



UNIVERSITE OFFICIELLE DE BUKAVU



**Université
de Liège**

**Faculté des Sciences
Département de Géologie
Unité de Paléobiogéologie-Paléobotanique-Paléopalynologie (PPP)**

**Analyse palynologique de divers sondages
du secteur haute altitude du Parc National de Kahuzi-Biega.
Paleoenvironnements et paleoclimats au Pléistocène
supérieur et à l'Holocène**



Chantal KABONYI NZABANDORA

Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Sciences

JURY

**Mr. P. STEEMANS, Université de Liège, Président
Mr. P. GERRIENNE, Université de Liège, Promoteur
Mr. D-S. NYAKABWA MUTABANA, Université Officielle de Bukavu, Co-promoteur
Mr. E. ROCHE, Université de Liège, Secrétaire
Mr. J. RUNGE, Universität Frankfurt am Main
Mr. H. HOOGHMSTRA, University of Amsterdam
Mr. F.X.M. HABIYAREMYE, Institut Royal des Sciences Naturelles, Bruxelles**

Année académique 2011 - 2012

A la mémoire de mon regretté fils, José-Junior KAMWANGA, que j'ai conçu en pleines recherches doctorales et que la mort m'a prématurément arraché avant l'aboutissement même de ce travail.

Le vide que tu as laissé dans mon cœur sera difficilement comblé.

Que le Très Haut veille sur toi dans Son Royaume Céleste et Paix à ton âme.

Mon cher époux Dominique KAMWANGA KILIYA,

*Mes admirables enfants, Christian-Rodrigue KAMWANGA et
Joslain-Olivier KAMWANGA,*

*Ce travail que je vous dédie est le prix de vos sacrifices, de vos
privations tout le temps qu'ont pris ces recherches.*

REMERCIEMENTS

A l'issue de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude à Madame Emmanuelle JAVAUX, Chef de l'Unité de Paléobiologie-Paléobotanique-Paléopalynologie du Département de Géologie de l'Université de Liège qui m'a procuré l'appui indispensable à la bonne marche de mon étude.

Mes sentiments de reconnaissance s'adressent aussi aux Professeurs Philippe GERRIENNE et Dominique-Savio NYAKABWA MUTABANA respectivement promoteur et co-promoteur de mon travail pour avoir accepté d'en assurer l'encadrement.

Nous disons aussi un grand merci au Professeur Emile ROCHE pour le suivi soutenu et la parfaite collaboration dont il a fait montre en vue de l'aboutissement de ce projet doctoral. Sa longue expérience en Palynologie sans laquelle ce travail n'aurait pu être réalisé, ses remarques et ses suggestions m'ont été particulièrement utiles pendant toute la durée des analyses et de la rédaction.

Il m'est également agréable de remercier les Professeurs J. RUNGE de l'Université de Francfort et H. HOOGHIEMSTRA de l'Université d'Amsterdam ainsi que le Dr. F.X.M. HABİYAREMYE de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique pour avoir accepté de faire partie de mon Jury de Thèse.

Par ailleurs, ce travail n'aurait pu être réalisé sans l'appui financier de la COOPERATION TECHNIQUE BELGE, l'Université Officielle de Bukavu, mon employeur et l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature qui nous a accordé les autorisations nécessaires pour la prospection de terrain dans le PNKB.

Je suis heureuse de pouvoir aussi exprimer ma reconnaissance aux personnes qui sont intervenues à titres divers dans l'élaboration de ce travail : les collègues et étudiants de l'UOB ainsi que les gardes du PNKB qui m'ont apporté leur aide sur le terrain et, à l'Université de Liège, à Madame M. GIRALDO pour le traitement des échantillons en laboratoire.

Cependant, ce travail n'aurait pu voir le jour sans l'appui que nous a prodigué le Professeur Roland LIBOIS, tout d'abord en nous conseillant, lors d'une rencontre à Bujumbura, d'effectuer un stage préparatoire à l'Université de Liège, puis à y poursuivre un DEA en Palynologie appliquée et enfin en nous encourageant à entamer une thèse de doctorat. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus vive reconnaissance.

Ma profonde gratitude s'adresse aussi aux familles Albert-Marcel KAMWANGA et Joseph NZABANDORA pour l'affection, le soutien et surtout l'assistance qu'elles m'ont apporté chaque fois que j'en ai eu besoin pendant tout le temps qu'à pris ma formation.

Enfin, Papa Joseph NZABANDORA Ndi'Mubanzi, grand merci pour tes encouragements qui m'ont permis d'atteindre le bout du tunnel.

**Analyse palynologique de divers sondages du
secteur haute altitude du Parc National de Kahuzi-
Biega.
Paleoenvironnements et paléoclimats au Pleistocène
supérieur et à l'Holocène**

Chantal KABONYI NZABANDORA

Thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Sciences

Année académique 2011-2012

RESUME

L'étude palynologique de séquences sédimentaires provenant de sondages réalisés dans le secteur « haute altitude » du Parc National de Kahuzi-Biega sur la dorsale occidentale du Kivu en R.D. Congo a permis une reconstitution de 35000 ans d'histoire paléoenvironnementale régionale.

Au Pléistocène supérieur, pendant la période dite du « Kalambo Interstadial » (32000-26000 ans BP), un ensemble forestier hétérogène occupe le terrain sous un climat modérément chaud-humide.

Au cours de la phase régressive de l' « Hypothermal du Mont Kenya » (25000-15000 ans BP), le Dernier Maximum Glaciaire (DMG = LGM / 20000-18000 ans BP) voit se développer une importante extension de milieux ouverts herbacés, témoins d'une grande xéricité.

Ensuite, le retour d'une forêt afro-montagnarde à connotation afro-subalpine, témoin de conditions climatiques froides-humides est temporairement interrompu par une nouvelle extension de milieux ouverts attestant une pulsation sèche qu'on peut assimiler au Dryas récent (DR = YD).

A l'Optimum Humide Holocène (10000-7000 ans BP), avec l'accroissement des précipitations, le lac Kivu connaît une hausse importante alors que les dépressions en altitude sont transformées en lacs. La progression de la forêt ombrophile de montagne qui aurait dû s'ensuivre n'a pas été archivée par manque d'enregistrement sédimentologique. Les premiers dépôts marécageux de l'Holocène révèlent l'existence, vers 6500 ans BP, d'un milieu forestier ombro-mésophile en évolution régressive témoignant de conditions climatiques plus fraîches.

Vers 4000 ans BP, une expansion importante des milieux ouverts naturels « climatiques », prairies en altitude et savanes sur les pentes inférieures des reliefs, souligne un déficit hydrique à mettre en relation avec la période d'aridité globale de l'Afrique à cette époque.

Après une brève reprise forestière ca. 3500 ans BP, les variations observées à partir de 3000 ans BP au sein de la forêt afro-montagnarde évoquent une instabilité climatique qui, par ailleurs, active l'érosion des pentes.

Le retour à une certaine stabilité climatique au cours du premier millénaire AD permet à la forêt montagnarde de reprendre de l'ampleur ; cependant, ca. 500 ans BP, une nouvelle avancée de milieux ouverts naturels, résultat d'une pulsation sèche assimilable au « Pré-Néoglaciale du Mont Kenya » interrompt brièvement cette progression.

Dès le début du second millénaire AD, l'horizon inférieur de la forêt dense commence à se secondariser sous un effet anthropique croissant alors que les horizons moyen et supérieur restent stables tout en évoluant vers un stade plus « frais », conséquence des effets du Néoglaciale Est-africain. C'est à partir des 17^{ème}-18^{ème} siècles que la secondarisation gagne le massif forestier en haute altitude.

Sur la dorsale orientale du Kivu, à saisons plus contrastées, l'évolution forestière du début de l'Holocène n'a pas été occultée par une phase lacustre comme sur la dorsale du Congo. Jusqu'à ca. 6000 ans BP, la forêt montagnarde évolue d'un stade hétérogène à influence afro-subalpine à un stade ombrophile marqué sous les effets d'un climat devenant progressivement plus chaud et plus humide.

La succession des événements observée à l'Ouest se retrouve à l'Est, à savoir : la période aride de 4000 ans BP, l'instabilité climatique de 3000-2000 ans BP attestée ici par des alternances d'influences ombrophile et mésophile au sein de la forêt, la stabilité forestière du premier millénaire AD brièvement interrompue par la pulsation sèche de 500 AD.

Dès le début du second millénaire AD, l'influence anthropique commence à se faire sentir dans les zones inférieures des reliefs pour gagner progressivement la haute altitude.

ABSTRACT

Palynological studies of sedimentary sequences issued from swamps located in the highlands of the KBNP (Kahuzi-Biega National Park) on the western divide of Kivu in Eastern Congo D.R., revealed important environmental events that occurred during the last 35000 years.

In the Upper Pleistocene, during the “Kalambo Interstadial” period (32000-26000 years BP), a mixed forest spread out under a moderately warm-wet climate.

In the course of the “Mount Kenya Hypothermal” regressive phase (25000-15000 years BP), in the “Last Glacial Maximum” (20000-18000 years BP) takes place an exceptional expansion of open grasslands that evidenced an important drought.

After that, the revival of an afro-montane forest growing under cold-wet climatic conditions is recorded, but that one is temporarily interrupted by the Young Dryas dry pulse.

At the Humid Holocene Period (10000-7000 years BP), with the increase of rainfall, the Kivu Lake level is raising when the swamps in the highlands are transformed in lakes.

Around 6500 yrs BP, the afro-montane rainforest invaded by afro-subalpine taxa turns into a secondary mixed forest as the result of a climatic deterioration.

At 4000 yrs BP, an important spreading of grasslands in the highlands and of savannas in the lowlands testifies that an aridity peak occurs at the time.

The changes that occurs from 3000 years BP to 2000 years BP in the afro-montane forest suggests a climatic instability that moreover speeds up erosion processes.

In the course of the first millennium AD, rainforest grows again; that event being shortly interrupted by a drought around 500 years AD.

At the beginning of the second millennium AD, the lower belt of the forest is yet deteriorated by anthropic action while middle and upper belts are stable but marked by a fresh climate resulting of the “Mount Kenya Neoglacial” influence. From 17th – 18th centuries, human impact increases progressively in the highlands.

On the eastern divide of Kivu, where seasons are more contrasted, the environmental events of the first part of Holocene are registered in the peaty sedimentary sequences. A heterogeneous forest evolved from 10000 years BP till 6000 years BP into an afro-montane rainforest by warming of a humid climate. Then, from the arid climatic phase of 4000 years BP till today, the various environmental events follow each other in the eastern as in the western side of the rift.

INTRODUCTION

Parmi les régions d'Afrique intertropicale ayant fait l'objet d'études palynologiques dans un but de reconstitution paléoenvironnementale, celle des zones bordières du lac Kivu reste la moins bien connue malgré certaines tentatives d'approche du problème ces vingt dernières années. Le présent travail s'est donné pour objectif principal d'étoffer les travaux antérieurs en ciblant le secteur « haute altitude » du Parc National de Kahuzi-Biega (PNKB) en R.D.Congo où les facteurs climatiques sont favorables à la genèse de dépôts tourbeux au sein d'un environnement naturel constitué d'une forêt ombro-mésophile montagnarde. La recherche entreprise propose de reconstituer l'évolution du milieu forestier environnant, de situer les différentes phases évolutives de ce dernier dans un cadre chronologique et de distinguer les influences climatiques et anthropiques ayant façonné le paysage afro-montagnard au Quaternaire supérieur. Ce milieu présente une spécificité propre du fait qu'à l'inverse des autres sites centre-orientaux, il se situe dans une zone fort arrosée à humidité quasi permanente. Cette particularité nécessite la mise en œuvre de méthodes d'approche particulières pour affiner l'interprétation des résultats.

L'étude palynologique concerne l'analyse de cinq sites tourbeux dans le secteur « haute altitude » du PNKB. Deux de ces sites ont déjà fait l'objet d'études antérieures (MOSCOL & ROCHE, 1997, MOSCOL, 1998 ; KABONYI, 2007) mais leur analyse sera rediscutée afin de l'intégrer dans une démarche plus élaborée faisant intervenir trois nouveaux sites dans la zone concernée : Cishaka, Lubirabira et Ngushu. Une comparaison sera ensuite établie avec des sites de basse altitude de la zone bordière du lac Kivu analysés précédemment (VILIMUMBALO, 1993) et des sites localisés sur la dorsale orientale au Rwanda (NTAGANDA, 1991) dans le but d'élargir le champ de réflexion concernant l'évolution environnementale régionale. Une vue d'ensemble comparative sera établie ensuite avec les régions orientale et occidentale d'Afrique intertropicale en vue d'intégrer les résultats obtenus dans une analyse globale de la situation. Enfin, par un système simple de télédétection, la dynamique du couvert végétal du secteur « Haute altitude » du PNKB sera analysée pour les 20 dernières années, apportant ainsi un complément d'information quant à son évolution récente.

CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

Orographie

La région du Kivu, située à l'Est de la République Démocratique du Congo, est dominée, dans sa partie extrême-orientale, par la dorsale occidentale du rift centrafricain, la chaîne des Mitumba, qui culmine à 3310 m d'altitude au Mont Kahuzi, au NO de Bukavu (2°30'50'' S – 28°50'37'' E), chef-lieu du Sud-Kivu.

Dans ce secteur, la dorsale du Congo, orientée SO – NE, est affectée par un jeu de failles important ; elle y présente des escarpements disséqués par de petites rivières torrentueuses affluentes du lac Kivu (altitude : 1462 m) situé au fond du fossé tectonique. Souvent, le cours supérieur de ces rivières présente un aspect sénile, formant de vastes étendues marécageuses dont certaines ont évolué en tourbières (ILUNGA, 1991). C'est le cas notamment de la dépression de Musisi et des bas-fonds entaillant les reliefs du haut plateau faillé de Bukulumisa entre 2200 et 2400 m d'altitude au pied des monts Kahuzi et Biega.

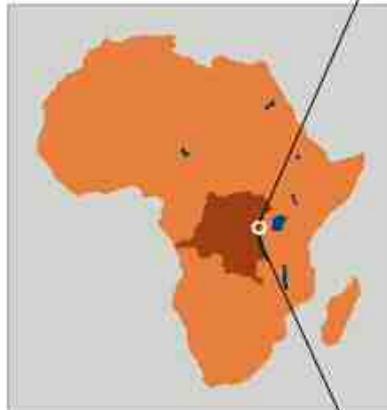


Fig. 1a: carte de situation

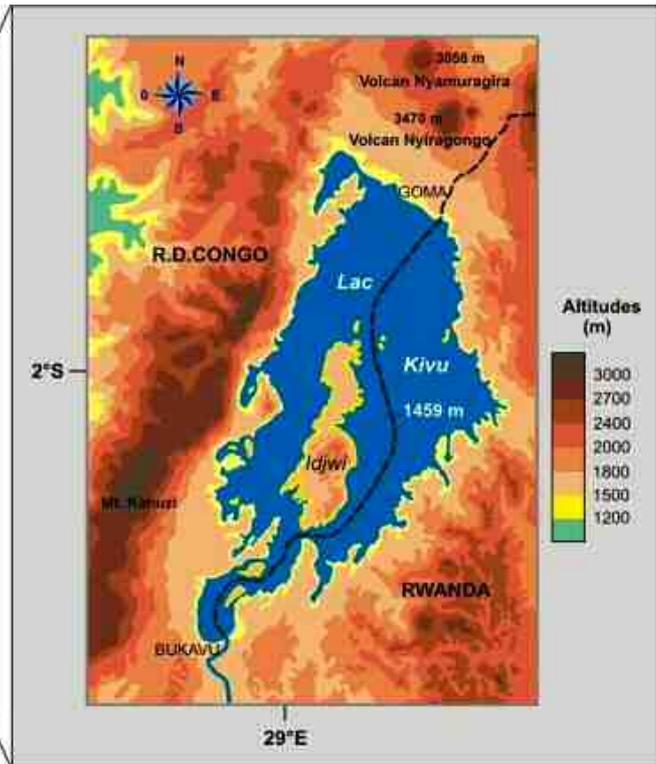


Fig. 1b: zones bordières du Kivu - orographie

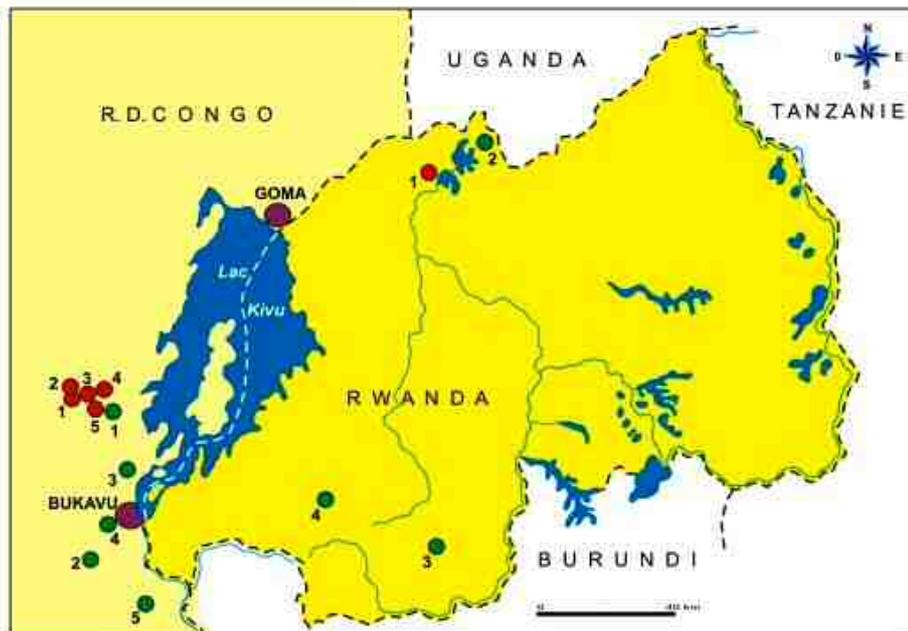


Fig. 1c: Localisation des sites

| KIVU | | RWANDA | |
|-----------------|------------------------|-------------|------------------------|
| ● Sites étudiés | ● Sites de comparaison | ● Site revu | ● Sites de comparaison |
| 1. Musisi 1 | 1. Kakala | 1. Kiguhu 2 | 2. Rugezi |
| 2. Musisi 2 | 2. Kalwira | | 3. Butare |
| 3. Ngushu | 3. Kamagema | | 4. Gasare |
| 4. Cishaka | 4. Mukukwe | | |
| 5. Lubirabira | 5. Mugeru | | |

Géologie

La géologie du Kivu comporte deux ensembles d'âges très éloignés dans le temps : le vieux socle précambrien et des formations cénozoïques. Le soubassement du Sud-Kivu est fait d'épaisses formations sédimentaires (8 000 à 10 000 m) d'âge Burundien (2100 à 1300 M.A.) ; elles sont constituées de gneiss, de grès quartzitiques, de quartzophyllades, de schistes, reposant en discordance sur l'Archéen. Les séries les plus anciennes cristallophylliennes à granites intrusifs attribuées antérieurement au Ruzizien (ante 2100 M.A.) sont considérées actuellement comme la base du Burundien (LAVREAU, 1985).

Les formations cénozoïques sont essentiellement composées de roches volcaniques (Basaltes, Trachytes), d'altérites et d'alluvions récentes. La région septentrionale du Sud-Kivu présente deux types de volcanisme : celui de Cibinda- Kalehe et celui de Kahuzi-Biega. Les coulées du secteur Cibinda-Kalehe situé entre le massif de Kahuzi-Biega et le lac Kivu s'échelonnent du début du Cénozoïque jusqu'au Pléistocène selon trois cycles à signification tectonique marquant l'évolution du rift (KAMPUNZU *et al.*, 1983). L'histoire du rift aurait commencé au Tertiaire avec la fracturation du socle accompagnée d'un volcanisme fluidal essentiellement alcalin, donnant naissance à un empilement de 300 m de couches basaltiques dont la plus vieille serait Eocène (49 M.A.) et la plus jeune du Pléistocène inférieur (1.6 M.A.) (ILUNGA, 1991).

Selon BIAYI (1981) le massif de Kahuzi-Biega serait relativement plus ancien par rapport à un plateau basaltique contigu, plus récent. LEDENT et CAHEN (1965) avaient attribué au massif un âge cambrien à infracambrien, ce que contestaient BELLON et POUCKET (1980) qui proposaient un âge fin-Mésozoïque – début Tertiaire. Cependant, les dernières datations fournies par VELLUTINI *et al.* (1981) confirmeraient l'opinion de LEDENT et CAHEN sur l'ancienneté du complexe Kahuzi - Biega.

En ce qui concerne les alluvions récentes, d'âge Pléistocène terminal à Holocène, elles s'étalent dans des dépressions marécageuses plus ou moins étendues qu'on peut rencontrer à différentes altitudes, des hauts plateaux de la dorsale jusqu'à proximité du lac.

Pédologie

La nature des sols dépend directement du substrat géologique ; sur cette base, une classification des sols du Kivu a été établie par PECROT et LEONARD (1960).

Entre Kalehe et Bukavu, en altitude moyenne (1550 à 2000 m), la plus grande partie des coulées basaltiques est couverte de ferrisols argileux lourds dérivés, de teinte ocre rouge à rouge, à horizon A1 prononcé, de bonne teneur organique. Cette zone, à flanc de dorsale, de topographie vallonnée à légèrement accidentée, a été mise en culture de façon intensive et connaît une occupation humaine importante. Localement, on rencontre des profils à horizon A1 « brûlé », là où des brûlis sont pratiqués périodiquement. Au-dessus de 2000 m, sur les hauts plateaux, des sols argileux lourds analogues, brun-rouge à brun, sont encore peu mis en valeur actuellement. En topographie très accidentée, au-delà de 2200 m d'altitude, des ferrisols jaunes et bruns se développent sur des substrats granitiques et des lithosols sur des roches volcaniques diverses. Ces sols sont, aujourd'hui, toujours couverts de forêts.

Dans la région se rencontrent aussi des sols qui se caractérisent par une teneur en matière organique supérieure à 30%. Ces sols organiques couvrent de grandes superficies dans des marécages à divers niveaux de la dorsale. En haute altitude, des marais à *Cyperus denudatus* et *Cyperus latifolius*, développent en surface, sur plus de 50 cm d'épaisseur, une tourbe brune, peu évoluée. Cette tourbe brute offre peu de possibilités d'utilisation.

A moyenne altitude, entre 1500 et 2000 m, des sols organiques et hydromorphes occupent de vastes espaces sur des coulées basaltiques à topographie plate. Couverts à l'origine par du *Cyperus papyrus*, ils ont été, après drainage, aménagés pour développer des cultures vivrières sur leurs sols noirs, à matière organique évoluée.

Entre le bord du lac et 2000 m d'altitude, toute trace de végétation naturelle a pratiquement disparu aujourd'hui ; seuls quelques lambeaux forestiers ou de savanes subsistent çà et là. L'horizon A1 prononcé à bonne teneur organique des sols, caractéristique de la forêt afro-montagnarde (PECROT et LEONARD, 1960), atteste toutefois que cette zone a été largement occupée antérieurement par cette dernière.

Climat

Régime des vents

Les variations climatiques conditionnées par le mouvement des masses atmosphériques influent sur 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. Les flux inverses de la mousson humide du SO, née de l'alizé austral atlantique au niveau du Golfe de Guinée, et de l'Harmattan, alizé continental sec du NE, génèrent un front intertropical connu sous le nom de Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT / ITCZ). En période estivale, la ZCIT s'avance jusqu'au tropique du Cancer sous l'effet de la mousson atlantique ; en période hivernale, elle reflue vers la zone équatoriale sous l'effet de l'Harmattan. Cette mobilité au cours de l'année détermine les alternances saisonnières ainsi que la distribution et la répartition des pluies entre les tropiques (Fig.2b).

SCAËTTA (1934) avait proposé pour l'Afrique équatoriale, trois subdivisions bioclimatiques : le district de l'alizé austral atlantique, celui des alizés de l'océan indien et celui du courant égyptien. Ce dernier, qui, comme les alizés du NE participe à l'inflexion de la ZCIT en Afrique orientale en période hivernale, s'insinue selon une direction N-S entre le Kordofan et le Darfour vers la cuvette du Bahr El Gazal et pénètre dans la branche occidentale du rift où son influence peut atteindre le nord du Tanganyika (LEROUX, 1992).

Pour LEBRUN (1935), à l'alizé austral atlantique dont l'influence atteint le seuil des reliefs orientaux du Congo correspond le domaine bioclimatique forestier guinéen ; aux alizés de l'océan indien celui des savanes sud-orientales africaines et au courant égyptien celui des savanes-parcs soudaniennes orientales. Par ailleurs, les conditions climatiques variées auxquelles sont soumises les régions montagneuses du Congo oriental expliquent la diversité de la végétation régionale.

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).

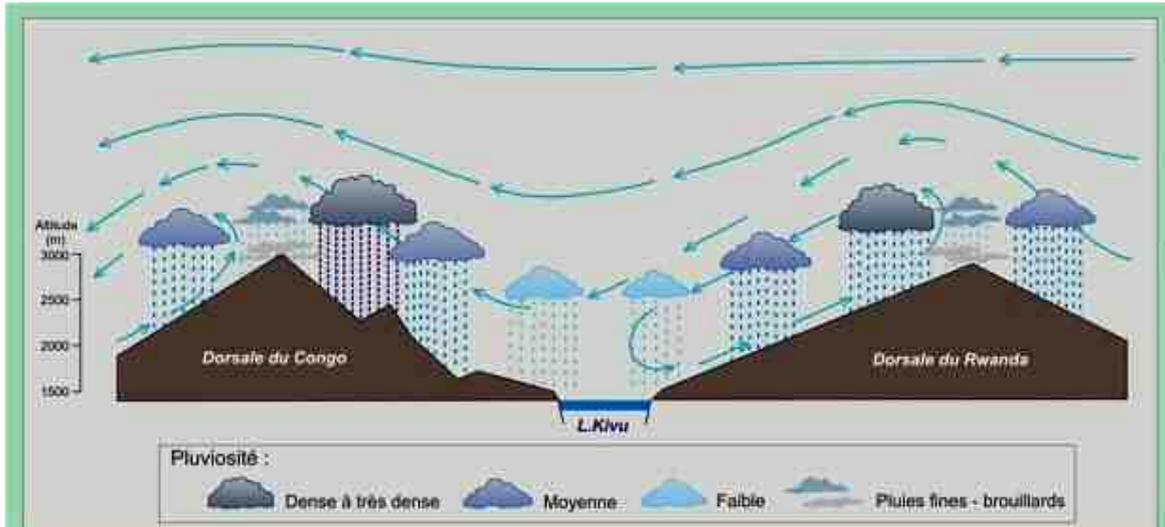
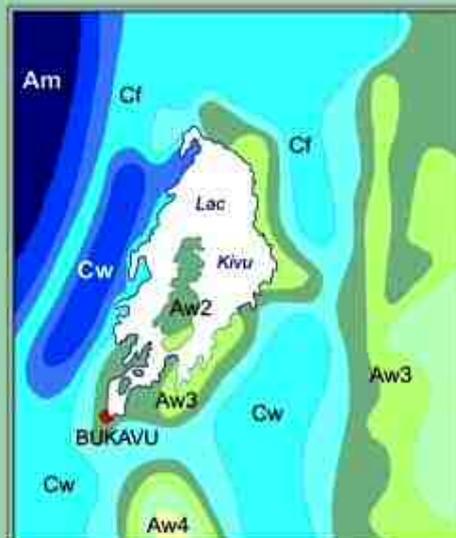
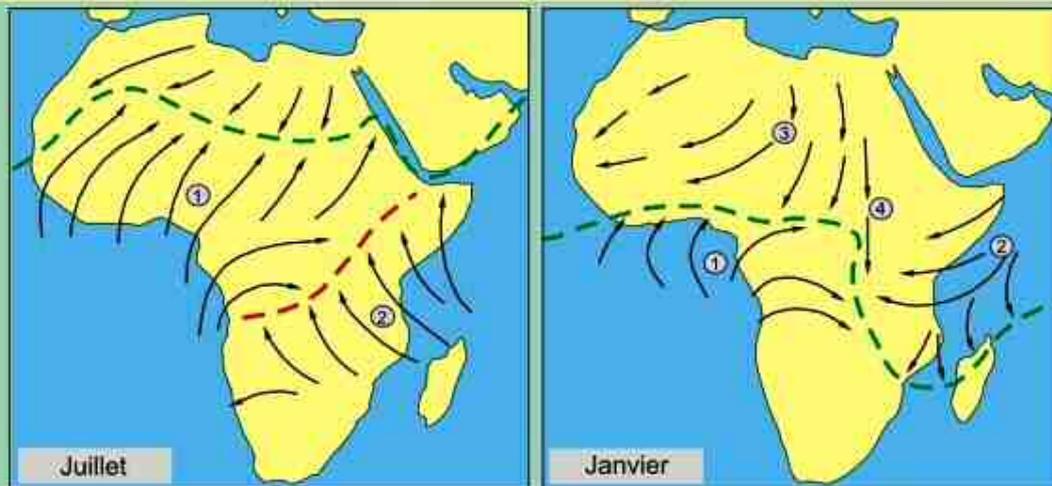
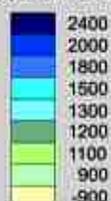


Fig. 2a : courants aériens et précipitations sur les crêtes bordières du Sud-Kivu (d'après: H.SCAËTTA, 1933)



Précipitations annuelles (mm)



Critères climatiques (KÖPPEN)

Cf
Cw
Am
Aw

0 40 km

Fig.2b : Régime des vents en Afrique (Eté - Hiver)

1. Mousson atlantique
2. Alizés de l'Océan indien
3. Harmattan
4. Courant égyptien

--- ZCIT (= ITCZ)
Zone de convergence intertropicale

--- Front équatorial du Congo
(Convergence interocéanique)

(D'après : LEROUX, 1992; GASSE, 2000; RUNGE, 2001)

Fig.2c: Zones climatiques sur les régions bordières du Kivu

- Am : Climat humide guinéen des reliefs
- Cf : Climat équatorial tempéré de haute altitude
- Cw : Climat équatorial frais de haute altitude
- Aw : Climat à saison sèche de plusieurs mois

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 de même que les données collectées par VANDENPLAS (1948) et par BULTOT (1950). 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. Des écarts, plutôt faibles par rapport à ce gradient théorique proviennent de causes locales, notamment de l'exposition au vent ou de la topographie ; ainsi, les vallons et dépressions en altitude ont généralement des températures plus basses que la normale par suite de l'accumulation dans les fonds de masses d'air froid et humide. Si les variations thermiques annuelles sont faibles, généralement de l'ordre de 3°C ; par contre les fluctuations journalières peuvent être importantes, environ 10°C en moyenne, du fait de la proximité du lac Kivu et des masses d'air humide sur les reliefs.

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 (Fig.2a). 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.

Les températures et les précipitations relevées à différentes altitudes de la face orientale de la dorsale ont été reportées sur la fig.3.

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 (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 disparue, dont LEBRUN (1956) a pu reconstituer la composition sur base d'observations de boqueteaux relictuels. Les essences typiques de cette forêt semi-caducifoliée étaient : *Albizia gummifera*, *Carapa grandiflora*, *Celtis* sp., *Clausena anisata*, *Fagara mildbraedii*, *Milletia dura*, *Newtonia buchananii*, *Parinari holstii*, *Prunus africana*, *Sapium ellipticum*. Proche des rives du lac, on recensait encore une frange d'espèces xéro-mésophiles mieux adaptées à la sécheresse : *Agauria salicifolia*, *Albizia gummifera*, *Entada abyssinica*, *Ficus* div.sp., *Myrica salicifolia*, *Sterculia* sp.

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, *Alangium chinense*, *Allophylus abyssinicus*, *Apodytes dimidiata*, *Canthium* sp., *Galiniera coffeoides*, *Syzygium guineense*, *Xymalos monospora*. Certaines espèces mésophiles se mêlaient à cet ensemble : *Albizia gummifera*, *Carapa grandiflora*, *Fagara mildbraedii*, *Milletia dura*, *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*. Ces pâturages sont aussi en recul, au profit d'espaces cultivés et de jachères (LEONARD, 1962).

- 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*, *Allophylus abyssinicus*, *Carapa grandiflora*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Ekebergia capensis*, *Entandrophragma excelsum*, *Ficalhoa laurifolia*, *Galiniera coffeoides*, *Ilex mitis*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Olea capensis*, *Parinari holstii*, *Podocarpus usambarensis*, *Prunus africana*, *Schefflera goetzenii*, *Strombosia grandiflora*, *Symphonia globulifera*, *Xymalos monospora*. 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*, *Bridelia* sp., *Croton macrostachys*, *Dombeya* sp., *Maesa lanceolata*, *Mimulopsis violacea*, *Myrica salicifolia*, *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 milanjanianus*, *Afrocrania volkensii*, *Ilex mitis*, *Myrica salicifolia*, *Prunus africana*, *Schefflera goetzenii*, *Syzygium parvifolium*. Sur le Kahuzi, des peuplements quasi purs et denses de Bambous (*Sinarundinaria alpina*) gros et droits se rencontrent entre 2400 m et 2600 m d'altitude, là où un certain caractère de sécheresse se manifeste. Sous sa forme grêle, le bambou peut même

atteindre 3000 m, généralement dans des vallons abrités et sur des sols meubles. 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 volkensii*, *Prunus africana*, *Syzygium parvifolium*, voire *Ilex mitis*. On rencontre aussi, entre 2600 m et 3000 m, des peuplements à *Hagenia abyssinica*, parfois associé à *Hypericum revolutum* mais ne formant pas de forêts-parcs comme celles que l'on peut observer sur les Virunga. A l'analyse, on peut constater que les formations denses à Bambous font partie de l'horizon supérieur de la forêt ombrophile de montagne, ce que LEBRUN (1960) reconnaissait implicitement en soulignant que ce dernier pouvait, dans certains cas, atteindre 2700 m d'altitude. C'est d'ailleurs ce schéma que donnent RUCINA et al. (2009) de l'étagement de la végétation sur le Mont Kenya.

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, en alternance, selon les conditions du milieu, une végétation herbacée ou ligneuse 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 (tout comme LEBRUN avait, entre-autre, procédé dans les années 30) 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'offre 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.

Comme suite à ses nombreuses observations, LEBRUN (1960) avait proposé une méthode originale pour délimiter les étages de végétation dans les régions montagneuses du Congo oriental, celle-ci était établie sur base d'une analyse floristico-écologique liée aux conditions environnementales. Ce système présente toutefois une certaine complexité étant donné les particularités propres aux différents massifs considérés. Celui proposé par LIBEN (1962), pour la même région, apparaît beaucoup plus rationnel. Les différents étages sont définis en fonction de l'indice de LANG, rapport entre les précipitations et la température (P/T). En l'appliquant au flanc Est de la dorsale du Congo dans la région du Kivu, on peut établir comme suit une zonation altitudinale des potentialités forestières :

- P/T = de 50 à 65 : de 1500 m à 1600 m – formations xéro-mésophiles
- P/T = de 65 à 85 : de 1600 m à 1900 m – formations mésophiles
- P/T = de 85 à 150 : de 1900 m à 2700 m – forêt ombrophile de montagne
- P/T = de 150 à 240 : de 2700 m à 3200 m – formations afro-subalpines
- P/T > 240 : au-delà de 3200 m – formations afro-alpines

Cette zonation potentielle est reportée sur la fig. 3.

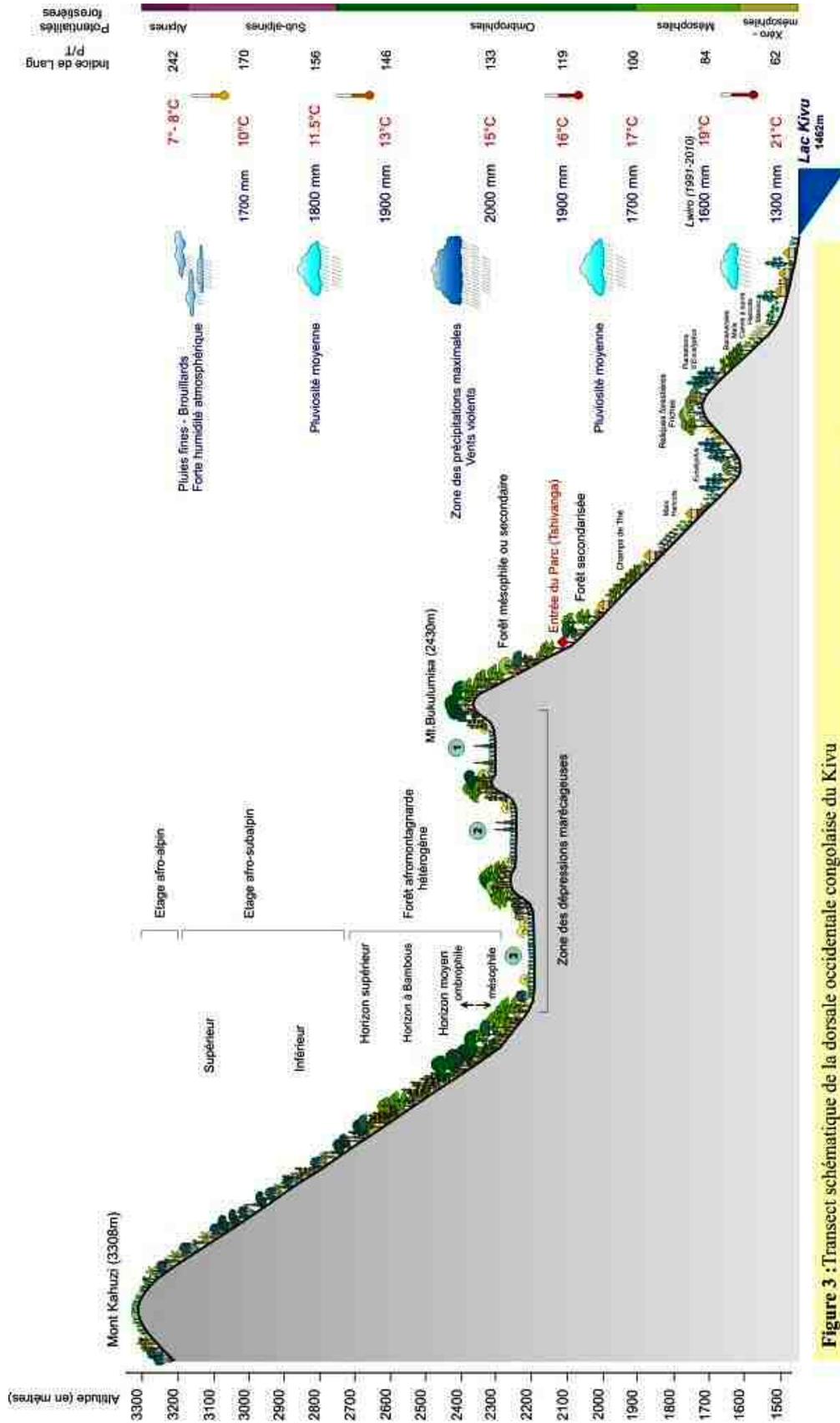


Figure 3 : Transect schématique de la dorsale occidentale congolaise du Kivu

A droite de la figure sont repris: les températures, les précipitations, l'indice de Lang et les limites altitudinales des étages de végétation potentiels. Les zones de végétations sont représentées selon un relevé effectué en 2010. La succession des différents marécages est dominée selon leurs altitudes respectives: 1. Lubirabira - 2. Cishaka - 3. Ngushu et Musisi. Actuellement, sous 2000 m d'altitude la dorsale est presque entièrement mise en culture; ne subsistent que quelques lambeaux de végétation originelle. Entre 2000 m et 2200 m, la forêt est déjà fortement secondaire. A partir de 2200 m une forêt hétérogène ombro-mésophile occupe les reliefs. Les importants massifs de bambous rencontrés sur les flancs du Kahuzi font partie intégrante de son horizon supérieur. Au-dessus de 2700 m se développent les formations afro-subalpines et afro-alpines.

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 succinct actualisé des formations végétales de la zone étudiée.

En bordure du lac Kivu, on relève encore la présence de lambeaux de savanes à *Pennisetum purpureum* qui ne sont pas encore mises en culture. Les rives du lac sont envahies par une végétation herbacée à *Cyperus sp.*, *Phragmites sp.*, *Polygonum pulchrum*, *Tithonia diversifolia*.

Entre 1500 m et 1650 m d'altitude, ce sont les cultures qui dominent. On y rencontre des bananeraies (*Musa spp.*), des champs de Manioc (*Manihot esculenta*), de Canne à sucre (*Saccharum officinarum*), de Haricots (*Phaseolus vulgaris*), de Patates douces (*Ipomoea batatas*), de Soja (*Glycine max*) et, dans une moindre mesure, de Sorgho (*Sorghum bicolor*) ; quelques cultures plus traditionnelles existent encore, comme celle de la Colocase (*Colocasia esculenta*) ou de l'Amarante (*Amaranthus sp.*). Plus haut en altitude, apparaît le Maïs (*Zea mays*) et vers 1900 m, on atteint les premiers champs de Thé (*Camelia sinensis*).

Entre 1600 m et 1800 m d'altitude, des friches et des jachères sont envahies par *Acanthus pubescens*, *Erythrina abyssinica*, *Lantana camara*, *Pentas zanzibarica*, *Phytollaca dodecandra*, *Leonotis neptaefolia* et des rudérales diverses. Il est encore possible de voir çà et là des boqueteaux de végétation naturelle mésophile dans lesquels on peut recenser des arbres de bonne taille comme *Albizia adianthifolia*, *Albizia gummifera*, *Entandrophragma excelsa*, *Ficus glumosa*, *Ficus ovata*, *Hagenia abyssinica*, *Markhamia lutea*, *Milletia dura*, *Newtonia buchananii*, *Polyscias fulva*, *Prunus africana*, *Spathodea campanulata*, *Syzygium guineense*. Dans ces petits bois, la strate arbustive est constituée de : *Bridelia micrantha*, *Erythrina abyssinica*, *Maesa lanceolata*, *Maesopsis eminii*, *Musanga leo-errerae*, *Pavetta ternifolia*, *Pittosporum spathicalyx*, *Pseudospondias microcarpa*, *Sapium ellipticum*, *Solanum angustispinosum*, *Vernonia amygdalina*, *Xymalos monospora*. A signaler aussi la présence de lianes comme *Phytolacca dodecandra* et *Toddalia asiatica*.

En vue de compenser la déforestation, on reboise surtout en *Eucalyptus sp.*, étant donné la croissance rapide de cette espèce et sa capacité de rejeter de souche. D'autres essences sont aussi utilisées à cette fin, mais plutôt dans un but ornemental, pour garnir les parcelles : *Cupressus*, *Grevillea*, *Pinus* et même *Podocarpus* (Fig.4).

Vers 2000 m d'altitude et jusqu'à près de 2200 m, la forêt afro-montagnarde est déjà fort dégradée et ce sont les taxons mésophiles qui dominent. On rencontre toutefois encore quelques pieds d'espèces ombrophiles comme *Ocotea michelsonii*, *Ocotea usambarensis*, *Strombosia scheffleri*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium guineense*. La composante mésophile se caractérise par la présence de *Albizia gummifera*, *Ardisia kivuensis*, *Bersama abyssinica*, *Bridelia bridelifolia*, *Bridelia micrantha*, *Carapa grandiflora*, *Clutia abyssinica*, *Hagenia abyssinica*, *Harungana montana*, *Hypericum revolutum*, *Lepidotrichilia volkensis*, *Lindakeria kivuensis*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Milletia laurentii*, *Nuxia congesta*, *Polyscias fulva*, *Rapanea pulcra*, *Sapium ellipticum*, *Tabernaemontana jonstonii*, *Xymalos monospora*. Cette forêt est enrichie par une grande variété de lianes telles que *Embelia ellucida*, *Embelia schimperi*, *Gouania longispicata*, *Jasminum pauciflorum*, *Mikania cordata*, *Mikaniopsis rwandensis*, *Rhyncostigma racemosum*, *Schefflera goetzenii*, *Schefflera myriantha*, *Taccazea apiculata*. Les espèces rudérales, témoins de la pression anthropique envahissent le milieu.



Figure 4: Milieux anthropisés sous 2000m d'altitude

Reliques de végétation naturelle:

1 à 7. Lambeaux forestiers mésophiles; friches et jachères post-culturelles (1500-1800 m d'altitude) à *Albizia gummifera*, *Alchornea cordifolia*, *Erythrina abyssinica*, *Polyscias fulva*, *Solanum terminale*, *Pennisetum purpureum*...

8. Grand marais de basse altitude (Tshamfu - altitude: 1550 m) à *Cyperus latifolius*, bordé de reliques boisées à dominance d'*Erythrina abyssinica*.

Plantations: 9, 10. Plantations d'*Eucalyptus*

Cultures:

11. Manioc, 12. Sorgho, 13. Bananeraies, 14. Maïs, 15-16. Haricots, 17. Champs de thé.

Photos: Neville Mapenzi - 2011

Il s'agit notamment de *Botriocline nyungwensis*, *Carduus leptacanthus*, *Crassocephalum vitellinum*, *Dalbergia lactea*, *Dichrocephala integrifolia*, *Gynura ruwenzoriensis*, *Microglossa campensis*, *Pavonia urens*, *Rubus kirungensis*, *Rubus steudneri*, *Triumfetta cordifolia*, *Vernonia kiringae*, *Vernonia lasiopus*, *Vernonia laurentii*, *Vernonia ampla*.

Sur la crête dominant l'entrée du Parc, on aborde les horizons moyen et supérieur de la forêt dense afro-montagnarde. Ces derniers, dont LEBRUN vantait encore la netteté au début du 20^{ème} siècle sont aujourd'hui moins perceptibles par suite des effets négatifs d'une pression anthropique croissante.

De 2200 à 2400 m, la forêt dense, sensiblement secondarisée ces dernières années (fig.5) se présente actuellement sous forme d'un ensemble hétérogène, association complexe d'essences variées, où les tendances ombrophile et mésophile se font concurrence selon les circonstances particulières du terrain.

La composante ombrophile est représentée par *Afrocrania volkensis*, *Alangium chinense*, *Anthocleista grandiflora*, *Bersama abyssinica*, *Carapa grandiflora*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Chrysophyllum gorungosanum*, *Ficalhoa laurifolia*, *Grewia mildbraedii*, *Ilex mitis*, *Newtonia buchananii*, *Nuxia floribunda*, *Olea capensis*, *Ocotea usambarensis*, *Ocotea michelsonii*, *Parinari excelsa*, *Podocarpus usambarensis*, *Strombosia scheffleri*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium guineense*, *Syzygium rowlandi*. Le sous-bois de cet ensemble est composé de *Asplenium friesiorum*, *Canthium gueinzii*, *Chassalia subochreatea*, *Culcasia falcifolia*, *Galiniera coffeoides*, *Jasminum abyssinicum*, *Lindackeria kivuensis*, *Mikania capensis*, *Mikaniopsis tanganyikensis*, *Mimulopsis excellens*, *Oxyanthus troupinii*, *Pleiocarpa pycnantha*, *Psychotria mahoni*, *Peperomia fernandopoiana*, *Taccazea apiculata*, *Tricalysia anormala*, *Xymalos monospora*.

Dans la composante mésophile, on note la présence de *Albizia gummifera*, *Allophylus kivuensis*, *Allophylus abyssinicus*, *Bridelia brideliifolia*, *Croton macrostachyus*, *Dombeya torrida*, *Hagenia abyssinica*, *Harungana montana*, *Macaranga neomildbraediana*, *Myrianthus holstii*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*, *Sapium ellipticum*, *Tabernaemontana johnstonii*, *Trema orientalis*. Les strates inférieures y sont occupées par *Basella alba*, *Clutia abyssinica*, *Clerodendron johnstonii*, *Drynaria laurensis*, *Englerina woodfordioides*, *Jaundea pinnata*, *Polystachya stewartiana*, *Rapanea melanophloeios*, *Urera hypselodendron*.

Globalement, le caractère ombrophile de cette forêt s'affirme avec l'altitude de même que *Podocarpus* prend de l'importance au sein du massif tandis qu'apparaît *Sinarundinaria*.

Les clairières créées par la dégradation anthropique sont envahies par *Panicum monticola*, *Panicum calvum*, *Mimulopsis arborens* et *Sericostachys scandens*, cette dernière espèce contribuant à aggraver l'ouverture du milieu. En lisières on assiste à une occupation d'*Impatiens* tandis que la prolifération de *Pteridium aquilinum* témoigne généralement d'une secondarisation avancée.

De 2400 m à 2600 m d'altitude on rencontre des peuplements denses de Bambous (*Sinarundinaria alpina*) qui donnent l'impression d'être monospécifiques. Estimés quasi purs dans les années trente par LEBRUN, ils présentent aujourd'hui des espaces libres envahis par des essences secondaires de la forêt montagnarde tels que *Hagenia abyssinica*, *Hypericum revolutum*, *Macaranga neomildbraediana*, *Polyscias fulva*, *Tabernaemontana johnstonii* et des éléments de la flore afro-subalpine, des Ericaceae et des Sénéçons (*Senecio subsessilis*, *Senecio transmarinus*).



Figure 5: Forêt afro-montagnarde

- 1.2. Horizon supérieur à *Syzygium parvifolium*, Ericaceae et boqueteaux de *Podocarpus milanjanus*, *Hagenia abyssinica* et *Hypericum revolutum*.
- 3.4.5. Horizon à Bambous (*Sinarundinaria alpina*) dominants, incluant des individus isolés de *Hagenia*, *Podocarpus*, *Polyscias* et de petits massifs d'Ericaceae.
- 6.7. Forêt primaire ombrophile à *Carapa grandiflora*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Ficalhoa laurifolia*, *Ilex mitis*, *Newtonia buchananii*, *Parinari excelsa*, *Syzygium guineense*, *Symphonia globulifera*...
- 8.9. Forêt secondaire mésophile à *Albizia gummifera*, *Croton megalocarpus*, *Macaranga neomiidbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*, *Sapium ellipticum*, *Trema orientalis*...

Photos: Chantal Kabonyi - 2009 (1.2,3,4,5,7,9) ; Jean de Dieu Mangambu Mokoso - 2009 (6,8.)

On y observe aussi de petits massifs formés de *Sinarundinaria* et de *Podocarpus*. La dégradation de la formation est soulignée par la présence d'éléments intrusifs comme *Asplenium friesiorum*, *Asplenium monanthes*, *Impatiens congolensis*, *Impatiens erecticornis*, *Mimulopsis arborens*, *Panicum calvum* et *Sericostachys scandens* ; ce phénomène est assez récent (Fig. 5).

Les Bambous ne constituent pas un étage particulier ; ils font partie intégrante de l'étage montagnard et constituent une zone dans l'horizon supérieur de la forêt dense de montagne. Ainsi, à la lisière de la zone à Bambous, vers 2600 m d'altitude, il n'est pas rare de retrouver des genres afro-montagnards plus rustiques comme *Podocarpus milanjanus*, *Afrocrania volkensis*, *Hagenia abyssinica*, *Syzygium parvifolium*... associés à des éléments de l'étage afro-subalpin, Ericaceae et divers Sénéçons. Le *Podocarpus* se présente parfois en boqueteaux à ce niveau. Dans la partie inférieure de l'étage afro-subalpin, des *Podocarpus* rabougris couverts d'Usnées sont fréquents, mélangés aux Ericaceae. L'état hygrométrique de l'atmosphère y est proche de la saturation ; des tapis de mousses forment de véritables éponges saturées d'eau sur lesquelles se développe une flore herbacée caractérisée par *Disa stairsii*, *Disa robusta* (Orchidaceae) et *Impatiens purpureo-violacea*.

De 2800 m à 3200 m, les formations à Ericaceae s'enrichissent en Lobélies et Sénéçons. C'est l'étage des espèces sclérophylles montagnardes arbustives à *Agauria salicifolia*, *Erica arborea*, *Erica benguellensis*, *Erica johnstonii*, *Erica ruguegensis*, *Lobelia stuhlmanii*, *Maytenus acuminata*, *Myrica salicifolia*, *Rapanea melanophloeios*, *Vaccinium stanleyi*. Les herbacées les plus fréquentes sont : *Deschampsia flexuosa*, *Helichrysum nandense* et *Helichrysum schimperi*. Les Bambous peuvent monter dans cet étage mais ils restent localisés dans des vallons abrités plus humides, sur sols meubles, où ils se présentent sous une forme grêle contrastant avec celle, robuste, de la zone à Bambous inférieure.

De 3200 m à 3310 m, le sommet du Kahuzi est couvert de formations afro-alpines, faites d'un mélange de végétation herbacée et de petits maquis ouverts où on recense, à côté de diverses Ericaceae, *Alchemilla kivuensis*, *Dendrosenecio johnstonii*, *Helichrysum formosissimum*, *Helichrysum mildbraedii*, *Hyperzia saururus*, *Lobelia stuhlmanii*, *Lycopodium clavatum*, *Senecio sabinjoensis* (Fig.6).

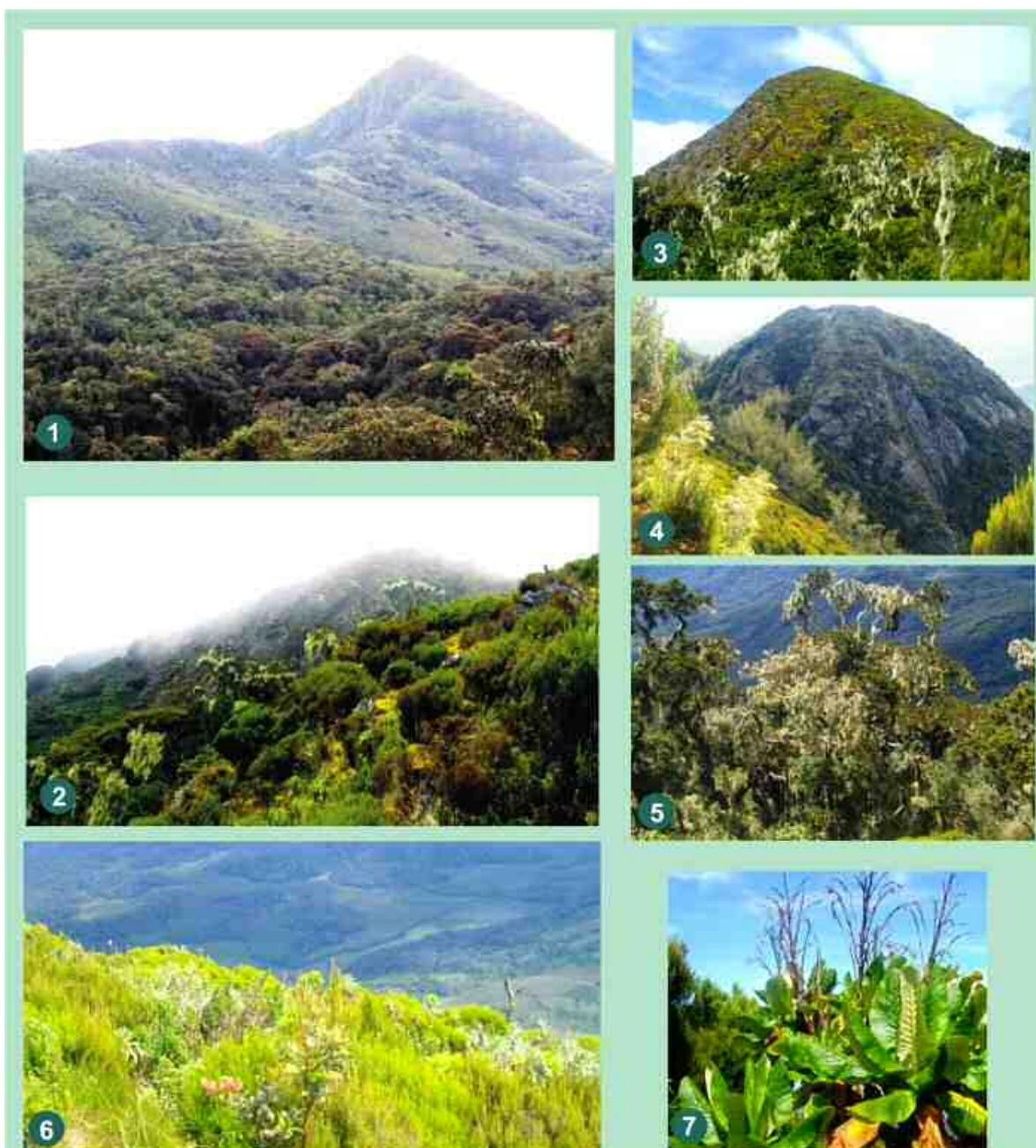


Figure 6: Etages alpin et subalpin

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. 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*...
3. Sommet du Kahuzi: Formation à Ericaceae et *Podocarpus* surmontée de pelouses alpines à *Alchemilla johnstonii*, *Deschampsia flexuosa*, *Helichrysum formosissimum*, *Helichrysum forskahlii*, *Helichrysum mildbraedii*, *Hyperzia saururus*, *Lobelia stuhlmanii*...
4. Pic secondaire du Massif de Kahuzi: zone à Ericaceae avec Bambous dans des ravins abrités.
5. *Podocarpus* rabougris couverts de lichens (*Usnea* sp.)
6. Milieu afro-alpin à Ericaceae (*Agauria*, *Erica*, *Vaccinium*), *Dendrosenecio johnstonii*, *Lobelia stuhlmanii*, *Myrica salicifolia*.
En arrière-plan, en contrebas: le marais de Musisi.
7. *Dendrosenecio johnstonii*.

Photos: A. Balezi Zihahirwa - 2010 (1); Chantal Kabonyi - 2009 (2 à 7)

LOCALISATION DES SITES

Sites étudiés

On accède aux différents sites par des pistes forestières au départ de la route carrossable Bukavu-Kisangani. Après avoir quitté la station de Tshivanga (2100 m), à l'entrée du PNKB, la route franchit une crête à 2398 m d'altitude. Entre celle-ci et le pied du Mont Kahuzi, s'étend un vaste plateau faillé entaillé de bas-fonds occupés par des marécages de grande étendue. Tous les sites inventoriés sont envahis par une végétation paludicole à large dominance de *Cyperus denudatus* et *Cyperus latifolius* (Fig.7).

Cishaka

Le marais de Cishaka (Fig. 8) est le deuxième en étendue de la zone prospectée. On y accède après avoir parcouru 4 km de route depuis l'entrée du parc, puis en se déplaçant à pied, à travers la forêt sur une distance de 2,5 km vers le nord. On atteint ainsi la branche sud du marais où le sondage a été effectué (coordonnées géographiques : 2°17'34'' S – 28°44'24'' E ; altitude : 2260 m). Une séquence sédimentaire de 6,00 m a été relevée à cet endroit. Composée d'une succession de tourbes, tourbes argileuses, argiles tourbeuses et d'argiles plus ou moins compactes (Fig.10a/b), elle a été datée à sa base de 38800 +/- 2700/4100 ¹⁴C.BP (GrN- 32518). Sa partie supérieure (+/- 35 cm) était constituée d'une tourbe fibreuse peu consistante et de matières organiques en décomposition gorgées d'eau.

La végétation qui se développe dans ce marais associée aux Cyperaceae est composée de *Alchemilla ellenbeckii*, *Asplenium sandersonii*, *Begonia meyeri-johannis*, *Brillantaesia cicatricosa*, *Brillantaesia patula*, *Christella gueintziana*, *Crassocephalum vittelinum*, *Gallium chloronoianthum*, *Impatiens stulmannii*, *Mikaniopsis tedlei*, *Osmunda regalis*, *Peperomia fernandopoiana*, *Pilea johnstoni*, *Pilea rivularis*, *Phyllanthus odontadenius*, *Rubus steudneri*, *Rhynchosigma racemosa*, *Spermacoce latifolius*, *Triumfetta cordifolia*. Les alentours du site portent une forêt mixte afro-montagnarde à *Syzygium rowlandi*, (dominant), *Canthium guenzii*, *Carapa grandiflora*, *Galiniera coffeoides*, *Harungana madagascariensis*, *Hypericum revolutum*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Rapanea melanophloeios*, *Symphonia globulifera*, (Fig. 9). On y aperçoit, sporadiquement distribués, des pieds isolés de *Podocarpus*, d'*Olea* et de *Sinarundinaria*.

Lubirabira

Le marais de Lubirabira (Fig. 8), atteint après 5 km, occupe une étroite vallée orientée N-S dont le début s'amorce à gauche de la route. Un sondage de 3 m de profondeur a été effectué à 800 m de celle-ci (coordonnées géographiques : 2°18'55'' S – 28°43'53'' E ; altitude : 2320 m). Les 20 cm supérieurs de la séquence étaient constitués d'un sol tourbeux et de matières organiques en décomposition. Sous 1 m de tourbe, la sonde a traversé des tourbes argileuses avant d'atteindre, à la base, une argile grise qui a été datée de 5605 +/- 40 BP (GrA – 52215) (Fig.10 a/b). Au sein du marais, on a recensé, parmi les Cyperaceae, *Alchemilla ellenbeckii*, *Asplenium friesiorum*, *Asplenium sandersonii*, *Brillantaesia cicatricosa*, *Brillantaesia patula*, *Christella gueintziana*, *Crassocephalum vittelinum*, *Cyperus denudatus*, *Cyperus latifolius*, *Impatiens burtonii*, *Lobelia mildbraedii*, *Mikaniopsis tedlei*, *Osmunda regalis*, *Pteridium aquilinum*, *Rubus steudneri*, *Vernonia conferta*.

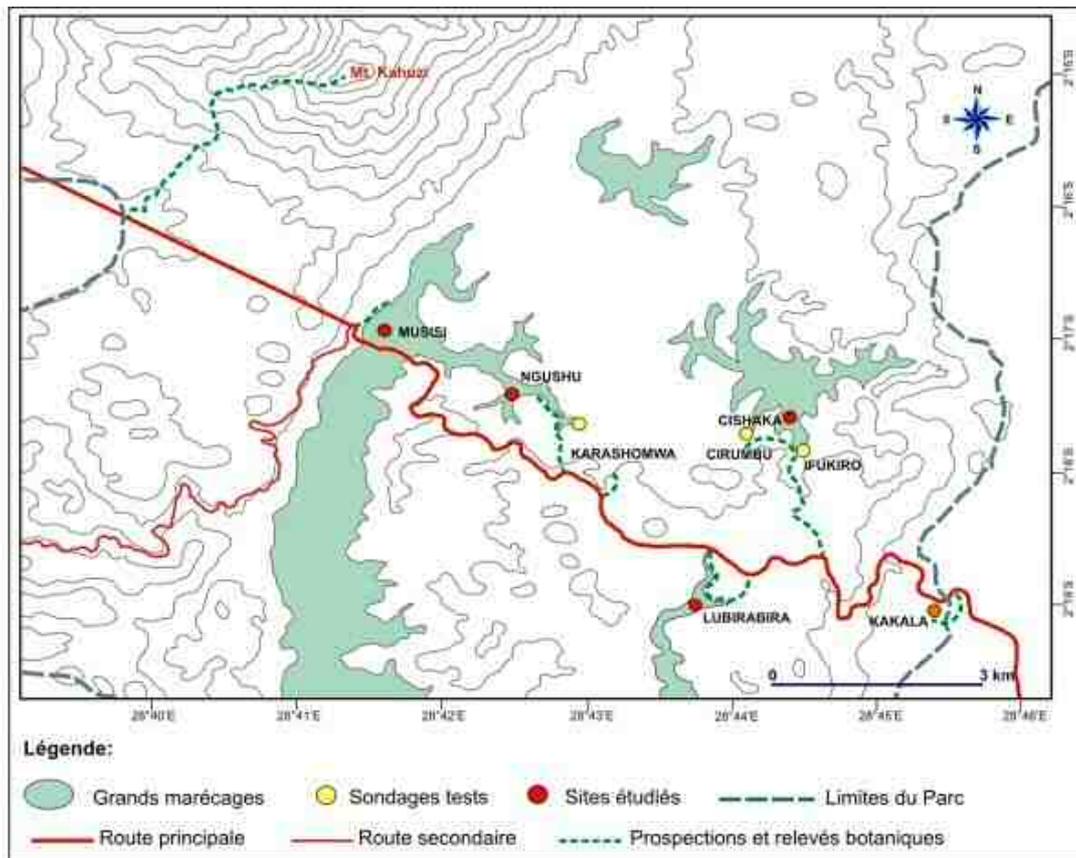


Figure 7: Zone d'étude - Localisation des sites



Figure 8: aspect des différents sites

Photos: J. Runge 1994 (3); Chantal Kabonyi - 2009 (1,2,4)

En certains endroits, là où notamment la tourbe affleure, ces peuplements herbacés et sous-ligneux sont remplacés par des espèces forestières. Dans les abords immédiats, le sol organo-minéral profond à peu profond supporte une végétation à *Syzygium rowlandi* et *Hypericum revolutum* (dominants), *Afrocrania volkensis*, *Canthium guenzii*, *Erica arborea*, *Galiniera coffeoides*, *Maesa lanceolata*, *Macaranga neomildbraediana*, *Myrica mildbraedii*, *Podocarpus milanjanus*, *Rapanea melanophloeios*, *Schefflera myriantha*, *Schefflera goetzenii*, *Tabernaemontana johnstonii*, qui s'étend jusqu'au bord même du marécage (Fig.9).

Ngushu

A 9 km de Tshivanga, on parvient au marais de Ngushu 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.8). Le sondage 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). La séquence de 8 m de profondeur, faite d'une succession de dépôts variés, tourbes, argiles tourbeuses, argiles, argiles sableuses, couvrirait une période de +/- 6000 ans (Fig.10a/b). La végétation associée aux Cyperaceae au fond de la dépression est constituée d'*Alchemilla ellenbeckii*, *Asplenium sandersonii*, *Brillantaesia cicatricosa*, *Christella gueintziana*, *Cyperus denudatus*, *Cyperus latifolius*, *Impatiens stulmannii*, *Lobelia mildbraedii*, *Oldernandia herbacea*, *Osmunda regalis*, *Phyllanthus odontadenius*, *Polygonum salicifolium*, *Rubus steudneri*, *Vernonia auriculifera*. Les environs immédiats du site sont occupés par une forêt mixte afro-montagnarde à *Cyathea manniana* (espèce dominante des fonds humides), *Anthocleista grandiflora*, *Canthium guenzii*, *Dicaethathera corymbosa*, *Ficalhoa laurifolia*, *Harungana madagascarensis*, *Hypericum revolutum*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*, *Strombosia grandiflora*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium rowlandii*, (Fig.9). En lisière, on remarque un important développement de *Sericostachys scandens*.

Musisi I et II

Après 12 km, la route franchit le marais de Musisi, du nom de la rivière qui coule en son milieu. Deux sondages y ont été réalisés par RUNGE en 1994, un de 4,80 m, l'autre de 2,40 m de profondeur (coordonnées géographiques : 2°16'57'' S – 28°41'34'' E. ; altitude : 2193 m). Leurs bases respectives peuvent être estimées à ca. 7000 ans pour le premier et à ca. 2000 ans pour le second. Dans ces deux séquences, sous +/- 1m d'argile organique molle, une tourbe argilo-sableuse surmonte une argile sableuse avec, à sa base, un sable graveleux (Fig.10a/b). Ce vaste marécage est colonisé par une végétation paludicole à *Cyperus denudatus*, *Cyperus latifolius*, *Cyperus nigricans*, *Alchemilla cryptantha*, *Anagallis angustiloba*, *Polygonum salicifolium*. Les pentes bordières du site sont occupées par une forêt secondaire à *Albizia gummifera*, *Dombeya goetzenii*, *Hagenia abyssinica*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*. (MOSCOL, 1998).



Figure 9 : Végétation des zones marécageuses

- 1.2.3. Forêt environnante à composante mésophile marquée à *Curupa grandiflora*, *Dombeya goetzenii*, *Ficalhoa laurifolia*, *Hypericum revolutum*, *Macaranga neomildbraediana*, *Maesa lanceolata*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium rowlandii*...
4. Groupement à *Cyathia manniana* sur sols hydromorphes de fonds de vallons
- 5.6. Assemblages des franges bordières des marais à *Erica arborea*, *Hypericum revolutum*, *Mimulopsis arborescens*, *Macaranga neomildbraediana*, *Sinarundinaria alpina*, *Tabernaemontana johnstonii*...
- 7.8.9. Végétation herbacée des dépressions marécageuses à *Cyperus denudatus*, *Cyperus latifolius*, *Alchemilla ellenbeckii*, *Brillantaisia cicatricosa*, *Gladiolus dalenii*, *Impatiens burtoni*, *Lobelia mildbraedii*, *Osmunda regalis*.

Photos: Chantal Kabonyi - 2009 (1.2.3.5.6.7.8.9.) ; Jean de Dieu Mangambu Mokoso - 2009 (4)

Sites de comparaison

Des études antérieures réalisées sur divers sites de la dorsale du Congo (VILIMUMBALO, 1993) et du Rwanda (NTAGANDA, 1991) apportent à la présente étude des informations complémentaires permettant d'établir un aperçu global de l'évolution paléoenvironnementale des régions bordières du Kivu. Les sites auxquels il a été fait référence dans ce travail sont (Fig. 1c) :

Sur la dorsale du Congo

- Deux sites de haute altitude
 Kakala : altitude : 2375 m – coordonnées géographiques : 2°19' S ; 28°45' E
 Kalwira : altitude : 1920 m – coordonnées géographiques : 2°32' S ; 28°46' E
- Trois sites de basse altitude
 Kamagama : altitude : 1510 m – coordonnées géographiques : 2°26' S ; 28°48' E
 Mukukwe : altitude : 1470 m – coordonnées géographiques : 2°30' S ; 28°51' E
 Mugeru : altitude : 1550 m – coordonnées géographiques : 2°39' S ; 28°52' E

Sur la dorsale du Rwanda

- Le site de référence Kiguhu II, dont l'interprétation a été actualisée (altitude : 1800m – coordonnées géographiques : 1°29' S – 29°43' E)
- Trois sites présentant des complémentarités avec le précédent
 Rugezi : altitude : 2050 m – coordonnées géographiques : 1°24' S ; 29°50' E
 Butare : altitude : 1700 m – coordonnées géographiques : 2°37' S ; 29°45' E
 Gasare : altitude : 2300 m – coordonnées géographiques : 2°28' S ; 29°14' E

MATERIEL ET METHODES

Echantillonnage

Au niveau des sites étudiés, les sondages ont été réalisés à l'aide d'une sonde de type « Russe » (Fig.10a). Des carottes de 50 cm de long ont été extraites puis préservées à l'état humide dans des ½ tubes PVC découpés dans le sens de la longueur et emballés dans des sacs en plastique pour éviter la dessiccation. En attendant les analyses, ces emballages ont été conservés au frigo.

Pour chaque site, les coordonnées géographiques, l'altitude et l'orientation ont été relevées à l'aide d'un GPS. Une description succincte de la végétation des marais et de leurs alentours a été faite (voir : Localisation des sites) sur base d'investigations et d'inventaires botaniques effectués en cours de prospection (Fig.7, 8, 9).

Ensuite, les différentes carottes de sondage toujours incluses dans leurs tubes PVC, annotés « Haut »/ «Bas » avec mention des profondeurs ont été décrites en laboratoire (Fig. 10a) et un à deux cm³ de sédiment ont été prélevés tous les 10 cm pour analyse.

Des prélèvements ont été effectués également pour procéder à des datations ¹⁴C.

Datations

Les datations ¹⁴C conventionnelles de l'échantillonnage pratiqué sur les séquences de Ngushu, Cishaka et Lubirabira ont été effectuées au laboratoire du Centrum voor Isotopen Onderzoek de Groningen (NL). On dispose ainsi de 5 dates pour Ngushu, 4 dates pour Cishaka et 3 dates pour Lubirabira. Pour les sites ayant déjà fait l'objet d'études antérieures, on a 3 dates pour Musisi I et 2 dates pour Musisi II. Pour ces sites, les analyses ont été faites au laboratoire du Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung de Hannovre (D). Ces datations ainsi que celles des sites de comparaison sont reprises au Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Datations au radiocarbone des sédiments prélevés au PNKB et des sites de comparaison

| Sites | Echantillons | N° d'enregistrement | Age (ans B.P) |
|------------------------------|--------------|---------------------|----------------------|
| Cishaka (Kivu-RDC) | -6,00m | GrN-32518 | 38860 ± 4100 2700 |
| | -4,80m | GrN-32517 | 35860 ± 1600 1300 |
| | -2,90m | GrA-52243 | 4985 ± 35 |
| | -0,80m | GrN-32515 | 2165 ± 45 |
| Kakala (Kivu-RDC) | -2,00m | Lv-1931 | 5150 ± 60 |
| Kalwira (Kivu-RDC) | -1,40m | Lv-1930 | 1050 ± 70 |
| Kamagema (Kivu-RDC) | -6,80m | Lv-1804 | 4040 ± 60 |
| | -5,70m | Lv-1929 | 2680 ± 70 |
| Kiguhu II (Rwanda) | -5,10m | Lv.1827 | 11270 ± 120 |
| | -3,20m | Lv.1826 | 8800 ± 120 |
| | -1,80m | Hv.12118 | 3915 ± 375 |
| | -1,20m | Hv.12116 | 2250 ± 90 |
| | -0,60m | Hv.12115 | 1145 ± 130 |
| Lubirabira (Kivu-RDC) | -2,90m | GrA-52215 | 5605 ± 40 |
| | -150m | GrN-32519 | 4600 ± 50 |
| | -0,80m | GrA-52565 | 2060 ± 35 |
| Mugera (Kivu-RDC) | -2,90m | MBN.449 | 849 ± 110 |
| | -1,80m | Lv-1932 | 720 ± 70 |
| Mukukwe (Kivu-RDC) | -6,90m | MBN.451 | 10800 ± 130 |
| | -6,90m | Lv-1928 | 11970 ± 130 |
| | -5,50m | Lv-1802 | 11380 ± 150 |
| | -3,50m | Lv-1927 | 9270 ± 130 |
| | -1,90m | Lv-1926 | 1440 ± 60 |
| Musisi II (Kivu-RDC) | -2,10m | Hv 20280 | 1915 ± 115 |
| | -1,20m | Hv 20279 | 1140 ± 130 |
| Musisi I (Kivu-RDC) | -4,10m | Hv 20284 | 6495 ± 205 |
| | -3,00m | Hv 20283 | 1385 ± 130 |
| | -2,10m | Hv 20282 | 360 ± 150 |
| Ngushu (Kivu-RDC) | -7,50m | GrN-32524 | 5635 ± 55 |
| | -6,00m | GrN-32523 | 3850 ± 50 |
| | -4,50m | GrN-32522 | 2640 ± 50 |
| | -3,00m | GrN-32521 | 2450 ± 40 |
| | -1,50m | GrN-32520 | 1850 ± 45 |

1. en gras : les datations des sites étudiés
2. autres datations : sites de comparaison.



Traitement des échantillons

L'extraction du matériel fossile a été réalisée par le procédé de l'acétolyse, technique mise au point par ERDTMAN (1960) ; elle comporte :

- une déshydratation de l'échantillon par l'acide acétique glacial
- un traitement par le mélange acétolytique (9 volumes d'anhydride acétique + 1 volume d'acide sulfurique concentré)
- un chauffage au bain-marie pendant 15 minutes
- une dilution dans l'eau
- une filtration sur un tamis à mailles de 200 μ
- une filtration avec un filtre de 12 μ

Pour les échantillons contenant des particules minérales (silice, silicates...) l'acétolyse est précédée d'un traitement à l'HF (40%)

Montage des lames

Une lame par échantillon a été préparée. Après homogénéisation des contenus des culots récupérés des traitements, on disperse un microvolume étalé sur un couvre-objet avec de l'HEC (Hydroxy-Ethyl-Cellulose). Après séchage du couvre-objet à l'étuve, ce dernier, retourné, est collé sur une lame à l'aide d'une résine (Eukit).

Les lames, une fois montées, sont séchées à l'étuve pendant 3 à 4 jours.

Détermination et comptage des pollens

La détermination des taxons a été réalisée sous microscope photonique ZEISS JENVAL (objectif 100 à immersion ; oculaires : 10x) précédée d'un balayage de chaque lame à l'objectif 40x afin de recenser l'ensemble des taxons présents. Les pollens ont été déterminés à l'aide d'une collection de lames de référence des régions montagneuses du rift centrafricain du laboratoire PPP (Paléobiogéologie-Paléobotanique-Paléopalynologie) de l'Université de Liège ainsi que de compilations photographiques originales d'une collection iconographique du même laboratoire.

Le comptage des pollens a été effectué sous objectif 40x à sec. Pour chaque lame, un minimum de 500 grains a été compté. Pour la plupart des niveaux, ce nombre a été dépassé, étant donné la richesse palynologique des sédiments.

Présentation des résultats

Les proportions de chaque taxon pour tous les niveaux analysés dans les différentes séquences sédimentaires 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 (LEBRUN, 1935, 1936, 1956, 1960 ; ROBYNS, 1935 ; ROBYNS *et al.*, 1948 ; PECROT & LEONARD, 1960 ; LIBEN, 1962) 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

Dans ces divers groupements, ont été classés les taxons suivants :

- Formations afro-alpines et subalpines :
Alchemilla, Ericaceae, *Hypericum*, *Lobelia*, *Senecio*
- Forêt ombrophile de montagne:
Podocarpus, *Afrocrania*, *Alchornea*, *Anthospermum*, *Canthium*, *Carapa*, *Cassipourea*, *Dyospyros*, *Ekebergia*, *Entandophragma*, *Fagara*, *Faurea Ficalhoa*, *Galiniera*, *Jasminum*, *Olea*, *Parinari*, *Prunus*, *Schefflera*, *Sinarundinaria*, *Strombosia*, *Symphonia*, *Syzygium*, *Tricalysia*.
- Forêt mésophile de montagne :
Albizia, *Alangium*, *Allophylus*, *Apodytes*, *Bridelia*, *Celtis*, *Clutia*, *Croton*, *Dombeya*, Euphorbiaceae, *Hagenia*, *Harungana*, *Impatiens*, *Landolphia*, *Macaranga*, *Maesa*, *Myrica*, *Neoboutonia*, *Newtonia*, *Polyscias*, *Psychotria*, *Trema*.
- Ligneux de milieux ouverts de type savane :
Acanthus, *Cassia*, *Combretum*, *Cussonia*, *Dodonea*, *Erythrina*, *Grewia*, *Hibiscus*, Lamiaceae, *Markhamia*, *Maytenus*, *Polygala*, *Protea*, *Rhus*, *Solanum*, *Vernonia*.
- Herbacées de milieux ouverts de type savane :
Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae, *Basella*, Caryophyllaceae, *Cissus*, *Clematis*, *Ipomea*, Liliaceae, Malvaceae, *Rumex*, *Triumfetta*, *Vigna*.
- Milieux marécageux :
Cyperaceae, Apiaceae, Haloragaceae, *Hygrophyla*, *Mitragyna*, Nympheaceae, Onagraceae, *Phoenix*, *Polygonum*, *Typha*.

Les diagrammes polliniques représentent l'évolution de chaque taxon tout au long du profil sédimentaire. Un découpage des diagrammes en zones et en sous-zones est réalisé en fonction des fluctuations des spectres polliniques qui les constituent, permettant ainsi une visualisation de l'évolution de l'environnement qu'ils évoquent. Sur les diagrammes sont reportées les datations ^{14}C conventionnelles aux endroits des niveaux datés. Les emplacements des hiatus sédimentaires y sont également mentionnés.

Interprétation des résultats

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 qui se produisent au gré des conditions climatiques.

Si le système a donné des résultats intéressants dans les régions orientales, aux saisons plus contrastées, la spécificité des différents massifs montagneux centrafricains nécessite la prise en compte de particularités locales pour affiner l'interprétation. Ainsi, sur la dorsale du Congo, où la pluviosité est très importante et la saison sèche limitée à un mois (juillet), se référer à certains genres botaniques tel qu'on le fait en Afrique de l'Est peut créer la confusion.

Considérations particulières

Podocarpus

Plutôt répandu sur la dorsale occidentale du rift centrafricain, dans les districts des lacs Edouard et Kivu, présent aussi sur la dorsale orientale, au Rwanda et au Burundi, *Podocarpus* est plus rare sur la chaîne des Volcans (ROBYNS, 1947). Au PNKB, il fait partie intégrante de la forêt ombrophile de montagne, s'étendant même dans l'étage à Ericaceae où il se présente sous une forme rabougrie.

Podocarpus est considéré par les palynologues comme une essence de forêt afro-montagnarde suggérant des conditions de refroidissement sous climat humide. Sa production de pollen et sa capacité de dissémination sont élevées, ce qui pourrait créer une surreprésentation dans les spectres polliniques. COETZEE (1967) a proposé pour l'Afrique de l'Est des catégories de pourcentages du pollen de *Podocarpus* et l'interprétation à en faire. Des pourcentages inférieurs à 10% indiqueraient une absence du genre dans la zone forestière ; des valeurs comprises entre 10% et 20% seraient le signe d'une présence de proximité et des pourcentages supérieurs à 20% dénoteraient une présence effective dans la forêt.

Une expérience faite par BIKWEMU (1991) en forêt de montagne à Teza (Burundi) où *Podocarpus* est présent mais non dominant, a montré que le pollen du taxon représente 10% de la pluie pollinique, démontrant par là que, si *Podocarpus* a un pouvoir de dispersion important, son abondance dans le cortège pollinique dépend principalement de sa densité dans le milieu forestier.

Par ailleurs, on ne peut concevoir qu'au PNKB, *Podocarpus* ait été un jour absent de la forêt afro-montagnarde, même pendant la période la plus aride du DMG (=LGM), les régions montagneuses du Congo oriental étant reconnues comme ayant abrité à cette époque des zones refuges de la flore forestière montagnarde dont il a dû immanquablement faire partie.

Quoi qu'il en soit, ce qui importe, c'est l'ampleur des variations séquentielles des fréquences du taxon. Quelle que soit la valeur absolue des pourcentages polliniques, les variations de ces derniers donnent une information paléoécologique et paléoclimatiques utiles (NTAGANDA, 1991)

Les taxons afro-alpins et afro-subalpins

Dans les études relatives à la dorsale orientale du rift centrafricain et des montagnes de l'Est, on regroupe, dans un même ensemble, *Alchemilla*, *Lobelia*, *Hypericum*, les Ericaceae et divers Sénéçons, en considérant que ce groupement est représentatif d'un climat rigoureux de haute altitude. Au PNKB, ce schéma ne correspond pas à la réalité du terrain. Seules les Ericaceae dont, pour la plupart, les espèces sont cantonnées en haute montagne, pourraient traduire ces conditions climatiques. Certains Sénéçons également, pour autant qu'on puisse distinguer leurs pollens entre-eux, ce qui reste aléatoire. *Hypericum*, généralement associé à *Hagenia* se rencontre à la lisière supérieure de la forêt dense de montagne mais on peut aussi le voir dans les zones exondées des marais. On trouve des Alchemilles aussi bien en haute montagne (*Alchemilla johnstonii*) que dans les marécages (*Alchemilla ellenbeckii* ; *Alchemilla cryptantha*). De même pour les Lobélies, présentes en milieu afro-alpin avec *Lobelia stuhlmanii*, dans les marais avec *Lobelia mildbraedii* et dans les milieux secondarisés avec *Lobelia giberroa*. Dans le cas d'une

variation concomitante des Ericaceae, d'*Alchemilla* et de *Lobelia* dans les diagrammes polliniques, on peut y voir un effet climatique ; dans le cas où seules *Alchemilla* et *Lobelia* varient, il s'agirait plutôt de fluctuations du marécage. Toutefois, dans un souci d'uniformité, le schéma habituel de présentation des diagrammes a été respecté. Les divergences qui apparaîtraient avec celui-ci ont été discutées dans le texte.

Hagenia

Hagenia abyssinica est une espèce orophile des forêts de montagne clairiérées entre 2200 m et 2600 m d'altitude. Dans les zones secondarisées, elle peut descendre jusqu'à 1800 m. Sur la chaîne des Volcans, *Hagenia* forme des forêts-parcs à *Hagenia-Hypericum* dans un étage contigu à l'horizon supérieur de la forêt dense de montagne.

En Afrique de l'Est, dans une étude sur le Mont Kenya, COETZEE (1967) considère *Hagenia* comme un important indicateur de la limite supérieure forestière. La présence abondante de pollen d'*Hagenia* dans des dépôts de plus basse altitude serait le fait d'une migration descendante des étages de végétation sous l'effet d'un refroidissement climatique.

Au PNKB, on trouve *Hagenia* associé à *Hypericum* à la limite supérieure de la forêt dense de montagne mais il n'y forme pas de forêt-parc comme sur les Volcans. On peut le rencontrer aussi dans la composante mésophile de la forêt hétérogène du Parc, à plus basse altitude ; il peut aussi s'introduire dans des vallons encaissés à la faveur d'un microclimat local, humide et froid. Dans une forêt secondarisée clairiérée, il forme parfois des savannes-parc en moyenne altitude. Vers 1800 m il est souvent la composante de milieux forestiers dégradés. Si l'expansion d'*Hagenia* dans les séquences sédimentaires relevées dans le PNKB peut parfois être liée à un effet climatique, le plus souvent elle est le signe d'une secondarisation du milieu.

Poaceae

La famille des Poaceae est une famille cosmopolite dont les représentants se rencontrent dans tous les types de milieux écologiques : savanes boisées et herbeuses en basse altitude, prairies de haute altitude sur les sommets des montagnes, composante principale des friches et jachères d'origine anthropique. Un cas particulier au PNKB est à souligner : sur les flancs du Mont Kahuzi, le Bambou (*Sinarundinaria alpina*) occupe de vastes étendues dans l'horizon supérieur de la forêt afro-montagnarde. Ce phénomène devait être pris en considération dans la discussion des diagrammes polliniques. C'est pourquoi, afin d'optimiser cette dernière, il a paru opportun de pouvoir distinguer le pollen de Bambou de celui des autres Poaceae. Une attention toute particulière a été apportée à cette distinction qui a été réalisée sur base d'une comparaison avec des lames de référence. On a pu ainsi observer que *Sinarundinaria alpina* se distingue des autres Poaceae sauvages par un pollen d'assez grande taille (38-42 μ), légèrement oblong et pourvu d'un gros anulus ; son exine, plutôt épaisse (+/- 3 μ) étant finement intrarugulée.

RESULTATS

Zonation et description des diagrammes polliniques

Marais de Ngushu

L'analyse palynologique de la séquence de Ngushu (Fig.11), 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* (8,74%), d'*Olea* (14,80%) et de *Syzygium* (8,26%), taxons auxquels sont principalement associés : *Cassipourea*, *Entandrophragma*, *Galiniera*, *Ilex* et *Jasminum*. On note la présence modérée de *Podocarpus* (4,86%) et discrète de *Sinarundinaria* (2,16%). 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 4,70% 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* (4,29%) et *Fagara* (3,27%), 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 35,98% 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 :

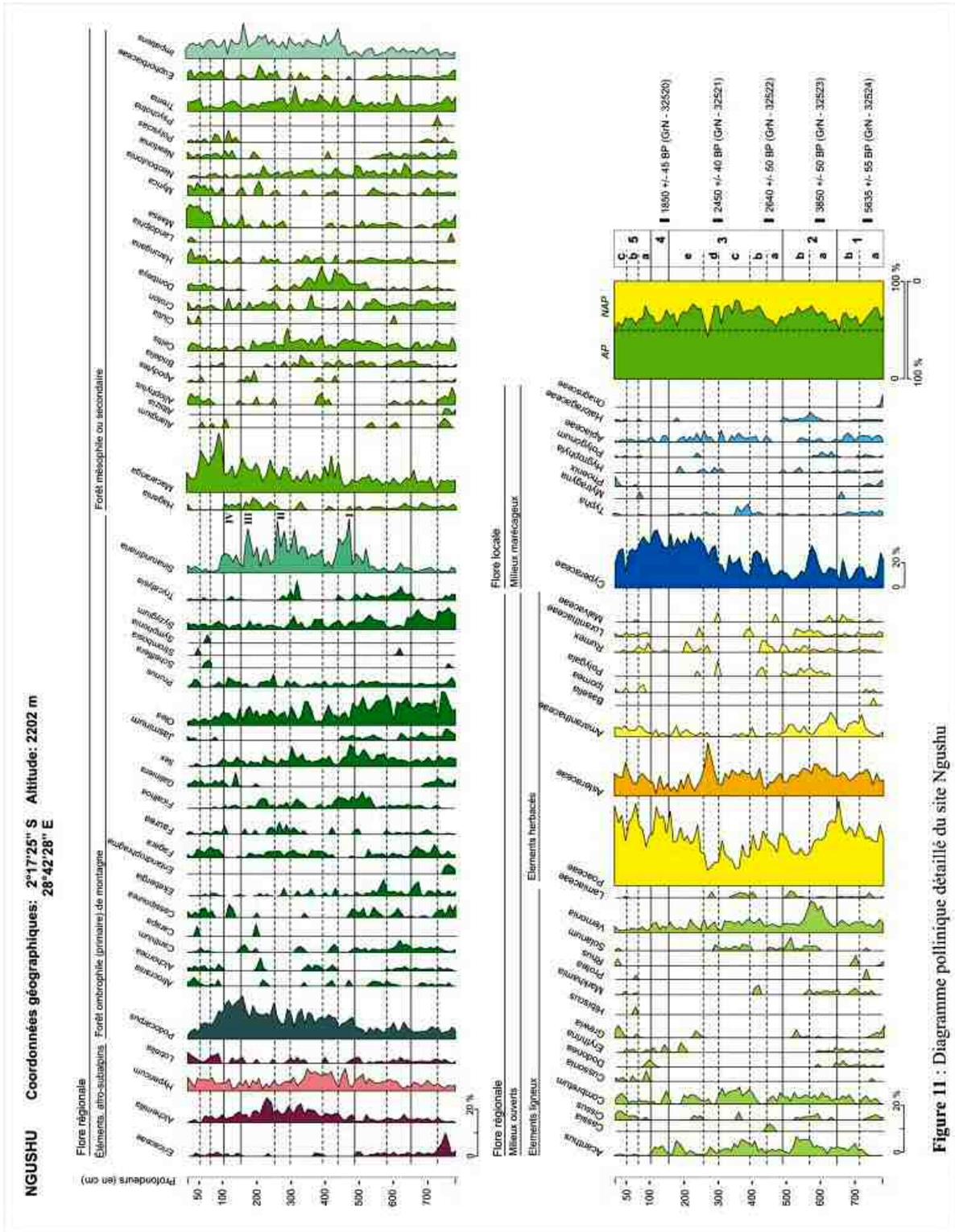


Figure 11 : Diagramme pollinique détaillé du site Ngushu

Sous-zone 2a : -650 cm à -570cm

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* (1,61%), *Maesa* (1,64%), *Neoboutonia* (2,70%) et *Trema* (5,32%) ; on note également à ce niveau la présence de *Solanum* et une avancée des Asteraceae (11,47%), ainsi qu'un pic d'Amaranthaceae (5,35%) en début de période et de *Vernonia* (11,89%) 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*(6,58%), *Ilex* (7,89%), *Olea*(13,16%), *Syzygium* (5,92%) et *Macaranga*(7,85%) sont les éléments les plus importants, associés à *Celtis*, *Croton*, *Dombeya*, *Ekebergia*, *Hypericum*, *Jasminum*, *Myrica*, *Neoboutonia* et dans laquelle *Sinarundinaria* (9,64%) affirme sa présence tandis que *Podocarpus* reste limité à des pourcentages très moyens (3,60%). On perçoit également un net recul des Cyperaceae à 7,32% 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* (8,33%) et à une forte progression de *Sinarundinaria* (1^{er} pic à 23,61%), des Poaceae (20,63%) et d'*Impatiens* (12,70%). On observe aussi un pic d'*Hypericum* (9,94%), une avancée de *Macaranga* (14,29%) et de *Dombeya* (3,31%), un maintien de *Ficalhoa* et un recul d'*Ilex* et d'*Olea* respectivement à 1,59% et à 2,08%.

Sous-zone 3b : -440 cm à -390 cm

On recense ici un ensemble à caractère mésophile dominé par *Macaranga* qui progresse à 17,36% tandis que *Dombeya* se signale par deux pics en début et en fin de zone (4,35% et 5,08%). *Podocarpus* (10,21%) et *Olea* (9,15%) sont les deux taxons ombrophiles dominants alors que *Sinarundinaria* subit un recul très net à 1,06%. On remarque aussi l'expansion des Cyperaceae à 32,13%. Les Poaceae restent stables à 16,55%.

Sous-zone 3c : -390 cm à -300 cm

Cette séquence correspond à une réoccupation du terrain par une forêt hétérogène dominée par *Podocarpus* (12,75%), *Sinarundinaria* (18,63%) et *Macaranga* (10,06%)

malgré un léger tassement de ce dernier. A noter la progression d'*Alchemilla* (7,45%) et d'*Hypericum* (9,50%) 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 (40,34%), une présence marquée de *Faurea*, la continuation de la progression de *Sinarundinaria* (2^{ème} pic à 22,61%) et une légère avancée de *Macaranga* et de *Celtis* alors que *Podocarpus* régresse à 5,95%

Sous-zone 3e : -260 cm à -150 cm

Ce dernier épisode correspond au 3^{ème} pic de *Sinarundinaria* (18,75%). On remarque aussi un pic d'*Alchemilla* (10,08%), la progression sensible de *Podocarpus* (17,98%) et, dans une moindre mesure, d'*Olea* (8,75%). *Macaranga* (15,73%) et *Hagenia* (2,68%) s'affirment comme éléments mésophiles les plus significatifs. A noter également l'importante avancée des Poaceae (33,71%) et des Cyperaceae (49,18%).

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^{ème} pic à 8,30%). Malgré la forte expansion des Poaceae à 33,93 %, on assiste à la réinstallation d'une forêt afro-montagnarde à caractère ombrophile plus accentué avec une forte dominance de *Podocarpus* (16,63%) 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 (53,60%) 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* (27,56%). On remarque une forte régression du Bambou et de *Podocarpus* (5,93%) 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* (8,09%) et de *Myrica* (2,37%) et malgré

une régression modérée de *Macaranga* (12,18%). Dès cette zone, on observe une progression des Amaranthaceae alors que Poaceae et Asteraceae y connaissent des pics importants, respectivement de 33,66% et 15,32%.

Sous-zone 5c : -50 cm à -35 cm

Après un léger tassement, les Poaceae (31,40%) 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* (5,81%) 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.

Marais de Cishaka

L'analyse palynologique issue de la séquence de Cishaka (Fig.12) ne concerne que cinq mètres de profondeur étant donné que l'argile grise, qui représente un mètre de la base du sondage, est très pauvre en pollens. Toutefois, cette base a été datée et couvre une période de 38800 +/- (4100)2700 BP, échantillon daté à -600 cm, base du profil. L'évolution des différents taxons forestiers souligne neuf phases de développement forestier. En fonction de la dynamique des principales composantes de la forêt au sein des zones précitées, la première zone, zone 1, a été subdivisée en trois sous-zones et la zone 7 en deux sous-zones.

Zone 1 : de - 500 cm à -390cm

La zone 1 pour laquelle on dispose d'une datation de 35860 +/- 1300-1600 BP (GrN-32517) à - 480 cm retrace l'évolution d'un couvert forestier en expansion qui s'accomplit en trois étapes.

Sous-zone 1a : de - 500 cm à - 490 cm

Cette première sous-zone est révélatrice d'une association d'éléments ligneux plutôt disparates où on relève comme taxons dominants *Hagenia* (20%), *Celtis* (20%), *Harungana* (20%) et *Trycalysia* (20%) dans un contexte environnemental ouvert où dominent successivement Asteraceae (20%) et Poaceae (28,96%) et où la composante environnementale dense ne compte que peu de représentants significatifs : *Podocarpus*, *Fagara*, *Ilex*, *Jasminum*, *Olea*, *Syzygium*.

Sous-zone 1b : de - 490 cm à - 450 cm

Dans cette sous-zone, le milieu forestier tend à se structurer ; on note une avancée d'*Erica* (5,13%), de *Podocarpus* (4,95%), de *Canthium* (1,75%), de *Jasminum* (3,58) et d'*Ilex* (2,98%) tandis que la composante mésophile du milieu, toujours dominante, se diversifie ; *Macaranga*, *Allophylus*, *Apodytes*, *Maesa*, *Vernonia*, en sont les principaux éléments alors que *Hagenia* disparaît. Les Poaceae (31,51%) sont encore en progrès dans un milieu toujours ouvert ; par contre, les Asteraceae (2,20%) régressent et les Cyperaceae (7,43%) stagnent à un niveau très bas.

Sous-zone 1c : de – 450 cm à – 390 cm

Ici, une forêt hétérogène se met en place et le milieu a tendance à se resserrer. Les Poaceae connaissent un sérieux retrait et la composante forestière ombrophile prend de l'ampleur. *Podocarpus* restant stable, l'avancée est surtout marquée chez *Afrocrania* (6,32%), *Canthium* (2,79%), *Cassipourea* (1,20%), *Ilex* (10,84%), *Syzygium* (12,19%) et *Sinarundinaria* (12,29%). Dans l'assemblage mésophile, on observe les progrès de *Macaranga* (4,20%), *Croton* (1,74%), *Dombeya* (2,94%) et *Maesa* (4,18%) et l'apparition de *Polyscias*. La forte progression des Cyperaceae (51,06%) s'accompagne d'une avancée d'*Erica*, d'*Hypericum* et de *Lobelia*.

Au terme de la zone 1, les AP, précédemment dominés, l'emportent sur les NAP.

Zone 2 : de – 390 cm à – 380 cm

Courte période où on enregistre une explosion des herbacées, Poaceae (48,42%), Amaranthaceae (22,63%), *Basella* (12,63%). La composante afro-subalpine, *Alchemilla* (3,61%), *Erica* (6,32%), *Lobelia* (1,58%) progresse simultanément alors que le retrait des Cyperaceae (4,50%) est très accusé.

La majorité des éléments ligneux régresse drastiquement ; on note cependant le maintien, voire la progression de certains taxons comme : *Bridelia* (3,61%), *Cassia* (1,05%), *Clutia* (0,35%), *Cussonia* (0,53%), *Harungana* (1,20%), *Myrica* (2,11%), *Olea* (7,89%), *Parinari* (2,11%), *Schefflera* (1,05%) et *Vernonia* (3,65%).

Dans la zone 2, les NAP dominent très nettement les AP.

Zone 3 : de – 380 cm à – 310 cm

La zone 3 se caractérise par une reconquête du milieu largement ouvert de la zone 2 par un ensemble constitué de taxons de la forêt dense ombrophile et du milieu afro-subalpin dont certains manifestent une progression très sensible : *Podocarpus* (17,16%), *Ilex* (9,47%), *Syzygium* (6,11%), *Alchemilla* (8,20%), *Erica* (13,92%) et *Lobelia* (2,70%). Dans ce cortège, on constate une avancée plus modeste de *Cassipourea* (1,26%), d'*Ekebergia* (4,55%) et de *Sinarundinaria* (4,55%) ainsi que la stabilité d'*Olea* (4,14%). La composante mésophile se développe peu, de même que l'assemblage de ligneux de milieux plus ouverts. A remarquer toutefois la progression lente de *Macaranga* (2,37%), *Dombeya* (4,55%), *Maesa* (4,17%) et *Trema* (3,30%) et le retrait de *Vernonia* (1,37%) qui évolue à l'opposé de l'extension forestière. Si les Asteraceae (9,66%) et les Cyperaceae (49,16%) sont en progrès, marqué pour les secondes, les Poaceae (7,30%) sont en sérieux recul.

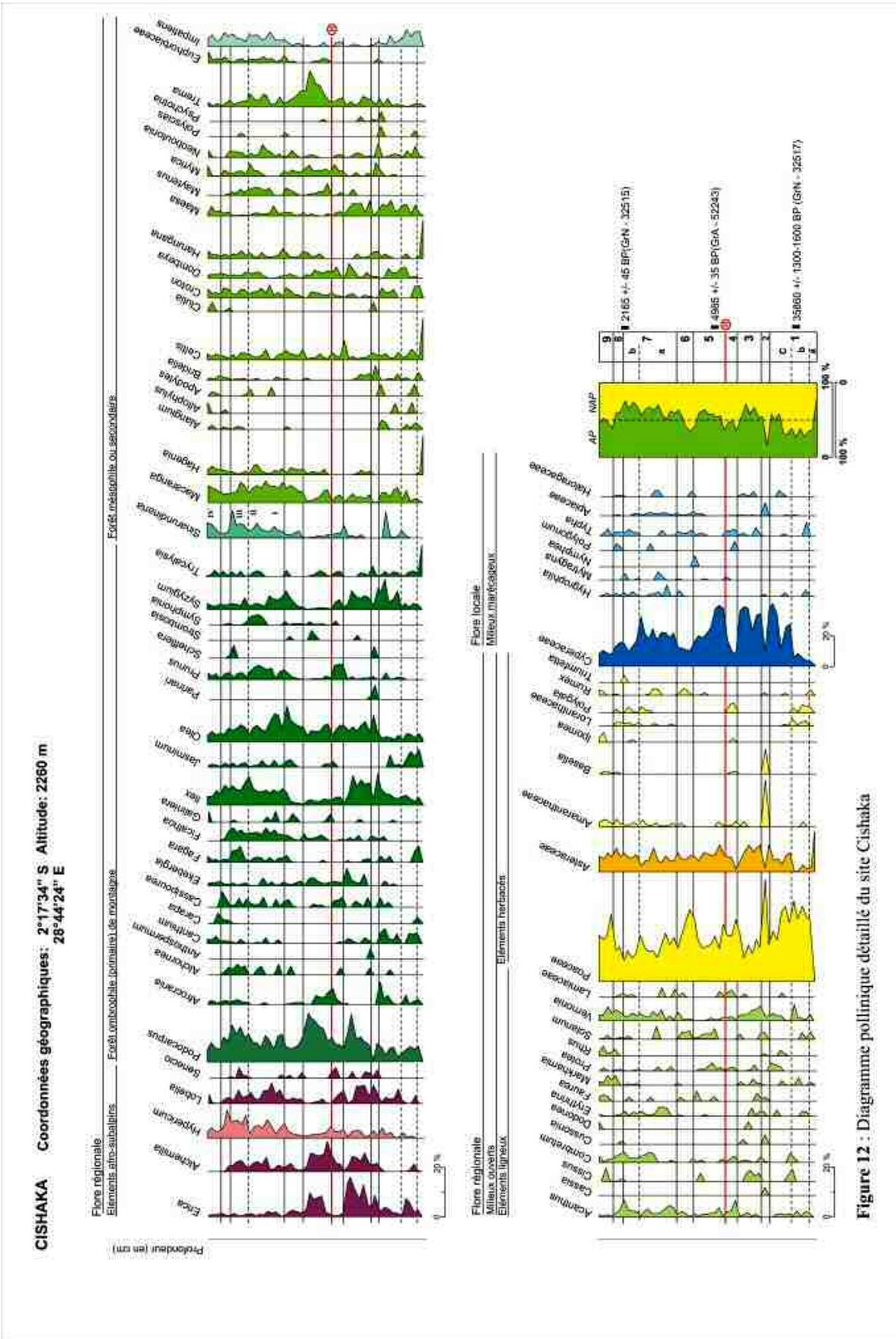


Figure 12 : Diagramme pollinique détaillé du site Cishaka

Zone 4 : de – 310 cm à – 300 cm

En début de période, dans la zone 4, on relève un recul très accusé des Cyperaceae (4,35%), semblable à celui de la zone 2 alors que les Poaceae (27,27%) ne progressent pas proportionnellement.

On constate par contre une progression des Asteraceae (11,07%), dont *Senecio* (0,79%). Avec la régression du marais, on enregistre un retrait quasi total d'*Erica* (0,34%), mais moins prononcé d'*Alchemilla* (15,71%) et de *Lobelia* (1,75%). Excepté *Afrocrania* (3,57%), *Prunus* (4,80%), *Myrica* (1,57%) qui sont en progrès et *Olea* (3,76%) ainsi que *Macaranga* (1,37%) qui sont stables, tous les genres forestiers sont en recul : *Podocarpus*, *Cassipourea*, *Ekebergia*, *Syzygium*, *Sinarundinaria*, mais surtout *Ilex* (1,43%). En fin de période, les Cyperaceae (47,35%) repartent sérieusement à la hausse, entraînant celle d'*Alchemilla* (15,71%). Dans le milieu forestier, seul *Podocarpus* (7,87%) connaît un regain.

Zone 5 : de – 300 cm à – 240 cm

Cette période, datée de 4985 ± 35 B.P (GrAnr – 52243) à –290cm, atteste une recolonisation forestière de type afro-montagnard plutôt supérieur que souligne une nouvelle importante progression de *Podocarpus* (17,65%) et une discrète avancée de *Ficalhoa* (1,50%) ; *Olea* (4,81%) restant stable. Dans la composante mésophile, *Hagenia* (1,46%) affiche sa présence et *Myrica* (1,53%) se maintient. Le seul taxon vraiment représentatif de cette composante à ce niveau est *Trema* (16,78%) dont l'extension est particulièrement marquée. Le milieu, antérieurement ouvert, se resserre ; les Poaceae (15,24%) rétrogradent. Le recul mesuré des Cyperaceae (17,58%) s'accompagne d'une présence significative d'*Alchemilla* (8,23%) et d'une progression d'*Erica* (7,19%).

Zone 6 : de – 240 cm à – 200 cm

Cette zone correspond à un important recul des pollens d'arbres alors que le taux de représentativité des Poaceae (30,51%) est particulièrement élevé. *Podocarpus* (4,29%) subit un tassement non négligeable dans un ensemble ombrophile réduit mais où *Olea* (12,78%) et *Syzygium* (6,02%) progressent cependant. Le seul mouvement important dans la fraction mésophile est le retrait de *Trema* (1,47%) auquel succède une avancée de *Macaranga* (4,80%) et de *Hagenia* (2,02%). Les Cyperaceae (11,72%) connaissent une baisse brutale dans un marais où *Alchemilla* (1,65%), *Erica* (1,21%) et *Lobelia* (0,44%) décroissent également.

Zone 7 : de – 200 cm à – 90 cm

La zone 7 traduit la présence marquée d'une association de taxons afro-montagnards de forêt dense intégrant des éléments afro-subalpins affirmés et des essences mésophiles largement inféodées à l'ensemble.

Sous-zone 7a : de – 200 cm à – 140 cm

Cette phase correspond à un progrès de *Podocarpus* (8,86%) associé à *Ficalhoa* (2,76%), qui prend de la consistance, de même que *Ilex* (5,06%), *Prunus* (3,10%),

Symphonia (1,43%) et *Syzygium* (4,43%) tandis que *Olea* (3,23%) est en nette récession. *Sinarundinaria* dont deux pics (3,49% et 3,50%) sont perceptibles suit la progression de *Podocarpus* mais on constate que ses fluctuations se manifestent en alternance avec ce dernier. Partie intégrante de l'ensemble ombrophile dense, on note la présence d'*Alchornea*, *Canthium*, *Cassipourea*, *Ekebergia*, *Fagara*, *Galiniera*, *Jasminum*. Quant à *Macaranga* (6,45%) et *Neoboutonia* (2,15%), ils sortent du lot d'un assemblage mésophile sans particularité évidente. Les Cyperaceae (28,86%) sont en expansion, conjointement à *Alchemilla* (6,45%), *Hypericum* (6,91%) et surtout *Lobelia* (10,05%) et contrairement aux Poaceae (11,52%), en recul sensible, alors que les Asteraceae (3,80%) sont stables.

Sous-zone 7b : de – 140 cm à – 80 cm

Au niveau du marais, les Cyperaceae (42,49%) continuent leur progression, de même que *Podocarpus* (11,47%) et *Sinarundinaria* (11,98%) qui connaît un nouveau pic, (2165 ± 45 B.P (GrN – 32515) à – 80 cm), dans le milieu forestier dont l'aspect varie peu. A côté d'*Ilex* (8,89%), en net progrès, on enregistre celui de *Fagara* (2,79%), *Hagenia* (3,37%) et *Myrica* (1,67%) la stabilité d'*Alchornea* et de *Macaranga* et le retrait de *Prunus* et de *Syzygium*.

Zone 8 : de – 80 cm à – 50 cm

Dans la zone 8, la composante ombrophile paraît connaître une certaine instabilité alors que la mésophile n'évolue guère. Certains taxons forestiers accusent un recul tel *Podocarpus* (6,94%), *Fagara* (0,28%), *Ilex* (5,33%), *Prunus* (0,44%); ce recul est particulièrement sensible pour *Olea* (1,98%) et *Sinarundinaria* (5,58%).

Par contre, d'autres éléments progressent comme *Alchornea*, *Carapa*, *Cassipourea*. L'instabilité apparente n'influe pas sur une quelconque ouverture du milieu, les Poaceae (12,54%) restant limitées à des taux assez bas. La zone marécageuse semble se rétrécir, vu le faible pourcentage de Cyperaceae (11,74%) alors qu'*Hypericum* (10,16%) fait un bond en avant.

Zone 9 : de – 50 cm à – 32,5 cm

La zone 9 évoque une image compressée de l'évolution post 2000 BP du milieu dans lequel les NAP prennent le pas sur les AP. Les Poaceae (27,71%) sont en importante extension, surtout en début de zone et l'ensemble des genres ligneux régresse, sauf quelques héliophiles comme *Macaranga*, *Hagenia*, *Vernonia*. *Sinarundinaria* (5,66%) connaît un dernier accroissement tandis que le marais n'évolue pas, les Cyperaceae (6,29%) restant à des taux très bas.

Marais de Lubirabira

La séquence sédimentaire de Lubirabira a enregistré l'aspect d'un milieu forestier afro-montagnard dont les composantes ombrophile et mésophile rythment l'évolution. En fonction des variations observées, quatre zones polliniques ont été distinguées dont la première a été subdivisée en trois sous-zones sur base de changements mineurs intervenus à ce niveau (Fig.13).

Zone 1 : de - 300 cm à - 210 cm

La zone 1 dont on dispose d'une datation de 5605 +/- 40 BP (GrA-52215) à -290 cm, révèle l'évolution d'une végétation assez ouverte, à caractère mésophile dominant, qui s'effectue en trois phases distinctes.

Sous-zone 1a : de -300 cm à -260 cm

Cette sous-zone se signale par une dominance d'*Erica* (11,67%), d'*Olea* (19,83%), de *Croton* (6,22%), de *Trema* (7,25%) associés notamment à *Alchornea*, *Galiniera*, *Syzygium*, *Maesa*. Le taux des Cyperaceae (32,57%) souligne le développement du marais où *Alchemilla* (5,42%) et *Lobelia* (3,45%) affirment leur présence.

Sous-zone 1b : de -260 cm à -230 cm

On observe à ce niveau une avancée de certains éléments ombrophiles, *Cassipourea*, *Entandrophragma*, *Fagara*, *Ficalhoa*, *Jasminum*, *Prunus* mais surtout *Sinarundinaria* (9,37%). *Olea* (13,82%) conserve une certaine stabilité. Parallèlement, les Poaceae (37,94%) sont en progression tandis que les Cyperaceae (14,79%) et *Alchemilla* se tassent mais *Lobelia* se maintient.

Sous-zone 1c : de -230 cm à -210 cm

Avec un retrait des Poaceae (35,95%), certains taxons mésophiles progressent dans cette sous-zone : *Croton* (5,06%), *Maesa* (4,81%), *Newtonia* (1,94%) et *Trema* (3,54%). L'élément ombrophile le mieux représenté reste *Olea* (15,01%), associé à *Jasminum*. Alors que *Sinarundinaria* (3,39%) rétrograde, les Cyperaceae (16,93%) restent stables.

Zone 2 : de -210 cm à -90 cm

Datée de 4600 ± 50 B.P (GrN-32519) à - 150 cm, l'archivage pollinique dans la zone 2 reflète une évolution particulière de l'environnement liée à la progression, la régression ou la stabilité des essences inventoriées. C'est ainsi qu'on enregistre une progression modérée de *Podocarpus* (11,83%), *Albizia*, *Alchornea*, *Ekebergia*, *Faurea*, *Galiniera*, *Hypericum* (5,99%), *Impatiens*, *Neoboutonia* et *Trema* (5,82%) mais très marquée par contre des Poaceae (38,14%), des Asteraceae (12,87%), de *Vernonia* (9,75%) et des Cyperaceae (26,74%). Parmi les taxons stables en continu on relève la présence de *Afrocrania*, *Canthium*, *Dombeya*, *Hagenia*, *Ilex*, *Macaranga*, *Maesa*, *Myrica*, *Newtonia*, *Sericostachys* et, parmi les sporadiques, *Alangium*, *Fagara*, *Ficalhoa*, *Polyscias*, *Trycalysia*. Les régressifs sont *Croton*, *Olea* (4,19%), *Syzygium* et *Sinarundinaria* ; *Alchemilla*, *Erica* et *Lobelia* étant réduits à une présence dérisoire.

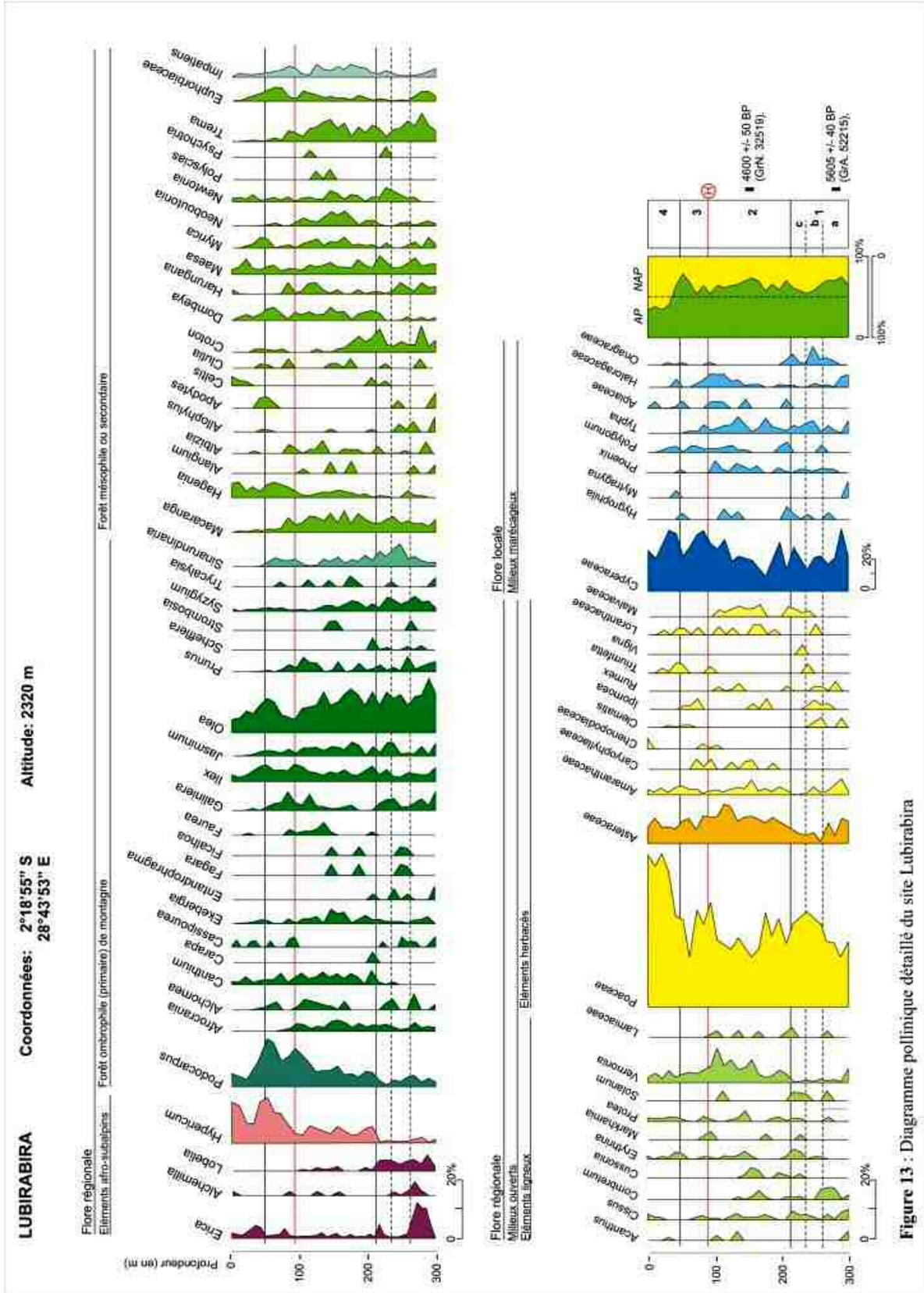


Figure 13 : Diagramme pollinique détaillé du site Lubirabira

Zone 3 : de -90 cm à -50 cm

Dans la zone 3, datée de 2060 ± 35 B.P (GrA-52565) à - 80 cm, *Podocarpus* (14,21%), *Olea* (12,28%) et, dans une mesure moindre, *Ilex* (4,74%) constituent les trois unités principales de la composante forestière ombrophile ; les autres essences, *Alchornea*, *Canthium*, *Cassipourea*, *Ekebergia*, *Galiniera*, *Syzygium*, *Sinarundinaria*, n'affichent qu'un faible taux de représentativité. La forte poussée d'*Hypericum* (17,74%) semble liée à l'avancée, plus modeste, d'*Hagenia* (5,20%). Parmi les taxons mésophiles, seuls *Apodytes*, *Dombeya* et *Myrica* accusent une légère progression alors que *Macaranga* et *Trema* sont en voie de disparition. Après un léger retrait, les Poaceae (39,45%) repartent à la hausse alors que les Asteraceae sont à la baisse. Les taux des Cyperaceae (35,70% - 17,67%) sont révélateurs d'un marécage fluctuant. On note aussi une timide réapparition d'*Erica*. A ce niveau, les AP dominent largement les NAP.

Zone 4 : de -50 cm à -10 cm

L'enregistrement pollinique de la zone 4, sommet de la séquence, souligne un retrait d'ensemble des taxons ligneux, sauf en ce qui concerne *Hypericum* (16,82%), *Hagenia* (5,11%) et *Maesa* (3,91%). Les Poaceae (61,84%) sont en expansion maximale tandis que les Cyperaceae (17,11%) régressent.

Marais de Musisi I

L'analyse pollinique de la séquence Musisi I (Fig.14) dont les premiers résultats (MOSCOL & ROCHE, 1997 ; MOSCOL, 1998) avaient déjà été revus partiellement (KABONYI, 2007) a été réactualisée dans son entièreté de façon à l'inclure dans le contexte global des sites de haute altitude repris dans l'étude actuelle.

Le graphique présenté ici a été recomposé et son interprétation adaptée en conséquence.

Sur base de l'évolution des assemblages polliniques représentatifs des groupements végétaux afro-montagnards, quatre zones ont été mises en évidence et traduisent la dynamique végétale archivée dans la séquence sédimentaire. Ces zones ont été subdivisées en sous-zones en fonction de fluctuations secondaires affectant l'ensemble forestier.

Zone 1 : de -470 cm à -365 cm

Cette première zone qui est le reflet d'une expansion forestière a été subdivisée en trois sous-zones :

Sous-zone 1a : de -470 cm à -455 cm

La première sous-zone présente un milieu forestier très diversifié dont la composante ombrophile est dominante et où la présence de *Podocarpus* (22,73%) est bien marquée. Parmi les genres les plus significatifs associés à ce dernier, on relève *Olea* (11,36%) et *Macaranga* (17,38%). On note également une progression d'*Erica* (9,25%) et une avancée significative des Cyperaceae (55,68%).

Sous-zone 1b : de -455 cm à -405 cm

Datée de 6495 +/- 205 BP (Hv.20284) à -415cm, la sous-zone se caractérise par une progression de la composante forestière ombrophile surtout constituée d'*Ilex* (19,77%) et d'*Olea* (16,63%) alors que *Podocarpus* (18,74%) subit un léger tassement. Dans une moindre mesure, on enregistre également une progression d'*Alchornea* (1,17%) et de *Syzygium* (4,49%), un pic d'*Erica* (11,33%) et d'*Hypericum* (13,81%) ainsi qu'une légère avancée de *Lobelia*. Après une progression des Poaceae (21,59%), en début de sous-zone, concomitante d'un recul des Cyperaceae, ces dernières reprennent leur expansion.

Sous-zone 1c : de -405 cm à -365 cm

Cette sous-zone correspond à l'installation d'une forêt en évolution vers un stade plus ouvert. On enregistre ici un net recul de certaines composantes ombrophiles comme *Ilex* (1,22%) et *Olea* (5,52%) alors que progressent des taxons héliophiles tels *Macaranga* (10,95%) et *Hagenia* (10,73%), ce dernier conjointement à une extension sensible d'*Hypericum* (13,81%), plus modérée d'*Impatiens* (5,42 %) et des Poaceae (17,07%).

Zone 2 : de -365 cm à -315 cm

L'importante extension de *Macaranga* (20,56%) constitue l'événement majeur de la zone 2 alors que les autres éléments de forêt secondaire restent faibles, voire régressifs. Pour ce qui concerne les éléments de forêt dense, on constate une avancée d'*Ilex* (6,85%) et d'*Olea* (11,62%) précédant celle du *Macaranga*, cette dernière légèrement antérieure à un pic de *Podocarpus* (29,85%). A noter un recul des Cyperaceae à ce niveau.

Zone 3 : de -315 cm à -215 cm

Datée à sa base de 1385 +/- 130 BP (Hv.20283) et à son sommet de 360 +/- 150 BP (Hv.20282), la zone 3 correspond à une importante phase d'expansion de la forêt primaire dont l'évolution comporte deux phases bien distinctes.

Sous-zone 3a : de -315 cm à -265 cm

Dans cette sous-zone marquée par une stabilité relative des taxons mésophiles, sauf de *Macaranga* (1,79%), en très net recul, et de *Hagenia* dont la présence est confidentielle, on assiste à un regain de la composante ombrophile soulignée par une progression d'*Ilex* (8,52%), d'*Olea* (17,99%) de *Canthium* (1,28%) et de *Jasminum* (2,46%), conjointement à une avancée d'*Hypericum* (10,75%) alors que *Podocarpus* subit un tassement. Au niveau du marécage, le recul des Cyperaceae (12,14%) est très sensible.

Sous-zone 3b : de -265 cm à -215 cm

Durant cette période où *Podocarpus* (7,18%) cesse d'être dominant, au contraire d'*Ilex* (21,65%), d'*Olea* (15,92%) et de *Syzygium* (10,54%), la forêt prend une allure plus hétérogène et plus mésophile, ce qu'atteste la progression sensible de *Macaranga* (16,92%) allant de pair avec celle plus modeste de *Ficalhoa*, de *Celtis*, de *Maesa* et de *Newtonia* alors que *Hagenia* (6,15%) réapparaît dans le paysage. Dans un milieu devenant plus ouvert, on note un progrès de *Sericostachys* (3,21%). Dans le marais, les Cyperaceae entament une nouvelle progression.

Zone 4 : de -215 cm à -10 cm

Cette dernière zone est marquée par un regain des formations secondaires à *Hagenia* et *Macaranga* et des essences secondaires qui dominent la composante ombrophile, en nette régression. Simultanément, on observe une extension importante des Cyperaceae.

Sous-zone 4a : de -215 cm à -125 cm

La forêt évolue ici vers un stade nettement mésophile avec un recul notable de sa composante ombrophile et une progression importante des éléments secondaires, surtout de *Hagenia* (18,41%), de *Macaranga* (17,78%) et de *Myrica* (7,47%). L'ouverture du milieu est aussi perceptible par la progression d'*Impatiens* (9,68%) et des Poaceae (18,97%). En parallèle à l'expansion de *Hagenia* on enregistre celle d'*Hypericum* (15,45%). L'importance des Cyperaceae (52,38%) révèle l'étendue du marécage.

Sous-zone 4b : de -125 cm à -45 cm

A ce niveau, on enregistre une diversification du milieu ombrophile bien que des éléments majeurs comme *Podocarpus*, *Ilex*, *Olea* et *Syzygium* restent à des taux de représentativité très bas. On remarque ainsi un léger progrès d'éléments divers tels *Alchornea*, *Anthospermum*, *Cassipourea*, *Entandrophragma*, *Fagara*, *Ficalhoa*, *Galiniera*, *Parinari*, *Schefflera* et *Symphonia*. La composante forestière mésophile est également fort diversifiée avec comme genres dominants *Hagenia* (12,82%), *Macaranga* (16,20%) mais aussi *Myrica* (6,94%). On notera tout spécialement une avancée d'*Albizia* (1,97%) et de *Polyscias* (1,22%).

Sous-zone 4c : de -45 cm à -10 cm

Cette sous-zone atteste une dégradation affectant tous les types de milieux forestiers, principalement l'ombrophile mais aussi le mésophile et même les espaces plus ouverts arborés. L'ensemble des NAP, composé surtout de Poaceae, l'emporte ici sur les AP.

Marais de Musisi II

L'analyse palynologique de la séquence sédimentaire de 2,20 m prélevée à Musisi II (Fig. 15), proche de Musisi I, documente, tout en la précisant, sur l'évolution du milieu au cours des deux derniers millénaires. Le diagramme pollinique met en évidence plusieurs changements d'origine climatique et/ou anthropique pour la période considérée. Cette séquence a été subdivisée en cinq zones palynologiques majeures.

Zone 1 : de -220 cm à -150 cm

Cette première zone révèle l'existence d'un ensemble forestier hétérogène à composante ombrophile dominante mais présentant deux aspects quelque peu différents.

Sous-zone 1a : de -220 cm à -190 cm

Dans cette sous-zone, on remarque une dominance de *Podocarpus* (14,24 %), d'*Ilex* (18,12 %) et d'un ensemble *Olea* (6,48 %)–*Jasminum* (1,63 %) pour la composante ombrophile. Dans la composante mésophile, on ne remarque aucun élément saillant ; cependant, *Bridelia* (1,96 %), *Croton* (1,08%) et *Neoboutonia* (1,18%) se différencient quelque peu du reste. Malgré la variété des essences forestières, on enregistre une représentativité significative des taxons de milieux ouverts, les Poaceae (25,09 %), les Asteraceae (22,53 %) et quelques ligneux comme *Combretum* (1,06 %), *Markhamia* (0,84 %), *Vernonia* (3,59 %) et des Amaranthaceae (4,21 %).

Sous-zone 1b : de -190 cm à -150 cm

Une extension du milieu forestier caractérise cette sous-zone. Après un léger recul du constituant ombrophile en début de période, on observe un regain de ce dernier avec, en progrès, *Podocarpus* (17,64 %), *Canthium* (3,57 %), *Ilex* (20,93 %), *Olea* (13,78 %) toujours avec *Jasminum* (1,50 %) et *Prunus* (1,89 %). Un pic modéré de *Sinarundinaria* (5,78 %) y est associé, de même qu'une légère percée de *Macaranga* (3,06 %), de *Hagenia* (1,51 %), d'*Allophylus* (1,02 %), de *Maesa* (2,56 %) de *Lobelia* (1,08 %) et d'*Hypericum* (7,65 %). Les Poaceae (8,67 %) accusent un sérieux recul alors que les Cyperaceae (10,46%) révèlent une extension du marais.

Zone 2 : de -150 cm à -110 cm

On constate dans la zone 2 à une ouverture du milieu attestée par un recul généralisé des taxons ombrophiles et d'une avancée simultanée des essences mésophiles les plus marquantes : *Macaranga* (5,38 %), *Hagenia* (6,36 %), *Neoboutonia* (1,51 %), *Croton* (1,14 %), *Maesa* (1,52 %), *Myrica* (4,41 %), *Vernonia* (3,68 %). Après un tassement, *Sinarundinaria* (6,62 %) reprend son expansion alors que les Poaceae (24,98 %) connaissent une sérieuse poussée. Le faible taux des Cyperaceae (4,62 %) est le signe d'un retrait du marécage.

Zone 3 : de -110 cm à -60 cm

La zone 3 traduit une nouvelle expansion de la forêt afro-montagnarde où l'on distingue deux phases : la première où la tendance ombrophile l'emporte au contraire de la seconde où la mésophile s'affirme davantage.

Sous-zone 3a : de -110 cm à -80 cm

Le cortège floristique est dominé par *Podocarpus* (13,59 %), *Canthium* (3,31 %), *Ilex* (15,09 %), *Olea* (8,94 %), *Syzygium* (1,48 %) associés aux Bambous qui atteignent un pic à 10,00 %. *Hypericum* (9,56 %) accompagne *Podocarpus* dans sa progression alors que *Lobelia* et *Erica* marquent leur présence.

Malgré sa diversité, l'élément mésophile reste inféodé à l'ensemble ombrophile. Les Cyperaceae (3,41 %) restent à un taux très bas.

Sous-zone 3b : de -80 cm à -60 cm

Podocarpus (13,22 %) et *Olea* (10,38 %) restent stables tandis qu'*Ilex* (7,08 %) amorce son déclin. La forêt secondaire, qui gagne du terrain, est principalement représentée par *Macaranga* (4,91 %), *Allophylus* (1,02 %), *Bridelia* (2,01 %), *Harungana* (1,12 %), *Neoboutonia* (1,22 %) et *Newtonia* (0,91 %). Les Cyperaceae (8,64 %) entament leur progression.

Zone 4 : de -60 cm à -40 cm

La zone 4 est une phase de recul des éléments forestiers ombrophiles excepté *Olea* (10,84 %) et *Syzygium* (2,60 %) et leur substitution par un ensemble varié mésophile où sont spécialement en progrès *Hagenia* (8,82 %), *Macaranga*, *Dombeya*, et *Myrica* (13,63 %) et où apparaît *Albizia*. Les Cyperaceae (28,76 %) enregistrent à ce niveau un taux de développement maximal.

Zone 5 : de -40 cm à -10 cm

Dans cette zone terminale, les herbacées (Poaceae, 23,91 % ; Asteraceae, 38,98 % ; *Impatiens*, 12,58 %) prennent le pas sur les éléments ligneux. Parmi ces derniers, les seuls encore vraiment représentatifs sont *Hagenia* (10,40 %), *Macaranga* (3,10 %), *Bridelia* (3,45 %), *Maesa* (4,62%) et *Myrica* (13,22 %). Le taux des Cyperaceae subit une chute importante avant l'amorce d'une reprise.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Evolution de l'environnement local

Ngushu

La zone 1, dont on peut situer la base à 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 NPA (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 45 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. Cette brièveté du dépôt et sa nature, faite d'alternance d'argiles organiques brun clair à ocre, compactes, et de tourbes argileuses brun foncé, noirâtres, parfois légèrement fibreuses, pourrait être liée à des perturbations climatiques interférant 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 ombromésophile 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 à DBH = 10 cm (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 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 au 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*.

Cishaka

Datée à sa base (-600 cm) de ca. 38000 ans BP, la séquence de Cishaka s'est révélée palynologiquement stérile pour son mètre inférieur. L'analyse pollinique ne commence donc qu'à -500 cm, niveau qu'on peut estimer remonter à quelque 36000 ans.

La zone 1 révèle l'évolution d'un environnement forestier initialement très ouvert et se resserrant au cours du temps. Celui-ci met cependant du temps à se structurer, les deux premières sous-zones faisant état d'un ensemble qu'on ne peut assimiler à un aspect typique du milieu afro-montagnard tel qu'il est connu actuellement.

Au départ d'un groupement hétéroclite recelant des taxons qui se répandent dans des milieux découverts comme *Hagenia*, *Harungana*, *Fagara*, voire *Trycalysia*, on voit se profiler la mise en place d'un assemblage où les essences mésophiles, notamment *Macaranga*, *Alangium*, *Allophylus*, *Apodytes*, *Dombeya*, *Maesa* et *Vernonia* développent une dynamique d'occupation du terrain accrue alors que la composante ombrophile est encore diffuse.

Avec la sous-zone 1c apparaît un complexe forestier mixte ombro-mésophile réellement structuré où la fraction ombrophile domine cette fois la mésophile alors que les espaces herbacés sont en net recul. C'est ainsi qu'on voit progresser significativement *Podocarpus*, *Afrocrania*, *Canthium*, *Ilex*, *Syzygium* et *Sinarundinaria* attestant la constitution d'un horizon moyen de la forêt afro-montagnarde dans lequel *Macaranga* et *Maesa* progressent encore modérément. Au développement du marais souligné par l'importante extension des Cyperaceae pourrait être liée la progression de *Syzygium guineense* et/ou *rowlandi*, espèces qu'on peut retrouver dans la végétation bordière des marécages tandis que la poussée d'*Ilex* résulterait d'une humidification de l'environnement encore favorable, par ailleurs, au développement de genres héliophiles. Le pic de Bambous pourrait être, lui, révélateur d'un fléchissement temporaire de la température et de l'humidité en cours de période.

Dans la zone 2, l'expansion maximale des herbacées, principalement des Poaceae mais aussi des Amaranthaceae (*Sericostachys*) et de *Basella*, genres héliophiles qui envahissent lisières et clairières, traduit une ouverture exceptionnelle du milieu, ce que suggère également le recul de la plupart des éléments ligneux. On remarque cependant une avancée de certains genres comme *Erica*, *Alchemilla*, *Lobelia*, *Senecio*, *Shefflera*, liés au froid ; d'*Olea* et de *Myrica* qui occupent des milieux perturbés en déficit hydrique ou de *Cussonia*, *Harungana* et *Vernonia* qui profitent des espaces libres créés par ces conditions particulières. On aurait donc ici le reflet d'un environnement soumis à une détérioration climatique couplant à la fois une baisse de la température et une chute d'humidité. La faible représentativité des Cyperaceae montre que la sécheresse affecte aussi sérieusement le marécage. Cette période froide et sèche pourrait correspondre à la phase la plus aiguë de la détérioration climatique du dernier maximum glaciaire (DMG = LGM).

Avec la zone 3 s'opère une reconquête du milieu se distinguant surtout par une poussée d'éléments ombrophiles et afro-subalpins ; les essences mésophiles restant fortement en retrait, de même que les Poaceae, en net recul. L'ensemble des taxons en progression conjointe de celle de *Podocarpus* présente l'aspect d'une végétation se développant sous des conditions climatiques, froides et humides, se situant à l'extrême de

l'horizon supérieur de la forêt dense afro-montagnarde, proche du milieu afro-subalpin. On recense des éléments liés à une certaine humidité ambiante et pouvant s'étendre en altitude comme *Ekebergia*, *Ilex*, *Syzygium* (sp. *parvifolium*), *Trema*, ces trois derniers étant plutôt héliophiles. La progression de *Maesa*, associée à celle d'*Erica* et à la présence d'*Hypericum* pourrait aussi être le fait d'un climat froid et humide (LEBRUN & GILBERT, 1954). Mais l'avancée peu marquée de *Sinarundinaria* suggère que le froid aurait été trop intense pour favoriser son développement. L'expansion du marais qui résulterait de ces conditions climatiques particulières, s'accompagne d'une progression conjointe d'*Alchemilla* et de *Lobelia*. On pourrait y inclure également celle de *Syzygium*, du moins si on considère qu'il s'agit des espèces *guineense* et/ou *rowlandi*, qui seraient alors des composantes de la végétation péri-marécageuse.

L'assemblage pollinique de la zone 4 dénote une nouvelle période de dégradation climatique. On observe que les NAP dominant à nouveau les AP et que les seuls genres ligneux qui ne sont pas en recul sont ceux capables de supporter les basses températures de haute altitude (jusqu'à 3000 m) mais aussi un sérieux fléchissement de la pluviosité. Par ailleurs, ces taxons ont aussi la faculté de se propager dans des milieux ouverts. Si *Olea* résiste en maintenant ses taux antérieurs, on note par ailleurs la progression d'*Afrocrania*, *Cassipourea*, *Prunus*, *Myrica*, *Senecio* et les Asteraceae en général. La sécheresse influe sur l'étendue du marais, comme le suggèrent les faibles taux de représentativité des Cyperaceae et d'*Alchemilla*, proches de ceux atteints dans la zone 2. La comparaison entre les zones 2 et 4 ne vaut toutefois pas pour les Poaceae dont la progression est ici plus modeste, ce qui tend à démontrer que les conditions climatiques sont moins rudes. La brève phase de dégradation forestière de la zone 4 où le caractère du climat passe du froid-humide au froid-sec, créant une ouverture du paysage, pourrait être assimilée à l'épisode du Dryas récent (YD) enregistré dans les hautes et moyennes latitudes.

Dans la zone 5, aux alentours de 5000 ans BP, on remarque une progression forestière soumise à une influence altitudinale froide à humidité ambiante. L'archivage pollinique révèle un assemblage de type horizon supérieur de la forêt montagnarde en évolution positive où *Podocarpus* et *Trema* sont les essences les plus dynamiques. *Macaranga*, habituellement présent à côté de *Podocarpus* dans des milieux perturbés régressifs, est remplacé ici par *Trema*, genre très plastique, à croissance rapide, colonisateur de clairières et lisières dans l'horizon supérieur de la forêt de montagne (ROBYNS, 1935), en série progressive d'un environnement modérément ouvert ainsi que le montre le taux assez moyen des Poaceae. Malgré l'humidité ambiante, une baisse relative des précipitations pourrait expliquer le recul du marais, envahi par *Alchemilla* et dont les abords exondés seraient occupés par *Erica*. L'expansion de *Podocarpus* et d'*Erica* suggère des conditions climatiques plutôt rigoureuses, se traduisant surtout par de basses températures (NTAGANDA, 1991).

L'importante expansion des Poaceae et la prédominance des NAP sur les AP caractérisent la zone 6. Conjointement, on constate un recul prononcé des taxons forestiers sauf *Olea*, *Prunus*, *Syzygium*, *Macaranga* et *Hagenia* qui sont en progrès assez marqué. L'avancée de *Macaranga* et de *Hagenia* témoigne d'une évolution forestière régressive, à l'inverse de celle constatée à la zone 5 où *Trema*, ici en net recul, était particulièrement dynamique. L'évolution régressive pourrait être attribuée à des perturbations climatiques, vraisemblablement une pulsation fraîche associée à une instabilité hydrique comme le suggère l'extension d'*Olea*. Quant à *Prunus* et *Syzygium* (probablement *S. parvifolium*), ce sont des espèces susceptibles de s'adapter, sous des formes rabougries, à des conditions climatiques difficiles (COMBE, 1977). La régression notable du marais, dans toutes ses

composantes, serait consécutive à cette période de sécheresse qu'on pourrait assimiler à l'épisode OPP (Older Poaceae Period) de RUNGE (2001) survenu *ca.* 4000 ans BP.

La zone 7 est révélatrice de l'expansion d'une forêt dense afro-montagnarde d'horizon supérieur intégrant des éléments afro-subalpins ainsi que des éléments mésophiles qui lui sont largement inféodés. Cet assemblage relève d'un climat aux températures assez fraîches et aux précipitations régulières mais non violentes. On y remarque la coexistence de *Podocarpus* et *Ficalhoa*, l'installation de façon stable de *Macaranga* ainsi que la progression par paliers de *Sinarundinaria*.

Dans la sous-zone 7a, l'ensemble formé par *Podocarpus*, associé à *Ficalhoa*, *Ilex*, *Prunus*, *Symphonia*, *Syzygium*, *Macaranga*, *Neoboutonia* est révélateur de la reconquête, sous des conditions redevenues plus humides (MARCHANT & TAYLOR, 1998), d'espaces ouverts (HABIYAREMYE, 1997) dégagés par la phase régressive antérieure. Les taxons associés à cet ensemble sont essentiellement ombrophiles : *Alchornea*, *Canthium*, *Cassipourea*, *Ekebergia*, *Fagara*, *Galiniera*, *Jasminum* ; le regain d'humidité pourrait expliquer le recul d'*Olea*. Les éléments mésophiles sont ici de peu d'importance. Au cours de la période, on observe deux pics de *Sinarundinaria*, probablement consécutifs d'une légère variabilité climatique. Le resserrement du milieu se traduit par un recul des Poaceae. La progression des Cyperaceae signale un marais en expansion envahi par *Alchemilla* et *Lobelia* dans les endroits les plus humides et les plus dégagés ; par *Hypericum* et *Maytenus* dans les zones plus sèches et plus boisées.

Dans la sous-zone 7b se manifeste une progression sensible de *Podocarpus* et de *Sinarundinaria*, lequel atteint un nouveau pic d'extension, *ca.* 2100-2200 BP., plus important que les précédents. L'avancée simultanée de *Ficalhoa* souligne sa coexistence avec les deux genres précités dans un groupement mixte se développant au sein du massif forestier dense. Dans l'évolution de ce dernier, on enregistre une extension de certains genres tels *Alchornea*, *Fagara*, *Ilex*, *Macaranga* alors que d'autres régressent comme *Prunus*, *Symphonia*, *Syzygium* et qu'*Olea* poursuit son déclin. Cet aspect des choses pourrait être lié à une légère hausse de la température et de l'humidité. En cours de période, un environnement momentanément plus ouvert expliquerait le pic de Poaceae observé ainsi que la progression de genres héliophiles : *Ilex*, *Myrica*, *Polyscias* et *Trema*. L'avancée postérieure de *Schefflera* serait liée à celle du Bambou. L'évolution du marais suit le même schéma : un recul après une extension des Cyperaceae. Si *Alchemilla* et *Lobelia* ne varient guère, *Hypericum* est en net progrès, ce qui pourrait signifier qu'un atterrissement se serait produit après la phase d'expansion, comme suite à l'ouverture temporaire du milieu et à l'expansion de la Bambousaie, moins fixatrice des sols.

La zone 8 constitue l'amorce de l'évolution environnementale des deux derniers millénaires. Parmi le cortège des essences ombrophiles, pour la plus grande partie en recul, on remarque cependant un léger progrès de *Carapa*, *Cassipourea* et *Ilex*. Ces trois taxons, dont le dernier est héliophile et les deux autres habituellement dominés au sein de la forêt dense montagnarde, ont bénéficié d'un milieu largement ouvert qu'atteste l'importante expansion des Poaceae. Une légère progression est enregistrée également pour *Hagenia*, *Croton*, *Vernonia* et *Impatiens*, tous les quatre colonisateurs de clairières. Après sa régression antérieure, le marais se stabilise ; *Hypericum* y est toujours largement dominant. Globalement, à ce niveau, les NAP l'emportent sur les AP. A l'aube du premier millénaire de notre ère, en dehors de toute influence anthropique irréfutable, on peut suggérer que le recul forestier enregistré soit l'annonce d'un dérèglement climatique.

Ce dérèglement se confirme dans la zone 9 où on relève, dans le diagramme pollinique, une expansion majeure des Poaceae à côté d'un ensemble forestier assez statique où seuls progressent quelque peu *Macaranga* et *Hagenia*. Ce pic de Poaceae qui

serait assimilable au MPP (Medium Poaceae Period) de Ngushu précède de peu une dernière expansion de *Sinarundinaria*. Cet épisode pourrait être identifié comme les effets de la phase climatique sèche reconnue au Rwanda ca 500 ans AD. (ROCHE, 1996 ; ROCHE & NTAGANDA, 1999).

A Cishaka, on ne dispose pas d'informations postérieures à cette période car l'échantillonnage de la partie supérieure de la séquence a été rendu aléatoire par la fluidité de la matière organique en décomposition, gorgée d'eau.

Lubirabira

La zone 1 du diagramme pollinique apparaît comme l'archivage d'un milieu forestier de type « horizon moyen » afro-montagnard subissant des modifications mineures au cours du temps. Dans la sous-zone 1a on remarque que, ca 5600 ans BP, une forêt hétérogène dont l'élément mésophile, *Croton*, *Macaranga*, *Maesa*, *Trema*, n'est pas négligeable occupe le terrain. Le couvert forestier devait être assez dense et les espaces libres peu importants comme le suggère le taux plutôt bas des Poaceae. Toutefois, les Amaranthaceae laissent apparaître un effet de clairières. Le marais, modérément étendu, est envahi par *Alchemilla* et *Lobelia* et ses zones bordières occupées par *Myrica* et *Syzygium*. Ce type de forêt devait se développer sous des températures modérées et des pluies régulières.

Dans la sous-zone 1b, on perçoit un léger changement dans la composition de la forêt dont le caractère ombrophile est plus accusé avec l'avancée de *Entandrophragma*, *Fagara*, *Ficalhoa*, *Galiniera* et *Prunus* alors qu'*Olea*, associé à *Jasminum*, reste stable à un taux sensiblement élevé. L'événement le plus marquant est ici la progression de *Sinarundinaria* dont les massifs semblent s'étendre au sein du milieu afro-montagnard. L'extension modérée des Poaceae pourrait être due à un élargissement local des clairières. Par ailleurs, la régression du marais semble affecter directement *Erica* et *Alchemilla* dont la chute est brutale alors que *Lobelia* se maintient. Cette évolution du milieu résulterait vraisemblablement d'un fléchissement simultané de la température et de la pluviosité.

La sous-zone 1c voit le caractère mésophile s'affirmer dans un ensemble plus hétérogène où se profile une avancée de *Podocarpus* et d'*Hypericum* et se précise celle de *Croton*, *Maesa*, *Newtonia* et *Trema*. Malgré ce changement de tendance, le milieu semble se resserrer, au vu du recul des Poaceae. Le marais n'évolue guère mais on constate un timide retour d'*Erica* et une légère extension de *Syzygium*, sans doute dans sa végétation bordière. On voit poindre à ce niveau une perturbation du milieu liée à l'amorce d'une instabilité climatique.

L'extension des Poaceae dans la zone 2 atteste une ouverture du milieu favorisant l'avancée ou le maintien de taxons héliophiles comme *Albizia*, *Harungana*, *Macaranga*, *Neoboutonia*, *Newtonia*, *Polyscias*, *Trema*. La progression de *Podocarpus* et de *Prunus* serait liée au froid et à l'humidité ambiante ; celle d'*Alchornea* et de *Vernonia* serait le fait d'un milieu forestier perturbé qui, moins dense, serait défavorable à *Croton* et *Olea*, en régression. Au sein de cette forêt hétérogène, la présence plutôt marquée d'*Hypericum* alliée à une avancée d'*Hagenia* suggère la formation de petits massifs de forêt-parc alors que pouvaient se développer des groupements à *Sinarundinaria-Faurea-Senecio*. L'expansion du marais semble repousser sa végétation bordière, ce que traduirait le recul de *Syzygium* et d'*Erica*. La chute d'*Alchemilla* et de *Lobelia* pourrait être liée à une baisse des précipitations. Le pic des Poaceae, en fin de période, correspondrait alors à l'OPP (RUNGE, 2001) de ca 4000 ans BP.

Dans la zone 3, la progression notable de *Podocarpus* et d'*Olea*, celle plus modérée de *Canthium*, *Cassipourea*, *Galiniera* et *Ilex* évoque sommairement l'évolution de la forêt dense afro-montagnarde dans sa configuration d'étage supérieur se développant sous des conditions climatiques froides et humides. L'avancée de *Hagenia* conjointement à celle plus sensible d'*Hypericum* évoque la formation de massifs de forêt-parc dans ces circonstances mais, d'autre part, l'accroissement d'*Hypericum* qui se fait à l'inverse de celui des Cyperaceae pourrait correspondre aussi à l'occupation de surfaces exondées en bord de marais. Malgré l'importance du taux des Poaceae, les AP l'emportent encore ici sur les NAP.

La zone 4 enfin est révélatrice d'un retrait quasi généralisé des taxons forestiers dû à des circonstances qui ne seraient plus dépendantes uniquement des conditions climatiques.

Musisi I

L'analyse du diagramme pollinique met en évidence divers épisodes marquants de l'histoire paléoécologique du site de Musisi au cours d'une partie de l'Holocène.

La zone 1 révèle l'évolution du milieu montagnard aux alentours de 6500 BP. D'un stade ombro-mésophile très diversifié à influence afro-subalpine attestée par une présence marquée de *Podocarpus*, d'*Erica* et d'*Hypericum*, la forêt acquiert un aspect plus ombrophile mais où dominant deux taxons à connotation sclérophylle, *Ilex* et *Olea*. La situation évolue ensuite vers un stade forestier plus ouvert où les éléments de forêt dense sont en recul alors que progressent des formations boisées hétérogènes à caractère mésophile où *Hagenia* et *Macaranga* sont plus spécialement en progrès. La forêt à caractère ombrophile dominant des deux premières sous-zones témoigne de conditions climatiques humides à température modérée ; toutefois, la présence marquée de *Podocarpus* suggère la persistance d'une ambiance assez fraîche entretenue par des brouillards. L'ouverture du milieu perceptible dans la troisième sous-zone où les formations hétérogènes ont un caractère mésophile plus accentué pourrait être la première manifestation de la dégradation climatique dont la phase la plus intense a été observée vers 4000 ans BP dans les régions montagneuses orientales bordières du fossé central (ROCHE *et al.* 1988). La progression de *Hagenia* à ce niveau serait favorisée par des températures plus basses et des précipitations moindres.

La zone 2 représente un phénomène évolutif affectant le milieu forestier en trois phases successives où un pic de *Macaranga* est inclus entre deux stades bien distincts d'expansion de la forêt dense.

La première phase correspond à une recolonisation du milieu par un ensemble ombrophile assez diversifié qui se serait produite sous des conditions climatiques redevenues plus clémentes (réchauffement sous atmosphère plus humide) après la période d'aridité de ca. 4000 ans BP, bien connue en Afrique (MOSCOL & ROCHE, 1997). Cependant, cette dernière n'étant pas formellement identifiée dans la séquence Musisi I, il faut admettre qu'un hiatus sédimentaire se situerait entre les zones 1 et 2.

La progression de *Macaranga* au cours de la deuxième phase pourrait être attribuée à une pulsation climatique sèche qui, tout en provoquant un recul de la forêt ombrophile, aurait favorisé l'extension d'un taxon héliophile pionnier tel *Macaranga*. Ce phénomène climatique serait à mettre en relation avec la période d'aridité reconnue par ailleurs au Rwanda et qui, vers les 4^{ème} – 5^{ème} siècles AD aurait cumulé ses effets à ceux d'une activité anthropique intense à l'époque dite de « l'Age du fer ancien » (ROCHE, 1996). A Musisi I, l'effet d'une activité humaine concomitante d'une période de sécheresse paraît quelque peu hypothétique, les seuls sites signalés d'Age du fer ancien, non datés, étant assez éloignés de

la zone d'étude : au sud de Cyangugu (BOUTAKOFF, 1937) et au sud de Bukavu d'une part et en territoires Havu et Hunde, au Nord Kivu, d'autre part (HIERNAUX & MAQUET, 1957, 1960 ; MAQUET & HIERNAUX, 1969).

Au cours de la troisième phase, un regain de la forêt dense se manifeste mais la prédominance de *Podocarpus* en son sein indique que cette reprise se serait produite, dans un premier temps, sous un climat encore relativement froid.

Dans la zone 3 se poursuit le nouvel essor de la forêt dense qui acquiert un aspect diversifié à caractère « horizon moyen », vraisemblablement consécutif à un réchauffement et à une augmentation des précipitations. Cette amélioration des conditions climatiques aurait eu pour effet de repousser *Podocarpus* en altitude alors que la composante forestière mésophile est fortement réduite, principalement en ce qui concerne ses deux éléments majeurs, *Hagenia* et *Macaranga* (sous-zone 3a).

En fin de période (sous-zone 3b), un coup sec aurait pu favoriser une extension de taxons sclérophylles comme *Ilex* et *Olea* alors que *Syzygium* et *Hypericum* occupaient les zones exondées d'un marais peu étendu. La relative ouverture du milieu aurait permis une reprise assez sensible de *Macaranga* et celle, plus modeste, de *Hagenia*.

La dernière période (zone 4) représente l'évolution de l'environnement au cours des cinq derniers siècles, maximum. Elle est marquée par un regain des formations secondaires à *Hagenia* et *Macaranga* qui prennent le dessus sur la composante ombrophile, en nette régression. Simultanément à la secondarisation du milieu commence une extension considérable du marécage.

La sous-zone 4a révèle une avancée importante de *Hagenia* et de *Macaranga* conjointe à celle d'*Hypericum*, d'*Impatiens* et des Poaceae, ce qui témoigne d'une ouverture du milieu qu'on pourrait attribuer, étant donné la datation à -210cm (360 ± 150 (Hv.20282)) à une pulsation climatique froide et sèche consécutive à la réactivation glaciaire observée sur les hautes montagnes d'Afrique de l'Est (avancée de Lewis) au cours du « Petit Age glaciaire » (OSMASTON, 1989). Il n'est cependant pas exclu que ce phénomène climatique cumule ses effets avec les premiers signes de secondarisation d'origine anthropique (MOSCOL & ROCHE, 1997).

Dans la sous-zone 4b, l'environnement forestier présente une diversification intéressante attestant un retour à des conditions climatiques proches des actuelles, favorables au développement de toutes ses composantes, depuis le milieu ombrophile jusqu'aux éléments ligneux de milieux ouverts. Toutefois, la persistance de taux de représentativité élevés de *Hagenia* et de *Macaranga*, la progression de *Myrica* et de la composante mésophile dans son ensemble, de même qu'une nouvelle extension d'*Impatiens* et des Poaceae témoignent de l'existence d'un environnement dont la secondarisation résulte d'une action anthropique croissante ; comme le confirme, dans la sous-zone 4c, le recul de la majorité des genres ligneux au profit des éléments herbacés.

En ce qui concerne les deux derniers millénaires, les déductions issues de l'analyse palynologique de la séquence Musisi I sont corroborées par les résultats de l'étude du sondage Musisi II relevé non loin du premier site.

Musisi II

Datée à sa base de 1915 +/- 115 BP (Hv.20280), la zone 1 révèle une évolution naturelle de la végétation afro-montagnarde soumise à des fluctuations climatiques qui ont façonné son aspect.

La sous-zone 1a est une période d'expansion de la forêt ombrophile de montagne. Les genres dominants, *Podocarpus*, *Ilex*, *Olea* (type *capensis* = *hochstetteri*) sont

indicateurs d'un climat frais. Associés à des éléments tels *Ekebergia*, *Entandrophragma*, *Galiniera*, *Parinari*, *Symphonia* auxquels s'ajoutent *Neoboutonia*, *Bridelia*, *Croton* et des bouquets de Bambous vraisemblablement épars dans le massif forestier, l'ensemble a une allure d'horizon moyen de la forêt montagnarde soumise à des pluies régulières. Le développement forestier progressif est attesté par une avancée de *Tricalysia* qui participe au reboisement des vallons et de *Vernonia*, élément colonisateur de trouées apparues dans un stade antérieur plus ouvert (SCHMITZ, 1988) ; ce qu'expliquerait la fraction minérale importante associée à la matière organique de la base de la séquence sédimentaire et qui serait due à une instabilité des pentes sous un couvert végétal moins dense (KABONYI, 2007).

L'évolution du milieu dans la sous-zone 1b comprend deux phases : la première laisse apparaître un léger tassement de la composante ombrophile, sauf en ce qui concerne *Olea* et *Jasminum* alors que progressent certains éléments de la composante mésophile, *Macaranga*, *Hagenia*, *Allophylus*, *Dombeya*. Au cours de cette première phase se manifeste également un pic de *Sinarundinaria*. Cet ensemble floristique est révélateur d'un fléchissement à la fois de la température et de l'humidité. Conjointement à la légère extension du marais, on voit progresser *Hypericum* et *Lobelia*.

La seconde phase révèle l'essor d'un ensemble particulier où, à côté de *Podocarpus* et de *Ficalhoa* qui apparaît, on trouve des taxons en progrès comme *Afrocrania*, *Galiniera*, *Prunus*, *Clusia*, *Maesa* qui sont susceptibles de supporter des conditions climatiques plus rudes de haute altitude se traduisant par des basses températures entretenues par une atmosphère humide de pluies fines et de brouillards.

Pendant toute la période de la zone 1, la forêt afro-montagnarde soumise à des fluctuations internes reste un milieu fermé. On ne constate aucune progression de taxa qui traduiraient la formation de clairières alors que les retraits les plus significatifs, en fin de période, concernent les éléments de milieux ouverts dont les Poaceae et *Vernonia* et que, globalement, les AP l'emportent sur les NAP.

A la base de la zone 2, un pic de Poaceae conjoint à un recul quasi généralisé des éléments ligneux, sauf ceux attestant une secondarisation du milieu tels *Afrocrania*, *Harungana*, *Maesa*, serait la conséquence d'une période de sécheresse ayant favorisé la création d'espaces libres dans le massif forestier. Ces trouées sont ensuite réoccupées, à l'occasion d'une humidité relative retrouvée, par des éléments que l'on peut considérer comme pionniers, *Alchornea*, *Macaranga*, *Neoboutonia*, *Vernonia*. Ce stade transitoire précède l'installation d'une forêt hétérogène où on recense, notamment, la progression de *Cassipourea*, *Olea*, *Syzygium*, *Hagenia*, *Maesa*, *Myrica* et *Sinarundinaria*. La position quelque peu dominante de *Hagenia* et *Sinarundinaria* suggère des conditions climatiques plutôt froides à précipitations modérées tandis que l'avancée de *Myrica* plaide pour la persistance de clairières, naturelles ou provoquées. La présence de *Myrica* pourrait être liée à l'abattage d'arbres ce qui indiquerait une action anthropique modérée (KABONYI, 2007). A ce niveau de la zone 2, il a été observé une concentration de petits fragments ligneux noirs au sein de la matière organique. Ces fragments pourraient résulter d'une oxydation mais aussi de la carbonisation d'une matière organique exogène à la tourbière (MOSCOL, 1998). Celle-ci pourrait alors provenir d'une forêt légèrement secondarisée soumise à des feux localisés déclenchés par l'homme (KABONYI, 2007). L'ouverture relative du milieu est favorable au développement de la liane héliophile *Sericostachys*. Pendant toute la période, le marais reste stable mais peu étendu.

Avec la sensible expansion des Poaceae à sa base et la datation de son sommet à 1140 +/- 130 BP (Hv.20279) on pourrait suggérer que la zone 2 répercute deux effets climatiques identifiés dans la région du rift : la pulsation sèche de 500 AD signalée au

Rwanda (ROCHE, 1996 ; ROCHE & NTAGANDA, 1999) et l'avancée de Tyndall, phase initiale du Néoglaciare reconnu en Afrique de l'Est (MAHANEY, 1989 ; OSMASTON, 1989 ; BRYANT & OSMASTON, 2008).

La zone 3 traduit un regain de la forêt hétérogène ombro-mésophile où, dans un premier temps, la sous-zone 3a, les taxons mésophiles restent inféodés aux ombrophiles avant d'inverser la tendance dans la sous-zone 3b.

Dans la sous-zone 3a, la reprise de la forêt dense s'amorce par la progression de *Podocarpus* auquel sont associés *Canthium*, *Ilex*, *Olea*, *Syzygium*, *Trema* et un ensemble à allure afro-subalpine à *Erica*, *Lobelia*, *Hypericum* alors que *Hagenia* et *Macaranga* subissent un net recul. Le pic de *Sinarundinaria* qui fait suite à cet événement souligne une évolution vers une association *Podocarpus-Sinarundinaria* dans laquelle s'insère une compagne du bambou, *Psychotria*. Simultanément se reconstitue l'association *Olea-Jasminum*. Des températures plutôt basses et une humidité ambiante sont les conditions climatiques qui prévalent dans ce type de milieu.

Dans la sous-zone 3b se développe un groupement mixte diversifié à *Podocarpus*, *Galiniera*, *Ilex*, *Olea*, *Syzygium*, *Sinarundinaria* qui semble plus clairié et où s'insinuent des essences de remplacement à caractère mésophile affirmé, *Macaranga*, *Bridelia*, *Harungana*, *Polyscias* ou des adventices comme *Impatiens*. Le déclin d'*Ilex* qui s'amorce, alors que le climat semble toujours favorable au développement forestier, pourrait être assimilé à une exploitation anthropique ; celle-ci serait consécutive à l'arrivée dans la région de populations allochtones (KABONYI, 2007).

L'évolution de l'environnement dans son ensemble évoque une variabilité climatique où les pics successifs de *Sinarundinaria* et *Macaranga* pourraient être la manifestation en milieu fermé des effets de la « Petite Glaciation » ou « Avancée de Lewis » du Néoglaciare d'Afrique de l'Est.

La zone 4 présente un changement radical dans la physionomie de la forêt où, à la composante ombrophile en recul quasi généralisé, se substitue une composante mésophile diversifiée dont les éléments constitutifs principaux sont *Hagenia*, *Myrica* et *Olea*. Parmi les autres essences dont la progression est plus modérée, on relève *Macaranga*, *Albizia*, *Apodytes*, *Dombeya*, *Maesa* et *Markhamia*. Cet ensemble de taxa est révélateur d'une forêt de transition en voie de dégradation (WHITE, 1986). Sa secondarisation est ici essentiellement d'origine anthropique ; la progression de *Myrica* en est la preuve ainsi que celle d'*Impatiens*, relique de la forêt ombrophile mais adventice des clairières et lisières.

Au niveau de la zone 4, comme dans la zone 5 qui suit, on observe au sein de la matière organique un taux important de pyrofusinites, matière noire, ligneuse, résultant d'une combustion. Celle-ci proviendrait en l'occurrence d'une action humaine à l'origine d'incendies de forêt ; car, dans un milieu aussi fermé qu'une forêt afro-montagnarde baignant dans une atmosphère humide, il est pratiquement exclu que des incendies spontanés puissent se produire (COLOMBAROLI & VERSCHUREN, 2010). Bien que régressif, le milieu forestier semble encore suffisamment étoffé pour combler les vides qui se créent généralement dans un ensemble mésophile. On peut le constater avec le recul des Poaceae, même compensé par une progression des Asteraceae. Entouré de ce milieu héliophile et probablement sous des conditions d'humidité suffisantes, le marais connaît une expansion maximale.

Vers le sommet de la séquence, la zone 5 révèle un recul accentué de l'ensemble des taxons ligneux et une expansion des herbacées. Le fond forestier est représenté par un ensemble secondarisé, à composante ombrophile réduite, dont les vides créés par les déboisements favorisent la progression de genres héliophiles comme *Hagenia* et *Myrica*.

Corrélations entre les différentes séquences étudiées

Dans les séquences étudiées (Fig.16), le Pléistocène n'a été rencontré qu'au site de Cishaka. Les périodes reconnues concernent globalement le Pléniglaciaire supérieur et le Tardiglaciaire de ca 35 000 ans BP jusqu'à une époque assimilable au Dryas récent (ca. 12 000 à ca 11 500 ans BP), précédant l'Holocène précoce.

Durant cet espace de temps, on relève quatre phases évolutives du milieu forestier afro-montagnard. Au cours de la première phase (zone 1), on voit se développer une série progressive qui, à partir d'un groupement boisé hétéroclite, mène, via un assemblage mésophile mieux structuré, à l'installation d'un ensemble ombro-mésophile abouti, conséquence des effets d'un climat modérément chaud et humide.

La phase suivante (zone 2) atteste une importante ouverture du milieu due à une régression forestière d'amplitude exceptionnelle ainsi qu'un rétrécissement du marais qui résulteraient d'une intense aridité climatique couplée à une baisse de la température.

A cette période succède une reconquête de l'espace (zone 3) par un ensemble forestier dense à dominance de *Podocarpus* et d'essences caractérisant l'horizon supérieur de la forêt de montagne dans lequel s'insinuent des éléments afro-subalpins. Un tel ensemble devait se développer dans des conditions de température restant basses mais sous une humidité ambiante assez marquée, ce qui se traduit aussi par une extension du marais.

La dernière phase (zone 4) révèle l'existence d'un paysage plus ouvert suggérant une nouvelle régression de la forêt sous un climat redevenu froid et sec mais n'atteignant pas l'intensité rencontrée dans la zone 2.

L'archivage palynologique que l'on observe dans cette partie de la séquence de Cishaka ne se retrouve dans aucune des autres séquences analysées. On n'y relève aucun événement qui correspondrait à la PHH (Période Humide Holocène) dont le début se situe vers 9000 ans ¹⁴C BP et la fin vers 6000 ans ¹⁴C BP et qui devrait se traduire par l'extension d'une forêt ombrophile diversifiée. Par ailleurs, le fléchissement climatique de 8.2 CAL BP signalé en Afrique intertropicale et que l'on perçoit au Nord du Rwanda dans la séquence Kiguhu II (ROCHE & NTAGANDA, 1999), attestée par une descente du milieu afro-subalpin et par une avancée de la composante forestière mésophile n'atteint pas l'ampleur des phases régressives 2 et 4, précitées. Assimiler les zones 1 à 4 de la séquence de Cishaka au Pléniglaciaire supérieur et au Tardiglaciaire comme suggéré ci-dessus apparaît donc comme une hypothèse tout à fait plausible.

L'Holocène n'a pas été archivé dans sa totalité dans les différents sondages. On constate en effet que les dates holocènes les plus anciennes se situent entre 6500 et 5000 ans BP. Pratiquement, toute la Phase Humide Holocène (PHH) qui culmine entre 9000 et 6000 ans BP, est éludée dans les séquences analysées. Selon RUNGE (2001) le marais de Musisi aurait commencé à se former aux alentours de 6000 ans BP alors qu'antérieurement, dans la première partie de l'Holocène, il aurait constitué une étendue lacustre. On peut considérer qu'il en aurait été de même pour le site de Ngushu qui en est une ramification. A Cishaka, le passage brutal d'un paysage ouvert à un milieu forestier fermé suggère qu'un hiatus sédimentaire se situant entre les zones 4 et 5 correspondrait à la PHH. A Lubirabira enfin, la base du dépôt tourbeux reposant sur un sable graveleux remonte également à la fin de la PHH, selon la datation enregistrée à ce niveau.

A partir de 6500 ans ¹⁴C BP, les corrélations établies entre les différentes séquences ont permis de dégager une évolution assez complète du paléoenvironnement jusqu'à une époque subactuelle.

La première période, supportée par les datations ^{14}C 6495 +/- 205 BP (Hv. 20284), 5635 +/- 55 BP (GrN-32524), 5605 +/- (GrA-2215) et 4985 +/- 38 BP (GrA-52243) relatives aux subzones 1a et 1b de Musisi 1, 1a de Ngushu, 1a,1b et 1c de Lubirabira et à la zone 5 de Cishaka, se caractérise par l'extension d'une forêt ombro-mésophile diversifiée à dominante ombrophile mais dans laquelle s'insèrent des éléments afro-subalpins ; cela peut être interprété comme un début de déstabilisation climatique se situant à la fin de la PHH, cette dernière non enregistrée au PNKB mais repérée au niveau régional, sur la dorsale orientale du rift ainsi que sur la chaîne des Volcans au nord du Rwanda.

La deuxième période se distingue par une ouverture du milieu affectant la sous-zone 1c de Musisi 1, 1b de Ngushu et les zones 6 et 2 de Cishaka et Lubirabira. Le phénomène se remarque par une progression sensible des Poaceae qui se termine par un pic caractéristique bien visible à Ngushu, Cishaka et Lubirabira où une datation de 4600 +/- 50 BP (GrN-32519) à mi-zone permet de juger probable l'optimum de l'expansion à 4000 ans ^{14}C BP ainsi que le propose RUNGE (2001) pour l'aboutissement de son OPP (Older Poaceae Period), cette dernière soulignant la crise d'aridité qui a marqué l'ensemble de l'Afrique à cette époque.

Après la phase climatique sèche de 4000 ans BP, un ensemble forestier hétérogène se remet en place entre ca. 3900 et ca. 2700 ans BP. A dominante mésophile dans un premier temps, la forêt évolue vers un stade ombrophile plus fermé. Cette évolution s'observe dans les sous-zones 2a et 2b de Ngushu. Elle n'est pas archivée dans les autres séquences.

Une évolution particulière de l'environnement est perceptible dans les zones 3 de Ngushu et 7 de Cishaka. Elle attire l'attention, entre ca 2600 ans BP et 2200 ans BP (datations ^{14}C : 2640 +/- 50 BP – GrN-32522, sous-zone 3a ; 2165 +/- 45 BP – GrN-3251, sous-zone 7a) par une succession d'avancées de *Sinarundinaria* interrompues par des intervalles forestiers diversifiés. Ce phénomène non linéaire serait dû à une instabilité climatique pendant la période précitée. Deux pics de Bambous sont identifiés dans les sous-zones 3a et 3d de Ngushu ; on les retrouve dans la sous-zone 7a de Cishaka. Un troisième pic de Bambous, associé à une progression d'éléments afro-subalpins et de *Podocarpus* se retrouve dans les sous-zones 3e de Ngushu et 7b de Cishaka. La zone 3 de Lubirabira dans laquelle s'observe une extension conjointe de *Podocarpus* et d'*Hypericum* peut être assimilée à ces deux sous-zones.

L'évolution post-2000 du milieu est archivée de façon irrégulière dans les différents sondages. Le premier fait observé au début du premier millénaire de notre ère (datations ^{14}C : 1915 +/- 115 BP – Hv. 20280, Musisi 2 – sous-zone 1a ; 1850 +/- 45 BP – GrN-32520, Ngushu – zone 4) est l'occupation du terrain par une forêt hétérogène en phase régressive par rapport à celle d'avant 2000 ans BP. Le fait est perceptible dans la sous-zone 1a de Musisi 2 alors que la sous-zone 1b enregistre un pic de *Sinarundinaria*.

Dans la zone 2 du Musisi 1 où l'archivage pollinique reprend après un long hiatus, cette évolution est condensée, montrant successivement un retrait suivi de regains, d'abord mésophile puis ombrophile. La sous-zone 1b de Musisi 2 où on observe le pic de Bambou est directement corrélable avec la zone 4 de Ngushu et la zone 9 de Cishaka où sont repérés les quatrièmes pics de Bambous des séquences respectives ; ceux-ci étant précédés de peu d'un pic de Poaceae représentant le MPP (Medium Poaceae Period). Par contre, la zone 8 de Cishaka présente davantage de traits communs avec la sous-zone 1a de Musisi 2.

On remarque des similitudes entre la sous-zone 3a de Musisi 1 (datation ^{14}C à la base : 1385 +/- 130 BP – Hv. 20283) et la zone 2 de Musisi 2 (datation ^{14}C au sommet : 1140 +/- 130 BP – Hv. 20279) notamment par un retrait de *Podocarpus* compensé par une progression d'*Ilex* et d'*Olea*. Elles sont moins nettes en ce qui concerne le rapprochement

des sous-zones 3b de Musisi 1 et 3a de Musisi 2 bien qu'une légère avancée d'*Ilex*, d'*Olea* et de *Syzygium* les caractérisent. Quant à la sous-zone 3b de Musisi 2, elle ne trouve qu'un faible équivalent à la fin de la sous-zone 3b de Musisi 1 où une chute brutale des mêmes taxons se manifeste.

Enfin, les zones 4 de Musisi 1, 4 et 5 de Musisi 2, 5 de Ngushu et 4 de Lubirabira représentent l'évolution forestière d'une période couvrant, en gros, les cinq derniers siècles (datation ^{14}C : 360 +/- 150 BP – Hv. 20282, Musisi 1, sommet sous-zone 3b). Elles sont toutes le reflet d'une secondarisation du milieu que traduit l'installation d'un ensemble méso-ombrophile à composante mésophile plutôt dominante où des éléments colonisateurs de milieux ouverts tels *Macaranga*, *Hagenia*, *Maesa*, *Myrica*, prennent de l'importance.

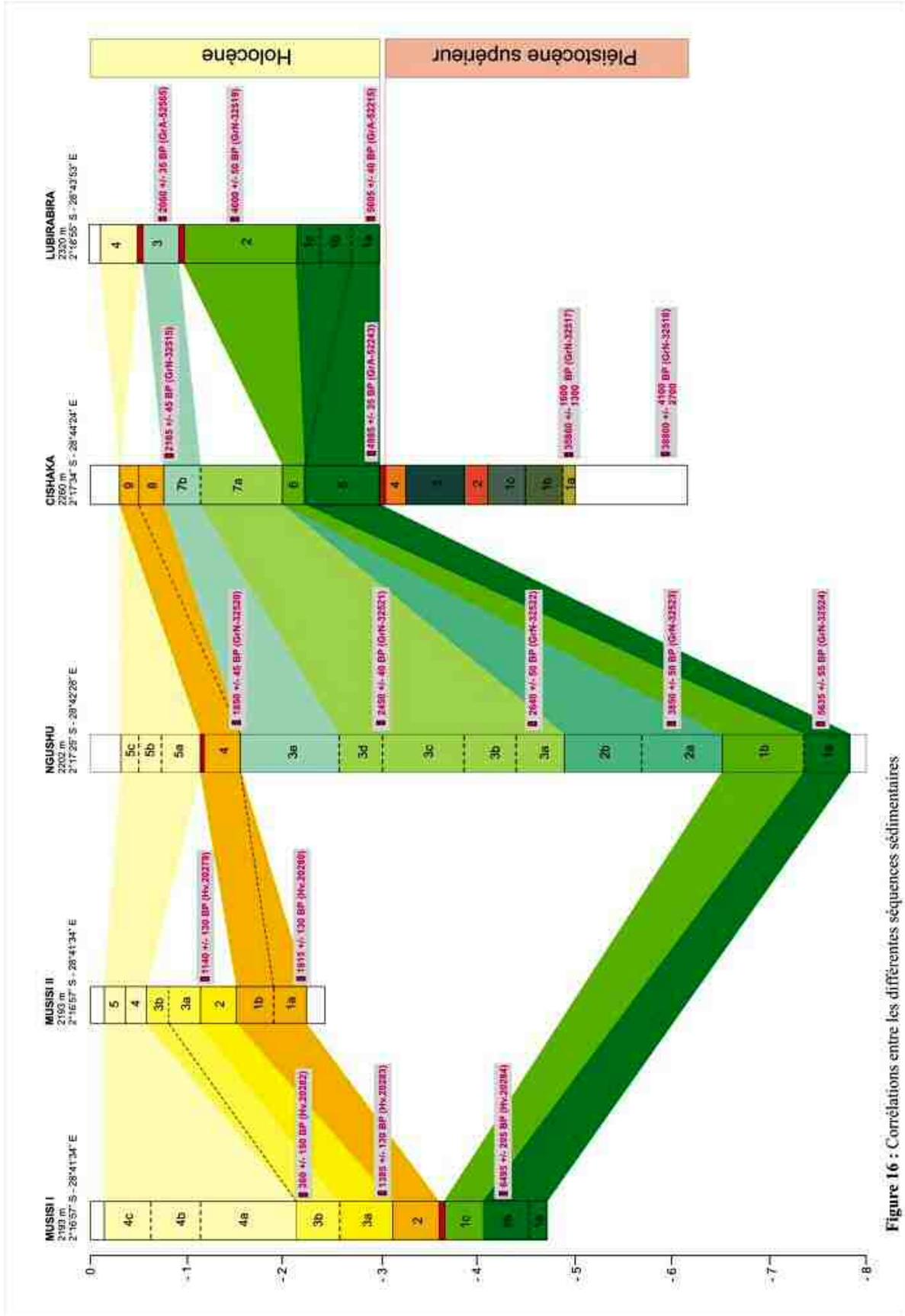


Figure 16 : Corrélation entre les différentes séquences sédimentaires

SYNTHESE – 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 35 derniers millénaires. Cette reconstitution réalisée par l'analyse palynologique de séquences sédimentaires tourbeuses provenant de différents marais situés, entre 2200 m et 2320 m d'altitude, 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}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 de l'Est pour la période considérée.

Le Pleistocène supérieur

Au début de l'enregistrement pollinique dans la zone étudiée, vers 35000 ans BP, on remarque que le terrain est occupé par un ensemble forestier disparate dont émergent des essences colonisatrices comme *Celtis*, *Hagenia*, *Harungana*, *Tricalysia* tandis que l'élément ombrophile est peu significatif. L'abondance des Asteraceae et des Poaceae alors que le marais semble peu étendu attesterait l'existence d'un milieu très ouvert se développant sous une pluviosité plutôt modérée mais irrégulière (LIVINGSTONE, 1967 ; BRENAC, 1988 ; van ZINDEREN & COETZEE, 1988 ; MALEY & BRENAC, 1998 ; TAYLOR *et al.*, 1999)

On assiste ensuite à l'extension d'un assemblage hétérogène méso-ombrophile où des taxons pionniers comme *Macaranga*, *Alangium*, *Dombeya*, *Maesa* et *Vernonia* participent à la dynamique de colonisation du milieu alors que les éléments ombrophiles restent en retrait. Cet ensemble forestier, encore clairié, comme le montre l'importance des Poaceae, devait se développer sous une pluviosité devenue plus régulière. Le processus évolutif aboutit finalement à l'installation d'un ensemble ombro-mésophile dont l'aspect rappelle un horizon moyen de forêt primaire où dominant les éléments ombrophiles et qui se serait installé sous des conditions climatiques relativement chaudes et humides. Un pic de Bambou soulignerait toutefois une pulsation plus fraîche en cours de période.

A cette évolution forestière fait suite un événement environnemental particulièrement marquant souligné par une ouverture exceptionnelle du milieu que traduit l'accroissement des herbacées (Poaceae, Amaranthaceae, *Basella*) conjoint d'un recul notable des taxons ligneux, à l'exception de ceux qui s'accommodent d'espaces libres comme *Bridelia*, *Clutia*, *Cussonia*, *Harungana*, *Vernonia* ou de milieux perturbés en déficit hydrique tels *Olea* et *Myrica* ou encore moins sensibles au froid, à savoir *Erica*, *Alchemilla*, *Lobelia*, *Schefflera*. Parmi les herbacées dominantes, *Sericostachys* et *Basella* sont des colonisateurs de clairières. Le recul très marqué des Cyperaceae suggère un assèchement majeur du marais. Quant aux Poaceae, en cas de déficit hydrique, *Exothea abyssinica*, *Eragrostis olivacea* et *Setaria sphacelata* peuvent, à plus de 2000 m d'altitude, constituer de vastes prairies altimontaines, formations naturelles liées aux horizons moyen et supérieur du domaine afro-montagnard et d'origine climatique, à ne pas confondre avec des savanes qui sont généralement des formations secondaires submontagnardes ou planitiaies d'origines diverses (LEONARD, 1962). La période froide et sèche responsable du développement d'un tel environnement peut être assimilée au DMG (Dernier Maximum

Glaciaire), période au cours de laquelle on enregistre, avec de basses températures, un affaiblissement du cycle hydrologique (GASSE, 2000).

Une reprise forestière se déroule ensuite, sous des conditions de températures restant plutôt basses mais avec une humidité à la hausse. La dominance de *Podocarpus*, associé à des taxons tels *Ekebergia*, *Ilex*, *Syzygium* (type *parvifolium*) révèle la présence d'un ensemble forestier pouvant supporter des conditions rudes proches de l'étage afro-subalpin, ce que corrobore l'avancée d'éléments de cet étage comme *Alchemilla*, *Erica*, *Lobelia*, *Senecio*. L'importante progression du marais souligne également une hausse de l'humidité (BRENAC, 1988 ; van ZINDEREN & COETZEE, 1988). Cet épisode pourrait correspondre au Tardiglaciaire.

Enfin, le dernier stade évolutif ramène à un paysage plus ouvert comme suite à une nouvelle déstabilisation climatique liée à la sécheresse. Tous les genres ligneux sont en recul sauf ceux capables de résister à de basses températures et à une chute des précipitations, comme *Afrocrania*, *Myrica*, *Prunus*, *Senecio*, *Syzygium* (type *parvifolium*). Le recul très important du marais souligne ce retour à la xéricité. L'extension de prairies altimontaines se remarque à nouveau ; toutefois, elles n'atteignent pas l'amplitude observée antérieurement. Cet événement sec pourrait être considéré comme l'épisode du Dryas récent (12000 – 11500 ans BP).

Si la partie de la séquence de Cishaka rapportée au Pléistocène comporte une base datée de ca. 35000 BP, par contre, elle manque de repères chronologiques pour déterminer le déroulement des événements qui en constituent les étapes évolutives. Cependant, il est possible de raccorder les faits majeurs marquant l'évolution de la végétation à des situations analogues tributaires des conditions climatiques caractéristiques de l'époque considérée. Les fluctuations des niveaux lacustres enregistrées au Kivu (DEGENS & HECKY, 1974 ; HECKY, 1978 ; HABERYAN & HECKY, 1987 ; RUNGE, 2001) et au Tanganyika (HABERYAN, 1980 ; GASSE et al, 1989 ; GASSE, 2000) permettent notamment d'établir une correspondance entre celles-ci et l'évolution environnementale du secteur étudié.

Si les variations du Kivu n'ont pu être suivies qu'à partir du DMG (= LGM), celles du Tanganyika l'ont été sur un plus long terme, de l'ordre de 30 000 ans. On remarque ainsi que, de 30 000 à 25 000 ans BP, le Tanganyika a connu de hauts niveaux ce qui correspond au premier stade d'expansion de la forêt montagnarde observé à Cishaka, conséquence d'une phase climatique relativement chaude et humide. Vient ensuite une baisse progressive du niveau du lac jusqu'au DMG où une cote de -300m a été atteinte. Un tel niveau a été également enregistré au Kivu où il ne subit que de légères fluctuations jusqu'à 14 000 ans BP. Au cours du DMG, de basses températures liées à une importante aridité due à une chute drastique des précipitations ont été la cause de la grande expansion des prairies altimontaines archivée dans la séquence de Cishaka.

Les deux lacs accusent ensuite une importante remontée à partir de 13 000 ans jusqu'à 9 000 ans BP, sous des conditions climatiques plus humides mais restant plutôt froides comme l'atteste la deuxième phase forestière du secteur étudié. On constate cependant vers 12 000 ans BP, une chute modérée des niveaux des deux lacs : -86 m pour le Kivu, -70 m pour le Tanganyika. Cet épisode est rapporté à la période du Dryas récent (HABERYAN & HECKY, 1987 ; RUNGE, 2001). C'est le dernier événement du Pléistocène enregistré à Cishaka : il correspond à un paysage plus ouvert suggérant une régression de la forêt accompagnée d'une nouvelle expansion des prairies d'altitude mais qui ne connaît pas l'ampleur de celle observée précédemment.

Une évolution paléoenvironnementale similaire a été observée par RUNGE (1992, 1997, 2001) dans la région d'Osokari, près de Walikale, à 630 m d'altitude au Nord-Kivu. Sous une couverture forestière récente, des processus morphodynamiques du DMG

(=LGM) et du DR (=YD) ont été mis en évidence. L'auteur schématise l'évolution régionale comme suit : de 35 000 à 28 000 ans BP, des sédiments et des alluvionnements évoquent un climat plutôt froid et sec ; ce dernier évolue, entre 27 000 et 22 000 ans BP vers un stade plus chaud et plus humide permettant le développement de mosaïques forêt-savane.

Entre 21 000 et 18 000 ans BP, les conditions froides et assez arides du DMG (= LGM) amènent à la mise en place de savanes arborées très ouvertes. Une recolonisation forestière se situe ensuite, entre 17 000 et 13 000 ans BP, due à un réchauffement accompagné d'une hausse de l'humidité. Vers 13 000 – 12 000 ans BP un retour aux conditions plus sèches et plus froides d'un climat semi-humide, voire semi-aride considéré comme celui du DR (=YD) provoque des phénomènes érosifs importants.

Enfin, à partir de 11 000 ans BP, l'évolution vers la Période Humide Holocène favorise la reconquête du milieu par la forêt dense.

A la fin du Pléistocène, une succession d'événements climatiques, dont deux phases d'aridité marquée, induit d'importants changements environnementaux (fluctuations lacustres, phénomènes sédimentologiques divers, évolution forestière) concordants mais pas nécessairement concomitants car des particularités locales peuvent influencer sur la durée et l'intensité des phénomènes. Mais globalement, la succession des événements s'enregistre partout de la même façon.

En ce qui concerne les deux phases sèches archivées au PNKB, la question est de savoir si des épisodes similaires n'existeraient pas à l'Holocène avec lesquels il serait possible de les confondre. La datation de ca 5000 ans BP obtenue pour –290 cm de profondeur dans la séquence de Cishaka exclut toute comparaison avec la phase d'aridité qui a frappé toute l'Afrique ca. 4000 ans BP. Reste alors l'épisode abrupt de 8.2 cal BP dû à un ralentissement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique (PISSART, 2002) qui se traduit par un refroidissement dans l'hémisphère nord (ALLEY *et al.*, 1997) et par un pic de sécheresse en Afrique intertropicale affectant les niveaux lacustres (GASSE, 2000 ; SHANAHAN *et al.*, 2006). Ce phénomène ne se manifeste semble-t-il que pour des lacs situés à basse altitude ou dans des régions à saisons contrastées. Pour le Kivu, un léger fléchissement du niveau du lac se situe ca 8000 ans BP annonçant une décrue progressive mais lente jusqu'à 5000 ans BP (DEGENS & HECKY, 1974) alors que le Tanganyika subirait une baisse temporaire de quelque 50 m, moindre que celle enregistrée au DR (=YD). Pour ces deux lacs du rift, on est loin des chutes importantes signalées au lac Abhé (GASSE, 1977), Ziway-Shala (GILLEPSIE *et al.*, 1983), Bahr-el-Ghazal (SERVANT & SERVANT-VILDARY, 1980) et Bosumtwi (SHANAHAN *et al.*, 2006). Même s'il est perçu au Nord du Rwanda dans la séquence Kiguhu II (ROCHE & NTAGANDA, 1999) attesté par une avancée de la composante mésophile de la forêt de montagne et par une descente des éléments afro-alpins, l'épisode 8.2 n'atteint pas l'ampleur des phases régressives enregistrées à Cishaka. Ces dernières doivent donc bien être considérées comme d'âge Pléistocène supérieur.

Des considérations qui précèdent, il faut admettre que les régions montagneuses du Congo oriental généralement présentées comme refuges forestiers au cours de la période aride du DMG (HAMILTON, 1976 ; van ZINDEREN, 1976 ; LIVINGSTONE, 1979 ; MALEY, 1987 ; ROCHE, 1991 ; RUNGE, 1996) ne le sont pas globalement, le versant oriental des Mitumba pouvant difficilement être reconnu comme tel, au vu des résultats obtenus. Les refuges forestiers se situeraient plutôt dans des fonds de vallées humides de moyenne altitude, principalement sur le flanc occidental de la chaîne. Pour sa part, MALEY (1987) estime qu'au Pléistocène supérieur, des biotopes montagnards ont pu s'étendre à basse altitude formant des mosaïques forestières hétérogènes selon les conditions

topographiques et microclimatiques locales. Par ailleurs, la forêt dense d'Afrique centrale a été fortement réduite au DMG (=LGM) en raison d'une baisse de température, de 2° à 4°C, et des précipitations réduites de moitié (PARTRIDGE *et al.*, 1999 ; RUNGE, 1992 ; 2001). Il est aussi communément admis que la forêt dense s'est fragmentée (HAMILTON, 1982 ; MALEY, 1987), refoulée par les écosystèmes savanicoles largement prédominants dans le bassin du Congo (ALEXANDRE *et al.*, 1992), ce qu'atteste notamment la présence de termitières fossilisées recouvertes aujourd'hui par la forêt dans la cuvette congolaise. Malgré cette savanisation importante, les endémismes génériques et spécifiques des forêts claires actuelles, soudaniennes et zambéziennes, impliquent la présence entre elles d'un obstacle ancien qui aurait persisté au DMG (ROCHE, 1979 ; 1991). Celui-ci aurait été constitué de formations boisées hétérogènes (ROCHE, 1991) incluant des îlots de forêt dense guinéenne géographiquement isolés (RUNGE, 2007) et de refuges fluviaux du Congo-Lualaba, du Lomami, de l'Oubangui, du Kasaï et des zones marécageuses des lacs Tumba et Maï-Ndombe (COLYN, 1987 ; COLYN *et al.*, 1991) dans le bassin du Congo. Au sud du Cameroun, des forages effectués dans le delta intérieur du Ntem ont révélé l'existence de sédiments alluviaux suggérant la présence de refuges fluviaux du DMG (SANGEN, 2007) ; de même dans la forêt de Ngotto en République Centrafricaine la vallée de la Mbaéré aurait pu servir d'abri à la forêt dense à la fin du Pléistocène (NEUMER *et al.*, 2007) ; il s'agirait probablement là du refuge fluvial le plus septentrional connu. C'est au départ de ces refuges divers qu'une recolonisation rapide par les forêts denses a pu s'opérer au début de l'Holocène (RUNGE, 2007).

L'Holocène

A partir de 11 000 ans BP, le climat entre dans une phase humide dont le développement optimal se situe au Kivu entre ca 10 000 et 7 000 ans BP environ mais qui se prolonge de façon moins intense jusqu'à ca 5 000 ans BP, si on se réfère à l'évolution du lac au cours de cette période (DEGENS & HECKY, 1974). Le premier déversement du Kivu vers la plaine de la Ruzizi est traditionnellement fixé à 9500 ans BP (BEADLE, 1981) ; ce déversement est souligné par l'important cône de déjection de Kamanyola, à l'amont de la rivière (ILUNGA & ALEXANDRE, 1982 ; ILUNGA, 2007). Il se poursuivra ensuite jusqu'à la fermeture du bassin, ca 3500 ans BP, début d'une nouvelle phase d'aridité (HABERYAN & HECKY, 1987).

L'Optimum Humide Holocène a été identifié par RUNGE (2001a, 2001b) sur base de la progression de la forêt dense guinéenne enregistrée à Osokari entre 11 000 et 5 000 ans BP et de la forêt afromontagnarde à Musisi 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 les différents profils étudiés dans le présent travail, on constate que les séquences Musisi 1, Ngushu et Lubirabira n'ont commencé à enregistrer la période Holocène qu'à partir d'un intervalle de temps se situant entre 6 500 et 5 000 ans BP tandis qu'à Cishaka, le passage brutal d'un paysage ouvert à un milieu forestier ombro-mésophile suggère qu'un hiatus sédimentaire correspondant à l'Optimum Humide Holocène se situerait entre le DR (=YD) et ca 5 000 ans BP, date à laquelle l'archivage palynologique a repris. On constate la même évolution du milieu marécageux dans la séquence de Kakala (2375 m d'altitude) étudiée antérieurement par VILIMUMBALO (1993, inédit) dont le diagramme a été repris et adapté par RUNGE (2001a). Ici toutefois, l'expansion maximale de la forêt ombrophile afromontagnarde semble avoir été enregistrée, du moins dans sa phase terminale, probablement vers 7000 ans BP (date estimée par extrapolation).

Ces observations tendent à prouver que la formation des différents marécages n'a débuté qu'à la fin de l'Optimum Humide Holocène (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 plutôt modérée. Pour les marais situés à plus basse altitude comme Kamagama (1510 m) et Mukukwe (1470 m) on observe également un démarrage de la sédimentation ca 7 000 ans BP (extrapolation) pour le premier et une reprise après un hiatus post-Pléistocène (VILIMUMBALO, 1993 – inédit ; 1995) pour le second. Ces deux marécages auraient pu être ennoyés lors de la montée maximale du Kivu (+ 100m) au cours de l'Optimum Humide Holocène.

Les différentes séquences relevées entre 2200 et 2300 m d'altitude au pied du Mont Kahuzi ont archivé diverses phases environnementales évolutives dont on peut retracer 6500 ans d'histoire. La première phase Holocène reconnue dans les sondages Musisi I, Ngushu, Cishaka, Lubirabira et pour la période précédant 5000 ans BP à Kakala (VILIMUMBALO, 1993 – inédit) se caractérise par une poussée des taxons à connotation afro-subalpine tels *Alchemilla*, *Erica*, *Hypericum*, *Lobelia* au sein d'une forêt hétérogène ombro-mésophile 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. 5 500 et 6 500 ans BP au Mont Kenya par MAHANEY (1990). Au Kivu on enregistrerait à cette époque une chute conjointe de la température et des précipitations mais avec le maintien d'une humidité atmosphérique qui serait entretenue par des pluies fines et des brouillards. Cette 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. Dans le cas présent, ce dernier trouve son équivalent dans une sérieuse baisse de niveau du lac Kivu qui, à terme, va entraîner la fermeture du bassin (HABERYAN & HECKY, 1987).

Après cette période régressive, l'archivage pollinique s'arrête à Musisi 1 et à Lubirabira, comme suite probablement au retrait des marécages sous l'effet de la sécheresse. Il se poursuit par contre à Ngushu et à Cishaka de façon plus étoffée toutefois dans le premier site 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. A la fin de cette période, on voit se profiler une avancée de *Sinarundinaria* qui prendra de l'ampleur par la suite. 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), 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. 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 séculaire sur 900 ans représente quatre fois ce qu'elle était au cours des trois millénaires antérieurs. A Cishaka, bien que plus malaisée à évaluer, on peut considérer qu'elle serait deux fois et demie plus importante qu'auparavant. 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 : 3 m par millénaire contre 0,3 m durant la période de biostase qui l'a précédée. D'autre part, l'érosion épisodique des pentes observée par RUNGE (2001b) à Osokari, en marge du bassin du Congo 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 Epu 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 serait aussi lié à des feux courants (tentative d'implantation de populations bantouphones 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. 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. On constate aussi que l'évolution du couvert végétal autour du marais n'est pas un phénomène linéaire mais qu'il s'effectue par paliers. 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. 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. L'évolution environnementale présente des enregistrements similaires à Ngushu et à Cishaka avec cependant des pics de *Sinarundinaria* plus marqués à Ngushu. Cela pourrait résulter de l'éloignement plus prononcé du site de Cishaka des grandes zones de Bambous qui peuplent les flancs du Mont Kahuzi dont le premier site est plus proche.

Après un intermède forestier apparenté à l' « horizon supérieur » du milieu afro-montagnard attestant des 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, 1996 ; ROCHE & NTAGANDA, 1999). On pourrait l'assimiler aussi au « Pré-Néoglacaire », froid et sec, de ca 1500 ans BP, reconnu au Mont Kenya par MAHANEY (1990).

Si les populations de l'Age du Fer ancien installées sur le Plateau central du Rwanda au cours des premiers siècles de notre ère ont pu contribuer à créer une secondarisation anthropique cumulative de la savanisation climatique (VAN GRUNDERBEEK et al., 1982 ; ROCHE, 1996), le phénomène est moins évident pour la région des Virunga où aucun site n'a été recensé jusqu'à présent et probablement aussi pour le Mont Kahuzi bien que certains sites d'occupation d'Age du Fer ancien aient été signalés au sud du lac Kivu (BOUTAKOFF, 1937 ; HIERNAUX & MAQUET, 1957, 1960). Mais ces derniers constituent une concentration de peu d'importance n'ayant vraisemblablement pas eu d'incidence sur la végétation altimontaine.

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).

A Cishaka, l'échantillonnage ayant été rendu aléatoire par une matière organique fluide gorgée d'eau, l'évolution forestière du dernier millénaire n'a pu y être observée alors qu'elle a été enregistrée à Ngushu. Sous un climat plus clément en évolution vers son stade actuel, le milieu afro-montagnard prend un aspect méso-ombrophile marqué initialement par une dominance de *Macaranga* ; ensuite, 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).

Pour la période couvrant les deux derniers millénaires, les deux séquences de Musisi documentent toutefois davantage et plus précisément que la zone terminale de la séquence de Ngushu qui, après ca 1800 BP, n'apporte plus, en fait, que des informations fragmentaires. Les séquences de Musisi mettent nettement en évidence l'évolution du couvert forestier durant cette période ainsi que les influences climatiques et anthropiques qui en sont la cause.

A partir de 2000 ans BP, on assiste à la progression d'une forêt ombrophile favorisée par des conditions climatiques fraîches. Survient ensuite, à une date estimée à 500 ans AD, une ouverture du milieu attestée par la progression de *Macaranga* et de *Hagenia*. Associé à un pic de *Sinarundinaria* qui serait 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 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. A cette dernière pourrait correspondre la première manifestation du Néoglacaire du Mont Kenya, l'avancée de Tyndall (MAHANEY, 1989), mais aussi la première influence anthropique identifiée, sur base de traces de feux, vers le début du deuxième millénaire AD (MOSCOL & ROCHE, 1997 ; KABONYI, 2007). Après cet

épisode, la forêt dense reprend vigueur surtout marquée par une progression de *Podocarpus* à laquelle succède 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, suivi d'un pic de *Macaranga* pourrait être assimilé à l'avancée de Lewis (MAHANEY, 1989 ; OSMASTON, 1989) du Néoglaciale Est-africain.

Dans la partie supérieure des séquences Musisi 1 et 2, on assiste, au cours des derniers siècles, à l'installation d'une forêt secondaire diversifiée, à caractère mésophile accusé, mais en voie de dégradation à la suite de brûlis dus à une exploitation anthropique intensifiée, cette dernière étant également perçue au sommet des séquences de Ngushu et de Lubirabira.

Les 20 dernières années

(C. Kabonyi Nzabandora, M. Salmon & E. Roche)

Introduction

C'est dans la première moitié du 20^{ème} siècle que furent créés les Parcs Nationaux du Congo. Le premier d'entre eux, le Parc National Albert, aujourd'hui Parc National des Virunga, vit le jour en 1925. Son étendue unissait, sans solution de continuité, la rive Nord du lac Kivu au Massif du Ruwenzori. En 1938 et 1939, deux autres parcs furent créés : le Parc de la Garamba, au Nord de la Province Orientale et le Parc de l'Upemba au Katanga. Placés sous la gestion de l'Institut des Parcs Nationaux du Congo, ces étendues considérables ont fait l'objet d'investigations scientifiques approfondies dont les résultats ont été conservés dans les archives de l'institution précitée. En même temps que les Parcs Nationaux furent créées des réserves forestières, de chasse et de pêche qui bénéficiaient d'une protection particulière. La plus importante de ces réserves, celle de Kahuzi–Biega, créée en 1937, allait, dans les années 70 acquérir le rang de Parc National.

Avant l'indépendance, les Parcs Nationaux avaient un statut de réserve intégrale, leur accès étant strictement limité, ce qui les mettait à l'abri des déprédations. Par la suite, le pouvoir en place a confié leur gestion à l'ICCN (Institut Congolais pour la Conservation de la Nature) qui, tant bien que mal, avec des moyens limités, a tenté de maintenir ce statut antérieur afin de les préserver du braconnage.

Aujourd'hui, les systèmes traditionnels de gestion des ressources naturelles ne peuvent plus faire face efficacement à des situations nouvelles résultant de l'accroissement démographique et ce qu'il entraîne : défrichements pour l'agriculture, surpâturage et besoins en bois de feu accrus.

La dégradation accélérée des paysages forestiers en régions intertropicales menace l'équilibre de nombreux écosystèmes. Face à cette évolution, il importe de faire le point sur la situation actuelle et, après inventaire, d'assurer la préservation des ressources forestières persistantes et d'en assurer une gestion rationnelle à long terme. De même, il importe de redéfinir le rôle des Parcs Nationaux en préservant leur biodiversité tout en s'interrogeant sur l'intérêt qu'ils peuvent représenter pour les populations locales et sur les services qu'ils peuvent leur rendre.

Le Parc National de Kahuzi–Biega

Présentation

Créée en 1937 par l'autorité coloniale, la « Réserve intégrale zoologique et forestière de Kahuzi – Biega », du nom des deux sommets (Kahuzi : 3310m ; Biega :

2790m) dominant la chaîne des Mitumba au N. –O. de Bukavu, couvrait 75 000 ha sur la dorsale occidentale du Kivu. Le mobile principal de cette action était, à l'époque, d'assurer la protection de l'habitat du Gorille de montagne (*Gorilla gorilla graueri*). Réduite momentanément à 60 000 ha lors de la création, en 1970, du Parc National de Kahuzi-Biéga (PNKB), la surface protégée fut portée en 1975 à 600 000 ha par adjonction, à basse altitude, d'un massif forestier s'étendant largement à l'Ouest jusqu'aux confins du Maniema. Ainsi était constituée une entité (1°36' - 2°37' S ; 27°33' - 28°46' E) englobant à la fois une zone submontagnarde de basse altitude relevant du Domaine guinéo-congolais à l'Ouest et une zone de haute altitude relevant du Domaine afromontagnard à l'Est. Afin d'assurer une continuité forestière entre les deux zones, un « couloir écologique » fut établi au niveau de la rivière Lubimbe, au sud du parc.

L'extraordinaire biodiversité de cet ensemble valut au PNKB d'être inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO en 1980.

Problématique

Honoré par l'UNESCO en 1980, le PNKB connut une stabilité relative au cours de la décennie qui suivit. Mais, par la suite, il laissa apparaître des signes d'évolution régressive dus aux multiples agressions dont il fut l'objet dès le début des années 90 : braconnage, intensification de la fabrication de charbon de bois, extension de l'élevage, exploitation minière sauvage (coltan, or), afflux de réfugiés rwandais, actions militaires dévastatrices. Si bien que, en 1997, le statut de ce sanctuaire de biodiversité passa au stade nettement moins enviable de patrimoine en péril.

Objectif

On sait, sur base d'études palynologiques (MOSCOL, 1998 ; MOSCOL & ROCHE, 1997; KABONYI, 2007) que l'action anthropique a commencé à se faire sentir de façon sensible sur la dorsale occidentale du Kivu à partir du 18^{ème} siècle. Toutefois, celle-ci est restée assez marginale au-dessus de 1800 m, la forêt mésophile, bordière du lac Kivu étant plus attractive pour l'installation des populations que les zones élevées, jugées plutôt hostiles étant donné l'humidité ambiante et les températures plus basses. Jusqu'aux premières décennies du 20^{ème} siècle, c'est donc la forêt mésophile qui eut le plus à souffrir de l'anthropisation, subissant une savanisation poussée (LEONARD, 1962). D'autre part, la mise en défens, dès 1937, du milieu afro-montagnard dont LEBRUN (1936) soulignait la zonation altitudinale bien tranchée, a eu comme effet que ce dernier comptait encore en 1980 de beaux massifs de forêt primaire et un étage afro-subalpin à Bambous et/ou Bruyères arborescentes bien développé.

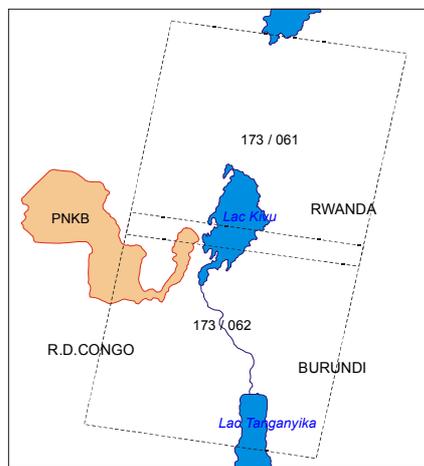
Comme suite aux agressions sévères que le PNKB a subies depuis 1990, l'objectif du présent travail est de faire le point, pour les 20 dernières années, sur l'évolution de sa partie de haute altitude, celle qui présente le plus d'intérêt pour les communautés urbaine (Bukavu) et villageoises riveraines du lac Kivu et qui est aussi la plus accessible du point de vue de la sécurité car la mieux contrôlée par les gardes de l'ICCN.

Méthodologie

Par un système simple de télédétection, il est possible d'analyser la dynamique du couvert végétal et d'évaluer les systèmes régressifs et, éventuellement progressifs de la végétation montagnaise du parc.

Acquisition des images satellitaires

Le site internet <http://earthexplorer.usgs.gov> propose au téléchargement les données d'observation de la terre appartenant à l'US Geological Survey et à la NASA. Il présente gratuitement une très grande collection d'images satellitaires d'archive dont les images acquises par les différentes générations de satellites Landsat (du 23 juillet 1972 à nos jours). Pour couvrir le secteur montagneux à l'Est du Parc National de Kahuzi-Biega, les images satellitaires Landsat 062 de l'orbite 173 sont suffisantes. Un inventaire effectué sur la période s'étalant entre 1975 et 2009 a permis de recenser 23 images. Parmi celles-ci, une sélection de 6 images a été conservée en éliminant les acquisitions ne couvrant que partiellement le territoire, en excluant les images qui n'avaient pas été acquises par le système *Thematic Mapper* (TM) ou son successeur *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), ainsi qu'en évitant les images Landsat 7 acquises après mai 2003 date à partir de laquelle le système *Scan Line Corrector* (SLC) a été désactivé.



| Type | Identifiant | Date | Orbite | Ligne |
|----------------|-----------------------|------------|--------|-------|
| L5 TM | LT51730621986200XXX12 | 19/07/1986 | 173 | 62 |
| L4 TM | LT41730621989216XXX01 | 04/08/1989 | 173 | 62 |
| L5 TM | LT51730621995017XXX02 | 17/01/1995 | 173 | 62 |
| L7 ETM+ SLC-On | LE71730621999260EDC00 | 17/09/1999 | 173 | 62 |
| L7 ETM+ SLC-On | LE71730622002284SGS00 | 11/10/2002 | 173 | 62 |
| L5 TM | LT51730622008261MLK00 | 17/09/2008 | 173 | 62 |

Pré-traitements appliqués

Les images fournies sur ce site internet sont déjà corrigées géométriquement sur base de la projection UTM WGS84 zone 35. Les autres données cartographiques complémentaires (limites du parc, modèle numérique de terrain, mesures GPS, ...) ont toutes été reprojétées sous cette même projection.

Pour permettre de comparer des images acquises sur une longue période et par des capteurs différents, une calibration radiométrique a été effectuée pour passer des valeurs numériques

propres à chaque image aux valeurs physiques (luminance spectrale) mesurées au niveau du capteur. Les valeurs $L_{min\lambda}$ et $L_{max\lambda}$ sont fournies dans le fichier de paramétrage joint aux images.

$$L_{\lambda} = ((L_{max\lambda} - L_{min\lambda}) / (QCAL_{max} - QCAL_{min})) * (QCAL - QCAL_{min}) + L_{min\lambda}$$

Où :

L_{λ} = la luminance spectrale au niveau du capteur en $w/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$

QCAL = la valeur numérique du pixel

$L_{min\lambda}$ = la luminance spectrale adaptée à QCAL_{min} en $w/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$

$L_{max\lambda}$ = la luminance spectrale adaptée à QCAL_{max} en $w/(m^2 \cdot ster \cdot \mu m)$

QCAL_{min} = la valeur numérique minimale correspondant à $L_{min\lambda}$ (égal à 1)

QCAL_{max} = la valeur numérique minimale correspondant à $L_{max\lambda}$ (égal à 255)

L'application de cette formule aux bandes 1 (bleu), 2 (vert), 3 (rouge) et 4 (proche infrarouge) de toutes les images, ainsi que les traitements qui suivent, se sont faits au moyen du module *Model Maker* du logiciel *Erdas Imagine 9.1*.

Toutes les images ont été découpées sur base de la limite du Parc National et en se limitant à la partie de haute altitude.

Calcul de l'indice normalisé de végétation

Le *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) a été calculé pour chacune des 6 dates. Il consiste à calculer un ratio entre les valeurs des pixels des bandes 3 (rouge) et 4 (proche infrarouge) d'une même image. Il se base sur le fait que la végétation a un comportement très caractéristique ; elle réfléchit très peu dans le rouge et par contre très fort dans le proche infrarouge. Ce calcul est très efficace pour déterminer la présence de végétation, mais aussi pour évaluer l'importance de la biomasse végétale et l'intensité de l'activité de photosynthèse.

$$NDVI = (L_{IR} - L_R) / (L_{IR} + L_R)$$

où NDVI = l'indice normalisé de végétation borné entre -1 et +1

L_{IR} = la luminance spectrale au niveau du capteur mesuré pour la bande 4 (infrarouge)

L_R = la luminance spectrale au niveau du capteur mesuré pour la bande 3 (rouge).

Ensuite, il a été fait une soustraction des résultats entre dates, deux par deux : entre 1986 et 1989, entre 1989 et 1995, entre 1995 et 1999, entre 1999 et 2002 et entre 2002 et 2008. Enfin, un seuillage a été opéré sur le résultat : les valeurs inférieures à 0 marquant une dégradation du couvert végétal ont été colorées en rouge, les valeurs proches de 0 montrant une stabilité en vert clair et les valeurs supérieures à 0 affichant une progression en vert foncé. Les pixels présentant des nuages sur au moins une des deux dates n'ont pas été classés et ont été repris en blanc.

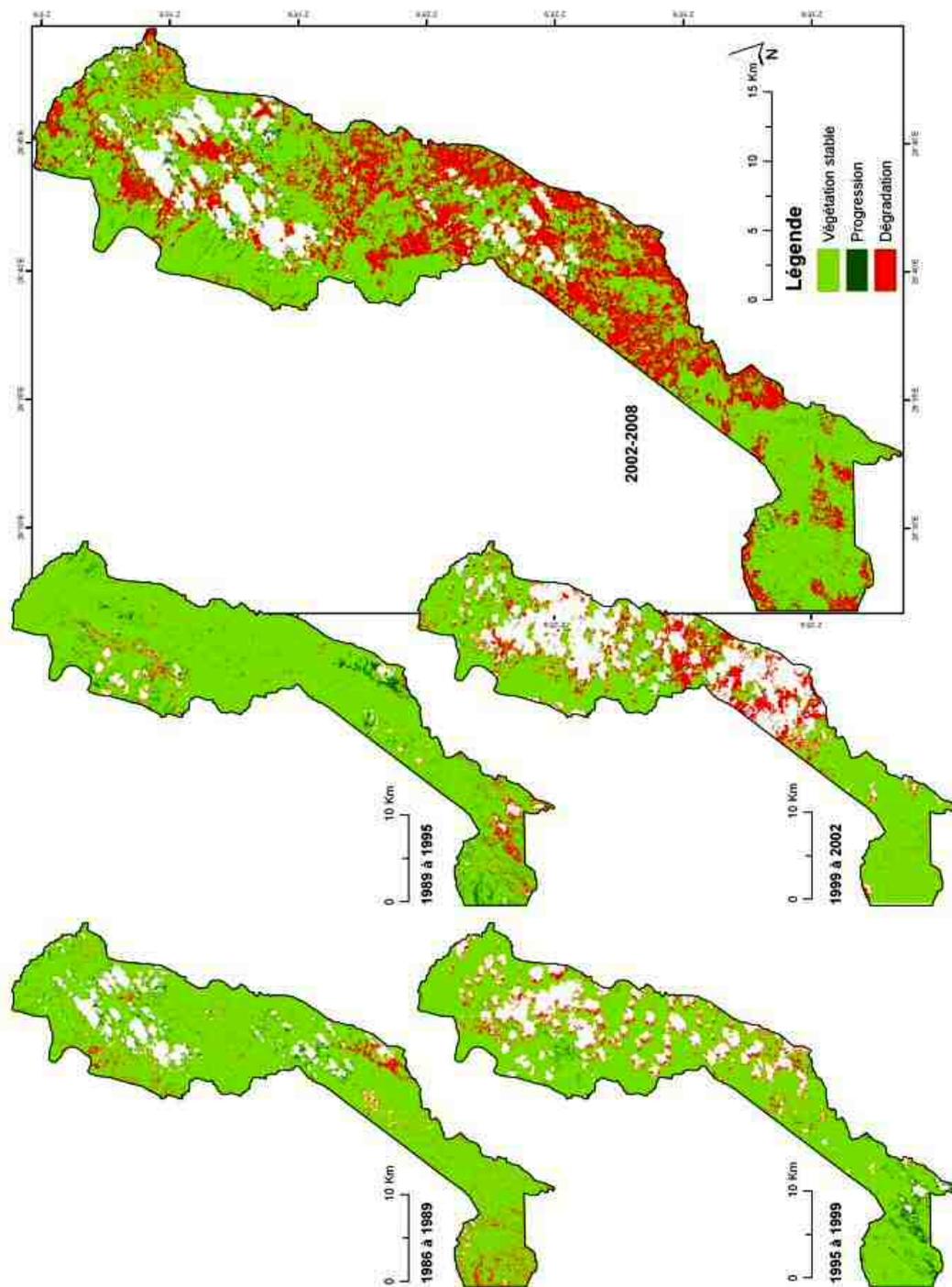


Figure 17 : Evolution de la végétation de la haute altitude du PNKB à différentes périodes entre 1986 et 2008.

Observations

L'imagerie satellitaire a permis la reconstitution de 5 cartes montrant de façon simple et compréhensible l'évolution environnementale du secteur « haute altitude » du PNKB sur une période de 22 ans, de 1986 à 2008 (Fig.17).

Le PNKB a peu changé pendant la première décennie qui a suivi son inscription, en 1980, au patrimoine mondial de l'UNESCO.

De 1986 à 1989, on remarque une dégradation modérée dans le couloir écologique et dans le Nord-Ouest du Parc. Elle est plus marquée, quoique localisée, sur le plateau se situant, à l'Est, au pied du Mont Biega.

De 1989 à 1995, la dégradation s'aggrave dans le couloir, tout en se déplaçant vers l'Est alors qu'à l'Ouest on enregistre une amélioration ; tout comme sur le plateau du Biega où la forêt s'est régénérée et a même progressé. Au Nord-Ouest, la situation est restée stable.

De 1995 à 1999, on constate paradoxalement une phase de régénération dans le couloir écologique tandis que pour le reste de la zone de haute altitude on perçoit l'ébauche d'une secondarisation.

Entre 1999 et 2002, la situation est stabilisée dans le couloir mais la dégradation est très marquée dans la zone médiane du Parc et elle s'intensifie dans le Nord.

Enfin, de 2002 à 2008, la secondarisation gagne la totalité du secteur de haute altitude alors que le pourcentage des zones stables s'amenuise et qu'on n'observe plus aucun signe de régénération.

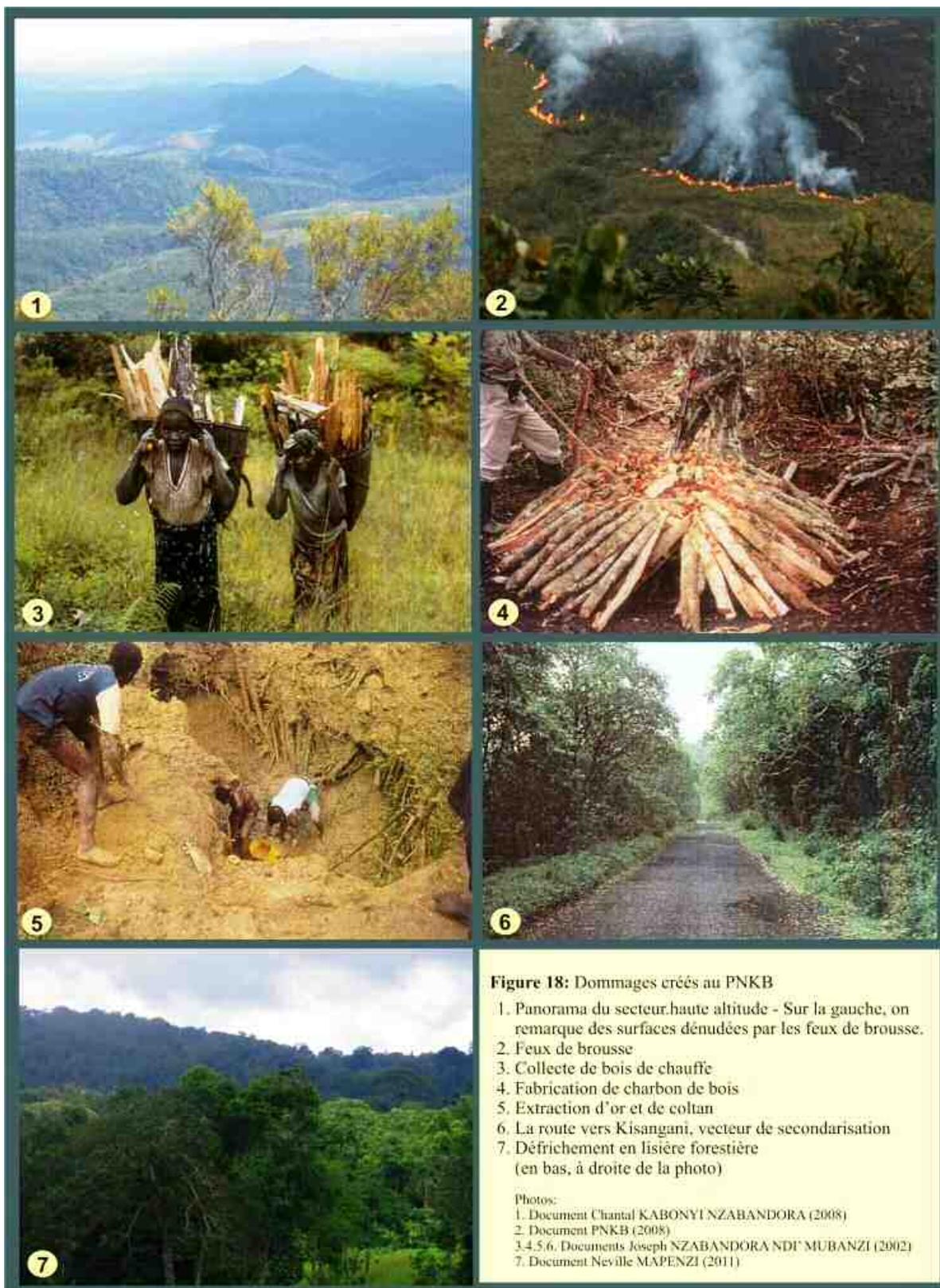
Tentative d'explication

Les bonnes terres arables de la partie « haute altitude » du PNKB se situent dans le couloir écologique et sur le plateau situé à l'Est du massif de Biega (PECROT & LEONARD, 1960). Après l'indépendance, lors de la nationalisation par l'Etat Congolais d'exploitations abandonnées, des activités agro-pastorales se sont poursuivies modérément dans la partie Nord du couloir écologique. Mais, à partir de 1990, lorsque les premiers titres fonciers ont été octroyés aux populations locales une exploitation illégale s'est intensifiée. L'occupation du plateau du Biega pourrait, elle, s'expliquer par la proximité de la ville de Bukavu et la pression démographique exercée par la ville en expansion. Il semble que dans ce cas, le problème ait été maîtrisé puisqu'on constate une rentrée dans l'ordre assez rapide. A moins que la situation politique chaotique régionale dont les prémices remontent à 1990 ait créé un sentiment d'insécurité, aggravé d'ailleurs par l'arrivée en masse de réfugiés Hutus Rwandais en 1994. La régénération constatée dans le couloir écologique entre 1995 et 2002 pourrait s'expliquer de la même manière, les populations locales hésitant à occuper une situation trop excentrique par rapport au chef-lieu de la Province en période de troubles.

Le déclenchement des guerres de libération du Congo impliquant divers pays de la région et des groupes armés de tendances diverses ont ensuite, entre 1996 et 2002, créé une situation dramatique se traduisant par des hécatombes et des déplacements de populations. Ainsi, la dégradation des parties médiane et Nord de la zone de haute altitude s'expliquerait par la fuite de réfugiés dans la forêt de montagne alors que les troupes de l'ONU avaient réussi à les contenir en dehors jusque là. Toutefois, malgré la guerre, l'exploitation minière d'or et de coltan a débuté en 1999, sous le contrôle de divers groupes armés qui pouvaient ainsi financer leurs opérations militaires. Par ailleurs, dès 2000, des titres fonciers ont été attribués illégalement par manque de coordination des services d'un Etat Congolais

désorganisé. La paix revenue en 2003 n'a pas empêché les activités agricoles et minières de progresser si bien qu'aujourd'hui la situation du Parc est très préoccupante.

Après l'an 2000, les déprédations ont continué sans désespérer (Fig.18). La partie « basse altitude » reste pratiquement une zone de non-droit. Dans le corridor écologique, les éleveurs déboisent pour étendre leurs pâturages et leurs cultures et érigent des habitations⁽²⁾, les exploitations de coltan s'étendent aux pieds des Monts Kahuzi et Biega⁽³⁾, l'exploitation du Bambou à usage domestique (matériau de construction : habitations, palissades) qui dévaste chaque année 6% de la Bambousaie (MUNYULI, 2001 ; AMANI et al., 2008) et les coupes de bois pour la fabrication du charbon sont en expansion⁽²⁾ ; cette dernière activité représentant quelque 90 ha de déforestation par an⁽³⁾. Signalons également qu'en plus de ces agressions anthropiques s'ajoute, ces dernières années, la prolifération naturelle d'une liane, *Sericostachys scandens*, espèce héliophile favorisée par les feux de brousse ; ce qui entraîne, dans certains secteurs, la dégradation du milieu forestier et l'expansion de prairies de substitution (MASUMBUKO, 2012). Les seuls résultats positifs engrangés jusqu'ici c'est que le projet ICCN/PNKB/GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) a réussi à récupérer 3000 ha exploités illégalement et que l'annulation des titres de propriétés illégaux devrait se poursuivre⁽⁴⁾ tandis que les gardes du Parc veillent à empêcher toute nouvelle infraction⁽¹⁾. D'autre part, il semble que les autorités locales ont pris conscience de l'importance de préserver ce massif forestier de la crête des Mitumba qui protège les régions sous-jacentes des phénomènes érosifs désastreux tels ceux qui se sont produits à Uvira (ILUNGA, 2006) et qui contribue à la conservation des zones humides d'altitude qui constituent une réserve d'eau appréciable pour l'avenir.



Remarques conclusives

La situation actuelle du PNKB est préoccupante car sa détérioration s'accélère ces dix dernières années et celle-ci est exclusivement d'origine anthropique. On constate d'ailleurs que, après l'abandon de certaines zones dégradées, la régénération peut se faire en quelques années et qu'une stabilité s'installe. RUNGE (2007) avait déjà souligné le fait qu'après une période de crise, la forêt pouvait regagner naturellement et rapidement du terrain perdu. Sous le climat actuel, favorable à une expansion forestière, une phytodynamique progressive pourrait s'installer (HABIYAREMYE & ROCHE, 2003). En conséquence, pour en revenir à la situation de 1980, une protection intégrale de la zone de « haute altitude » s'impose. Mais pour arriver à un résultat tangible, il faudrait un changement radical des mentalités, tant au niveau des décideurs que des populations locales.

Référence :

Encyclopédie WIKIPEDIA : *Les guerres du Congo*

⁽¹⁾ source : **PNKB**

⁽²⁾ source : **ICCN**

⁽³⁾ source : **Dian Fossey Gorilla Fund**

⁽⁴⁾ Revue : « **Le Gorille** » n°17, 2007

EVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT REGIONAL

La zone bordière du Kivu

En comparant les sites relevés au pied du Kahuzi avec divers sites étudiés antérieurement par VILIMUMBALO (1993-inédit ; 1995) entre 1500 m et 2400 m d'altitude, on apporte un complément d'information sur l'évolution environnementale de la face orientale de la dorsale des Mitumba. Ces différents sites sont, par ordre d'altitude décroissante : Kakala (2375 m ; 3°18' S – 28°42' E), Kalwira (1920 m ; 2°32' S – 28°46' E), Mugeru (1550 m ; 2°39' S – 28°52' E), Kamagama (1510 m ; 3°18' S – 8°48' E) et Mukukwe (1470 m ; 2°30' S – 28°51' E).

Pendant l'Optimum Humide Holocène, de 10000 à 7000 ans BP lorsque le Kivu était à son plus haut niveau (+ 100m), les marais de moyenne ou de basse altitude étaient, soit transformés en lacs, comme ceux de haute altitude (BOUTAKOFF, 1939 ; RUNGE, 2001), soit ennoyés s'ils se trouvaient sous 1600 m (VILIMUMBALO, 1995). L'archivage palynologique Holocène n'a donc pu commencer que lorsque les lacs ont évolué en tourbières, après 6500 ans BP, ou après un hiatus sédimentaire correspondant à l'ennoyage.

Les diagrammes produits par VILIMUMBALO (1993, 1995) ont été repris et discutés par RUNGE (2001a) et KABONYI (2007). Dans le présent travail, ne seront comparés que des spectres polliniques les plus proches dans le temps, ce qui permettra de cerner certains aspects particuliers de la végétation à différents étages du milieu afro-montagnard à des moments déterminés (Fig. 19 à 22).

A Kakala, le diagramme pollinique décrit par VILIMUMBALO (1993-inédit) s'inscrit dans l'évolution générale de nos sites de haute altitude. Avant la date ^{14}C de 5150 +/- 60 BP (Lv.1931) on remarque cependant la présence à cet endroit d'une forêt à forte tendance ombrophile, héritée de l'Optimum Humide Holocène, avant que ne viennent s'y insérer des éléments afro-subalpins, témoins d'un refroidissement annonciateur de la phase sèche de 4000 ans BP. Dans la fig.19 qui retrace l'évolution du milieu montagnard entre ca. 5200 ans BP et ca. 4500 ans BP, on constate que le caractère ombrophile est plus marqué à Kakala et qu'il s'estompe au cours du temps dans les ensembles forestiers plus hétérogènes de Cishaka et Lubirabira.

A Kalwira, site de moyenne altitude, l'évolution du milieu forestier se présente en deux phases distinctes, l'une antérieure, l'autre postérieure à la seule date dont on dispose : 1050 +/- 50 BP (Lv.1930). A défaut d'autres datations disponibles, on peut raisonner sur base de corrélations établies avec des séquences de référence mieux datées (KABONYI, 2007). L'enchaînement des événements révélés par l'analyse palynologique permet alors de dégager des analogies autorisant certaines déductions. Ainsi, à Kalwira, la phase forestière couvrant le premier millénaire AD (et vraisemblablement une partie du 1^{er} millénaire BC) se présente sous forme de trois aspects bien tranchés : une forêt ombro-mésophile à nette dominance de *Podocarpus*, infiltrée par des éléments afro-subalpins, évolue vers un stade ouvert graminéen (de ca. 500 AD ?) puis vers une forêt dense où *Podocarpus* cède le pas à un ensemble de taxons diversifiés. Dès le début du second millénaire AD, cette forêt entame une régression continue alors que s'installent des savanes de substitution, ce qu'atteste la nette progression des Poaceae (VILIMUMBALO, 1995). En comparant les spectres polliniques de dates proches de l'an 1000 de notre ère, on constate qu'à Musisi (2193 m), le milieu forestier présente un aspect plutôt homogène modérément ouvert alors qu'à Kalwira (1920 m), il est nettement plus clairié et qu'à Mugeru (1550 m), le développement d'étendues savaniques est plus accentué encore.

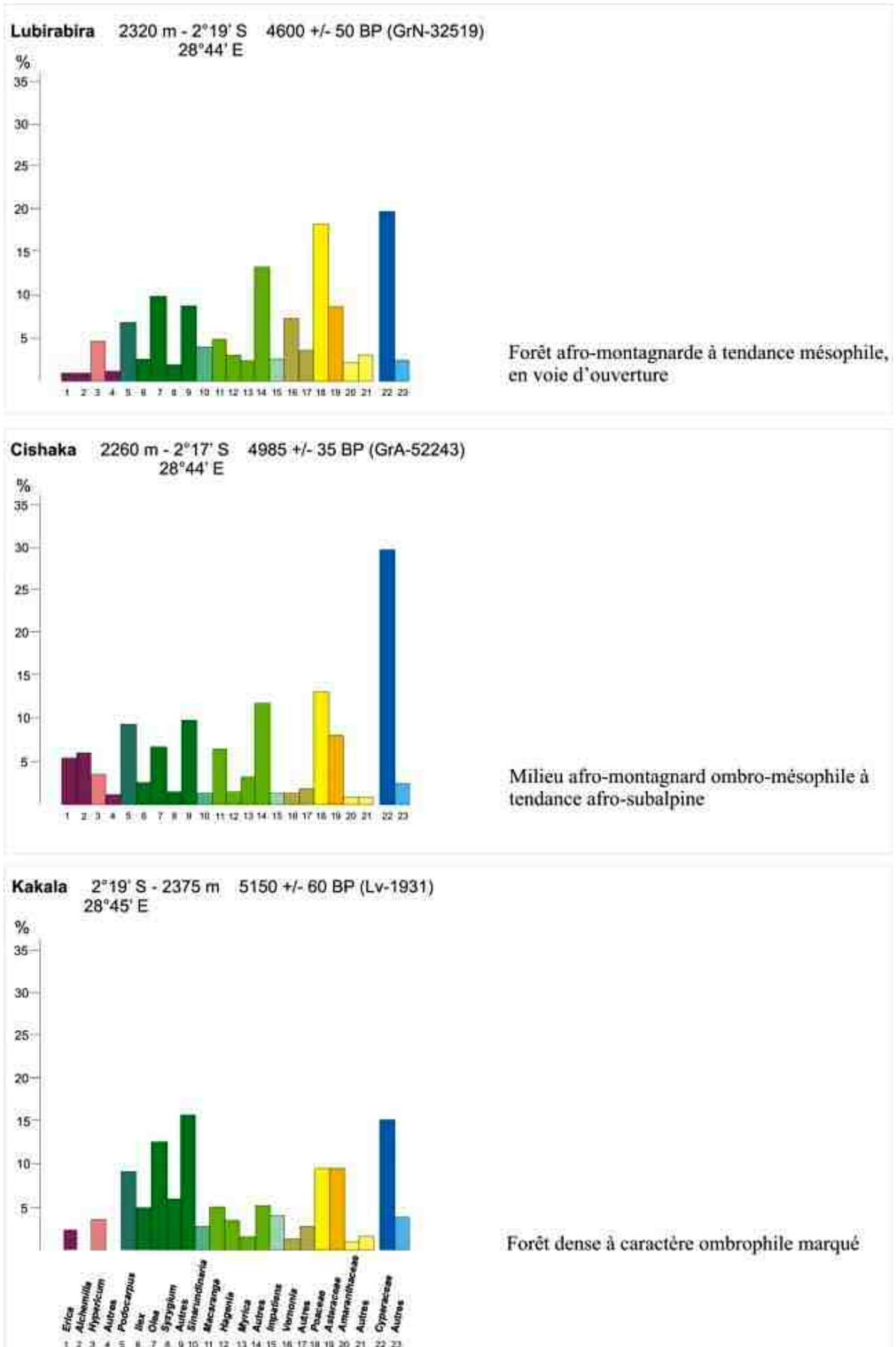


Figure 19 : Evolution du milieu afro-montagnard entre ca. 5200 ans et ca 4500 ans BP.

Cette progression des milieux ouverts, sous 2000 m d'altitude (Fig. 20), serait la première manifestation indéniable d'une secondarisation d'origine anthropique dans la région (KABONYI, 2007).

Le profil de Mugeru ne semble pas avoir enregistré plus de 2000 ans de sédimentation pollinique. Au début de la séquence, deux expansions forestières encadrent un retrait qui correspondrait à la pulsation froide et sèche du 6^{ème} siècle AD. Après cela, la forêt acquiert un caractère plus mésophile au cours des premiers siècles du deuxième millénaire AD tandis qu'une association à *Syzygium* et *Myrica* s'installe dans un marais à nappe phréatique « oscillante » (DEUSE, 1966). Ces situations traduiraient les premiers effets du « Néoglaciale » d'Afrique de l'Est (OSMASTON, 1989). Par la suite, une action anthropique s'intensifiant, entraîne une importante expansion des savanes.

La séquence de Mukukwe est la seule de basse altitude à avoir archivé des événements pré-holocènes. Par extrapolation, on peut situer la base du profil à ca 13000 ans BP. De ce fait, l'importante expansion des Poaceae dans le mètre d'argile silteuse basale peut être considérée comme l'enregistrement du Dryas récent (Young Dryas). Y fait suite, à la transition Pléistocène-Holocène et ce jusqu'à 9500 ans BP, une importante progression forestière afro-montagnarde à dominance de *Podocarpus* et d'*Olea*, assortie de l'expansion d'une forêt marécageuse à *Syzygium (cordatum)* ; ce qui indiquerait un réchauffement climatique sous une pluviosité encore modérée (BOUXIN, 1973 ; VILIMUMBALO, 1995). Après 9500 ans BP (9270 +/- 130 BP – Lv.1927), date estimée du débordement des eaux du Kivu vers le Tanganyika, le passage d'un dépôt tourbeux à de l'argile silteuse où n'est pas observée une progression de forêt dense caractérisant l'Optimum Humide Holocène, incite VILIMUMBALO (1995) à considérer l'existence d'une lacune sédimentaire correspondant à cette période (9000-6000 ans BP) pendant laquelle le lac aurait submergé la tourbière. En ce qui concerne le dépôt d'argile silteuse qui serait donc postérieur à l'Optimum Humide, on constate, sur base de la datation ¹⁴C de 1440 +/- 60 BP (Lv.1926) qu'y a été enregistrée la pulsation froide et sèche du 6^{ème} siècle AD. Ensuite, le milieu forestier connaît une nouvelle progression avant de subir un dernier retrait d'origine anthropique.

Par extrapolation, sur base des datations disponibles, on peut estimer que l'histoire de la végétation, révélée par le diagramme de Kamagama, débute à 7000 ans BP. A partir de cette date et jusqu'à ca. 5000 ans BP, une forêt plutôt dense où la tendance mésophile s'affirme progressivement, occupe le terrain. Vers 4000 ans BP (4040 +/- 60 BP – Lv.1804) cet ensemble régresse sous l'effet d'une pulsation climatique froide/sèche pour céder la place à de vastes espaces graminéens ; ceux-ci s'inscrivent dans l'évolution observée à haute altitude où une forêt méso-ombrophile évolue vers un milieu ouvert à prairies montagnardes naturelles, ca. 4000 BP, pour retourner ensuite à un milieu forestier plus fermé lorsque les conditions climatiques sont à nouveau favorables (Fig. 21).

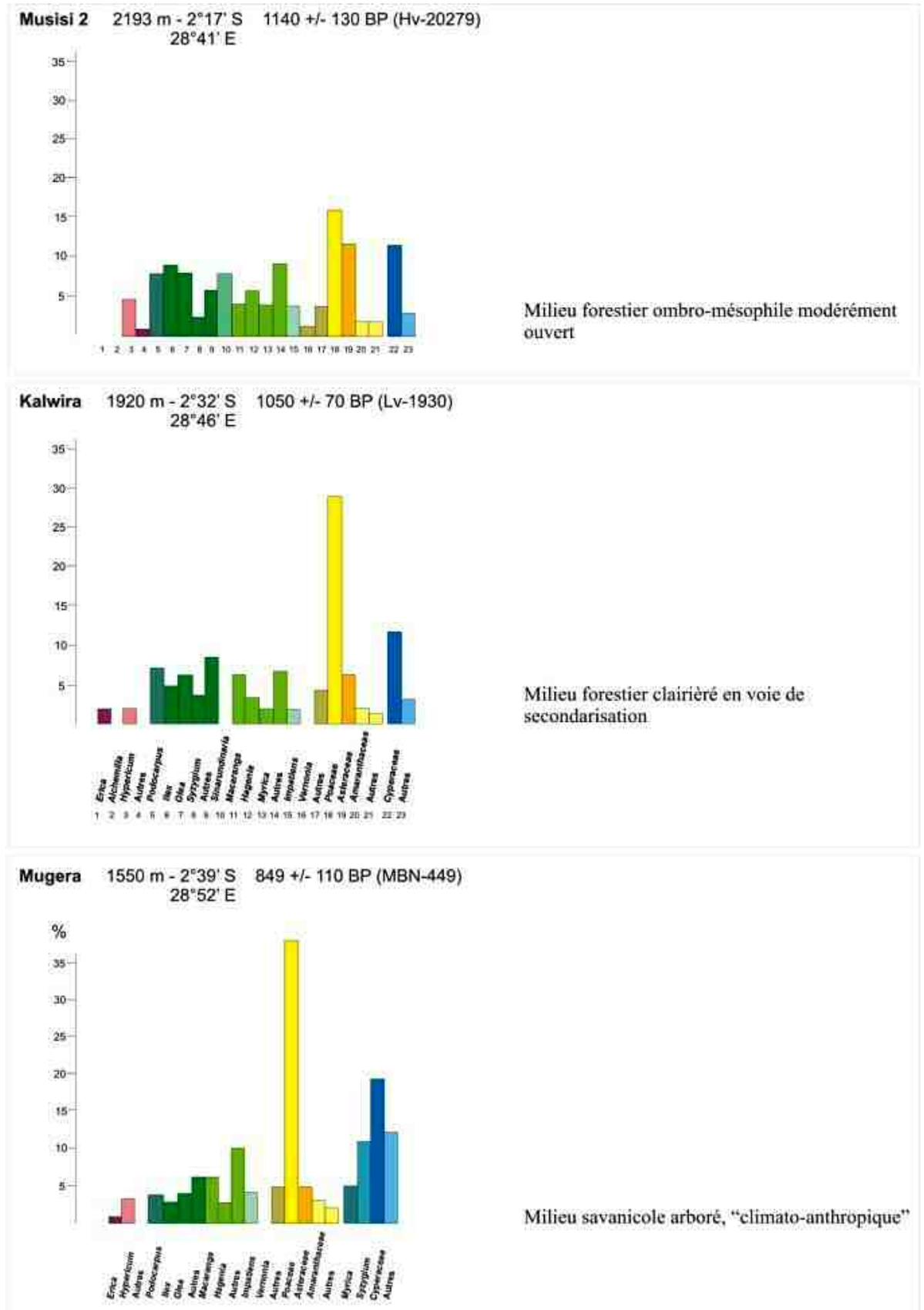


Figure 20 : Aspect de la végétation à différentes altitudes aux alentours du 1er millénaire A.D.

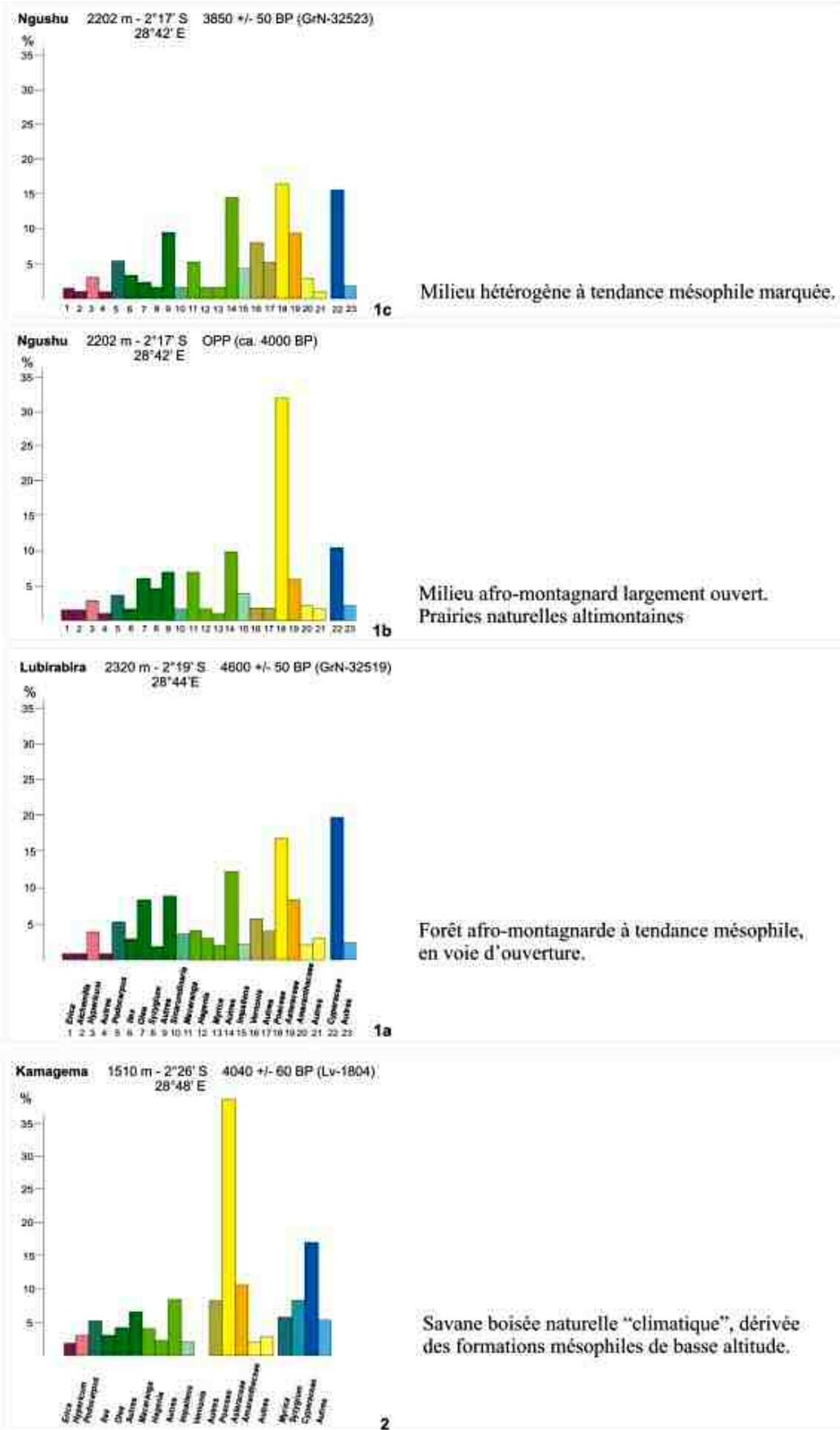


Figure 21 : Comparaison entre un site de basse altitude de ca. 4000 ans BP (2) avec l'évolution des étages supérieurs de la forêt afro-montagnarde entre ca. 4500 et ca. 3800 ans BP (1a - 1b - 1c)

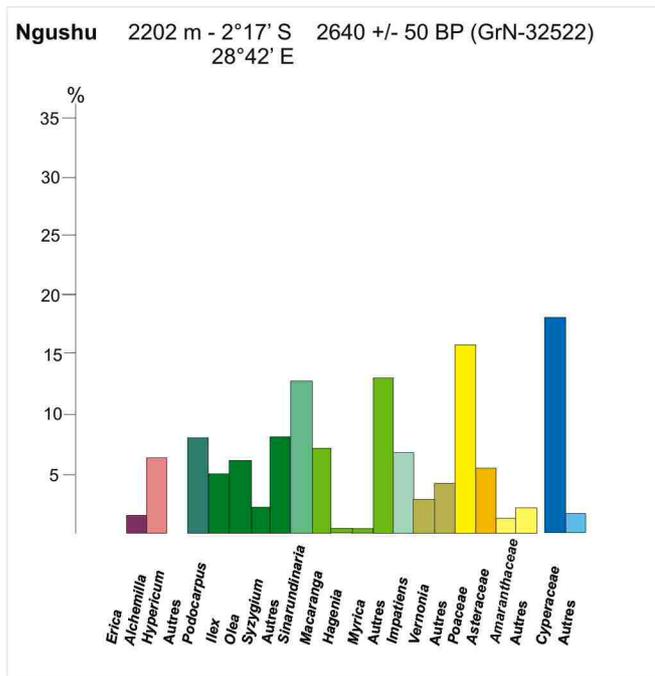
Après quoi, une alternance de milieux ouverts et fermés traduit une certaine instabilité climatique qui se prolonge jusqu'au début de notre ère. L'amorce, ca 2600 ans BP, de cette période à pluviosité en baisse et contrastée est perçue à Kamagama par une nouvelle avancée des savanes alors qu'à Ngushu et à Cishaka, le Bambou est en expansion dans un milieu afro-montagnard hétérogène (Fig. 22). A partir de 2000 ans BP, l'évolution de l'environnement s'apparente à celui des autres sites de basse altitude. La première phase post-2000 correspond à la réinstallation d'une forêt hétérogène à laquelle succède une expansion savanicole comme à Kalwira et Mugeru. Le marécage à *Myrica* et *Syzygium* de ce dernier site se retrouve à Kamagama mais cette phase d'assèchement est précédée ici d'une expansion des Cyperaceae caractérisant un marais dont la nappe phréatique serait affleurante (DEUSE, 1966) et qui se serait développé sous des conditions climatiques plus humides. Ensuite, s'observe un regain forestier mésophile temporaire avant la secondarisation définitive du milieu.

Un aperçu global de la situation montre que l'analyse pollinique de séquences sédimentaires relevées à des altitudes diverses sur le flanc oriental de la dorsale des Mitumba met en évidence des événements environnementaux corrélables entre les différents sites et qui aboutissent à une bonne concordance entre les milieux de haute et de basse altitude.

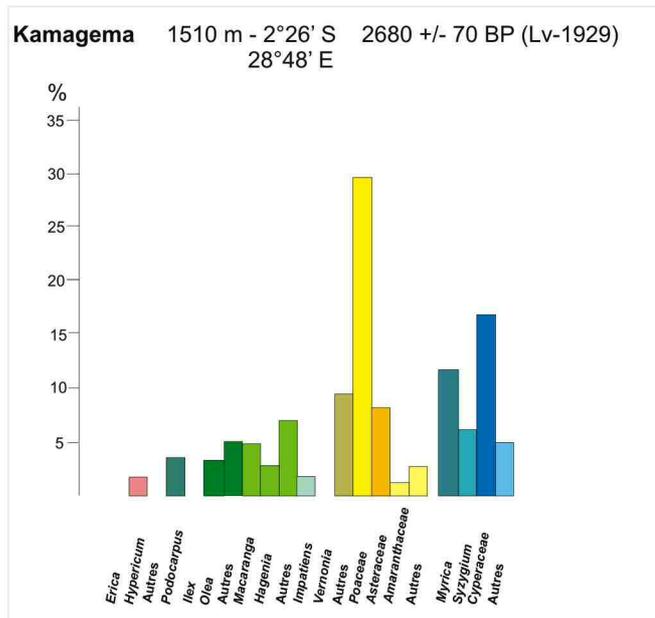
Pour le Pléistocène supérieur, le site de Cishaka (haute altitude) a enregistré une période assez large englobant le DMG (= LGM) et le DR (= YD). A Mukukwe (basse altitude) seule la dernière période a été archivée ; elle correspond à une importante expansion savanicole qui, à Cishaka, équivaut à une régression forestière assortie d'une avancée de prairies altimontaines. A basse altitude, l'Holocène précoce se manifeste par une progression forestière ; de cet événement on n'a pas trouvé d'équivalent à haute altitude par suite d'un hiatus sédimentaire.

L'Optimum Humide Holocène (10000-7000 ans BP) n'a été enregistré dans aucun des sites recensés ; les conditions climatiques étant, à cette époque, davantage favorables au développement d'étendues lacustres plutôt qu'à la formation de milieux marécageux. Ces derniers ont par ailleurs commencé à se former à des périodes différentes selon les conditions locales de dépôt propres aux différents milieux considérés. Dans les sites de haute altitude, la période de transition entre l'Optimum Humide Holocène et la phase sèche de 4000 ans BP se caractérise par le développement d'une forêt hétérogène ombromésophile dont le caractère mésophile s'accroît au cours du temps. A 4000 ans BP, des prairies montagnardes occupent de larges espaces au sein de la forêt alors qu'en moyenne et basse altitudes, on assiste à l'expansion de savanes dérivées naturellement du milieu forestier mésophile. Après cette crise climatique, on remarque que la forêt se reconstitue à tous les niveaux de la dorsale.

Une nouvelle période d'instabilité climatique s'installe de ca 2600 à ca 2000 ans BP ; identifiée à haute altitude (Ngushu ; Cishaka) par des « phases à Bambous », elle se traduirait à moyenne altitude (Kalwira) par une succession d'avancées et de reculs de *Podocarpus* associé à des éléments afro-subalpins dans le milieu forestier (VILIMUMBALO, 1993 – Inédit). Par ailleurs, la sédimentation argilo-silteuse d'une certaine ampleur observée à Kalwira serait le reflet d'une érosion des pentes accélérée analogue à celles observées à Ngushu et Cishaka ainsi que dans les dépôts terrigènes du lac Kivu (ALEXANDRE et al., 1992). A basse altitude (Kamagama), durant cette période, on assiste à une succession, en alternance, d'épisodes savanicoles et d'épisodes forestiers mésophiles (VILIMUMBALO, 1993 – Inédit).



Milieu forestier montagnard hétérogène
à tendance ombro-mésophile.



Savane boisée mésophile, "climatique"

Figure 22 : Comparaison de deux milieux boisés, l'un de haute altitude, l'autre de basse altitude vers 2700-2600 ans B.P.

Au cours du premier millénaire AD, une progression forestière interrompue temporairement par une avancée de milieux ouverts due à la pulsation climatique froide et sèche du 6^{ème} siècle, se poursuit jusqu'au début du 11^{ème} siècle, date à laquelle une dégradation d'origine anthropique commence à se faire jour sur les pentes inférieures de la dorsale.

Si l'occupation de la zone bordière du Kivu par de petites communautés de l'Age du Fer ancien au cours des premiers siècles de notre ère ne semble pas avoir eu un impact déterminant sur l'environnement, par contre, l'arrivée de populations de l'Age du fer récent venues du Nord-Est entre le 9^{ème} et le 12^{ème} siècle semble être à l'origine des premiers déboisements sérieux dans la région (LEONARD, 1962) et ce jusqu'aux lisières de la forêt dense afro-montagnarde (KABONYI, 2007).

Après un intermède d'abandon relatif du milieu, vraisemblablement consécutif de conditions climatiques défavorables liées à la période Néoglaciale d'Afrique de l'Est, on constate qu'à l'arrivée au 17^{ème} siècle de nouvelles peuplades allochtones pastorales a dû correspondre à la transformation profonde du paysage forestier (LEONARD, 1962). C'est à cette époque que remontent les premières dégradations évidentes dues au feu dans les horizons supérieurs de la forêt ombrophile, phénomène qui s'amplifiera par la suite (KABONYI, 2007).

Cette évolution de la savanisation attire l'attention sur la différence entre les prairies altimontaines et les savanes « climatiques » dérivées naturellement de milieux boisés et à partir desquelles une reconstitution forestière se réalise aisément et les savanes « anthropiques » résultant d'une exploitation agressive du milieu naturel aux effets souvent irréversibles. SCHWARTZ *et al.* (1995) avaient déjà mis en lumière cette distinction nécessaire pour pouvoir procéder à une interprétation correcte de l'évolution de l'environnement en Afrique de l'Ouest.

La dorsale orientale

La végétation naturelle

La végétation naturelle du Rwanda ne représente plus guère actuellement que 4,5 % de la surface du pays qui ne compte plus que trois massifs forestiers de quelque importance : le Parc National des Volcans au Nord-Ouest où on peut encore observer, au-dessus de 2000 m d'altitude, la forêt dense afro-montagnarde et des milieux afro-subalpins et afro-alpins, la forêt de Nyungwe, au Sud-Ouest où la forêt ombrophile de montagne est encore préservée et le Parc National de l'Akagera, à l'Est, qui comporte encore de vastes espaces de savanes boisées et herbeuses et des groupements forestiers xérophiles.

Les milieux naturels du Rwanda, y compris les milieux résiduels mésophiles et sclérophylles qui existaient encore dans les années cinquante, ont été abondamment décrits par divers auteurs : LEBRUN (1936, 1942, 1956, 1960a, 1960b, 1960c), DEVRED (1958), LIBEN (1960, 1962), TROUPIN (1966), BOUXIN (1973, 1974, 1977), HABİYAREMYE (1993, 1997), HABİYAREMYE & LEJOLY (1994). On en reprend ci-après les traits principaux qui permettent d'appréhender l'analyse palynologique de séquences sédimentaires ayant archivé l'histoire de la végétation Holocène régionale.

La végétation naturelle des régions montagneuses du Rwanda, la crête bordière orientale du Kivu, ou dorsale Congo-Nil, à l'Ouest, et la chaîne volcanique des Virunga au Nord-Ouest présente la zonation suivante :

La haute montagne, au-dessus de 3000 m d'altitude est le domaine des formations afro-subalpines et afro-alpines à *Alchemilla*, *Ericaceae* div., *Helichrysum*, *Lobelia*, *Senecio*

div.sp. Sur les Virunga, on rencontre, entre 3000 m et 3200 m, une formation spécifique de cette chaîne volcanique : la Forêt-parc à *Hagenia abyssinica* et *Hypericum lanceolatum*, absente sur la dorsale.

Entre 2800 m et 1800 m, se développe la forêt ombrophile de montagne à *Podocarpus usambarensis*, *Cassipourea ruwenzoriensis*, *Ekebergia capensis*, *Entandrophragma excelsum*, *Ficalhoa laurifolia*, *Galiniera coffeoides*, *Ilex mitis*, *Olea capensis* (= *O. hochstetteri*), *Symphonia globulifera*, *Syzygium parvifolium*. Au-dessus de l'étage de cette forêt dense et constituant le prolongement de son horizon supérieur, on recense, entre 2800 m et 3000 m, *Podocarpus milanjanus*, *Afrocrania volkensii*, *Philippia johstonii*, *Sinarundinaria alpina*.

La secondarisation de la forêt dense aboutit à la formation de peuplements remaniés d'essences héliophiles parmi lesquelles on dénombre : *Bridelia brideliifolia*, *Hagenia abyssinica*, *Harungana madagascariensis*, *Macaranga neomidbraediana*, *Maesa rufescens*, *Neoboutonia macrocalyx*, *Polyscias fulva*.

Autrefois, des forêts mésophiles occupaient les altitudes inférieures des escarpements entre 1800 m et 1600 m d'altitude (LEBRUN, 1956). Elles étaient constituées notamment de : *Albizia gummifera*, *Carapa grandiflora*, *Fagara mildbraedii*, *Milletia dura*, *Parinari mobola*, *Sapium ellipticum* et assuraient la transition, à l'Est, vers des savanes tropophiles plus ou moins densément boisées du Plateau central (Région des Collines) et, au Nord, vers des forêts sclérophylles submontagnardes de la Plaine de lave, au pied des volcans. Ces dernières formations qui ont cédé la place aux cultures sont réduites aujourd'hui à l'état de reliques.

Dans les années cinquante, LEBRUN (1956, 1960) a encore reconnu quelques peuplements sclérophylles sur la Plaine de lave ; ils étaient constitués de : *Carissa edulis*, *Cussonia holstii*, *Grewia similis*, *Maytenus acuminata*, *Myrica salicifolia*, *Olea chrysophylla*, *Rhamnus prinoides*, *Rhus vulgaris*, *Teclea nobilis*. La région des collines présentait encore à l'époque, entre 1700 m et 1500 m, des espaces occupés par de la savane boisée à *Acacia* div.sp., *Allophylus africanus*, *Combretum molle*, *Erythrina abyssinica*, *Euphorbia* div.sp., *Ficus* div.sp., *Hymenocardia acida*, *Markhamia lutea*, *Maytenus heterophylla*, *Olea europea* var. *africana*, *Parinari curatellifolia*, *Protea* sp., *Zanthoxylum chalybaeum*. Les fonds de vallées du Plateau central sont occupés par de vastes marais à papyrus. Jadis frangés par des forêts galeries, ils sont envahis localement par un groupement colonisateur des marécages à *Ficus verruculosa*, *Myrica kandtiana* et *Syzygium cordatum*.

Les dépôts tourbeux

Au Rwanda, les tourbières se rencontrent un peu partout à des altitudes très variées : la morphologie particulière du pays et le réseau hydrologique complexe qui en est résulté ont favorisé, en altitude comme dans les dépressions orientales, la formation de milieux favorables à la genèse de dépôts sédimentaires tourbeux. C'est toutefois au-dessus de 1700 m qu'on rencontre la plus forte densité de tourbières car, à haute altitude la tourbe se forme naturellement dans tous les milieux humides. Les tourbières les plus importantes de la dorsale Congo-Nil se rencontrent dans de grandes vallées barrées comme la dépression de la Kamiranzovu en forêt de Nyungwe au Sud-Ouest ou les marécages qui font partie du vaste complexe fluvio-lacustre entourant les lacs Bulera et Ruhondo au Nord. L'activité turfigène y remonte parfois au Pléistocène supérieur. Sur le plateau central, des dépôts sablo-tourbeux et argilo-tourbeux de faible épaisseur dont l'ancienneté n'excède pas les trois derniers millénaires, colmatent des fonds de vallées encaissées. Enfin, dans les grands

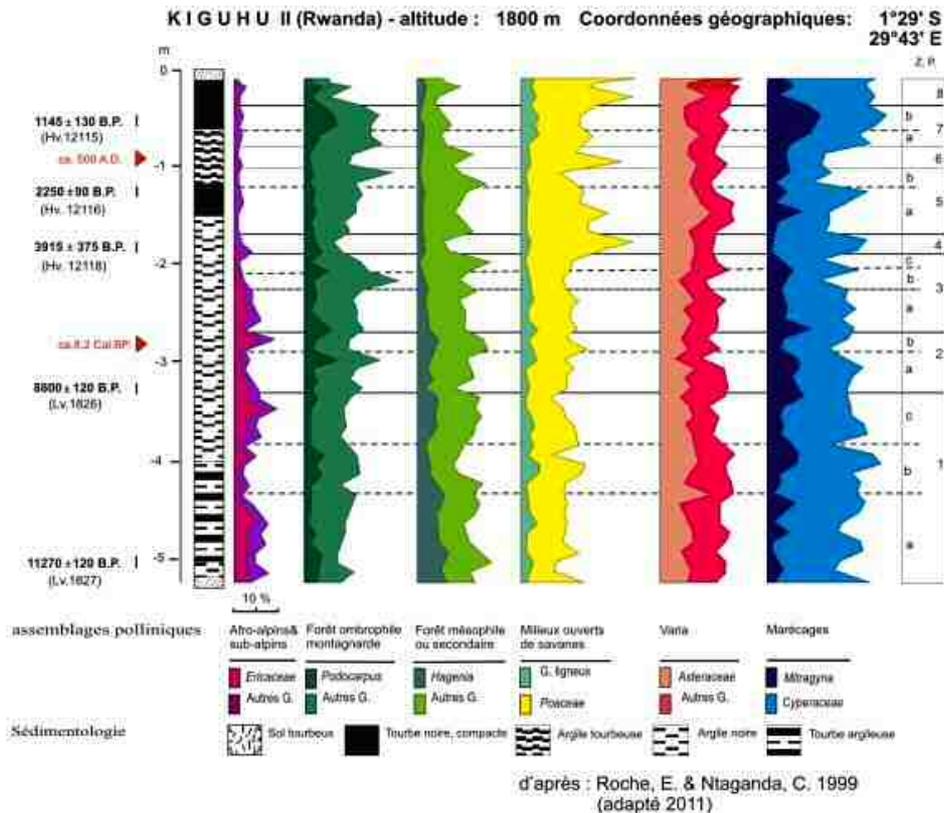
marécages orientaux, sous 1600 m d'altitude, la tourbe atteint des épaisseurs importantes mais, moins compactée qu'en altitude, sa formation ne semble pas remonter au-delà de l'Holocène (ROCHE et *al.*, 1988 ; ROCHE, 1991).

Etudes palynologiques

Dans les régions montagneuses orientales, la dynamique forestière naturelle liée aux variations climatiques se traduit non seulement par des modifications internes aux milieux forestiers mais aussi par des mouvements des zones de végétation sur les reliefs. Au Rwanda, les séquences qui retracent le mieux l'évolution de l'environnement Holocène sont celles prélevées dans les milieux tourbeux d'altitude où ces faits sont clairement concomitants.

La première étude palynologique d'une séquence sédimentaire au Rwanda est celle réalisée par HAMILTON (1982) sur le marais de Kamiranzovu (2°28'S-29°08'E – alt : 1950 m), en forêt de Nyungwe, au S.-O. du pays. Bien que l'analyse de ce profil dont le début remonte à ca. 40000 ans BP soit basée sur un nombre assez limité de taxons, *Podocarpus*, *Anthospermum*, *Hagenia*, *Ilex*, *Macaranga*, *Myrica*, *Olea*, *Rapanea*, *Syzygium*, Ericaceae, Poaceae, Cyperaceae, il est possible d'en tirer des enseignements sur l'évolution environnementale du site au cours de la période considérée : un climat assez sec à l'origine évolue vers un stade humide et froid de 32000 ans à 28000 ans BP., puis survient une phase plutôt modérément chaude et humide jusqu'à 20000 ans BP. Après quoi la sécheresse et le froid s'installent entre 20000 ans et 16000 ans BP. S'ensuit une période plus tempérée jusqu'à 12000 ans BP. Un arrêt de la formation de la tourbe se situe entre 12000 ans et 4000 ans BP, période englobant l'Optimum Humide ayant favorisé la grande expansion forestière Holocène (Phase lacustre simultanée comme pour les marais du Kivu ?). A partir de 4000 ans BP, la reprise d'activité de la tourbière aurait été favorisée par un retour de conditions climatiques froides temporaires avant que le climat n'évolue vers son stade actuel.

NTAGANDA (1991) a, par la suite, entrepris une étude exhaustive sur l'évolution des paléoenvironnements Holocènes du Rwanda par l'analyse pollinique de dix séquences relevées sur la dorsale Congo-Nil, la plupart des sites inventoriés étant localisés dans le Nord. De son travail, on a retenu comme modèle la séquence estimée la plus significative, Kiguhu II (1°29'S ; 29°43'E – alt : 1800 m) issue d'un marais situé à la limite de la dorsale et de la plaine de lave, au pied du Muhabura (alt : 4127 m). Son profil, bien délimité chronologiquement, retrace une évolution paléoclimatique et paléoenvironnementale de quelque 12000 ans. Les phases les plus marquantes de cette évolution, mises en exergue par l'analyse palynologique (Fig.23), peuvent être comparées à des phases similaires reprises à d'autres sites de l'étude qui présentent un continuum spatio-temporel et confortent l'analyse de Kiguhu II. Ces sites de comparaison sont ceux de Rugezi (1°24'S ; 29°50'E – alt : 2050 m), de Butare (2°37'S ; 29°45'E – alt : 1700 m) et de Gasare (2°28'S ; 29°14'E – alt : 2300 m).



Analyse du diagramme :

8. Retrait d'une forêt ombro-mésophile hétérogène - Progression des milieux ouverts de savane. Secondarisation d'origine anthropique (YPP = Younger Poaceae Period)
7. Expansion d'une forêt primaire ombrophile afro-montagnarde
 - 7b. Forêt à dominance de *Podocarpus* - Phase climatique fraîche
 - 7a. Forêt diversifiée - Phase climatique chaude-humide
6. Régression forestière; accentuation du caractère mésophile - 2ème expansion de savanes "climatiques" Phase climatique sèche de ca. 500 AD (MPP = Middle Poaceae Period)
5. Réoccupation du terrain par une forêt hétérogène ombro-mésophile avec alternance des composantes ombrophile et mésophile. Instabilité climatique
 - 5b. Importante extension forestière, successivement mésophile, puis ombrophile.
 - 5a. Evolution forestière contrastée. Recul des Poaceae mais milieux ouverts plus diversifiés.
4. Recul prononcé du milieu forestier - 1ère expansion de savanes "climatiques" (OPP = Older Poaceae Period) - Pic d'aridité
3. Expansion maximale d'une forêt afro-montagnarde à grande diversité floristique.
 - 3c. Forêt stable en étendue mais à caractère mésophile accentué
 - 3b. Forêt dense, à forte tendance ombrophile, en expansion maximale.
 - 3a. Forêt dense, ombro-mésophile, en progression
2. Evolution contrastée du milieu montagnard
 - 2b. Regain des tendances afro-alpine et mésophile. Pulsation froide-sèche.
 - 2a. Avancée d'une forêt ombro-mésophile à *Podocarpus* et *Hagenia*. Climat froid-humide
1. Progression d'une forêt hétérogène fortement marquée par les influences afro-alpine et subalpine. Climat frais d'altitude.
 - 1c. Retour à un stade mésophile à intrusions afro-alpines
 - 1b. Avancée ombrophile à *Podocarpus*
 - 1a. Milieu forestier varié à prédominance mésophile à *Hagenia* et à importante influence afro-alpine

Figure 23 : Diagramme pollinique condensé du site de référence Kiguhu II

Au début de l'Holocène le milieu naturel à Kiguhu se présente sous forme d'une forêt méso-ombrophile assez fermée à dominance de *Hagenia* et de taxons afro-subalpins intrusifs se situant en-dessous de leur distribution altitudinale actuelle. Cet état de choses traduit les effets d'un climat plutôt froid à précipitations modérées qui, en cours de période, connaît une pulsation temporairement plus humide que suggère une progression de la composante ombrophile dans le massif forestier.

A Rugezi, situé plus à l'Est et à plus haute altitude, cette période initiale se signale par l'intrusion plus marquée d'éléments afro-subalpins dans un paysage de landes altimontaines plus ouvert. Cela évoquerait un glissement du milieu forestier afro-montagnard vers les pentes inférieures des reliefs.

A partir de ca. 9000 ans BP (datation ^{14}C : 8800 +/- 120 BP – Lv.1826), la forêt à dominance de *Podocarpus* et *Hagenia* où les Ericaceae régressent, connaît, dans un premier temps, une période d'expansion témoignant d'un climat toujours froid mais à caractère plus humide. Cette phase progressive subit ensuite un coup d'arrêt attesté par une dernière extension des éléments afro-subalpins, principalement des Ericaceae. Par extrapolation et en calibrant les dates, ce pic d'Ericaceae concomitant d'un recul de l'élément ombrophile et d'une avancée de la composante forestière mésophile, entre-autres de *Hagenia*, pourrait correspondre à l'événement 8.2 cal.BP reconnu comme un épisode climatique sec ayant entraîné la chute des niveaux lacustres en Afrique intertropicale (GASSE, 2000). Cet épisode semble toutefois se manifester de façon très modérée sur la dorsale orientale du Kivu.

Après quoi, on assiste à une importante expansion d'une forêt dense afro-montagnarde à composante ombrophile dominante mais dont l'élément mésophile associé n'est pas négligeable vu l'altitude du site favorable à son développement ; cette expansion s'accompagne d'une régression des éléments afro-subalpins et de *Hagenia* qui deviennent quantités négligeables. L'important développement forestier observé sur la dorsale Congo-Nil correspond à l'Optimum Humide Holocène qui, au Kivu, se situe entre 10000 ans et 7000 ans BP si on se réfère aux hauts niveaux du lac pendant cette période, mais dont l'effet sur la végétation se prolongerait quelque peu jusqu'à ca. 6000 ans BP. Le fait est observable à Rugezi où la forêt ombrophile accuse une extension nettement plus importante, devenant largement prédominante dans l'environnement. Si, après cette date, la forêt ne semble pas perdre de son ampleur, une nouvelle extension de sa composante mésophile serait annonciatrice d'une phase régressive. L'amorce de cette dernière à Rugezi est datée de 5770 +/- 75 BP (Hv.11596).

Vers 4000 ans BP (3915 +/- 375 BP – Hv.12118), un recul prononcé des taxons forestiers ombrophiles et mésophiles au profit des milieux ouverts de savanes serait la conséquence d'une réduction importante des précipitations plutôt que d'une chute significative de température comme le laisse supposer la faible avancée des Ericaceae et de *Hagenia*. Cet événement équivaldrait à l'OPP (Older Poaceae Period), identifiée au Congo oriental (RUNGE, 2001), conséquence de l'apparition de savanes naturelles « climatiques » se développant à l'exclusion de toute activité humaine. On retrouve le phénomène à Rugezi (3640 +/- 60 BP – Lv.1794) où le milieu forestier, envahi par des éléments afro-subalpins, est toutefois en recul moins sensible, pouvant être entretenu à cette altitude par une humidité relative due aux pluies fines et aux brouillards.

Par la suite, une forêt hétérogène méso-ombrophile reconquiert l'espace perdu. Au cours de son évolution, deux phases mésophiles encadrant une phase ombrophile reflètent une instabilité climatique rappelant celle qui, sur la dorsale occidentale du Kivu, a produit ses effets entre ca 3000 ans et ca 2000 ans BP. A Rugezi, cette variabilité est soulignée par une alternance d'avancées et de retraits de *Podocarpus* ainsi que par une présence plus

soutenue de *Hagenia* au sein du milieu forestier. Vers la fin de cette période, au sud du Rwanda, des savanes boisées se développaient sur les collines du Plateau central dans la région de Butare (ROCHE, 1996) tandis qu'à Gasare, sur la crête Congo-Nil, des éléments afro-subalpins étaient en expansion en forêt de Nyungwe (ROCHE, 1998). Ces environnements sont révélateurs d'un climat plutôt froid à humidité modérée.

Au début du premier millénaire AD, la composante ombrophile de la forêt de montagne connaît une importante progression tant à Kiguhu et Rugezi au Nord qu'à Gasare au Sud de la dorsale. D'autre part, des éléments du milieu afro-montagnard progressent, de même que les galeries forestières, dans la région des collines. Ces divers signaux sont indicateurs d'un retour à des conditions climatiques plus chaudes et humides. Cependant, cette expansion forestière n'étant pas de l'ampleur de celle reconnue à 6000 ans BP, on peut considérer que les conditions climatiques qui en étaient la cause n'avaient pas l'intensité de celles de l'Optimum Humide Holocène.

Une oscillation sèche, temporellement limitée, se signale ensuite par un important retrait des genres ligneux et par une extension significative des Poaceae qui serait le reflet de la MPP (Medium Poaceae Period). Cet épisode se situerait au début du 6^{ème} siècle AD comme le laissent supposer la datation, peu précise cependant, de 1315 +/- 110 BP (Hv.12928) à Rugezi ainsi que des datations de sites archéologiques de l'Age du fer ancien à l'Est de Butare. Les analyses palynologiques et anthracologiques de ces derniers révèlent une importante dégradation de l'environnement entre la fin du 4^{ème} siècle et le début du 6^{ème} siècle AD mais, dans ce cas, des effets anthropiques et climatiques seraient cumulatifs (VAN GRUNDERBEEK et al., 1982 ; VAN GRUNDERBEEK et al., 1984 ; ROCHE, 1996). A Gasare, cette pulsation sèche se manifeste par une nouvelle incursion d'éléments afro-subalpins dans la forêt. Ces divers faits marquants pourraient résulter de la phase froide et sèche dite « pré-néoglaciale » de 1500 BP (MAHANEY, 1990), voire être une conséquence du « Dust-veil Event » de 536 AD (STOTHERS, 1984 ; BAILLIE, 1994).

Après cet intervalle sec de courte durée, le climat s'adoucit et une nouvelle période humide s'installe entre le 7^{ème} et le 10^{ème} siècle AD, impliquant une remontée du lac Kivu et son déversement définitif vers le Tanganyika via la Ruzizi (ca. 1400 BP selon HABERYAN & HECKY, 1987). Le développement initial d'une forêt dense montagnarde diversifiée suggère que, dans un premier temps, les températures étaient relativement élevées et les précipitations abondantes ; vient ensuite une phase plus froide à précipitations modérées qui auraient été entretenues par des pluies fines et des brouillards, ce qu'évoque une expansion du *Podocarpus*. Cette succession s'observe à Kiguhu comme à Rugezi. A Gasare, l'événement se traduit par une progression de *Hagenia* dans le milieu forestier. Sur les collines du Rwanda central, un regain des formations boisées, vers la fin du 6^{ème} siècle AD, souligne ce retour à des conditions plus humides, mais aussi un abandon du milieu par les populations de l'Age du Fer ancien, sur le déclin, et dont les derniers vestiges datent du 7^{ème} siècle AD.

Un second Age du fer, ou Age du Fer récent, fait son apparition au Rwanda vers le 8^{ème} siècle AD, sans contact apparent avec la culture précédente (VAN GRUNDERBEEK et al., 1982). Cette nouvelle culture a été introduite par des pasteurs sud-nilotiques venus du Nord-Est (DESMEDT, 1991). L'impact de ces derniers sur l'environnement a commencé à produire des effets évidents entre le 9^{ème} et le 12^{ème} siècle AD, principalement dans le Nord où des sites d'occupation ont été mis en évidence (VAN NOTEN, 1983). A l'origine, l'effet sur l'environnement se remarque par une dégradation des formations mésophiles occupant les pentes inférieures des reliefs, puis par une secondarisation affectant l'horizon inférieur de la forêt ombrophile de montagne. Conjointement, on assiste à une importante expansion

des milieux ouverts de savanes « anthropiques » de la YPP (Younger Poaceae Period – RUNGE, 2001).

La fig.24 synthétise l'évolution environnementale de la dorsale orientale du Kivu à l'Holocène où on ne remarque pas de solution de continuité dans la sédimentation étant donné que les marais n'ont pas été ennoyés comme à l'Ouest au cours de l'Optimum Humide. Actuellement entre la dorsale occidentale et la dorsale orientale du Kivu le nombre de mois de saison sèche diffère de 1 à 2-3 mois, pour des précipitations annuelles de 200-300mm moindres et des températures légèrement supérieures de 1-2°C au Rwanda (LEBRUN, 1956 ; SIRVEN et *al.*, 1974). Proportionnellement, cette différence a dû exister antérieurement au gré des variations climatiques du passé, ce qui explique les évolutions différentes des milieux humides sur les deux dorsales.

Au début de l'Holocène, une descente des zones de végétation à flanc de montagne est la conséquence d'un climat froid modérément humide.

A l'Optimum Humide Holocène, la forêt dense de montagne connaît une large extension, tant en altitude que sur les pentes inférieures des reliefs sous un climat chaud-humide.

La phase sèche de ca. 4000 ans BP provoque un resserrement des formations forestières entre 3000 et 2000 m d'altitude dans une zone « refuge » constituée de nuages stratiformes peu précipitants entretenant une humidité ambiante (BRENAC, 1988 ; MALEY & BRENAC, 1998). Sous 2000 m, la sécheresse provoque une expansion de savanes boisées et herbeuses « climatiques ». L'instabilité du climat persiste jusqu'à ca. 2000 ans BP.

Post-2000 ans BP., le climat évoluant vers son stade actuel, les étages de végétation se mettent en place selon leur configuration présente. Au début du deuxième millénaire AD, des savanes « anthropiques » commencent à envahir les formations mésophiles des bas de pentes et l'horizon inférieur de la forêt ombrophile de montagne.

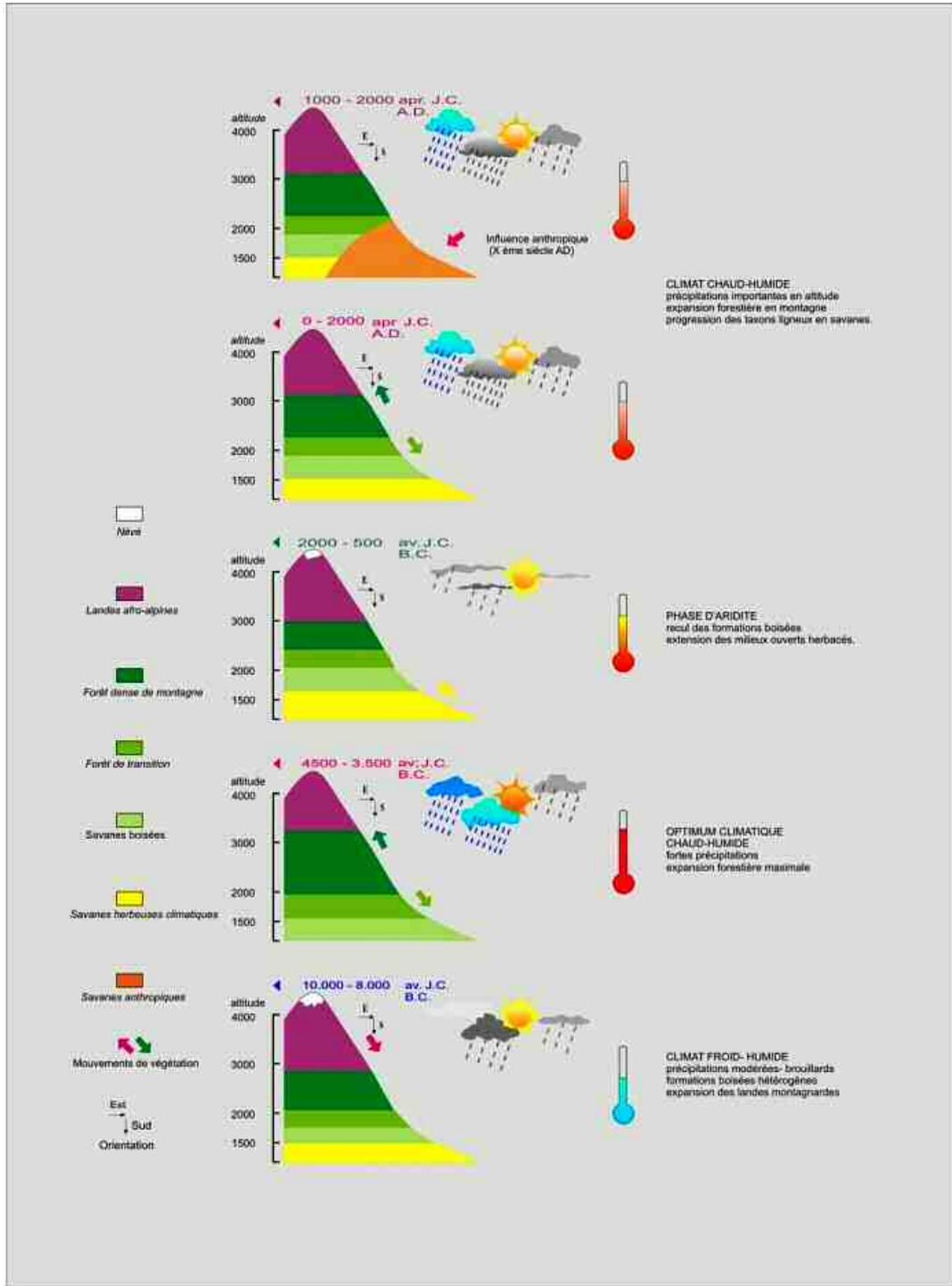


Figure 24 : Evolution de l'environnement dans le domaine oriental montagnard du Rwanda au cours de l'Holocène (synthèse)

COMPARAISON AVEC DES SITES DE L'AFRIQUE INTERTROPICALE

Burundi

Au Burundi, où l'aplanissement de la crête Congo-Nil forme un paysage de Plateau faiblement ondulé, les tourbières occupent de faibles dépressions dans le cours supérieur des rivières. Certains de ces dépôts tourbeux se développent depuis près de 40000 ans.

L'évolution du paléoenvironnement dans cette région de la dorsale peut se schématiser comme suit pour les 35 derniers millénaires (BONNEFILLE, 1987 ; ROCHE et *al.*, 1988 ; BONNEFILLE & RIOLLET, 1988 ; ROCHE & BIKWEMU, 1989 ; BONNEFILLE *et al.*, 1991) :

- de 35000 à 30000 ans BP : progression des landes à Ericaceae sous un climat froid et sec ;
- de 30000 à 25000 ans BP : sous un climat modérément chaud et humide se développent des formations boisées hétérogènes ;
- de 25000 à 15000 ans BP : recul généralisé des forêts, extension maximale des landes et prairies montagnardes et retrait prononcé des étendues marécageuses. Importante aridité : phase finale de l' Hypothermal du Mont Kenya (COETZEE, 1967).
- de 15000 à 10000 ans BP : expansion d'une forêt montagnarde hétérogène. Phase progressive de réchauffement et d'humidification du climat, entrecoupée d'une oscillation froide et sèche (DR = YD ?).
- de 10000 à 6000 ans BP : Progression de la forêt dense afro-montagnarde sous des conditions climatiques chaudes et humides optimales. A partir de 5000 ans BP, la forêt donne des signes de perturbation.
- ca. 4000 ans BP : baisse de la pluviosité ; pic d'aridité. Régression forestière et extension de la végétation afro-subalpine.
- ca. 3500 ans BP : légère pulsation humide
- de 3000 à 2000 ans BP : instabilité climatique. Milieu forestier plus hétérogène. Intrusion d'éléments afro-subalpins.
- de 2000 à 1500 ans BP : regain forestier sous climat humide
- ca. 1500-1400 ans BP : pic d'Ericaceae. Courte période d'aridité
- post-1300 BP : climat évoluant vers son stade actuel. Nouvelle expansion forestière avant un recul d'origine anthropique.

Par l'analyse d'un sondage effectué dans un grand marécage de basse altitude à Ndurumu (1367 m), JOLLY & BONNEFILLE (1992) ont montré qu'entre 2800 ans et 1600 ans BP, une forêt à *Syzygium* et *Phoenix* s'est installée, attestant une baisse de la nappe phréatique due à la sécheresse. Ceci correspondrait aux « phases à Bambous » du Kahuzi. Le recul de cette forêt et la remise sous eau du marais ca 1300 BP serait contemporaine de la reprise du déversement du Kivu vers le Tanganyika via la Ruzizi (HABERYAN & HECKY, 1987).

Une étude palynologique de la sédimentation du Bassin Nord-Tanganyika (VINCENS, 1993) a révélé une descente des éléments forestiers montagnards à basse altitude lors de la phase aride du DMG (=LGM) et une diversité forestière lors du retour aux conditions climatiques optimales thermiques et hydrologiques de la première moitié de l'Holocène.

Lors du DMG (=LGM), la température aurait chuté de 3° +/- 1,9°C et les précipitations réduites de 30%. A l'Optimum Humide Holocène, la température aurait été de 1,4°C supérieure à l'actuelle (BONNEFILLE et *al.*, 1990 ; BONNEFILLE et *al.*, 1992).

Région zambézienne

Dans la partie de la région zambézienne englobant l'Est de l'Angola, le Katanga et la Zambie, les cycles climatiques caractérisant le Pléistocène supérieur et l'Holocène se traduisent comme suit dans la sédimentation superficielle (ALEXANDRE-PYRE & SERET, 1969 ; ALEXANDRE-PYRE, 1971) :

- Des phases d'accumulation sous climat sec avec remblaiement des vallées et ravins par des sédiments grossiers, graveleux, mal triés ;
- Des phases d'accumulation sous climat humide et altération chimique avec remblaiement des vallées et ravins par des sédiments fins argilo-sableux ;
- Des phases d'érosion verticale sous climat de transition.

Généralement, le Pléistocène final, de 40000 à 12000 ans BP se caractérise par des dépôts grossiers et l'Holocène par des dépôts fins.

Dans l'Est de l'Angola, des dépôts quaternaires fluviatiles présentant une série graveleuse surmontée de couches argilo-sableuses ont fait l'objet d'une analyse palynologique (CLARK & van ZINDEREN, 1962). Celle-ci a révélé qu'une forêt sèche à *Brachystegia* et des savanes boisées occupaient la région au Pléistocène supérieur avec avancée de *Podocarpus* au cours du dernier hypothermal. A l'Holocène, entre 7000 et 5000 ans BP, un important développement des forêts à *Brachystegia* et des forêts galeries se manifeste, sous un climat plus chaud et plus humide. Après 2000 ans BP, comme suite à un climat devenu moins humide s'installent des milieux plus ouverts de forêts à *Brachystegia* et *Isobertinia* et de savanes arborées. A cette dégradation d'origine climatique s'ajoute, au cours du temps, un effet anthropique croissant.

Au Katanga, des profils sédimentaires similaires ont été l'objet d'études géomorphologiques, archéologiques et palynologiques qui ont permis de cerner l'évolution environnementale du Haut-Katanga au cours des 40 derniers millénaires (ALEXANDRE-PYRE, 1971 ; MOEYERSONS, 1975 ; ROCHE, 1975, 1987 ; MOEYERSONS & ROCHE, 1978 ; DE DAPPER, 1978, 1979 ; MBENZA & ROCHE, 1980 ; MBENZA, 1983 ; MBENZA *et al.*, 1984).

Au Pléistocène supérieur, des dépôts graveleux font état d'un climat aride à phases contrastées et courte saison des pluies. Sous de telles conditions se développaient des vastes étendues savaniques avec des zones forestières sèches à *Brachystegia* limitées vraisemblablement à quelques milieux à microclimat favorable.

Les dépôts fins de la Période Humide Holocène se caractérisent par un contenu pollinique attestant une importante expansion de la forêt claire à *Brachystegia* et de son cortège de genres représentatifs des formations zambéziennes : *Isobertinia*, *Albizia*, *Combretum*, *Dipterocarpaceae*, *Erythrophleum*, *Monotes*, *Uapaca*. Conjointement, on observe une extension des galeries forestières et de massifs denses à *Entandrophragma* et *Allophylus*.

La phase sèche de 4000 – 3000 ans BP, se traduit par un colluvionnement sous un climat à saisons contrastées favorable à une nouvelle expansion des savanes arborées et une avancée de *Podocarpus* alors que les forêts claires connaissent une évolution régressive.

Vers 2000 ans BP, le climat redevenu plus humide favorise à nouveau le développement des forêts claires à massifs denses intrusifs, les « muulu », à *Entandrophragma*, *Erythrophleum*, *Rauwolfia* qui, à l'abri du feu, regagnent même du terrain sur la forêt claire (SCHMITZ, 1962). S'ensuit, au cours des deux derniers millénaires, une régression forestière consécutive à l'action anthropique.

En Zambie, à l'extrême Sud du lac Tanganyika, une séquence de 50000 ans au site préhistorique de Kalambo Falls a été étudiée par CLARK & van ZINDEREN (1964). L'évolution suivante a été dégagée de cette analyse :

- avant 40000 ans, le climat était chaud et sec, puis il se refroidit jusqu'à 33000 ans
- une pulsation chaude et humide, le « Kalambo interstadial » se manifeste entre 3000 et 26000 ans BP
- Le climat se dégrade entre 26000 et 14000 ans BP avec une aridité maximale ca 18000 ans BP
- Une phase chaude et humide s'amorce ca. 10000 ans BP et atteint un maximum ca 8000-7000 ans BP
- Vers 3000 ans BP, s'amorce un rafraîchissement climatique.

Complémentairement, l'analyse pollinique (VINCENS, 1989) d'une carotte de sondage prélevée dans le bassin Sud du Tanganyika met en évidence la permanence des forêts claires zambéziennes depuis 25000 ans. Apparemment peu étendues entre 25000 et 12000 ans BP, elles connaîtraient un maximum de développement entre 12000 et 6000 ans BP lors de l'amélioration thermique et hydrologique de la première moitié de l'Holocène.

Afrique de l'Est

Les travaux réalisés par divers auteurs (LIVINGSTONE, 1962 ; DOWNIE, 1964 ; KENDALL, 1969 ; BUTZER *et al.*, 1972 ; HAMILTON & PERROT, 1978 ; OWEN *et al.*, 1982 ; OSMASTON, 1989a, 1989b ; MAHANEY, 1989, 1990) sur les fluctuations lacustres, les mouvements des glaciers en haute montagne, les phénomènes géomorphologiques et sédimentologiques supportés par des datations absolues ont permis d'établir l'évolution environnementale pour les 40 derniers millénaires.

Dans tous les massifs montagneux de l'Est africain, on peut observer des moraines bien développées en dessous des limites glaciaires actuelles ; elles témoignent d'une avancée à plus basse altitude des glaciers au Pléistocène supérieur. Pour cette période, on a recensé sur le Mont Kenya :

- de ca 26000 à ca 21000 ans BP : une phase initiale de glaciation
- de ca 21000 à ca 15000 ans BP : un maximum glaciaire caractérisé par une descente des glaciers à 3200 m d'altitude
- de ca 15000 à ca 12500 ans BP : une phase de déglaciation avec une remontée des glaciers à 4000 m.

A l'Holocène, avec le réchauffement et l'humidification du climat à leur optimum entre 8000 et 5000 ans BP, un recul général des glaciers au-dessus de 4000 m se manifeste. A 3000 ans BP, des conditions climatiques plus froides et plus sèches provoquent des dépôts dunaires sur le Mont Kenya ainsi qu'une réactivation glaciaire.

Après une nouvelle phase de réchauffement au cours du premier millénaire AD, deux résurgences glaciaires se manifestent, l'une ca. 1000 ans BP (avancée de Tyndall), l'autre au cours des derniers siècles (avancée de Lewis) ou « Petit Age glaciaire ». Cette succession d'événements se retrouve sur les principaux massifs de l'Est africain : Elgon, Ruwenzori, Kilimanjaro.

En Afrique orientale, les fluctuations des lignes de rivage des principaux lacs du rift, Turkana, Bogoria, Nakuru, Naivasha, supportées par des datations ¹⁴C ont permis la mise en évidence de l'évolution climatique au Pléistocène supérieur et à l'Holocène.

Durant la période aride du Pléistocène final, antérieure à 14000 ans BP, on enregistre de bas niveaux lacustres. Entre 10000 et 8000 ans BP, les lacs atteignent de hauts

niveaux qui se maintiennent, avec toutefois des fluctuations d'amplitude, jusqu'à 4500 ans BP. Après 3000 ans BP, une régression s'installe. Au lac Victoria, des bas niveaux sont observés avant 14000 ans BP. A partir de 12000 ans BP, le niveau se met à monter pour atteindre une cote maximale entre 9500 ans et 6500 ans BP sous un climat humide et chaud. Une récession s'installe ensuite, sous un climat devenu plus sec, pour s'accroître à partir de 3000 ans BP.

Les études palynologiques de séquences sédimentaires lacustres et marécageuses corroborent ces faits paléoenvironnementaux (MORRISON, 1961 ; van ZINDEREN, 1962 ; LIVINGSTONE, 1967 ; COETZEE, 1967 ; van ZINDEREN & COETZEE, 1988 ; JOLLY et *al.* 1997 ; MARCHANT et *al.*, 1997 ; MARCHANT & TAYLOR, 1998 ; TAYLOR et *al.*, 1999 ; RUCINA et *al.*, 2009).

Globalement, au Pléistocène supérieur et à l'Holocène, on enregistre l'évolution suivante pour l'Est africain :

- De 32000 ans à 26000 ans BP, sous le climat froid (estimé de -2° à -3°C par rapport à l'actuel) et modérément humide du « Kalambo interstadial » se développent en altitude des forêts à *Hagenia* et *Podocarpus*.
- Entre ca. 25000 ans et ca. 15000 ans BP, on assiste à une chute des taxons forestiers et à une progression des prairies d'altitude et des landes à Ericaceae sous un climat froid et sec. Pendant l'«Hypothermal du Mont Kenya », la température chuterait de 5°C à 8°C (par rapport à l'actuel) et la ligne des arbres descendrait de 800 à 1000 m.
- De ca. 15000 ans à ca. 12000 ans BP, des conditions moins rudes et une augmentation de la pluviosité favorisent une reprise forestière où *Hagenia* occupe une place prépondérante.
- A l'Holocène, des conditions climatiques optimales, chaudes et humides, contribuent à l'expansion maximale de la forêt dense afro-montagnarde entre 8000 ans et 5000 ans BP. Après quoi, la progression de *Podocarpus* et d'*Olea* au sein des massifs forestiers atteste une diminution de la pluviosité entre 5000 ans et 4000 ans BP.
- Après 3000 ans BP, la forêt donne des signes de perturbations dues à un climat à saisons plus contrastées.
- Si un regain forestier se remarque après 2000 ans BP, une phase d'aridité survient encore au 16^{ème} siècle. A partir de cette époque, les effets anthropiques apparus à l'Age du fer ancien de façon mineure et renforcés à l'Age du Fer récent, vont connaître une intensité croissante.

En Afrique, la zone des savanes qui traverse le continent d'Ouest en Est entre le Sahara et la limite septentrionale de la forêt équatoriale a été le foyer d'activités agro-pastorales remontant à des temps très anciens de l'Holocène moyen. Mais, à partir de ca. 4000 ans BP, la dégradation climatique entraînant l'aridification progressive du Sahara a poussé les populations à émigrer vers le sud. Cette pression démographique a dû engager des populations bantouphones initialement installées dans des savanes du Cameroun et du Nigeria à se déplacer prioritairement vers l'Est en contournant la forêt équatoriale pour aller s'installer dans la région des Grands Lacs. L'archaïsme de la langue dite « interlacustre » par rapport aux autres langues du domaine bantou incite les linguistes (MEEUSSEN, 1980 ; BASTIN et *al.*, 1982) à avancer cette hypothèse. Par ailleurs, dans le secteur oriental, des pasteurs venus du Nord-Est auraient atteint le lac Victoria au cours du 1^{er} millénaire BC. Ces populations installées en région interlacustre auraient, semble-t-il acquis très tôt la technologie du fer. La délimitation chronologique de l'Age du fer ancien dans la région des Grands Lacs (VAN GRUNDERBEEK, 1993) démontre que l'implantation de populations

possédant la maîtrise du fer y est plus ancienne qu'en Afrique de l'Ouest, ce qui, implicitement, corrobore l'hypothèse des linguistes.

Armé techniquement pour s'attaquer à l'environnement, l'homme aurait ainsi accru son impact sur celui-ci et contribué à une importante extension des savanes en Afrique de l'Est. A basse altitude, celle-ci aurait pu se développer très tôt sous l'effet de feux de brousse déclenchés par des groupes humains qui en étaient encore à l'Age de la Pierre ; ce phénomène est connu sur les rives du lac Victoria (MWORIA-MAITIMA, 1997). Des altérations dans l'étage forestier inférieur en Ouganda pourraient être mises en parallèle avec l'arrivée de peuples bantouphones ca. 2500 BP (TAYLOR *et al.*, 1999) ; mais, à plus haute altitude, l'ouverture du milieu due à un effet anthropique ne se manifesterait qu'au cours du 2^{ème} millénaire AD, voir même dans les derniers siècles (MEADOWS & LINDER, 1993 ; TAYLOR & MARCHANT, 1996 ; MARCHANT & TAYLOR, 1998 ; RUCINA *et al.*, 2009), ce qui infirmerait un effet anthropique précoce, ca. 4000 ans BP, comme l'avaient proposé HAMILTON *et al.* (1986) sans support archéologique évident.

Afrique de l'Ouest

En Afrique de l'Ouest, le climat est régi par un régime de vents soumis aux flux inverses de la mousson atlantique humide du Sud-Ouest et de l'alizé du Nord-Est continental sec qui déterminent les alternances saisonnières. Les vents agissent sur les courants marins qui, par réaction, influent sur les conditions climatiques du continent.

Au DMG (=LGM), le courant de Benguela qui remonte le long des côtes occidentales africaines, poussé par le renforcement des vents, se serait avancé plus au Nord et la vigueur des upwellings aurait abaissé la température des eaux de 4° à 9° C (PRELL *et al.*, 1976). A cette époque, l'océan était à un niveau très bas, de l'ordre de -120m (FAURE & ELOUARD, 1967) tandis que, sur le littoral, se développait un paysage lagunaire (GIRESSE & KOUYOUMONTZAKIS, 1974 ; GIRESSE, 1975). Des conditions arides régnaient sur le continent, affectant les niveaux des lacs, notamment ceux du Barombi Mbo au Cameroun (MALEY, 1983) et du Bosumtwi au Ghana (MALEY & LIVINGSTONE, 1983). La pluviosité aurait été réduite de 50% (SHANAHAN *et al.*, 2006) et la chute des températures avoisinerait les 3°C.

Entre 15000 et 12000 ans BP, le courant de Benguela perdant de son intensité, le climat redevient plus humide mais à saisons contrastées (MARTIN & TASTET, 1972). La transgression marine qui s'ensuit connaît un coup d'arrêt lors de l'épisode sec du DR (=YD). Elle reprend ensuite pour atteindre son maximum au cours de la Période Humide Holocène (PHH) située en Afrique de l'Ouest entre 9000 et 6000 ans BP. (MALOUNGUILA-NGANGA *et al.*, 1990). Sur le continent, le Sahara était jalonné de marécages et d'étendues lacustres à leur optimum entre 8000 ans et 7000 ans BP.

Vers 4000 ans BP apparaissent en Afrique les effets d'un assèchement provoqué par l'affaiblissement de la mousson atlantique qui aurait commencé 1500 ans plus tôt. En zone côtière, cet événement n'aurait eu qu'un effet limité, une faible régression marine se situant entre 4000 et 3000 ans BP (GIRESSE & KOUYOUMONTZAKIS, 1990). Sur le continent par contre l'épisode aurait entraîné une détérioration hydrologique et une chute des pluies qui aurait mis fin assez brutalement à la Période Humide Holocène. Pour certains auteurs, l'aridification du Sahara devrait être considéré comme un événement climatique abrupt (DUPLESSY *et al.*, 1989 ; PETIT MAIRE, 1992, 1993 ; DEMENOCAL *et al.*, 2000 ; MARCHANT & HOOGHIEMSTRA, 2004 ; SALZMAN & HOELZMANN, 2005) ce que contestent d'autres qui y voient une évolution progressive, de 5500 à 2500 ans BP, de

l'humide vers l'aride, sur base d'indicateurs environnementaux relevés dans les sédiments du lac Yoa (KRÖPELIN *et al.*, 2008).

Après 2500 ans BP, le climat évolue vers un stade plus humide, ce que traduit une nouvelle transgression marine enregistrée entre 2000 ans et 1500 ans BP.

Dans l'intention de synthétiser les réponses de la végétation aux changements climatiques, ASSI-KAUDJHIS *et al.* (2010) ont relevé 34 sites d'Afrique de l'Ouest ayant fait l'objet d'analyses palynologiques disponibles et couvrant, dans leur ensemble, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Bénin, le Nigeria, le Cameroun, le Gabon et le Congo.

Au DMG (=LGM), dans les basses terres du Ghana (MALEY, 1987) et du Cameroun (KADOMURA & KIYONAGA, 1994) la végétation forestière était très réduite durant une phase aride se situant entre 19000 ans et 15000 ans BP tandis que, sur le littoral congolais, une régression affectait les mangroves et que des savanes se développaient au détriment de la forêt côtière (CARATINI & GIRESE, 1979). Sur les reliefs, la végétation était plus arborée, au Cameroun (MALEY, 1987 ; MALEY & BRENAC, 1988 ; MOEYERSONS *et al.*, 1996) et au Congo (ELENGA *et al.*, 1994) du fait que l'humidité était entretenue en montagne par des nuages et des brouillards. L'extension de taxons montagnards à moyenne altitude au Congo souligne par ailleurs l'installation de conditions climatiques plus froides à la fin du Pléistocène (MALEY *et al.*, 1990 ; ELENGA & VINCENS, 1990 ; ELENGA *et al.*, 1991). A plus haute altitude, à Bambili (2270 m) au Cameroun, la dégradation de la forêt se signale par un taux de NAP important ainsi que par la propagation de taxons héliophiles dans l'environnement (ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2008). Dans leur reconstitution des biomes du DMG (=LGM) en Afrique de l'Ouest, ELENGA *et al.* (2000) concluent que, globalement, la forêt ombrophile mêlée d'éléments afro-montagnards intrusifs a été fortement réduite durant cette période et confinée à des zones refuges alors que les milieux herbacés connaissaient une importante expansion.

Au cours de la dernière déglaciation, les enregistrements palynologiques montrent des taux de AP progressivement plus élevés indiquant une recolonisation du milieu qui aurait commencé ca 14500 ans BP pour se poursuivre jusqu'à ca 10000 ans BP pendant une période de transition caractérisée par un climat instable (LEZINE & CAZET, 2005 ; LEZINE *et al.*, 2005) perturbé notamment par la phase sèche du DR (=YD). Les faits les plus marquants enregistrés sont, entre-autres : la permanence de la mangrove tout au long de la période en Côte d'Ivoire (LEZINE & LE THOMAS, 1995) ; la reprise, au Cameroun, de la forêt de montagne à Bambili vers 14000 ans BP (ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2008) et d'une forêt semi-caducifoliée à espèces sempervirentes au Barombi Mbo (MALEY & BRENAC, 1998) de 13000 à 9000 ans BP ; l'expansion en latitude de la forêt tropicale humide à partir de 12000 ans BP, phénomène qui aurait connu son optimum entre 10000 ans et 8000 ans BP (WATRIN *et al.*, 2009) ; le développement, à partir de 13000 ans BP d'une forêt mésophile au Congo (ELENGA *et al.*, 1994).

Les conditions climatiques chaudes et humides de la première moitié de l'Holocène ont favorisé le développement de savanes au Sahara (WATRIN *et al.*, 2009), une expansion de la forêt mésophile au Sahel (LEZINE, 1989a, 1989b) et une importante extension des forêts tropicales en plaine (MALEY, 1985 ; VINCENS *et al.*, 2010) et des formations montagnardes en altitude (MALEY & BRENAC, 1998 ; ASSI-KAUDJHIS *et al.* 2008). Au Ghana, la reconstitution de la forêt autour du lac Bosumtwi s'est produite assez rapidement aux alentours de 9000 ans BP, en moins d'un millénaire (MALEY, 1987). Au Cameroun, la végétation forestière est en progression constante depuis 10000 ans BP, autour du lac Barombi Mbo (MALEY & BRENAC, 1998) et à Bambili (ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2008) tandis que sur le littoral du Congo, la mangrove et la forêt côtière marécageuse sont en extension sensible (CARATINI & GIRESE, 1979 ; ELENGA *et al.*, 2001).

Les données paléoenvironnementales relatives à l'Afrique intertropicale témoignent d'un assèchement climatique débutant dans la deuxième moitié de l'Holocène. SERVANT (1983) situe son apparition au Tchad vers 4000 ans BP. Cette période d'aridité est attestée par un abaissement des niveaux lacustres (GASSE, 2000 ; SHANAHAN *et al.*, 2006). Bien que la réponse de la végétation à cet événement varie suivant les sites inventoriés, l'amorce de la régression forestière se situe globalement aux alentours de cette date. Au Cameroun, l'expansion des savanes est particulièrement marquée (VINCENS *et al.*, 2010) et, en altitude, *Podocarpus* devient l'élément dominant d'une forêt en recul (ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2008). Au Gabon, la forêt dense est en régression (NGOMANDA, 2005) et, sur le littoral du Congo, la mangrove cède la place à une forêt marécageuse (FABING, 1995 ; ELENGA *et al.*, 2001). De 3000 ans à 2500 ans BP, l'extension des milieux perturbés se généralise, au Nigeria (SOWUNMI, 1981 ; SALZMAN, 2000), au Ghana (MALEY, 1987), au Congo (VINCENS *et al.*, 1994 ; ELENGA, 1992 ; SCHWARTZ, 1992). Les effets de la régression forestière apparaissent toutefois moins marqués au Sud qu'au Nord de l'équateur où un effet anthropique additionnel ne serait pas à exclure étant donné l'occupation fort ancienne des savanes subsahariennes. Dans le Sud, la forêt persiste mais acquiert un aspect plus mésophile, semi-caducifolié, avec intrusion de genres héliophiles (ELENGA *et al.*, 1996 ; BRNCIC *et al.*, 2007, 2009). De cette évolution globale de l'environnement il apparaît que l'aridification commencée il y a 4000 ans serait en fait un système progressif et que la péjoration climatique de MALEY (1992) ne serait que l'aboutissement d'un long processus de 1500 ans (ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2010).

La reprise forestière post-2000 ans BP se remarque surtout dans la zone équatoriale, les milieux restant largement ouverts au Nord ; cependant la forêt ne reprend pas un aspect sempervirent strict (NGOMANDA *et al.*, 2007). Son regain pourrait être lié au Petit Optimum Médiéval tandis que la dernière perturbation climatique qui l'affecte, ca. 400 ans BP, serait due à la Petite Glaciation.

Diverses études ont montré que les savanes soudaniennes qui traversent l'Afrique d'Ouest en Est ont connu d'importantes activités agro-pastorales dès l'Holocène moyen (HARLAN, 1972 ; HARLAN *et al.*, 1976 ; SOWUNMI, 1985). A partir de ca. 4000 ans BP et l'assèchement du Sahara, une pression démographique s'est exercée en bordure de la forêt tropicale humide comme le montre le recul de sa lisière sous l'effet de défrichements nécessaires à l'exploitation de l'*Elaeis* et des Igname (SOWUNMI, 1985). A partir de 3000 ans BP des sites d'occupation humaine sont recensés dans les zones forestières du Cameroun, du Gabon et du Congo. C'est la maîtrise de la technologie du fer qui a permis à l'Homme de s'attaquer aux massifs forestiers. La vitesse avec laquelle la diffusion de la métallurgie s'est opérée du Nord au Sud de la forêt équatoriale suggère une ouverture du milieu d'origine climatique entretenue par une action anthropique (DE FORESTA *et al.*, 1990 ; ELENGA *et al.*, 1992) semblable à celle du couloir du Dahomey (Dahomey gap) où une action climat-anthropisme a maintenu une zone de savanes entre deux massifs forestiers (TOSSOU, 2002).

Sur base d'analyses palynologiques, de déterminations de macrorestes végétaux, du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ des matières organiques des sols, SCHWARTZ *et al.* (1995) ont conclu que les savanes actuelles d'Afrique de l'Ouest résultent de deux facteurs cumulatifs : un assèchement climatique survenu ca. 3000 ans BP qui aurait ouvert des espaces au sein de la forêt et qu'aurait aggravé la technique du brûlis pratiquée par des populations installées peu de temps après cet événement ; en attestent les datations de sites d'Age du fer ancien reconnus au Cameroun, au Gabon et au Congo et qui se situent entre 2500 et 1700 ans BP (SCHWARTZ *et al.*, 1990). Ces savanes « anthropiques » ne seraient en aucun cas comparables à des savanes arborées, voire des forêts claires qui résulteraient

d'épisodes climatiques secs antérieurs. D'autre part, la technique du brûlis qui a perduré jusqu'à nos jours s'opposerait à la reprise de la forêt, pourtant favorisée par le climat actuel (SCHWARTZ, 1992 ; GUILLET *et al.*, 1996a ; GUILLET *et al.*, 1996b ; PUIG & GUELLY, 1996, SCHWARTZ *et al.*, 1996). OSLISLY & WHITE (1996) signalent notamment qu'un hiatus d'occupation humaine aurait existé au Gabon entre 1400 et 700 ans BP et que cela aurait entraîné une importante recolonisation forestière sur les savanes (WHITE, 1995). L'importante dégradation des forêts d'Afrique Centrale qui, selon MALEY (2001), serait la conséquence d'une péjoration climatique qui aurait culminé ca. 2500 ans BP, serait, en réalité due principalement à une action anthropique qui aurait commencé à marquer ses effets au cours du premier millénaire BC. Des études plus récentes réalisées dans une zone du Sud-Cameroun située entre la côte et 200 km à l'intérieur des terres tendraient à prouver que des populations se seraient établies en forêt bien avant notre ère, y pratiquant une agriculture rudimentaire et la fonte du fer. Si, depuis 2800 ans BP, une période de sécheresse relative s'était installée, elle n'aurait provoqué qu'une secondarisation de la forêt et les ouvertures qui y seraient apparues seraient principalement consécutives à une activité humaine (MEISTER, 2007 ; HÖHN *et al.*, 2007). On pourrait toutefois imaginer que différents types d'environnements (forêts ; mosaïques forêts-savanes ; savanes plus ou moins étendues) auraient pu coexister en Afrique occidentale atlantique au cours du premier millénaire BC selon les situations géographiques particulières des différents sites étudiés.

CONCLUSIONS

L'étude palynologique de séquences sédimentaires provenant de sondages réalisés dans des étendues marécageuses situées au pied du Mont Kahuzi a permis la reconstitution de l'histoire environnementale de la zone « haute altitude » du PNKB depuis 35000 ans. La chronologie des événements a été établie sur base de datations ¹⁴C et de corrélations reconnues entre les différents profils sédimentaires. Une comparaison avec des sites de plus basse altitude de la région bordière du Kivu et des sites de références de la dorsale orientale du lac ayant fait l'objet d'études antérieures a, en plus, permis d'établir une synthèse exhaustive de l'évolution paléoenvironnementale de ce secteur du rift centrafricain.

Vers 35000 ans, un milieu forestier disparate à essences colonisatrices occupe le terrain. Il évolue vers un assemblage hétérogène méso-ombrophile à ombro-mésophile dont la correspondance climatique, modérément chaude et humide, serait la période dite du « Kalambo interstadial » (32000 – 26000 ans BP).

S'amorce ensuite la phase régressive de l'« Hypothermal du Mont Kenya » (25000 – 15000 ans BP), incluant le dernier Maximum Glaciaire.

Au DMG (=LGM), dans le secteur du Kahuzi, on assiste à une expansion exceptionnelle de milieux ouverts herbacés. Cela se révèle être un développement de prairies « altimontaines » naturelles à Poaceae dominantes, phénomène reconnu lorsque s'installent des conditions climatiques sèches et froides. Cela semble se confirmer par la persistance dans l'environnement de taxons ligneux résistant au froid et à un déficit hydrique. Dans le cas présent, ce développement peu ordinaire de milieux ouverts serait le reflet d'une grande xéricité. Si bien qu'il paraît peu vraisemblable que la face orientale de la dorsale du Congo ait pu abriter des refuges forestiers au cours du DMG. Ceux-ci seraient plutôt à localiser dans des vallons abrités au sein même de la chaîne des Mitumba ainsi que sur la face occidentale de cette dernière.

L'environnement redevient forestier par la suite mais la dominance de *Podocarpus*, associé à des éléments afro-subalpins atteste de conditions restant froides mais devenant plus humides, ce que traduit aussi l'expansion de la flore marécageuse. Cet événement peut être assimilé au Tardiglaciaire.

Dans la reprise forestière du Pléistocène terminal intervient une nouvelle phase d'extension de prairies naturelles, moins importante que la précédente mais bien révélatrice d'une période de sécheresse ; celle-ci pouvant être considérée comme contemporaine du Dryas récent.

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 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 sites de basse altitude alors que ceux de haute altitude étaient transformés en étendues lacustres par suite d'un accroissement des précipitations.

Ce n'est qu'à partir de ca. 7000 ans BP, avec l'atténuation de la phase humide qui se prolongera jusqu'à ca. 5000 ans BP, que des marécages ont 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. 6500 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 les spectres polliniques, identifié en tant que l'OPP (Older Poaceae Period) et daté de ca. 4000 ans BP souligne à nouveau une sensible expansion des prairies naturelles en altitude ; cette dernière étant accompagnée d'un développement de savanes « 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 consécutive 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. En même temps, en bordure du lac, les zones savanicoles sont en extension. 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 « Période climatique » survenue ca. 2500 ans BP. Cet événement apparaît plutôt ici comme un phénomène progressif évoluant par paliers.

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 ». Cette pulsation climatique pourrait être assimilée au « Pré-Neoglaciale » du Mont Kenya. Il est par ailleurs peu probable que les rares sites d'occupation d'Age du fer ancien localisés au sud du lac aient 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, déjà dégradé au début du deuxième millénaire AD. A partir de cette époque, sous 2000 m d'altitude, on peut considérer que la plupart des savanes est d'origine anthropique.

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.

A partir des 17^{ème}-18^{ème} siècles, une avancée importante de la composante mésophile annonce une secondarisation du milieu sous un effet anthropique que confirme la mise à jour de traces de feux dans les couches supérieures des profils sédimentaires.

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^{ème} siècle.

Objet de déprédations diverses au cours des vingt dernières années, le secteur haute altitude est actuellement en phase de dégradation importante, 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.

Contrairement aux marais de la dorsale du Congo, ceux de la dorsale orientale au Rwanda n'ont pas connu d'épisode lacustre. A Kiguhu, séquence de référence, l'évolution paléoenvironnementale Holocène a pu être suivie au travers d'une sédimentation continue.

Au passage Pléistocène-Holocène, un ensemble forestier hétérogène largement envahi par des éléments afro-subalpins atteste une descente des étages de végétation révélatrice d'un climat froid-humide mais à précipitations modérées. Au début de l'Holocène, une forêt ombro-mésophile se met en place avec différentes intrusions afro-subalpines dont la dernière se situerait lors de l'épisode 8.2 cal BP.

Entre 7500 ans et 6000 ans BP, la forêt montagnarde à forte tendance ombrophile connaît une large expansion, à haute comme à basse altitude, sous un climat devenu plus chaud et à précipitations abondantes. ca 5000 ans BP, l'avancée de la composante mésophile annonce une détérioration climatique.

Vers 4000 ans BP, l'accroissement brutal des milieux de savanes est révélateur d'un pic d'aridité ayant vraisemblablement repoussé la forêt vers une zone refuge nuageuse en altitude. Elle se serait ainsi trouvée coincée entre l'étage afro-alpin qui ne semble pas s'être étendu et de grands espaces savanicoles naturels « climatiques » occupant largement les zones inférieures des reliefs. Cet épisode de l'OPP (Older Poaceae Period), froid et sec, contraste par sa configuration avec celui, froid et humide, du début de l'Holocène.

Par la suite, la forêt reprend son extension mais avec, en alternance, des influences ombrophile et mésophile, ce qui semble être le signe d'une instabilité climatique.

A 500 ans AD, une nouvelle progression des Poaceae (MPP = Medium Poaceae Period) révèle une nouvelle extension de savanes « climatiques » consécutive à une pulsation sèche. A moyenne altitude cependant, ces savanes pourraient être de type « climato-anthropique » sous l'influence de deux effets cumulatifs.

Au cours des derniers siècles du 1^{er} millénaire AD, la forêt ombrophile se reconstitue en deux phases : la première sous une forme diversifiée attestant une période chaude-humide, la seconde à dominance de *Podocarpus*, ce qui serait l'indication d'un rafraîchissement climatique.

A partir du 2^{ème} millénaire AD, la forêt de transition occupant les zones inférieures des reliefs commence à subir une influence anthropique qui s'étendra progressivement en altitude. Cela se traduit par une troisième progression des Poaceae, celle du YPP (Younger Poaceae Period), témoin d'une avancée de milieux ouverts herbacés « anthropiques ».

Sur la dorsale orientale du Kivu, soumise à des saisons plutôt contrastées, les épisodes environnementaux qui se sont succédés au cours de l'Holocène sont assez aisément discernables au travers des mouvements des étages de végétation à flanc de montagne. Sur la dorsale occidentale, à saisons plus uniformes, les indicateurs des changements climatiques sont à rechercher au sein même de la végétation afro-montagnarde qui change d'aspect au cours du temps selon les influences antagonistes. L'approche du problème doit donc être ici plus nuancé pour émettre un jugement approprié sur l'évolution du paléoenvironnement.

La reconstitution de l'évolution paléoenvironnementale des zones bordières du Lac Kivu montre par ailleurs que, après une crise climatique, serait-ce la plus intense, une forêt se reconstitue naturellement et que, même après une dégradation anthropique, un milieu forestier renferme les potentialités nécessaires pour reconquérir le terrain perdu s'il est mis en défens. La dégradation de nombreux écosystèmes en régions intertropicales qui menace leur équilibre et leur biodiversité est essentiellement le fait de l'homme, pas des variations climatiques, aussi défavorables soient-elles, qui auraient existé dans le passé.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE-PYRE, S. 1971.** Le Plateau des Bianco (Katanga). Géologie et Géomorphologie. *Mém. Acad. Roy. Sc. O-M.*, n.s., 18, 3: 151 p.
- ALEXANDRE-PYRE, S. & SERET, G. 1969** – Etude comparative des dépôts de fonds de vallées dans trois régions de la zone de savane. *Bull. Soc. Belge Géol., Paléont., Hydrol.*, 78, 1 : 49–55
- 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
- ALLEY, R.B., MAYEWSKI, P.A., SOWERS, T., STUIVER, M., TAYLOR, K.C. & CLARK, P.U. 1997** – Holocene climatic instability : A prominent widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 25, 5 : 483–486
- AMANI YA IGUGU, A.C., NYAKABWA MUTABANA, D – S. & LEJOLY, J. 2008** – Analyse floristique de la forêt de Bambous (*Sinarundinaria alpina*) du Parc National de Kahuzi-Biega. *Annales des Sciences. Université Officielle de Bukavu*, Vol. 1, (1) : 1 – 8
- ASSI-KAUDJHIS, C., LEZINE, A-M. & ROCHE, E. 2008** – Dynamique de la végétation d'altitude en Afrique centrale atlantique depuis 17000 ans BP. Analyses préliminaires de la carotte de Bambili (Nord-Ouest du Cameroun). *Geo-Eco-Trop*, 32: 131–143
- 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: 1– 28
- BAILLIE, M.G.L. 1994** – Dendrochronology raises questions about the nature of the AD dust-veil event. *The Holocene*, 4, 2: 212–217
- BASTIN, Y., COUPEZ, A. & de HALLEUX, 1982** – Classification lexicostatistiques des langues bantoues. *Bull. Acad. Roy. Sc. O-M.* 27, 2: 173–199
- BEADLE, L. C. 1981** – *The inland waters of Tropical Africa*. London, 475p.
- BELLON, H. & POUCKET, A. 1980** – Datation K-Ar de quelques laves du rift-Ouest de l'Afrique centrale ; implications sur l'évolution magmatique et structurale. *Geol. Rundsch.*, 69, 1 : 49–62
- BIAYI KALALA, W. 1981** – Les trachytes dans les laves acides du Kahuzi (Kivu, Zaïre), données pétrographiques et chimiques. *Mus. Roy. Afr. Centr.,(Tervuren); Dép. Géol. Min.*, Rapport annuel 1980: 179–194
- BIKWEMU, G. 1991** – Paléoenvironnements et paléoclimats au Burundi occidental au cours des quatre derniers millénaires par l'analyse palynologique de dépôts tourbeux. Thèse de doctorat en Sc. Botaniques, Université de Liège, 239 p.
- BONNEFILLE, R., 1987** – Evolution forestière et climatique au Burundi durant les quarante derniers milliers d'années. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 305, Série II : 1021–1026
- BONNEFILLE, R. & RIOLLET, G., 1988** – The Kashiru pollen sequence (Burundi). Palaeoclimatic implications for the last 40 000 years B.P. *Tropical Africa Quaternary research*, 30: 19–35
- BONNEFILLE, R., ROELAND, J.C. & GUIOT, J. 1990** – Temperature and rainfall estimates for the past 40000 years in equatorial Africa. *Nature*, 346: 347–349
- BONNEFILLE, R., RIOLLET, G. & BUCHET, G. 1991** – Nouvelle séquence pollinique d'une tourbière de la crête Zaïre-Nil (Burundi). *Rev. Palaeobotany and Palynology*, 67: 315–330

- BONNEFILLE, R., CHALIE, F., GUIOT, J. & VINCENS, A. 1992** – Quantitative estimates of full glacial temperatures in equatorial Africa from palynological data. *Climate dynamics*, 6: 251–257
- 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
- BOUXIN, G. 1973** – Etude quantitative de quelques aspects de la végétation au Rwanda. Thèse de doctorat, Université de Liège : 441 p.
- BOUXIN, G. 1974** – Etude phytogéographique des plantes vasculaires du marais de Kamiranzovu (Rwanda). *Bull. Jard. Bot. Belg.* 44 : 141–159
- BOUXIN, G. 1977** – Structure de la strate arborescente dans un site de la forêt de montagne du Rwanda (Afrique centrale). *Vegetatio*, 33, 2–3 : 65–78
- BRENAC, P. 1988** – Evolution de la végétation et du climat dans l'Ouest – Cameroun entre 25000 et 11000 ans BP. *Inst. Fr. Pondichéry, Trav. Sect. Sci. Tech.*, XXV : 91 – 103. Actes Xè Symposium APLF Bordeaux, 28 sept. – 2 oct. 1987
- BRNCIC, T. M., WILLIS, K.J., HARRIS, D.J., & WASHINGTON, R. 2007** – Culture or climate? The relative influences of past processes on the composition of the lowland Congo rainforest. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 362: 229–242
- BRNCIC, T. M., WILLIS, K.J., HARRIS, D.J., TELFER, W. M., & BAILEY, R. M. 2009** – Fire and climate change impacts on lowland forest composition in northern Congo during the last 2580 years from palaeoecological analyses of seasonally flooded swamp. *The Holocene*, 19, 1: 79–89
- BRYAN G. & OSMASTON A. 2008** – Quaternary glaciation in Africa: Key chronologies and climatic implications. *Journal of Quaternary Science* 23, 6–7, 589–608
- BULTOT, F. 1950** – Carte des régions climatiques du Congo belge, établie d'après les critères de Köppen. *INEAC. Bur. Climatol.* Communication n°2
- BUSSMANN, R.W. 2001** – Succession and regeneration patterns of East Africa mountain forests. A review, *Syst. Geogr. Pl.* 71 : 959–974
- BUTZER, K.W., ISAAC, G.L., RICHARDSON, J.L. & WASHBOURN-KAMAU, C.K. 1972** – Radiocarbon dating of East African lake levels. *Science*, 175: 1069–1076
- CARATINI, C. & GIRESE, P. 1979** – Contribution palynologique à la connaissance des environnements continentaux et marins du Congo à la fin du Quaternaire. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 288 D: 379–382
- CLARK, J.D. & van ZINDEREN BAKKER, E.M. 1962** – Pleistocene climates and cultures in North- Eastern Angola. *Nature*, 196, 4855: 639–642
- CLARK, J.D. & van ZINDEREN BAKKER, E.M. 1964** – Prehistoric cultures and Pleistocene vegetations at the Kalambo Falls, Northern Rhodesia. *Nature*, 210: 971–975
- COETZEE, J.A. 1967** – Pollen analytical studies in East and Southern Africa. *Palaeoecology of Africa*, 3: 1–146
- COLOMBAROLI, D. & VERSCHUREN, D. 2010** – Tropical fire ecology across the African continent : A paleoecological perspective. *PAGES news*, vol. 18, n°2, 65–67
- COLYN, M. 1987** – Les primates des forêts ombrophiles de la cuvette du Zaïre : interprétations zoogéographiques des modèles de distribution. *Rev. Zool. Afr.*, 101 : 183 – 196

- COLYN, M., GAUTHIER-HION, A. & VERHEYEN, W. 1991** – A re-appraisal of palaeoenvironmental history in Central Africa : evidence for a major fluvial refuge in the Zaïre Basin. *Journal of Biogeography*, 18: 403–407
- COMBE, J. 1977** – Guide des principales essences de la forêt de montagne du Rwanda. *MINAGRI* – Direction des Eaux et des Forêts, Kibuye – Coopération technique suisse, 3003, Berne. 239 p.
- DE DAPPER, M. 1978** – Couvertures limono-sableuses, stone line, indurations ferrugineuses et action des termites sur le Plateau de la Manika (Kolwezi, Shaba, Zaïre). *Geo-Eco-Trop.*, 2: 265–278
- DE DAPPER, M. 1979** – Le microrelief des surfaces de sommet des Plateaux à couverture sableuse aux environs de Kolwezi (Shaba-Zaïre). *Bull.Soc.belge Géol*, 88, 2 : 97–104
- DE FORESTA, H., SCHWARTZ, D., DECHAMPS, R. & LAFRANCHI, R. 1990** – Un premier site de métallurgie de l'Age du fer ancien (2110 B.P.) dans le Mayumbe congolais et ses implications sur la dynamique des écosystèmes. *NSI*, 7: 10–12
- 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.
- DEMENOCAL, P., ORTIZ, J., GUILDERSON, T., ADKINS, J., SARNTHEIN, M., BAKER, L. & YARUSINSKY, M., 2000** – Abrupt onset and termination of the African Humid Period: rapid climate responses to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Review*, 19: 347–361
- 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
- DOWNIE, C. 1964** – Glaciations of Mount Kilimanjaro, Northeast Tanganyika. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 75 : 1–16
- DUPLESSY, J.C., MOYES, J., PETIT-MAIRE, N. & GUIOT, J. 1989** – De la forêt au désert. *Le Courrier du CNRS*, 72 : 10–11
- ELENGA, H. 1992** – Végétation et climat du Congo depuis 24 000 ans B.P. Analyse palynologique de séquences sédimentaires du pays Bateke et du littoral. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille III : 238p.
- ELENGA, H. & VINCENS, A., 1990** - Paléoenvironnements quaternaires récents des plateaux Bateke (Congo) : étude palynologique des dépôts de la dépression du bois de Bilanko. Faunes, Flores, Paléoenvironnements continentaux. *In* : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. *ORSTOM* : 271–282
- ELENGA, H., VINCENS, A. & SCHWARTZ, D. 1991** – Présence d'éléments forestiers montagnards sur les plateaux Batéké (Congo) au Pléistocène supérieur : nouvelles données palynologiques. *Palaeoecology of Africa*, 22: 239–252
- ELENGA, H., SCHWARTZ, D. & VINCENS, A. 1992** – Changements climatiques et action anthropique sur le littoral congolais au cours de l'Holocène. *Bull. Soc. Géol. France*, 163, 1 : 83–90
- ELENGA, H., SCHWARTZ, D. & VINCENS, A. 1994** – Pollen evidence of late Quaternary vegetation and inferred climate changes in Congo. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 109: 345–356

- ELENGA, H., SCHWARTZ, D., VINCENS, A., BERTAUX, J., DENAMUR, C., MARTIN, L., WIRRMANN, D., SERVANT, M. 1996 – Holocene pollen data from Kitina Lake (Congo) palaeoclimatic and paleobotanical changes in the Mayombe Forest area. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 323, sér. II a, 403–410
- ELENGA, H., PEYRON, O., BONNEFILLE, R., JOLLY, D., CHEDDADI, R., GUIOT, J., ANDRIEU, V., BOTTEMA, S., BUCCHET, G., de BEAULIEU, J.-L., HAMILTON, A., C., MALEY, J., MARCHANT, R., PEREZ-OBOL, R., REILLE, M., RIOLLET, G., SCOTT, L., STRAKA, H., TAYLOR, D., VAN CAMPO, E., VINCENS, A., LAARIF, F. & JONSON, H. 2000 – Pollen-based biome reconstruction for Southern Europe and Africa 18,000 yr BP. *Journal of Biogeography*, 27: 621–634
- ELENGA, H., VINCENS, A., SCHWARTZ, D., FABING, A., BERTAUX, J., WIRRMANN, D., MARTIN, L. & SERVANT, M. 2001 – Le marais estuarien de la Songolo (Sud Congo) à l'Holocène moyen et récent. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 172, 3 : 359–366
- ERDTMAN, G. 1960 – The acetolysis method, a revised description. *Swensk Botanisk Tidskrift*, 54: 561–564
- FABING, A. 1995 – Contribution à la connaissance des paléoenvironnements Holocènes du Sud-Congo: étude par spectrométrie infrarouge de la carotte S2 (marais de la Songolo, Pointe Noire). Mémoire de Maîtrise de Géographie, Université de Strasbourg: 92 p.
- FAURE, H. & ELOUARD, P. 1967 – Schéma des variations du niveau de l'océan atlantique sur la côte de l'Ouest de l'Afrique depuis 40.000 ans. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 265 D: 784–787
- FISCHER, E. 1996 – Die vegetation des Parc National de Kahuzi-Biéga, Sud-Kivu, Zaïre. Franz Steiner Verlag. Stuttgart. 239 p.
- GASSE, F. 1977 – Evolution of lake Abhé (Ethiopia and T.F.A.I.) from 70 000 BP. *Nature*, 2:42–47
- GASSE, F. 2000 – Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19 : 189–211
- GASSE, F. 2006 – Climate and hydrological changes in tropical Africa during the past million years. *C.R.Palevol*, 5: 35–43
- GASSE, F. & STREET, F.A. 1978 – Late Quaternary lake – level fluctuations and environments of northern Rift valley and Afar region (Ethiopia and Djibouti). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, Amsterdam, 24, 279–325
- GASSE, F., LEDEE, V., MASSAULT, M. & FONTES, J.Ch. 1989 – Water – level fluctuations of lake Tanganyika in phase with oceanic changes during the last glaciation and deglaciation. *Nature*, 342 : 57–69
- GILLEPSIE, R. , STREET – PERROTT, F.A. & SWITZUR, R. 1983 – Post-glacial arid episodes in Ethiopia have implications for climate prediction. *Nature*, 306: 680–683
- GIRESSE, P., 1975 – Nouveaux aspects concernant le Quaternaire littoral et sous-marin du secteur Gabon–Congo–Cabinda–Zaïre et accessoirement de l'Angola. *Assoc. Sénégal. Et. Quatern. Afr.– Bulletin de liaison*, 46: 45–52
- GIRESSE, P. & KOUYOUMONTZAKIS, G., 1974 – Observations sur le Quaternaire côtier et sous-marin du Congo et des régions limitrophes. Aspects eustatiques et climatiques. *Assoc. Sénégal. Et. Quatern. Afr.– Bulletin de liaison*, 42–43: 45–61
- GIRESSE, P. & KOUYOUMONTZAKIS, G., 1990 – Témoins quaternaires du littoral du Congo et du sud du Gabon. In: *Paysages Quaternaires de l'Afrique centrale atlantique. ORSTOM*: 106–109
- GUILLET, B., ACHOUDONG, G., BONVALLOT, J., DESJARDINS, Th., YOUTA – HAPPI, J., KAMGANG – BEYALA, V., MARIOTTI, A., DENAMUR, C. &

- SCHWARTZ, D. 1996** – Les limites forêt-savane en Afrique centrale occidentale : structure et dynamique récente de la forêt. *In*: Symposium international. Dynamique à long termes des écosystèmes forestiers intertropicaux, *CNRS-ORSTOM* : 145–147
- GUILLET, A., ACHOUNDONG, G., BONVALLOT, J., DESJARDINS, T., YOUTHAPPI, J., KAMGANG-BEYALA, V., MARIOTTI, A., de NAMUR, C. & SCHWARTZ, D. 1996a** – Les limites forêt-savane en Afrique centrale occidentale : structure et dynamique récente de la forêt. *In* : Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux. *CNRS-ORSTOM* : 145–147
- GUILLET, B., MAMAN, O., MARIOTTI, A., GIRARDIN, C. & SCHWARTZ, D. 1996b** – Preuves pédologiques de l'avancée de la forêt sur la savane au Cameroun : contribution de la géochimie organique et isotopique. *In* : Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux. *CNRS-ORSTOM* : 149–153
- HABERYAN, K.A. 1980** – The diatoms of Lake Tanganyika. A paleolimnological record. Thesis Duke University
- 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. 1997** – Etude phytocoenologique de la dorsale orientale du lac Kivu (Rwanda). *Annales Sc. Economiques*. Vol. 24, Musée Royal de l'Afrique centrale, 276 p.
- HABIYAREMYE, F.X. & LEJOLY, J. 1994** – Phytogéographie de la végétation des montagnes du Rwanda occidental. *Mém. Soc. Biogéogr. (Paris)*, 3^{ème} série, IV : 147–157
- HABIYAREMYE, F.X. & ROCHE, E. 2003** – Incidence anthropique sur le milieu montagnard du graben centrafricain : complément phytodynamique aux interprétations palynologiques. *Geo-Eco-Trop.*, 2003, 1–2: 53–62
- 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
- HAMILTON, A.C. 1976** – The significance of patterns of distribution shown by forest plants and animals in Tropical Africa for the reconstruction of Upper Pleistocene palaeoenvironments. A review. *Palaeoecology of Africa*, 9: 63–97
- HAMILTON, A.C. & PERROT, R.A. 1978** – Date of deglaciation of Mount Elgon. *Nature*, 273: 49
- HAMILTON, A.C. 1982** – Environmental history of East Africa. A study of the Quaternary. *Academic Press*, London: 328p.
- HAMILTON, A.C., TAYLOR, D. & VOGEL, J. 1986.** - Early forest clearance and environmental degradation in South-West Uganda. *Nature*, 320: 164–167
- HARLAN, J.R. 1972** – L'origine de l'agriculture. *La Recherche*, 29: 1035–1044
- HARLAN, J.R., DE WET, J.M.J. & STEMLER, A.B.L. 1976** – Origins of African plants domestication. *Mouton Publ. Den Haag, Paris*: 498 p.
- 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
- HECKY, R.E. 1978** – Kivu Tanganyika basin: the last 14 000 years. *Polskie Archiwum Hydrobiologie*, 25, 1-2, 159–165

- 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-Cl.Sc. Naturelles et Médicales*, n.s., X, 2 : 5–102
- HÖHN, A., KAHLHEBER, S., NEUMANN, K. & SCHWEIZER, A. 2007** – Settling the rain forest: the environment of farming communities in Southern Cameroon during the first millenium BC. *Palaeoecology of Africa*, 28 : 29–41
- ILUNGA, L. 1991** – Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu. *Bull. Soc. Géogr. Liège*, 27 : 209–228
- ILUNGA, L. 2006** – Etude des sites majeurs d'érosion à Uvira (R.D.Congo). *Geo-Eco-Trop.*, 30, 2: 1– 12
- ILUNGA, L. 2007** – Environnements sédimentaires et minéralogie des formations superficielles de la Plaine de la Ruzizi (Nord du lac Tanganyika). *Geo-Eco-Trop*, 31: 71–104
- ILUNGA, L. & ALEXANDRE, J. 1982** – La géomorphologie de la plaine de la Ruzizi. Analyse et cartographie. *Geo-Eco-Trop*, 6,2, 105–123 (+ 2 cartes)
- ILUNGA, L., MUHIRE, I. & MBARAGIJIMANA, C. 2004** – Saisons pluviométriques et origine des pluies au Rwanda, *Geo-Eco-Trop*. 28, 1–2: 61–68
- JOLLY, D. & BONNEFILLE, R. 1992** – Histoire et dynamique du marécage tropical de Ndurumu (Burundi), données polliniques. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 75: 133–151
- JOLLY, D., TAYLOR, D., MARCHANT, R., HAMILTON, A., BONNEFILLE, R., BUCHET, G. & RIOLLET, G. 1997** – Vegetation dynamics in Central Africa during the Last Glacial and Holocene periods: pollen records from the interlacustrine highlands of Burundi, Rwanda and Western Uganda. *Journal of Biogeography*, 24: 495–512
- 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, Tome 1–2, 147–170
- KADOMURA, H. & KIYONAGA, J. 1994** – Origin of grassfields landscape in the West Cameroon Highlands. In: Kadomura H. (ed.). *Savannization Processes in Tropical Africa II*. Tokyo Metropolitan University, Japan: 47–85
- KAMPUNZU, A.B., VELLUTINI, P.J., CARON, J.P.H., LUBALA, R.T., KANIKA, M. & RUMVEGERI, B.T. 1983** – Le volcanisme et l'évolution structurale du Sud-Kivu (Zaïre)–Un modèle d'interprétation géodynamique du volcanisme distensif intracontinental. *BCREDP*, 7: 257–271
- KENDALL, R.L., 1969** – An Ecological history of the lake Victoria Basin. *Ecological Monographs*, 37, 1: 173 p.
- KÖPPEN, W. 1931** – Grundriss der Klimakunde. Berlin. Leipzig: 388p.
- KRÖPELIN, S., VERSCHUREN, D., LEZINE, A.M., EGGERMONT, H., COCQUYT, C., FRANCUS, P., CAZET, J.P., FAGOT, M., RUMES, B., RUSSEL, J.M., DARIUS, F., CONLEY, D.J., SCHUSTER, M., von SUCHODOLETZ, H. & ENGSTROM, R. 2008** – Climate–Driven ecosystem Succession in the Sahara: the past 6000 years. *Science*, 320, 5877: 765–768
- LAVREAU, J. 1985** – Le groupe de la Ruzizi (Ruzizien du Zaïre, Rwanda et Burundi) à la lumière des connaissances actuelles. *Mus. Roy. Afr. Centr. (Tervuren): Dép.Géol. Min., Rapport annuel, 1983–1984* : 111–119

- 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. 1942** – La végétation du Nyiragongo. Aspects de la végétation des Parcs Nat. du Congo – Belge. Sér. I. Parc Nat. Albert. Inst. Parcs Nat. Congo Belge., Bruxelles, 122 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.
- LEDENT, D. & CAHEN, L. 1965** – Quelques données géochronologiques nouvelles sur les minéraux et roches du Kivu méridional. *Mus. Roy. Afr. Centr., (Tervuren) ; Dép. Géol. Min.*, Rapport annuel, 1964 : 94–95
- 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. 1989a** – Late Quaternary vegetation and climate of the Sahel. *Quaternary Research*, 32:317– 334
- LEZINE, A.M. 1989b** – Le Sahel: 20 000 ans d'histoire de la végétation. *Bull.Soc.Géol.France*, 8, V, 1:35–42
- LEZINE, A.M. & LE THOMAS, A. 1995** – Histoire du massif forestier ivoirien au cours de la dernière déglaciation. *In: 2^e Symposium de Palynologie africaine, Tervuren (Belgique) / 2nd Symposium on African Palynology, Tervuren (Belgium). Publ. Occas. CIFEG, Orléans*, 1995/31: 73–85
- LEZINE, A.M. & CAZET, J.P. 2005** – High-resolution pollen record from core KW31, Gulf of Guinea, documents the history of the lowland forests of West Equatorial Africa since 40 000 yr ago. *Quaternary Research*, 64 : 432–443
- LEZINE, A.M., DUPLESSY, J.C. & CAZET, J.P. 2005** – West African monsoon variability during the last deglaciation and the Holocene: Evidence from fresh water algae, pollen and isotope data from core KW31, Gulf of Guinea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 219 : 225–237
- LIBEN, L. 1960** – Les bosquets xérophiles du Bugesera (Rwanda). *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 93, 1–2: 93– 111
- LIBEN, L. 1962** – Nature et origine du peuplement végétal (Spermatophytes) des contrées montagneuses du Congo oriental. *Mém. Acad. Roy. Belge, classe des Sciences*, 2^e série, 15, 3 : 1–195
- LIVINGSTONE, D.A. 1962** – Age of Deglaciation in the Ruwenzori Range, Uganda. - *Nature*, 194: 859–860

- LIVINGSTONE, D.A. 1967** – Postglacial vegetation of the Ruwenzori mountain in Equatorial Africa. *Ecological Monographs* 37, 1: 25–52
- LIVINGSTONE, D.A. 1979** – Quaternary geography of Africa and the refuge theory. *In: Prance G.T. (Ed). Biological diversification in the tropics*. New York, 523–536
- 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)*, Tome 94, n° 2, 211–228
- MAHANEY, W.C. & SPENCE, J.R. 1988** – Late Holocene sand dunes stratigraphy and its palaeoclimatic ecologic significance on the Northeast flank of Mont Kenya. *In: MAHANEY, W.C. (Ed.), Quaternary and environmental research on East African Mountains*. 217–229
- MALEY, J. 1982** – Dust, clouds, rain types and climatic variations in tropical North Africa. *Quaternary Res.*, 18 : 1–16
- 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. 1985** – Histoire de la forêt dense au Quaternaire récent et reconstitution des paléoclimats en Afrique de l'Ouest par les analyses polliniques. *Coll. PNEDC, Meudon* : 15–16
- 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 et biogéographiques. *Palaeoecology of Africa*, 18: 307–334
- MALEY, J. 1989** – Late Quaternary climatic changes in the African rain forest: the question of forest refuges and the major role of sea surface temperature variations. *In: Leinen, M., Sarnthein, M. (Eds), Paleoclimatology and Paleometeorology: modern and past patterns of global atmospheric transport. NATO Adv. Sci. Inst., Sér. C, Math. Phys. Sci.* 282, 585– 616
- MALEY, J. 1992** – Commentaires sur la note de D. SCHWARTZ. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre 2 500 et 2000 BP en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. Géol. France*, 163, 3, 363 – 365
- 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
- MALEY, J. 2001** – La destruction catastrophique des forêts d'Afrique centrale survenue il y a environ 2500 ans exerce encore une influence majeure sur la repartition actuelle des formations végétales. *Syst. Geogr. Pl.* 71: 777–796
- MALEY, J. & LIVINGSTONE, D.A. 1983** – Extension d'un élément montagnard dans le Sud du Ghana (Afrique de l'Ouest) au Pléistocène supérieur et à l'Holocène inférieur : premières données polliniques. *C.R. Acad. Sc. Paris, t. 296, série II*, 1287–1291
- MALEY, J., CABALLE, G. & SITA, P. 1990** – Etude d'un peuplement résiduel à basse altitude de *Podocarpus latifolius* sur le flanc congolais du massif du Chaillu. Implications paléoclimatiques et biogéographiques. *In : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. ORSTOM* : 336–352
- MALEY, J. & BRENAC, P. 1998** – Vegetation dynamics, palaeoenvironments and climatic changes in the forests of West Cameroon during the last 28000 years. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99: 157–188

- MALOUNGUILA-NGANGA, D., NGUIE, J. & GIRESE, P. 1990** – Les paléoenvironnements quaternaires du colmatage de l'estuaire du Kouilou (Congo). *In* : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. *ORSTOM* : 89–97
- MAQUET, E. & HIERNAUX, J. 1969** – Céramique ancienne en territoires Havu et Hunde (Kivu, R.D.Congo). *Africa Tervuren*, XIV- 1968/4: 111–116
- MARCHANT, R., TAYLOR, D. & HAMILTON, A. 1997** – Late Pleistocene and Holocene history at Mubwindi swamp, Southwest Uganda. *Quaternary Research*, 47: 316–328
- MARCHANT, R. & TAYLOR, D. 1998** – Dynamics of montane forest in central Africa during the late Holocene: a pollen-based record from western Uganda. *The Holocene*, 8, 4: 375–381
- MARCHANT, R. & HOOGHIEMSTRA, H. 2004** – Rapid environmental change in African and South American tropics around 4000 years before present: A review. *Earth-Science Reviews*, 66: 217–260
- MARTIN, L. & TASTET, J.R. 1972** – Le Quaternaire du littoral et du plateau continental de Côte d'Ivoire. *Bull. Assoc. Sénégal. Et. Quatern. Ouest Afr.*, 33–34: 17–32
- MASUMBUKO, N. C., HABIYAREMYE, F.X, LEJOLY, J. 2012** – Impact of *Sericostachys scandens* on forest regeneration in the Kahuzi-Biega National Park, D.R.Congo. *Scripta Botanica Belgica* 49: 1–8
- MEADOWS, M.E & LINDER, H.P. 1993** – A palaeoecological perspective on the origin of afro-montane grasslands. *Journal of Biogeography*, 20, 345–355
- MEEUSSEN, A., 1980** – Apports nouveaux en matière de classification et du degré d'archaïsme des langues bantoues. *Soc. Etudes Linguistiques et anthropologiques de France*, 9, n.s., II : 457-472
- MEISTER, C. 2007** – Recent archaeological investigations in the tropical rain forest of South-West Cameroon. *Palaeoecology of Africa*, 28 : 53–55
- MBENZA-MUAKA, 1983** – Evolution de l'environnement géomorphologique de fonds de vallées au cours du Quaternaire dans une région tropicale humide. Thèse de doctorat Univ. De Liège. Lab. Géographie physique. 238 p.
- MBENZA-MUAKA & ROCHE, E. 1980** – Exemple d'évolution paléoclimatique au Pléistocène terminal et à l'Holocène au Shaba (Zaïre). *Mém. Museum nat. Hist. Nat.*, B, 27 : 137–148
- MBENZA-MUAKA, ROCHE, E. & DOUTRELEPONT, H. 1984** – Note sur les apports de la Palynologie et de l'étude des bois fossiles aux recherches géomorphologiques sur la vallée de la Lupembashi. *Rev. Paléobiol.* (Genève), v.s.: 149–154
- MOEYERSONS, J. 1975** – Evolution paléogéographique du site de la Kamo. *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, sér. In-8°, Sc.hum., 84 : 18–46
- MOEYERSONS, J. & ROCHE, E., 1978** – Evolution paléogéographique et phytosociologique en Afrique centrale durant le Pléistocène supérieur. *Etudes d'Histoire africaine*, 9-10 : 37–48
- MOEYERSONS, J., CORNELISSEN, LAVACHERY, P. & DOUTRELEPONT, H. 1996** – L'abri sous roche de Shum Laka (Cameroun occidental) données climatologiques et occupation humaine depuis 30.000 ans. *Geo-Eco-Trop*, 20, 1–4 : 39–60
- MORRISON, M.E.S. 1961** – Pollen analysis in Uganda. *Nature*, 190 : 483–486
- MOSCOL-OLIVERA M. 1998** – Analyse palynologique d'une séquence sédimentaire Holocène à musisi-karashoma (Kivu-R.D.Congo). Influences climatiques et anthropiques sur l'environnement, Mémoire inédit de DEA, Université de Liège, Faculté des Sciences, 51 p.

- 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
- MUNYULI BIN MUSHAMBANYI, T. 2001** – Contribution à la domestication des essences forestières recherchées et exploitées par la population rurale dans le Parc National de Kahuzi Biega : cas d'*Arundinaria alpina*, Est de la République Démocratique du Congo. *Tropicultura* ; Vol. 19, N° 4 : 171–175
- MWORIA – MAITIMA, J. 1997** – Prehistoric fires and land – cover change in Western Kenya: evidences from pollen, charcoal, grass cuticles and grass phytoliths. *The Holocene*, 7, 4, 409–417
- NEUMER, M., BECKER, E. & RUNGE, J. 2007** – Palaeoenvironmental studies in the Ngotto forest: alluvial sediments of recent and Holocene landscape evolution in the Central African Republic. *Palaeoecology of Africa*, 28 : 121–137
- NGOMANDA, A. 2005** – Dynamique des écosystèmes forestiers du Gabon au cours des cinq derniers millénaires. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II : 163p.
- NTAGANDA, C. 1991** – Paléoenvironnements et paléoclimats du Quaternaire supérieur au Rwanda par l'analyse palynologique de dépôts superficiels. Thèse de doctorat en Sc. Botaniques, Université de Liège, 281p.
- OSLISLY, R. & WHITE, L. 1996** – La relation homme/milieu dans la réserve de la Lopé (Gabon) au cours de l'Holocène ; les implications sur l'environnement. *In*: Symposium international. Dynamique à long termes des écosystèmes forestiers intertropicaux, *CNRS-ORSTOM*, 163–165
- 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
- PARTRIDGE, T.C., SCOTT, L. & HAMILTON, J.E. 1999** – Synthetic reconstruction of Southern African environments during the Last Glacial Maximum (21-18 kyr) and the Holocene Altithermal (8-6 kyr), *Quaternary International*, 57/58: 207–214
- 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.
- PETIT-MAIRE, N. 1992** – Les variations climatiques au Sahara, du passé au futur. *Geo-Eco-Trop.*, 16, 1–4 : 149–166
- PETIT-MAIRE, N. 1993** – Past global climatic changes and the tropical arid/semi-arid belt in North of Africa. *Geoscientific Research in Northeast Africa*, Thorweihe & Schandelmeier Eds. Balkema, Rotterdam : 551–560
- 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.
- PISSART, A. 2002** – Concernant la disparition du Gulf Stream pendant la dernière glaciation et le danger de voir se reproduire ce phénomène catastrophique pour l'Europe. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42 : 79–83
- PRELL, W.L., GARDNER, J.V., BE, A.W.H. & HAYS, J.D., 1976** – Equatorial Atlantic and Caribbean foraminiferal assemblages, temperatures and circulation: interglacial and glacial comparisons. *Geological Soc. of America Memoirs*, 145 : 247–266

- PUIG, H. & GUELLY, A.K. 1996** – Apports de la télédétection à l'étude de la reconquête forestière dans quelques savanes de l'Afrique de l'Ouest. *In: Symposium international. Dynamique à long termes des écosystèmes forestiers intertropicaux, CNRS-ORSTOM*, 167–169
- 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
- ROBYNS, W. 1947** – Flore des spermatophytes du Parc national Albert. Vol.I – Institut des parcs nationaux du Congo, Bruxelles, 745 p.
- ROBYNS, W. et al. 1948** – Flore du Congo-Belge et du Rwanda-Urundi, Spermatophytes. Vol. 1 à 10. *INEAC, Bruxelles*
- ROCHE, E. 1975** – Analyse palynologique du site archéologique de la Kamoia. *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, sér. In-8°, Sc.hum, 84: 331–337
- ROCHE, E. 1979** – Book review : Palaeoecology of Africa and of the surrounding Islands and Antarctica, 9. E.M. van Zinderen Bakker, Ed. *Rev. of Palaeobotany and Palynology*, 27 : 93–100
- ROCHE, E. 1987** – Paléoenvironnement du Quaternaire supérieur au Shaba (Zaïre). Datation de deux stone lines par la Palynologie : Kamoia et Haute-Luilu. *Geo-Eco-Trop.*, 11, 1–4: 171–183
- 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. 1998** – Evolution du paléoenvironnement Holocène au Rwanda. Implications climatiques déduites de l'analyse palynologique de séquences sédimentaires. *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*, 108–127
- 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
- RUCINA, S.M., MUIRURI, V.M., KINYANJUI, R.N, McGUINNESS, K. & MARCHANT, R. 2009** – Late Quaternary vegetation and fire dynamics on mount Kenya. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 283: 1–14
- RUNGE, J. 1992** – Geomorphological observations concerning palaeoenvironmental conditions in Eastern Zaïre. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.*, 91: 109–122
- RUNGE, J. 1996** – Palaeoenvironmental interpretation of Geomorphological and pedological studies in the rain forest « core – areas » of Eastern Zaire (Central Africa), *South African Geographical Journal*, 78(2), 91–97

- RUNGE, J. 1997** – Alterstellung und paläoklimatische Interpretation von Decksedimenten, Steinlagen (stone-lines) und Verwitterungsbildungen in Ostzaire (Zentralafrika). *Geoökodynamik*, 18 : 91–108
- 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*, vol, 27: 19–36
- RUNGE, J. 2007** – Des déserts et des forêts, histoire du paysage et du climat de l’Afrique Centrale au Quaternaire supérieur. *Geo–Eco–Trop*, 31 : 1 – 18
- RUNGE, J. 2007** – Dynamics of forests ecosystems in Central Africa during the Holocene. *Palaeoecology of Africa*, 28 : 1–306
- 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
- SALZMAN, U. 2000** – Are modern savannas degraded forests ? - A Holocene pollen record from the Sudanian vegetation zone of NE Nigeria. *Vegetation History and Archaeobotany*, 9: 1–15
- SALZMAN, U. & HOELZMANN, P. 2005** – The Dahomey gap: an abrupt climatically induced rain forest fragmentation in West Africa during the late Holocene. *The Holocene*, 15, 2: 190–199
- SANGEN, M. 2007** – New evidence on palaeoenvironmental conditions in SW Cameroon since the late Pleistocene derived from alluvial sediments of the Ntem River. *Palaeoecology of Africa*, 28 : 79–101
- 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.
- SCAËTTA, H. 1934** – Le climat écologique de la dorsale Congo-Nil (Afrique centrale équatoriale). *Mém. Inst. Roy. Congo belge*, 335 p.
- SCHMITZ, A. 1962** – Les muulu du Haut-Katanga méridional. *Bull. Jard. Bot. Etat*, Bruxelles, 32,3: 221–299
- SCHMITZ, A. 1988** – Révision des groupements végétaux décrits du Zaïre, du Rwanda et du Burundi. Musée Royal d’Afrique Centrale Tervuren. *Annales Sc. Economiques* Vol. 17, 315 p.
- SCHWARTZ, D. 1992** – Assèchement climatique vers 3000 B.P. et expansion bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Géol. France*, 163,3, 153–161
- SCHWARTZ D., FORESTA H. de, DECHAMPS R. & LANFRANCHI R. 1990** – Découverte d’un premier site de l’Age du fer ancien (2 110 B.P.) dans le Mayombe congolais. Implications paléobotaniques et pédologiques. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 310, série II, 1293–1298
- SCHWARTZ, D., DECHAMPS, R., ELENGA, H., LAFRANCHI, R., MARIOTTI, A. & VINCENS, A. 1995** – Les savanes intraforestières du Congo : une végétation spécifique de l’Holocène supérieur. *CIFEG. Orléans, Public. Occas* 31 : 99–108
- SCHWARTZ, D., DECHAMPS, R., ELENGA, H., MARIOTTI, A. & VINCENS, A. 1996** – Les savanes d’Afrique centrale : des écosystèmes à l’origine complexe, spécifiques de l’Holocène supérieur. *In: Symposium international. Dynamique à long termes des écosystèmes forestiers intertropicaux, CNRS ORSTOM* : 179–182

- SERVANT, M. 1983** – Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. *ORSTOM, Paris, Trav. & Doc.*: 159–573
- 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/milieu 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
- SHANAHAN, T. & ZREDA, M. 2000** – Chronology of Quaternary glaciations in East Africa. *Earth and Planetary Science Letters*, 177, 23–42
- SHANAHAN, T.M., OVERPECK, J.T., WHEELER, C.W., BECK, J., PIGATI, W.J.S., TALBOT, M.R., SHOLZ, C.A., PECK, J. & KING, J.W. 2006** – Paleoclimatic variations in West Africa from a record of late Pleistocene and Holocene lake level stand of lake Bosumtwi, Ghana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242: 287–312
- SIRVEN, P.; GOTANEGRE, J.F. & PRIOUL, C. 1974** – Géographie du Rwanda. Ed. DeBoeck, Bruxelles. 175 p.
- STOTHERS, R.B. 1984** – Mystery cloud of AD 536. *Nature*, 307 : 344–345
- SOWUNMI, M.A. 1981** – Nigerian vegetational history from the late Quaternary to the present day. *Palaeoecology of Africa* 13, 217–234
- SOWUNMI, M., A. 1985** – The beginnings of agriculture in West Africa: botanical evidence. *Current Anthropology*, 26, 1 : 127–129
- TAYLOR, D.M. & MARCHANT, R.A., 1996** – Human impact in the interlacustrine region: long-term pollen records from the Rukiga Highlands. *Azania*, 29–30: 283–295
- TAYLOR, D.M, MARCHANT, R. & ROBERTSHAW, P. 1999** – A sediment-based history of medium altitude forest in central Africa: a record from Kabata Swamp, Ndale volcanic field, Uganda. *Journal of Ecology*, 87: 305–315
- TOSSOU, M.G. 2002** – Recherche palynologique sur la végétation Holocène du Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse, Université de Lomé, Faculté des Sciences: 133 p.
- TROUPIN, G. 1966** – Etude phytocénologique du Parc National de l'Akagera et du Rwanda oriental. Recherche d'une méthode d'analyse appropriée à la végétation d'Afrique intertropicale. *Inst. Nat. Rech. Sc., Rép. Rwandaise, Publ. 2*: 293 p.
- 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 GRUNDERBEEK, M.C. 1993** – Essai de delimitation chronologique de l'Age du fer ancien au Rwanda et dans la région des Grands Lacs. *Azania*, 27 : 53–80
- VAN GRUNDERBEEK, 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
- VAN GRUNDERBEEK, M.C., DOUTRELEPONT, H. & ROCHE, E., 1984** – Influence humaine sur le milieu au Rwanda (665 A.D.) – Apport de la palynologie et de l'étude des charbons de bois. *Revue de Paléobiologie-vol. special*: 221–229– Genève
- VAN NOTEN, F. 1983** – Histoire archéologique du Rwanda. *Annales du Musée royal de l'Afrique centrale (Tervuren), Sciences humaines*, n°112 : 174 p.
- van ZINDEREN BAKKER, E.M. 1962** – A Late-Glacial and Post-Glacial climatic correlation between East-Africa and Europe. *Nature*, 194, 4824: 201–202

- van ZINDEREN BAKKER, E.M. 1976** – Tentative vegetation maps of Africa South of the Sahara during a glacial and an interglacial maximum. *Palaeoecology of Africa*, 9: IV.
- van ZINDEREN BAKKER, E.M. 1976** – The evolution of late-Quaternary palaeoclimates of Southern Africa. *Palaeoecology of Africa*, 9: 160–202
- van ZINDEREN BAKKER, E.M. & COETZEE, J.A. 1988** – A review of late Quaternary pollen studies in East, Central and Southern Africa. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 55 : 155–174
- VANDENPLAS, A., 1948** – La répartition verticale des précipitations dans les régions montagneuses de l'Est du Congo belge. *Bull. Agr. Congo belge*, 39: 101–118
- VELLUTINI, P.J., BONHOMME, M., CARON, J.P.H., KAMPUNZU, A.B. & LUBALA, R.T. 1981** – Sur la signification « tectonique » des complexes alcalins – acides du Kahuzi et du Biéga (Kivu, Zaïre) – *C.R. Acad. Sci. (Paris)*, 292: 1027–1029
- 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^e Symposium de Palynologie Africaine, Tervuren (Belgique), *CIFEG-Orléans*, Publ. Occas., 31 :145–157
- VINCENS, A., 1989** – Paléoenvironnements du bassin Nord-Tanganyika (Zaïre, Burundi, Tanzanie) au cours des 13 derniers mille ans : apport de la palynologie. *Rév. Palaeobot. Palynol.* ,61 : 69–88
- VINCENS, A., 1989** – Les forêts claires zambéziennes du bassin sud-Tanganyika. Evolution entre 25000 et 6000 ans BP. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 308, sér.2 : 809–814
- VINCENS, A. 1993** – Nouvelles séquences polliniques du lac Tanganyika : 30,000 ans d'histoire botanique et climatique du bassin Nord. *Reviews of Palaeobotany and Palynology*, 78 : 381–394
- VINCENS, A., BUCHET, G., ELENGA, H., FOURNIER, M., MARTIN, L., DENAMUR, C., SCHWARTZ, D., SERVANT, M. ET WIRRMANN, D. 1994** – Changement majeur de la végétation du lac Sinnda (vallée du Niari, Sud-Congo) consécutif à l'assèchement climatique Holocène supérieur : apport de la palynologie. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 318, sér. II, 11, 1521–1526
- VINCENS, A., BUCHET, G., SERVANT, M., & ECOFIT Mbalang collaborators 2010** – Vegetation response to the African Humid Period termination in central Cameroon (7°N) – new pollen insight from lake Mbalang. *Clim. Past.Discuss.*, 5: 2577–2606
- WATRIN, J., LÉZINE, A.M., HÉLY, C. & CONTRIBUTORS 2009** – Plant migration and plant communities at the time of the “green Sahara”; External geophysics, climate and environment; *C. R. Geoscience* 341: 656–670
- WHITE, F. 1986** – La végétation de l'Afrique. *AETFAT/ORSTOM-UNESCO*, Recherches sur les ressources naturelles, XX, 384 p.
- WHITE, L.J.T. 1995** – Rapport ECOFAC Gabon, Publication AGRECO, Bruxelles.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCTION..... | 1 |
| CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL | 1 |
| Orographie | 1 |
| Géologie..... | 3 |
| Pédologie | 3 |
| Climat..... | 4 |
| <i>Régime des vents</i> | 4 |
| Végétation..... | 6 |
| LOCALISATION DES SITES..... | 15 |
| Sites étudiés | 16 |
| <i>Cishaka</i> | 16 |
| <i>Lubirabira</i> | 16 |
| <i>Ngushu</i> | 18 |
| <i>Musisi I et II</i> | 18 |
| Sites de comparaison | 19 |
| <i>Sur la dorsale du Congo</i> | 20 |
| <i>Sur la dorsale du Rwanda</i> | 20 |
| MATERIEL ET METHODES..... | 21 |
| Echantillonnage | 21 |
| Datations..... | 21 |
| Traitement des échantillons | 23 |
| Montage des lames..... | 25 |
| Détermination et comptage des pollens | 25 |
| Présentation des résultats..... | 25 |
| Interprétation des résultats..... | 26 |
| Considérations particulières | 27 |
| <i>Podocarpus</i> | 27 |
| <i>Les taxons afro-alpins et afro-subalpins</i> | 27 |
| <i>Hagenia</i> | 28 |
| <i>Poaceae</i> | 28 |
| RESULTATS..... | 29 |
| Zonation et description des diagrammes polliniques..... | 29 |
| Marais de Ngushu | 29 |
| Marais de Cishaka | 33 |
| Marais de Lubirabira | 37 |
| Marais de Musisi I | 40 |

| | |
|--|------------|
| Marais de Musisi II | 44 |
| INTERPRETATION DES RESULTATS..... | 46 |
| Evolution de l'environnement local | 47 |
| <i>Ngushu</i> | 47 |
| <i>Cishaka</i> | 50 |
| <i>Lubirabira</i> | 53 |
| <i>Musisi I</i> | 54 |
| <i>Musisi II</i> | 55 |
| Corrélations entre les différentes séquences étudiées | 58 |
| SYNTHESE – DISCUSSION | 61 |
| Le Pleistocène supérieur | 62 |
| L'Holocène..... | 65 |
| Les 20 dernières années | 69 |
| Introduction | 69 |
| Le Parc National de Kahuzi–Biega..... | 69 |
| <i>Présentation</i> | 69 |
| <i>Problématique</i> | 70 |
| Objectif | 70 |
| Méthodologie | 70 |
| <i>Acquisition des images satellitaires</i> | 71 |
| <i>Pré-traitements appliqués</i> | 71 |
| <i>Calcul de l'indice normalisé de végétation</i> | 72 |
| Observations..... | 73 |
| Tentative d'explication | 74 |
| Remarques conclusives..... | 76 |
| EVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT REGIONAL..... | 78 |
| La zone bordière du Kivu..... | 78 |
| La dorsale orientale | 85 |
| <i>La végétation naturelle</i> | 85 |
| <i>Les dépôts tourbeux</i> | 86 |
| <i>Etudes palynologiques</i> | 87 |
| COMPARAISON AVEC DES SITES DE L'AFRIQUE INTERTROPICALE..... | 92 |
| Burundi | 93 |
| Région zambézienne | 94 |
| Afrique de l'Est | 95 |
| Afrique de l'Ouest..... | 97 |
| CONCLUSIONS..... | 100 |
| BIBLIOGRAPHIE | 104 |

TABLE DES MATIERES118
LISTE DES FIGURES.....121

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Contexte géographique régional
 1a : Carte de situation
 1b : Zones bordières du Kivu – Orographie
 1c : Localisation des sites
- Figure 2 : Climat
 2a : Courants aériens et précipitations sur les crêtes bordières du Sud-Kivu
 2b : Régime des vents en Afrique
 2c : Zones climatiques sur les régions bordières du Kivu
- Figure 3 : Transect effectué sur la dorsale occidentale congolaise du Kivu
- Figure 4 : Milieux anthropisés sous 2000 m d'altitude
- Figure 5 : Forêt afro-montagnarde
- Figure 6 : Etage alpin et subalpin
- Figure 7 : Zone d'étude : localisation des sites
- Figure 8 : Aspect des différents sites
- Figure 9 : Végétation des zones marécageuses
- Figure 10a : Echantillonnage de terrain
 10b : Description et chronologie des différentes séquences sédimentaires
- Figure 11 : Diagramme pollinique détaillé du site Ngushu
- Figure 12 : Diagramme pollinique détaillé du site Cishaka
- Figure 13 : Diagramme pollinique détaillé du site Lubirabira
- Figure 14 : Diagramme pollinique détaillé du site Musisi I
- Figure 15 : Diagramme pollinique détaillé du site Musisi II
- Figure 16 : Corrélations entre les différentes séquences sédimentaires
- Figure 17 : Evolution de la végétation de la haute altitude du PNKB à différentes périodes entre 1986 et 2008
- Figure 18 : Dommages créés au PNKB
- Figure 19 : Evolution du milieu afro-montagnard entre ca. 5200 ans et ca 4500 ans BP.
 19a : Forêt afro-montagnard à tendance mésophile, en voie d'ouverture
 19b : Milieu afro-montagnard ombro-mésophile à tendance afro-subalpine
 19c : Forêt dense à caractère ombrophile marqué
- Figure 20 : Aspect de la végétation à différents altitudes aux alentours du 1^{er} millénaire A.D
 20a : Milieu forestier ombro-mésophile modérément ouvert
 20b : Milieu forestier clairière en voie de secondarisation
 20c : Milieu savanicole arboré « climato-anthropique »
- Figure 21 : Comparaison entre un site de basse altitude de ca.4000 ans BP avec l'évolution des étages supérieurs de la forêt afro-montagnarde entre ca.4500 et 3800 ans
 1a : Forêt afro-montagnard à tendance mésophile, en voie d'ouverture
 1b : Milieu afro-montagnard largement ouvert. Prairies naturelles altimontaines
 1c : Milieu hétérogène à tendance mésophile marquée
 2 : Savanes boisée naturelle « climatiques » dérivée des formations mésophiles de basse altitude
- Figure 22 : Comparaison de deux milieux boisés, l'un de haute altitude, l'autre de basse altitude vers 2700-2600 ans B.P
 22a : Milieu forestier montagnard hétérogène à tendance ombro-mésophile
 22b : Savane boisée mésophile « climatique »
- Figure 23 : Diagramme pollinique condensé du site de référence Kiguhu II
- Figure 24 : Evolution de l'environnement dans le domaine oriental montagnard du Rwanda au cours de l'Holocène (synthèse)