitations et de l'humidité ambiante, sans toutefois atteindre un stade de sécheresse extrême. L'expansion des Poaceae qu'on peut assimiler à l'OPP (Older Poaceae Period) définie par RUNGE (1999; 2001b) atteint son maximum ca 4000 ans BP. Elle est le reflet ici d'une expansion de prairies altimontaines, espaces herbeux naturels dont le développement est lié à une période de déficit hydrique (LEBRUN & GILBERT, 1954). Sous 1800 m et vers le fond du rift, cette période de sécheresse a favorisé le développement de savanes arborées naturelles (VILIMUMBALO, 1993 repris par RUNGE, 2001) On constate ainsi une concordance entre les évolutions respectives, ca. 4000 ans BP du site de Ngushu à 2202 m et celui Kamagema situé à 1510 m. Par ailleurs, le déficit hydrique trouve également son équivalent dans une baisse de niveau du lac Kivu qui, à terme, aurait pu entraîner la fermeture du bassin (HABERYAN & HECKY, 1987) et la communication avec le lac Tanganyika via la Ruzizi.

Après cette période régressive, l'archivage pollinique se poursuit à Ngushu de façon plus étoffée où, dans un premier temps, on observe une reconstitution de la forêt en deux phases progressives : une première mésophile, suivie d'une seconde à caractère plus ombrophile. Cet événement résulterait d'une pulsation humide se situant, d'après nos datations, entre ca. 4000 et ca 3000 ans BP. Il trouve son équivalent, de façon atténuée sur la dorsale orientale du rift centrafricain, au Rwanda et au Burundi (ROCHE *et al.*, 1988 ; ROCHE & BIKWEMU, 1989 ; ROCHE & NTAGANDA, 1999, ROCHE *et al.*, 2015), En Afrique de l'Ouest, on assiste à un regain de la forêt dense associée à une remontée du plan d'eau de certains lacs, comme le lac Ossa (SERVANT-

VILDARY *et al.*, 1996) ou le Tchad (GASSE, 2006) et à une augmentation de la pluviosité assortie d'un déplacement vers le nord des zones bioclimatiques entre ca. 3400 ans et ca. 2900 ans BP (LEZINE, 1989b ; HABİYAREMYE & ROCHE, 2004). En Afrique orientale, on enregistre aussi la remontée de certains niveaux lacustres comme, notamment, ceux du Bahr-el-Ghazal (SERVANT & SERVANT-VILDARY, 1980), du Bogoria et du Turkana (OWEN *et al.*, 1982).

La première période d'évolution forestière couvrant quelque 3000 ans, depuis le stade initial de la formation des dépôts marécageux, s'est déroulée, exception faite de la phase d'aridité de 4000 ans BP, sous un climat relativement clément, doux et humide, favorisant le développement d'une végétation plutôt dense, fixatrice des sols, assurant une sédimentation lente de l'ordre de 10 cm par siècle à Ngushu A la fin de la période, on voit se profiler une avancée de *Sinarundinaria* qui prendra de l'ampleur par la suite.

L'étape évolutive suivante présente un aspect différent de la précédente. La sédimentation au sein du marais, faite d'une succession de couches argileuses et tourbeuses suggère une instabilité climatique qui aurait agi sur l'érosion des pentes bordières du marécage. De ce fait, la sédimentation sur 900 ans représente 3.5 fois ce qu'elle était au cours des trois millénaires antérieurs. Un phénomène analogue est observable au lac Kivu durant cette même période, quand le lac connaît son niveau le plus bas de l'Holocène (-30 m), entre 3000 et 2000 ans BP (DEGENS & HECKY, 1974). Selon ALEXANDRE *et al.* (1992), l'abaissement d'un niveau lacustre s'accompagne d'une vitesse de sédimentation accrue en dépôts terrigènes grossiers. Au Kivu, elle aurait été de dix fois supérieure à cette époque par rapport à la période de biostasie qui l'a précédée. D'autre part, l'érosion épisodique des pentes observée par RUNGE (2001b) à Osokari, pour la période 5000-2000 ans BP participe à un processus morphodynamique similaire lié à un mouvement forêt-savane dû à une alternance de conditions climatiques sèches et humides. Plus au Nord, sur la rivière Epulu en Ituri, HART *et al.* (1996) ont signalé une expansion de savanes boisées au détriment de la forêt dense datant de ca. 2200 ans BP. Mais cet événement pourrait être aussi lié à des feux courants (tentative d'implantation de populations bantouphones venues de l'ouest lors de leur migration vers la Région interlacustre ?).

Des événements climatiques résulte une interaction entre évolution de la végétation et sédimentation marécageuse. Ainsi, en l'espace de 900 ans, on recense trois pics significatifs de *Sinarundinaria* séparés par deux intervalles forestiers diversifiés où le genre est régressif. Au début du processus, *Sinarundinaria* devait se trouver par bouquets au sein de la forêt ; sa seconde expansion s'apparente à un horizon à Bambous et la troisième à une association *Podocarpus-Sinarundinaria*. Cela signifierait que, du début à la fin de la période considérée, la température aurait pu chuter d'environ 2-3°C alors que les précipitations annuelles auraient subi un recul assez modeste, de l'ordre de 100 à 200 mm. Ces estimations sont proposées sur base des données altitudinales de température et de pluviosité collectées autrefois par l'INEAC (Institut national pour l'étude agronomique au Congo) et fournies plus récemment par la station de Lwiro située à 1750 m d'altitude sur les bords du Kivu. La température serait ainsi l'élément déterminant dans le mouvement des zones de végétation alors que les pluies régulières peuvent se transformer en bruines et en brouillards persistants tout en maintenant l'humidité ambiante (SCAËTTA, 1933, 1934 ; MALEY, 1982). Toutefois rien n'exclut qu'une certaine irrégularité se soit installée dans le régime des précipitations, avec des variations saisonnières plus contrastées, ce qui accentuerait l'érosion à certaines périodes de l'année.

Après un intermède forestier apparenté à l' « horizon supérieur » du milieu afro-montagnard attestant de conditions climatiques froides et humides, survient, après 1800 ans BP, une avancée significative des Poaceae associée à un quatrième pic de *Sinarundinaria*, moins important cependant que les précédents. Cet événement signifierait que les conditions climatiques froides seraient assorties alors d'une pointe d'aridité. RUNGE (2001b) signale également qu'entre 2000 et 1300 ans BP, des processus érosifs de milieux ouverts, témoins d'une période de sécheresse, se remarquent aussi à Osokari.

La phase d'aridité reconnue au Kahuzi, serait similaire de celle observée sur la dorsale orientale du Kivu au Rwanda, au pied des Virunga et sur le Plateau central (ROCHE, 1991 ; 1996 ; ROCHE & NTAGANDA, 1999, ROCHE *et al.*, 2015). On pourrait l'assimiler aussi au « Pré-Néoglacaire », froid et sec, de ca 1500 ans BP, reconnu au Mont Kenya par MAHANEY (1990).

L'incidence de la pulsation sèche de ca 500 ans AD sur l'expansion régionale du couvert graminéen incite à attirer l'attention sur l'événement en lui attribuant l'appellation de « Medium Poaceae Period » (MPP) en se référant à d'autres faits marquants du même genre signalés par RUNGE & RUNGE (1998) et RUNGE (2001) : l'Older Poaceae Period (OPP : 4000 BP) et la Younger Poaceae Period (YPP : 1300-300 BP).

Par la suite, sous un climat plus clémente en évolution vers son stade actuel, le milieu afro-montagnard prend un aspect méso-ombrophile marqué initialement par une dominance de *Macaranga* ; puis l'évolution se poursuit avec l'installation d'une forêt secondaire dont la composition est déterminée par une pression anthropique croissante, accentuant l'ouverture du milieu. En atteste une progression des Poaceae reconnue par RUNGE (2001), à Musisi, comme la Younger Poaceae Period (YPP).

A cet égard, les parties supérieures des séquences Musisi I et Musisi II, principalement cette dernière, étudiées antérieurement (MOSCOL & ROCHE, 1997 ; KABONYI NZABANDORA, 2007) complètent, en les précisant, les zones 4 et 5 de Ngushu.

A partir de 2000 ans BP, on assiste, dans ces séquences, à la reprise d'une forêt ombrophile favorisée par des conditions climatiques fraîches. Survient ensuite, à Musisi II, à une date estimée à 500 ans AD, un pic de *Sinarundinaria* identifié comme l'équivalent du quatrième pic de Bambous observé à Ngushu. Cet épisode serait dû à une pointe d'aridité soulignée par ailleurs par une expansion consécutive des Poaceae qui serait celle du MPP (Medium Poaceae Period). Y fait suite le développement d'une forêt hétérogène où se succèdent une tendance ombrophile, assez brève, puis mésophile avec progression de *Macaranga* et *Hagenia*. A cette dernière pourrait correspondre la première manifestation du Néoglaciare du Mont Kenya, l'avancée de Tyndall (MAHANEY, 1989). Après cet épisode, la forêt dense reprend temporairement vigueur surtout marquée par une progression de *Podocarpus* et où s'insère un nouveau pic de *Sinarundinaria*, non repéré à Ngushu, et qui serait le cinquième dans la série des pics de Bambous qui se sont succédé sur 3000 ans dans la flore locale. Ce dernier, alors que s'amorce une avancée de *Hagenia* et de *Macaranga* au sein du massif forestier pourrait être assimilé à l'avancée de Lewis (MAHANEY, 1989 ; OSMASTON, 1989) du Néoglaciare est-africain. Par ailleurs la progression de taxons mésophiles vers la fin des séquences Musisi I et II pourraient être la première manifestation d'une influence anthropique à haute altitude estimée, sur base de traces de feux observées dans les sédiments, vers la moitié du deuxième millénaire AD (MOSCOL & ROCHE, 1997 ; KABONYI, 2007).

La secondarisation du milieu due à une influence anthropique apparaît tardivement sur la dorsale occidentale du Kivu par rapport à celle exercée sur le flanc est de la dorsale orientale où des populations de l'Age du Fer ancien installées sur le Plateau central du Rwanda ont pu contribuer, au cours des premiers siècles de notre ère, à créer une secondarisation anthropique cumulative de la savanisation climatique (VAN GRUNDERBEEK *et al.*, 1982 ; ROCHE, 1996). Bien que certains sites d'occupation d'Age du Fer ancien aient été signalés au sud et au nord du lac Kivu (BOUTAKOFF, 1937 ; HIERNAUX & MAQUET, 1957, 1960), ces derniers ne représentent que des concentrations de peu d'importance, situées de plus au fond du rift, n'ayant pu avoir qu'une incidence limitée sur la végétation mésophile de basse altitude et quasi nulle sur la végétation altimontaine. Par contre, c'est avec l'émergence d'un nouvel Age du Fer (ou Age du fer récent) apparu dès le 8<sup>ème</sup> siècle de notre ère à la suite de l'intrusion en région interlacustre de populations allochtones venues du nord-est (DESMEDT, 1991) que les premiers effets de secondarisation anthropique peuvent apparaître sur les bords du Kivu. Il faut toutefois attendre, d'après les datations dont on dispose, les 17<sup>ème</sup>- 18<sup>ème</sup> siècles avec l'arrivée de nouvelles populations sud-nilotiques dans la région pour voir le secteur haute-altitude du domaine afro-montagnard subir les premiers effets d'une influence humaine.

Bien que soumis à l'action anthropique depuis plus de trois siècles, le secteur haute altitude de la dorsale a plutôt bien résisté à la dégradation. De très beaux massifs de forêt ombro-mésophile occupaient encore les hauts reliefs dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Mais, objet de déprédations diverses au cours des vingt dernières années, le secteur haute altitude est actuellement en phase de dégradation importante (KABONYI NZABANDORA *et al.*, 2011), circonstance aggravée par la prolifération de *Sericostachys scandens*, liane héliophile favorisée par les feux de brousse. Bien que l'activité humaine contribue aujourd'hui à son développement, l'expansion de cette espèce, ainsi que le montrent les spectres polliniques était avantagée dans le passé, en dehors

de toute activité anthropique, par une régression forestière naturelle consécutive à des conditions climatiques défavorables.

## CONCLUSIONS

L'étude palynologique de la séquence sédimentaire provenant du sondage réalisé dans le marécage de Ngushu située à 2202 m d'altitude au pied du Mont Kahuzi (3310 m) a permis la reconstitution de l'histoire environnementale de la zone « haute altitude » du Parc National de Kahuzi-Biega depuis 6 000 ans. La chronologie des événements a été établie sur base de datations  $^{14}\text{C}$  et de corrélations établies avec d'autres profils sédimentaires étudiés précédemment dans le secteur.

L'Optimum Humide Holocène se situe au Kivu entre ca. 10000 ans et ca. 7000 ans BP. Au cours de cette période, aucun des sites marécageux recensés, en haute altitude ou à proximité du lac, n'a archivé d'information paléoenvironnementale, l'importante montée du niveau du lac Kivu (+ 100m) ayant submergé les marais de basse altitude alors que ceux de haute altitude, dont Ngushu, étaient transformés en étendues lacustres par suite de précipitations importantes.

Ce n'est qu'à partir de ca. 6000 ans BP, avec l'atténuation de la phase humide qui se prolongera jusqu'à ca. 5000 ans BP, que le marais étudié a commencé à se développer, favorisant l'enregistrement pollinique.

L'expansion maximale de la forêt ombrophile de montagne qui devait correspondre à l'Optimum Humide du début de l'Holocène ayant été occultée par le manque d'enregistrement sédimentologique, on découvre, ca. 6000 ans BP, une forêt afro-montagnarde ombro-mésophile teintée d'éléments afro-subalpins. Cet aspect hétérogène évoque l'installation de conditions climatiques plus fraîches. Le milieu forestier évoluant ensuite vers un stade plus mésophile suggère que la tendance soit à une réduction progressive des précipitations.

L'important accroissement des Poaceae dans le spectre pollinique, identifié en tant que l'OPP (Older Poaceae Period) et daté de ca. 4000 ans BP souligne à cette date une expansion de prairies naturelles en altitude ; cette dernière étant accompagnée d'un développement de savanes arborées « climatiques » en bordure du Kivu. En l'absence d'une occupation humaine effectivement reconnue sur la dorsale du Congo, cette avancée de milieux ouverts savanicoles doit, en conséquence, être considérée comme nécessairement naturelle. L'événement serait consécutif à un sensible affaiblissement du régime hydrologique local, à mettre en parallèle avec le phénomène global d'aridité ayant frappé l'ensemble de l'Afrique à cette époque.

Une brève reprise forestière, passant d'un stade mésophile à un stade ombrophile succède à cette phase d'aridité ; elle serait due à une pulsation humide se situant ca. 3500 ans BP.

Après ca. 3000 ans BP, un changement s'opère dans la structure du massif forestier de haute altitude. On y observe une succession, en alternance, d'avancées et de retraits de *Sinarundinaria* au sein d'un milieu évocateur de l'horizon supérieur du domaine afro-montagnard. Ce phénomène serait la conséquence d'une période d'instabilité climatique révélatrice d'une chute des températures et d'une irrégularité dans le régime des pluies. On en constate également les effets érosifs dans une augmentation de la sédimentation, aussi bien dans les marécages que dans le milieu lacustre. La régression forestière qu'on perçoit en Afrique tropicale post-3000 BP est parfois attribuée à une « Péjoration climatique » survenue ca. 2500 ans BP. Cet événement apparaît plutôt ici comme un phénomène progressif évoluant par paliers. Toutefois, la principale phase érosive, accompagnée d'une sédimentation maximale se situerait, d'après nos datations, entre ca. 2600 et 2300 ans BP.

Dès 2000 ans BP, une forêt ombrophile diversifiée reprend de l'ampleur, favorisée par des conditions climatiques fraîches.

Vers 500 ans AD, une nouvelle avancée des Poaceae, associée à un pic de *Sinarundinaria* et à une progression de taxons mésophiles serait due à une pointe d'aridité temporaire. Etant donné l'extension significative des Poaceae durant cet épisode sec, on pourrait lui attribuer le signe distinctif de « Medium Poaceae Period » (MPP). Cette pulsation climatique pourrait être assimilée au « Pré-Néoglaciale » du Mont Kenya. Il est par ailleurs peu probable que les rares sites d'occupation d'Age du fer ancien localisés en bordure du lac auraient pu avoir une influence déterminante sur l'extension de milieux ouverts herbacés sur les basses terres de la dorsale.

L'environnement forestier reprend vigueur par la suite mais son évolution vers un stade mésophile attesterait les premières manifestations d'une influence anthropique surtout marquée dans son horizon inférieur qui aurait déjà été dégradé au début du deuxième millénaire AD.

Au-dessus de 2000 m d'altitude, la forêt primaire continue son expansion mais la progression, en son sein, de *Podocarpus* et de *Sinarundinaria* témoignerait de conditions climatiques froides à mettre en relation avec la période Néoglaciale du Mont Kenya.

On peut estimer que c'est à partir des 17<sup>ème</sup>- 18<sup>ème</sup> siècles que se précise la secondarisation du milieu sous un effet anthropique ce que confirme une avancée importante de la composante mésophile de la forêt et la mise à jour de traces de feux dans les couches supérieures des profils sédimentaires.

Malgré une accentuation de la pression anthropique au cours du temps le milieu afro-montagnard avait assez bien résisté à une dégradation excessive, jusqu'à ce que, ces vingt dernières années, des déprédations agressives l'aient transformé en patrimoine forestier en péril.

## REFERENCES

- ALEXANDRE, J., ALONI, K. & DE DAPPER, M. 1992 – Géomorphologie et variations climatiques au Quaternaire en Afrique centrale. *Geo-Eco-Trop*, 16, 1–4: 167–205
- BOUTAKOFF, I. 1937 – Premières explorations méthodiques des gisements de l'Age de la Pierre au Ruanda-Urundi. Abris sous roche, ateliers et stations en plein air – Communication préliminaire. *Bull. Inst. Royal colonial belge*, VIII, 1: 179–201
- BOUTAKOFF, N. 1939 – Géologie des territoires situés à l'Ouest et au Nord-Ouest du fossé tectonique du Kivu. *Mémoires de l'Institut Géologique de l'Université de Louvain*, 9 : 1–207
- DEGENS, E.T. & HECKY, R.E. 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.
- DESMEDT, C. 1991 – Poteries anciennes décorées à la roulette dans la Région des Grands Lacs. *African Archaeological Review*, 9 : 161–196
- DEUSE, P. 1966 – Contribution à l'étude des tourbières du Rwanda et du Burundi. *Institut National de la Recherche Scientifique – Butare*, Rwanda, Publication n°4, 53–115
- DEVRED, R. 1958 – La végétation forestière du Congo belge et du Rwanda-Urundi. *Bull. Soc. Royale Forest. Belg.*, 6 : 409–468
- ERDTMAN, G. 1960 – The acetolysis method, a revised description. *Swensk Botanisk Tidskrift*, 54: 561–564
- FISCHER, E. 1996 – Die vegetation des Parc National de Kahuzi-Biéga, Sud-Kivu, Zaïre. Franz Steiner Verlag. Stuttgart. 239 p.
- GASSE, F. 2006 – Climate and hydrological changes in tropical Africa during the past million years. *C.R.Palevol*, 5: 35–43
- HABERYAN, K. A. & HECKY, R.E. 1987 –The late Pleistocene and Holocene stratigraphy and paleolimnology of lakes Kivu and Tanganyika. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 61, 169–197
- HABIYAREMYE, F.X. 1993 – Analyse phytosociologique des forêts primaires de la crête Zaïre-Nil au Rwanda. *Belgian Journal of Botany*, 126, 1: 100–135
- HABIYAREMYE, F.X. & ROCHE, E. 2004 – Contribution à l'observation de variations environnementales au Mali par l'analyse d'un transect phytogéographique Bamako-Tombouctou. *Geo-Eco-Trop.*, 28, 1–2: 1–14
- HART, T.B., HART, J.A., DESCHAMPS, R., FOURNIER, M. & ATAHOLO, M. 1996 – Changes in forest composition over the last 4000 years in the Ituri Basin, Zaïre. In: van der MAESEN, L.J.G., van der BURGT, X.M. & van MEDENBACH DE ROOY, J.M. (Eds.). *The Biodiversity of African plants*, Dordrecht. : 545–563
- HIERNAUX, J. & MAQUET, E. 1957 – Cultures préhistoriques de l'Age des métaux du Ruanda Urundi et du Kivu-Première partie. *Bull. Acad. Roy. Sc. Coloniales*, n.s., II, 1956–6: 1126–1149
- HIERNAUX, J. & MAQUET, E. 1960 – Cultures préhistoriques de l'Age des métaux du Ruanda Urundi et du Kivu-Deuxième partie. *Mém. Acad. Roy. Sc. Outre-Mer-CI.Sc. Naturelles et Médicales*, n.s., X, 2 : 5–102
- ILUNGA, L. 1991 – Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 27 : 209–228
- KABONYI NZABANDORA, C. 2007 – Etude palynologique de la séquence sédimentaire de Musisi-Karashoma II, Sud-Kivu (R.D.Congo)–Synthèse de l'évolution environnementale du Sud-Kivu au cours des deux derniers millénaires. *Geo-Eco-Trop*. 31, 1–2: 147–170

- KABONYI NZABANDORA, Chantal. 2012 – Analyse palynologique de divers sondages du secteur haute altitude du Parc National de Kahuzi-Biega. Paléoenvironnements et paléoclimats au Pléistocène supérieur et à l’Holocène. Thèse de doctoral de l’Université de Liège (Belgique) ; année académique 2011-2012 – 91p. *Geo-Eco-Trop.*, rubrique “Ressources”. <http://www.geocotrop.be>
- KABONYI NZABANDORA, Chantal, SALMON, Marc & ROCHE, Emile. 2011. Le Parc National de Kahuzi-Biega (R.D.Congo), patrimoine en péril ? Le secteur « Haute altitude », situation et perspectives. *Geo-Eco-Trop.*, 35 : 1-8.
- KABONYI NZABANDORA, Chantal & ROCHE, Emile. 2015 - Paléoenvironnements et paléoclimats au Parc National de Kahuzi-Biega - *Editions Universitaires Européennes (E.U.E.)* : 121 p.
- KABONYI NZABANDORA, Chantal, ROCHE, Emile & GERRIENNE, Philippe. 2015 Paléoenvironnements et paléoclimats durant le Pléistocène supérieur et l’Holocène sur la dorsale occidentale du Kivu en République démocratique du Congo. *ESI (European Scientific Journal)*, 11, 30 : 38-63
- KÖPPEN, W. 1931 – Grundriss der Klimakunde. Berlin. Leipzig: 388p.
- LEBRUN, J. 1934 – Rapport sur un voyage d’études botaniques dans le district du Kivu. *Bull. Agr. Congo belge*, XXV: 529–540
- LEBRUN, J. 1935 – Les essences forestières du Congo belge : Les essences forestières des régions montagneuses du Kivu. *INEAC. Sér. Scientifique*, 1, 264 p.
- LEBRUN, J. 1936 – Répartition de la forêt équatoriale et des formations végétales limitrophes, Ministère des Colonies, Publ. Direction générale Agriculture et Elevage, Bruxelles : 195 p.
- LEBRUN, J. 1956 – La végétation des territoires botaniques du Ruanda-Urundi. *Les Naturalistes belges*, vol. spécial : 22–48
- LEBRUN, J. 1960a – Sur une méthode de délimitation des horizons et étages de végétation des montagnes du Congo oriental. *Bull. Jard. Bot. Etat Brux.* , 30 : 75–94
- LEBRUN, J. 1960b : Etudes sur la flore et la végétation des champs de lave au nord du lac Kivu. *Inst. Parcs Nat. Congo belge*, 2 : 352 p.
- LEBRUN, J. 1960c Sur les horizons et étages de végétation de divers volcans du massif des Virunga. *Bull. Jard. Bot. Etat, Brux.* 30 : 255-277.
- LEBRUN, J. & GILBERT, G. 1954 – Une classification écologique des forêts du Congo. *I.N.E.A.C., série scientifique n° 63*, 189 p.
- LEONARD, A. 1962 – Les savanes herbeuses du Kivu. *Publication INEAC (Bruxelles), Sér. Scientifique*, 95, 87 p
- LEROUX, M. 1992 – Interprétation météorologique des changements climatiques observés en Afrique depuis 18000 ans. *Geo-Eco-Trop.*, 16, 1–4 : 207–258
- LEZINE, A.M. 1989b – Le Sahel : 20 000 ans d’histoire de la végétation. *Bull.Soc.Géol.France*, 8, V, 1:35–42
- MAHANEY, W.C. 1989 – Quaternary glacial geology of Mount Kenya. *In: Quaternary and Environment Research on East African Mountains (Mahaney Ed.-Balkema, Rotterdam):121–140*
- MAHANEY, W.C. 1990 – Cadre stratigraphique, géochronologique et paléoclimatique de la fin du Pleistocène et de l’Holocène dans les régions montagneuses de l’Est Africain. *L’Anthropologie (Paris)*, 94, 2 : 211–228
- MALEY, J. 1982 – Dust, clouds, rain types and climatic variations in tropical North Africa. *Quaternary Res.*, 18 : 1–16
- MALEY, J. 1992 – Mise en évidence d’une péjoration climatique entre 2500 et 2000 ans B.P. en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. Géol. France*, 163, 3 : 363–365
- MOSCOL-OLIVERA M. & ROCHE, E. 1997 – Analyse palynologique d’une séquence sédimentaire Holocène à Musisi-Karashoma (Kivu, R.D. Congo). Influences climatiques et anthropiques sur l’environnement. *Geo-Eco-Trop*, 1–4: 1–26
- OSMASTON, H. 1989a – Glaciations and equilibrium line altitudes on Kilimanjaro. *In: Quaternary and Environmental Research on East Africa Mountains, Balkema (Rotterdam): 7–30*
- OSMASTON, H. 1989b – Glaciations and equilibrium line altitudes on the Ruwenzori. *In: Quaternary and Environmental Research on East Africa Mountains, Balkema (Rotterdam): 31–104*
- OWEN, R.B., BARTHELME, J.W., RENAUT, R.W. & VINCENS, A. 1982 – Palaeolimnology and archaeology of Holocene deposits North-East of lake Turkana, Kenya. *Nature*, 298: 523–529
- PECROT, A. & LEONARD, A. 1960 – La dorsale du Kivu. Notice explicative de la carte des sols et de la végétation. *Publication INEAC (Bruxelles)*, n° 16, 124 p.
- PIERLOT, R. 1966 – Structure et composition des forêts denses d’Afrique centrale, spécialement celles du Kivu. *Acad. Roy. Sc. d’Outre-Mer*; Bruxelles, 367 p.
- ROBYNS, W. 1935 – Les essences forestières des régions montagneuses du Congo oriental – Catalogue descriptif des genres et espèces. *INEAC., série scientifique*, n° 1 : 39–264

- ROCHE, E. 1991 – Evolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bull. Soc. Géographique de Liège*, 27: 187–208
- ROCHE, E. 1996 – L'influence anthropique sur l'environnement à l'Age du Fer dans le Rwanda ancien. *Geo-Eco-Trop*, 20, 1–4 : 73–89
- 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. & NTAGANDA, C. 1999 – Analyse palynologique de la séquence sédimentaire Kiguhu II (Région des Birunga, Rwanda). Evolution du paléoenvironnement et du paléoclimat dans le domaine afro-montagnard du Rwanda au cours de l'Holocène. *Geo-Eco-Trop*. 22: 71–82
- ROCHE, Emile, KABONYI NZABANDORA, Chantal & NTAGANDA, Charles. 2015 - Aperçu de la phytodynamique holocène du milieu montagnard sur la chaîne volcanique des Virunga (Nord du Rwanda). *Geo-Eco-Trop.*, 39, 1 : *in press*.
- RUNGE, J. 1999 – Global Change in Africa: Sedimentanalyse und Kohlenstoffisotope entschlüsseln die Umweltgeschichte tropischer Ökosysteme. *Forschungsforum Paderborn*, 2 : 16–19
- RUNGE, J. 2001a – Landschaftsgenese und Paläoklima in Zentralafrika. *Relief, Boden, Paläoklima*, 17, 294 p. Gebr. Borntraeger. Berlin–Stuttgart.
- 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. & RUNGE, F. 1998 – Phytolithanalytische und klimageschichtliche untersuchungen im Musisi-Karashoma-Sumpf, Kahuzi-Biega-Nationalpark, Ost-Kongo (ex-Zaïre). *Paderborner Geographische Studien*, 11: 79–104
- SCAËTTA, H. 1933 – Les précipitations dans le bassin du Kivu et dans les zones limitrophes du fossé tectonique (Afrique centrale équatoriale). Communication préliminaire. *Inst. Roy. Col. Belge; Sect. Sci. Nat. Méd.*, Mém. In – 4°, 2 (2), 108 p.
- SERVANT, M. & SERVANT-VILDAY, S. 1980. L'environnement quaternaire du bassin du Tchad. In: *The Sahara and the Nile*, Balkema, Rotterdam : 133–162
- SERVANT – VILDARY, S., NGUETSOP, F., ROUX, M., REYNAUD – FARRERA, I., SERVANT, M. & WIRMANN, D. 1996 – Relations statistiques diatomées/milieus aquatiques et application à l'estimation des paleo – niveaux lacustres. In: Symposium international. Dynamique à long termes des écosystèmes forestiers intertropicaux, *CNRS ORSTOM*, 93– 94
- TROUPIN, G. 1978, 1983, 1985, 1988 – Flore du Rwanda. Spermatophytes, Vol. I, 403 p; Vol. II, 603 p; Vol. III, 729 p; Vol. IV, 651 p. ACCT, Musée roy. Afr. Centrale, INRS Butare
- VAN GRUNDEBEEK, M.C., ROCHE, E. & DOUTRELEPONT, H. 1982 – L'Age du fer ancien au Rwanda et au Burundi, archéologie et environnement. *Journal des Africanistes*, 52, 1 – 2 : 5 – 58
- VILIMUMBALO, S. 1993 – Paléoenvironnements et interprétations paléoclimatiques des dépôts palustres du Pléistocène supérieur et de l'Holocène du Rift Centrafricain au Sud du lac Kivu (Zaïre). Thèse de doctorat en Sc. Géographiques, Université de Liège, 212 p.
- VILIMUMBALO, S. 1995 – Paléoenvironnements et évolution paléoclimatique dans la branche occidentale du Rift Est-Africain au Sud du lac Kivu au cours de l'Holocène. In : 2<sup>e</sup> Symposium de Palynologie Africaine, Tervuren (Belgique), *CIFEG-Orléans*, Publ. Occas., 31 :145–157

