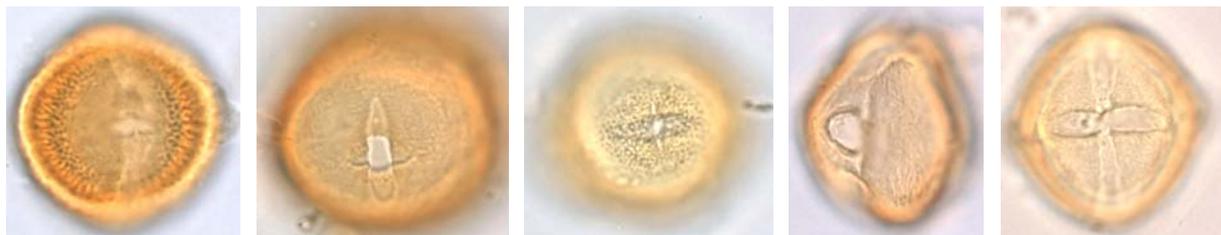
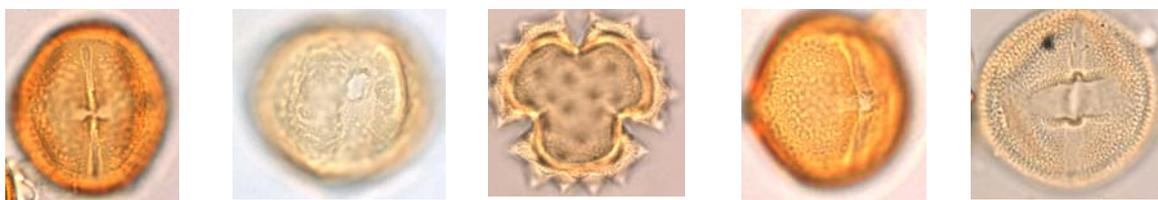


Faculté des Sciences
Unité de Paléobotanique, Paléopalynologie et Micropaléontologie
Météorologie, Oceanologie, environnement



**Dynamique des écosystèmes et biodiversité des montagnes
du Cameroun au cours des derniers 20 000 ans. Analyse
palynologique d'une série sédimentaire du lac Bambili**



par

Chimène ASSI-KAUDJHIS

**Thèse présentée et soutenue le 13 Avril 2011 pour obtenir le grade de Docteur en
Sciences**

Jury :

Mme E. JAVAUX, Université de Liège
Mr. P. GERRIENNE, Université de Liège
Mme A.M. LEZINE, LSCE, Gif-sur-Yvette
Mme A. VINCENS, CEREGE, Aix-en-Provence
Mr. E. ROCHE, Université de Liège
Mr. P. STEEMANS, Université de Liège

Présidente
Co-promoteur, Secrétaire
Co-promoteur
Membre
Membre
Membre

Sommaire

Avant-Propos	i
Introduction.....	1
Première partie : Etat de l'Art	3
« Synthèse sur l'évolution des paléoenvironnements de l'Afrique occidentale atlantique depuis la fin de la dernière période glaciaire. Influences climatiques et anthropiques » (article sous presse à ECO-GEO-TROP).....	4
Résumé.....	4
Introduction.....	5
Généralités sur les changements climatiques.....	7
Les variations climatiques du Quaternaire et leurs causes.....	8
Les variations de longue durée.....	8
Les variations abruptes.....	9
Les changements climatiques en Afrique de l'Ouest.....	11
Les réponses de la végétation aux changements climatiques.....	14
Présentation du secteur de référence : climat et végétation.....	14
Les données polliniques disponibles.....	17
Description des données paléoenvironnementales du secteur étudié.....	18
Changements climatiques et évolution du milieu en Afrique de l'Ouest.....	20
Depuis la dernière période glaciaire.....	20
La recolonisation forestière post-glaciaire.....	23
L'évolution holocène de la végétation.....	24
La période humide holocène.....	24
L'assèchement climatique de ca 4000 BP à ca 2500 BP.....	26
L'installation des écosystèmes actuels et dégradation forestière.....	28
L'influence anthropique.....	29
Discussion.....	31
Conclusions.....	33
Bibliographie.....	34
Seconde partie : Présentation de la zone d'étude.....	43

2-1 Le lac	
Bambili.....	44
2-2 Le relief.....	44
2-3 Le climat.....	47
2-4 la végétation.....	48
2-4-1 La répartition zonale de la végétation.....	49
2-4-1-1 Le centre régional d'endémisme Guinéo-Congolais.....	50
2-4-1-1-1 Le domaine de la forêt dense humide toujours verte.....	51
2-4-1-1-2 Le domaine de la forêt dense semi-caducifoliée.....	51
2-4-1-2 La région Soudano-Zambézienne.....	52
2-4-2 La région afro-montagnarde.....	53
2-4-3 La végétation au lac Bambili.....	55
2-4-3-1 Les relevés botaniques en forêt.....	55
2-4-3-2 La végétation du bord du lac.....	59
2-4-3-3 L'évolution récente du massif forestier aux environs du lac Bambili.....	59
Troisième partie : Matériel et méthodes.....	63
3-1 Les carottes de sondage.....	64
3-1-1 La séquence sédimentaire.....	65
3-1-2 Les datations au radiocarbone.....	67
3-2 Le traitement chimique des échantillons palynologiques.....	67
3-3 La détermination et le comptage des grains de pollen et des spores.....	68
Quatrième partie : Description des données.....	75
4-1 La microflore pollinique.....	76
4-1-1 la représentation de la végétation afro-alpine.....	77
4-1-1-1 L'étage supra-forestier.....	77
4-1-1-2 La forêt de montagne.....	77
4-1-2 La représentation pollinique de la végétation Guinéo-Congolaise.....	78
4-1-2-1 La forêt sub-montagnarde et semi-décidue.....	78
4-1-2-2 la forêt dense humide.....	79
4-1-3 Le cas particulier des savanes et steppes.....	79
4-1-4 La représentation pollinique de la flore locale.....	79

4-1-5 La microflore de Bambili dans le contexte de l'évolution holocène des environnements d'Afrique centrale atlantique.....	79
4-2 Le diagramme pollinique.....	81
Cinquième partie : Discussion.....	89
5-1 l'évolution de la couverture végétale.....	90
5-1-1 Une végétation ouverte et dégradée au cours de la période glaciaire.....	90
5-1-1-1 La couverture forestière.....	90
5-1-1-2 La composition de la végétation locale.....	91
5-1-1-3 Les apports lointains.....	91
5-1-2 La colonisation forestière post-glaciaire.....	93
5-1-2-1 : la chronologie de la colonisation forestière.....	93
5-1-2-2 : L'exemple de deux taxons forestiers majeurs : <i>Olea</i> et <i>Podocarpus</i>	96
5-1-3 L'optimum forestier de l'holocène ancien.....	99
5-1-4 La déstabilisation de la forêt à l'Holocène moyen : l'événement 8.2.....	100
5-1-5 La fin de la période forestière holocène à Bambili.....	101
5-1-5-1 la période comprise entre 8400 et 3300 cal BP.....	101
5-1-5-2 Les fluctuations récentes de la forêt et la mise en place de l'environnement actuel.....	103
5-2 Comparaison des données de Bambili avec un site de l'Afrique Orientale : Rusaka (3°26'S, 29°37'E, alt. 2070 m) au Burundi.....	104
5-2-1 Flores polliniques de Bambili et de Rusaka.....	104
5-2-2 Comparaison des diagrammes de Bambili et de Rusaka.....	105
5-3 Les conséquences du changement environnement sur la biodiversité.....	106
5-4 Végétation régionale, hydrologie et climat.....	108
Conclusion.....	111

Avant-Propos

Je tiens à remercier le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) qui m'a acceptée au sein de sa structure, et a fourni tout l'encadrement nécessaire à la réalisation de ma thèse. Mes remerciements s'adressent également au laboratoire de l'Unité de Paléobotanique, Paléopalynologie et Micropaléontologie de l'Université de Liège ainsi qu'à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de deux projets de recherche de l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR) en France : IFORA (Iles FOrestières Africaines : modèles d'une nouvelle approche de la dynamique de structuration de la biodiversité) et C3A (Causes et Conséquences de la dernière grande « Crise » environnementale sur les écosystèmes forestiers d'Afrique équatoriale atlantique). Je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à leurs deux chefs de projets, respectivement M. Michel Veuille et Mme. Anne-Marie Lézine, qui co-encadrent cette thèse.

Je remercie M. Emile Roche pour m'avoir accueillie dans son laboratoire à Liège puis donné l'opportunité de travailler au sein de l'équipe de palynologie de Mme. Anne-Marie Lézine à Gif-sur-Yvette. Ma thèse a également bénéficié de collaborations étroites avec l'Université de Cocody et le Jardin botanique d'Abidjan en Côte d'Ivoire.

A Mme Vincens Annie, pour m'avoir permise d'accéder au laboratoire de Palynologie du CEREGE, pour sa participation au jury de ma thèse ainsi que pour sa contribution pendant la correction du manuscrit, j'exprime ma reconnaissance.

Je remercie aussi M. Philippe Gerrienne, co-promoteur de cette thèse ainsi que M. Zeli Bruno Digbehi et M. Laurent Aké-Assi pour leur aide pendant ma formation.

J'exprime ma gratitude envers Mme. Valérie Masson-Delmotte et M. Dominique Genty qui ont été les chefs d'équipe durant mon séjour au LSCE.

Mes remerciements s'adressent également à Mme. Marcella Giraldo, M. Jean-Pierre Cazet, M. Guillaume Buchet, M. Louis Février, M. Vincent Montade et Melle. Sarah Ivory qui m'ont initiée aux techniques de recherches en palynologie et aidée dans mon travail quotidien. M. Etienne Kitio m'a accompagnée sur le terrain et Mme. Hélène David a réalisé la carte 1 de ce document, M. Marc Salmon et M. Marius Guede ont traité et analysé les images satellites du secteur de Bambili ; qu'ils reçoivent ici ma reconnaissance.

Je n'oublie pas l'IRD de Yaoundé et M. Gaston Achoundong pour l'aide sur le terrain.

Je pense également à toutes les personnes qui ont facilité mon séjour en France, Mme. Elsa Cortijo, Mme. Muriel Boyer, Mme. Laure Reuter et en Belgique, Mme. Monique Rassenfosse et Mme. Bernadette Wittevrongel.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Mme Emanuelle Javaux, M. Philippe Steemans pour leur participation au jury de cette thèse.

J'ai bénéficié d'une aide financière du gouvernement de Côte d'Ivoire et de l'ANR pour réaliser ma thèse.

Je n'oublie pas de remercier mes parents et amis, pour leur soutien ainsi que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail.



INTRODUCTION

Les forêts tropicales humides recèlent une des plus grandes diversités biologiques de la planète (PUIG, 2001). Au Cameroun (Afrique centrale atlantique), les hautes terres de l'Ouest forment un ensemble de plateaux et montagnes qui abritent d'importantes surfaces forestières. Celles-ci sont aujourd'hui soumises à une importante pression anthropique du fait d'une population nombreuse pratiquant l'agriculture et l'élevage. MOMO SOLEFACK (2009) montre qu'entre 1978 et 2001, le déboisement du massif forestier d'Oku était de 579 ha/an en moyenne ce qui équivaut à un taux annuel moyen de déforestation de 4,1%. A côté de l'action de l'homme, le changement climatique joue un rôle majeur en influençant la distribution et la constitution des écosystèmes et provoquant l'érosion des sols (WALTHER et al., 2002 ; THOMAS et al., 2004 ; SCHRÖTER et al., 2005 ; THUILLER et al., 2006).

Les hautes terres de Bamenda abritent une forêt particulière caractérisée par la présence d'un des rares gymnospermes africains, *Podocarpus latifolius*. Cette espèce n'est présente au Cameroun que dans un secteur restreint à des altitudes supérieures à 1800 m, dans le secteur des Mont Oku et Koupé, (LETOUZEY, 1968). Les données palynologiques d'Afrique centrale atlantique ont montré que les forêts à *Podocarpus*, avaient été considérablement plus étendues qu'aujourd'hui au cours du dernier cycle climatique, notamment pendant la dernière période glaciaire (DUPONT et al., 2000 ; ELENGA et VINCENS, 1990 ; MALEY et LIVINGSTONE, 1983) impliquant sa présence aux basses et moyennes altitudes, en mélange avec la forêt dense Guinéo-Congolaise. L'expansion de *Podocarpus* dans ces zones n'a pris fin que très récemment, il y a 3000 ans environ (in VINCENS et al., 2010). Une telle répartition impliquant la migration récente de l'espèce en altitude a poussé WHITE (1993) à suggérer que les forêts à *Podocarpus* seraient actuellement en position « refuge ». *Podocarpus* aurait migré d'Afrique de l'Est en Afrique de l'Ouest par le Sud au travers de l'Angola pour ensuite coloniser les hautes montagnes du Cameroun.

Documenter l'histoire des forêts de montagne d'Afrique centrale atlantique nécessite que des séries paléoenvironnementales longues et bien datées soient étudiées en zone de montagne d'Afrique centrale atlantique. Or, jusqu'à présent, seuls deux sites lacustres (Bosumtwi au Ghana (MALEY et LIVINGSTONE, 1983 ; GOSLING et MILLER, 2010) et Barombi Mbo au Cameroun (MALEY et BRENAC, 1998 ; LEBAMBA, 2009), tous les deux situés à basse altitude, ont fourni des séries palynologiques continues recouvrant une partie de la dernière

période glaciaire (depuis 50 000 ans) et l'Holocène. Les autres séquences palynologiques de cette région ne remontent pas au-delà de l'Holocène moyen ou présentent des enregistrements discontinus (in ASSI KAUDJHIS et al., sous presse).

Dans ce contexte, ma thèse apporte les premières données palynologiques d'altitude en Afrique centrale atlantique. Elle porte sur l'étude d'une séquence sédimentaire de 14 m de profondeur prélevée au lac Bambili (05°56'11.9 N ; 10°14'31.6 E, 2273 m d'altitude) qui recoupe les derniers 20 000 ans. Ce lac avait déjà fait l'objet d'une étude de la flore de diatomées (STAGER et ANFANG-SUTTER, 1999) au contexte chronologique malheureusement insuffisant.

L'objectif de ma thèse est principalement d'étudier et comprendre la mise en place de la forêt de montagne au Cameroun et d'étudier sa sensibilité au changement climatique, tant sur le plan de sa physionomie que de sa composition floristique. Le manuscrit s'articule autour de cinq parties :

- la première partie est destinée à faire le point sur l'état de l'art concernant les données palynologiques en Afrique occidentale atlantique au Quaternaire récent,
- la deuxième partie est consacrée à la présentation du site d'étude,
- la troisième partie présente le matériel et les méthodes d'analyses,
- la quatrième partie fait l'objet de la présentation des résultats,
- la cinquième partie présente la discussion des résultats en termes de changement environnemental et de biodiversité.

1^{ère} Partie

ETAT DE L'ART

(Article sous presse à ECO-GEO-TROP)



Synthèse sur l'évolution des paléoenvironnements de l'Afrique occidentale atlantique depuis la fin de la dernière période glaciaire. Influences climatiques et anthropiques.

Synthesis on the palaeoenvironments' evolution of Atlantic West Africa since the end of the Last Glacial Maximum. Climatic and anthropological influences.

Chimène ASSI-KAUDJHIS^{1,2}, Bruno Zéli DIGBEHI², Emile ROCHE.³ & Anne-Marie LEZINE¹

Abstract : This paper gets together palynological informations issued from 34 sites from Atlantic West Africa for making, with the aid of an exhaustive bibliography, the synthesis of the palaeoecological evolution of the area during the last 20 000 years.

From the collected data, the following progressive process was established: the period going from 20 000 to 15 500 yrs BP, characterized by a maximum of aridity, is marked by an important expansion of savannahs. During the post-glacial transition, between 15 500 and 12 000 yrs BP, an increase of heat and moisture results in the renewal of the Guineo-Congolese rainforest in the lowlands and of the afro-mountainous forest in the highlands. From 8000 to 6000 yrs BP, a wet and warm optimum favours the rise of lakes levels and a wide forests' expansion. Then, a major change of gradual climatic drying out, recorded towards 4000 yrs BP and extended until 2500 yrs BP allows the retreat of forests and the opening of some clumps. From 2500 yrs BP, the climate evolves gradually towards its current stage, with warmer and wetter characters but it presents a certain instability in touch with the global changes of the last two millennia. Human influence on environment in Atlantic West Africa increases principally from 2000 yrs BP interfering during the last millennium with climate-related events, de effects of which it can mask.

Key words : West Africa, Palynology, Climate, Environmental evolution.

Résumé : Cet article synthétise un ensemble de données palynologiques issu de 34 sites de l'Afrique occidentale atlantique dans le but de préciser, à l'aide d'une bibliographie exhaustive complémentaire, l'évolution des paléoenvironnements régionaux au cours des 20 derniers millénaires.

De l'ensemble des informations recueillies, le schéma évolutif suivant a pu être dégagé : le maximum d'aridité se situe entre 20 000 et 15 500 ans BP ce qui se traduit par une importante expansion des milieux ouverts de savanes au détriment de l'espace forestier réduit à des zones refuges. La transition post-glaciaire, entre 15 500 et 12 000 ans B.P. connaît un réchauffement et une humidification entraînant un regain de la forêt dense guinéo-congolaise en plaine et de la forêt afromontagnarde en altitude. Entre 9000 et 6000 ans BP, une phase climatique chaude et humide optimale favorise une importante montée des niveaux lacustres et une large expansion forestière. Après quoi, de 4000 à 2500 BP, un assèchement progressif contribue à un nouveau retrait des milieux forestiers, à une avancée des taxons mésophiles au sein de ceux-ci et au morcellement de certains massifs. A partir de 2 500 B.P., le climat évolue progressivement vers son stade actuel, à caractère plus chaud et plus humide mais il présente

une certaine instabilité en rapport avec les phénomènes globaux marquant les deux derniers millénaires. L'influence anthropique en Afrique occidentale atlantique, s'est surtout intensifiée à partir de 2 000 ans BP, interférant avec les événements climatiques dont elle peut masquer les effets.

Mots-clés : Afrique occidentale atlantique, Palynologie, Climat, Evolution de l'environnement.

1. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR 1572 CNRS-UVSQ, Orme des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette, cedex, France. Chimene.Assi-Kaudjhis@lsce.ipsl.fr ; AnneMarie.Lezine@lsce.ipsl.fr
2. Université de Cocody, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM). 22 BP 582 Abidjan 22 Côte d'Ivoire. brunozeli_digbehi@yahoo.fr **3.** Université de Liège, UPPM, Sart Tilman - Allée du 6 Août, B18 / P40 B - 4000 Liège 1, Belgique. rocheemile@yahoo.fr

INTRODUCTION

Les domaines forestiers équatorial et tropical humide d'Afrique occidentale et centrale correspondent au centre régional d'endémisme guinéo-congolais décrit par WHITE (1986) qui s'étend sur une superficie de 3 154 490 km² (MAYAUX *et al.*, 2004) en bordure du Golfe de Guinée. Il est constitué de deux ensembles séparés par le « couloir du Dahomey » (Dahomey Gap), formé d'une mosaïque de forêts claires et de savanes au niveau du Ghana, du Togo et du Bénin.

Le premier ensemble s'étend au nord et au sud de l'équateur, du littoral atlantique jusqu'au versant occidental de la dorsale du Kivu et inclut tout le bassin du Congo (2 575 070 km²). Le second, plus réduit, s'étend de la République de Guinée jusqu'au Ghana (570 420 km²). La végétation de ces ensembles est constituée de forêts denses et de mosaïques de formations secondaires et de savanes. Les précipitations y sont très importantes ; cependant, étant donné l'étendue concernée, la répartition des pluies est très variable : elle se situe entre 1 600 et 2 000 mm par an, voire au-delà, jusqu'à 4 349 mm à Conakry, en Guinée (WHITE, 1986).

Ces domaines forestiers qui regroupent environ 8 000 espèces floristiques dont plus de 80% sont endémiques (WHITE, 1983, 1986) sont des systèmes fragiles, soumis aux variations climatiques et menacés par les activités humaines.

Nombre d'études démontrent l'influence des changements climatiques sur les paysages naturels, les associations d'espèces dans les écosystèmes reflétant les interactions entre les organismes et l'environnement abiotique. Même les variations rapides du climat peuvent modifier la composition et la distribution des communautés végétales (WALTHER *et al.*, 2002 ; MARCHANT, & HOOGHIEMSTRA, 2004 ; SCHRÖTER *et al.*, 2005), influencer leur caractère endémique (THUILLER *et al.*, 2006), voire provoquer la disparition de certaines espèces (THOMAS *et al.*, 2004). Quant à l'action humaine sur le milieu, elle se révèle bien souvent désastreuse : à titre d'exemple, la forêt montagnarde de Oku située dans les hautes terres de Bamenda au Cameroun, a vu sa superficie réduite de 50% entre 1963 et 1986, du fait de la pression anthropique (GARDNER, A. *et al.*, 2001 ; MOMO SOLEFACK, M.C., 2009). Bien que des mesures de protection aient été prises depuis (CHEEK *et al.*, 2000), cette dernière n'a pas complètement disparu et l'appauvrissement du milieu se poursuit. Selon le GIEC (2001), en Afrique, les changements climatiques et les pressions démographiques modifieraient considérablement la distribution et la composition des biomes.

Les analyses palynologiques de séquences sédimentaires continentales ont montré que la forêt équatoriale a fortement changé en superficie (MALEY, 1985, 1987, 1992) et en composition (ELENGA *et al.*, 1992, 1994, 2001 ; ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2008) depuis la dernière période glaciaire comme suite à l'évolution du climat (ELENGA *et al.*, 1992, 1994 ; FARRERA *et al.*, 1999 ; LEZINE, 1988 ; REYNAUD-FARRERA *et al.*, 1996 ; SCHWARTZ, 1997 ; VINCENS *et al.* 2007, 2010) et, plus récemment, des activités humaines (BRNCIC *et al.* 2007, 2009 ; REYNAUD-FARRERA *et al.*, 1996 ; ROCHE, 1991 ; SCHWARTZ, 1997 ; TOSSOU, 2002).

En ce qui concerne l'évolution paléoenvironnementale de l'Afrique occidentale atlantique au cours des 20 derniers millénaires, abordée dans le présent travail, il importe de savoir si les données palynologiques révélatrices des changements du couvert forestier dans toute l'étendue considérée sont susceptibles d'être interprétées en termes de changements climatiques et attester l'empreinte de l'homme sur le milieu naturel tout en évaluant son importance.

GENERALITES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le climat change continuellement et de façon variée, présentant des fluctuations à tendance séculaire assorties toutefois d'oscillations, voire de sauts brusques contrastant avec les variations à long terme.

Les reconstitutions climatiques font appel à des informations provenant de données météorologiques disponibles pour les 100 à 200 dernières années, à une documentation historique couvrant les derniers millénaires et à des archives naturelles qui permettent de caractériser l'histoire de la Terre. Ces dernières regroupent entre autres celles incluses dans les carottes océaniques, les sédiments lacustres, les carottes de glaces polaires, les dépôts coralliens, les loess et les paléosols susceptibles d'enregistrer les informations les plus diverses relatives aux changements globaux.

Les variations climatiques du Quaternaire et leurs causes

Les modèles de reconstitution du climat montrent que ce dernier a, au cours du Quaternaire, présenté une alternance de phases de refroidissement d'assez longue durée (Glaciaires) et de phases de réchauffement plus courtes (Interglaciaires).

En ce qui concerne le dernier cycle glaciaire, l'évolution globale du climat et de l'environnement pour une période couvrant les 150 derniers millénaires a pu être déduite de façon précise de l'étude de carottes sédimentaires provenant de fonds marins situés entre 2500 et 4000 m de profondeur ainsi que de carottes de glace prélevées dans les régions polaires (VOSTOK en Antarctique ; North GRIP au Groenland).

Les variations de longue durée

Après la période chaude de l'Eemien (131 000 – 114 000 ans BP), phase d'importante déglaciation au climat globalement plus chaud et humide que l'Holocène et dont le pic le plus chaud culmine à 125 000 ans BP (BOSCH *et al.*, 2000), le dernier cycle glaciaire débute, il y a environ 110 000 ans, par une période transitoire de 40 000 ans, le pré-Würm. Celle-ci précède le « Pléniglaciaire » dont l'intensité s'affirme ca. 41 000 ans pour atteindre son maximum ca. 18 000 ans ¹⁴C BP au DMG / LGM (**Dernier Maximum Glaciaire/Last Glacial Maximum** : de 18 000 – 19 000 ans cal BP à 23 000 – 24 000 ans cal BP). Par l'analyse des carottes de glace, on a constaté qu'aux hautes latitudes, la température avait varié entre 3°C de plus qu'actuellement à l'Eemien et 10°C de moins au dernier maximum glaciaire. A la période d'aridité et de froid de 23 000 à 15 000 ans cal BP succède la phase de réchauffement du **Bölling-Alleröd** entre 14 700 et 12 900 ans cal BP. Puis survient, entre 12 000 et 11 500 ans cal BP un coup de froid brutal accompagné d'une courte période d'assèchement climatique : le **Dryas récent (Younger Dryas)**. Un réchauffement progressif s'installe ensuite pour atteindre le maximum thermique de l'Holocène, période globalement stable sur la durée mais qui connaîtra cependant quelques oscillations au cours du temps.

Les carottes marines ainsi que celles de glace du Groenland et de l'Antarctique ont fourni des preuves irréfutables de la théorie astronomique établie par Milutin MILANKOVICH, dès 1920 pour expliquer les cycles climatiques de longue durée : l'auteur avait calculé une courbe de variation de l'intensité du rayonnement solaire à 65°N en fonction de l'excentricité de l'orbite de la Terre autour du soleil (cyclicité : 100 000 ans), de l'obliquité ou variation de l'inclinaison de l'axe de la Terre (cyclicité : 41 000 ans) et de la précession ou

oscillation axiale de la Terre (cyclicité : 20 000 – 25 000 ans). Le modèle établi sur base de ces trois cycles astronomiques permettait le contrôle du climat terrestre, à l'échelle des temps géologiques. Ce modèle climatique a été confirmé par des cyclicités semblables enregistrées par le rapport O_{18} / O_{16} dans la composition des fossiles carbonatés des fonds marins et par la variation d'épaisseur de la glace des glaciers continentaux.

Les variations abruptes

L'évolution climatique de la Terre, soumise à des cycles relativement longs donne une apparence de stabilité. Ces longs cycles sont cependant régulièrement interrompus par des oscillations brusques qui, tout autant que les variations à long terme, sont enregistrées dans les carottes marines (HEINRICH, 1988) et les carottes de glace (DANSGAARD *et al.*, 1989, 1993 ; SEVERINGHAUS & BROOK, 1999).

Parmi les anomalies abruptes observées dans les carottes de glace du Groenland, figure le cycle de DANSGAARD – OESCHGER (D/O). Fait de refroidissements rapides, de l'ordre de quelques siècles, suivis de réchauffements très rapides sur quelques décennies, ce phénomène présente une fréquence de 1 500 à 5 000 ans ; il a été recensé 24 fois au cours du dernier Glaciaire (STOCKER & MARCHAL, 2000). On n'en connaît pas les causes (Variations de la circulation océanique ? Variations de l'intensité solaire ?). De plus, il n'est pas certain que le phénomène soit largement répandu à la surface du Globe.

Un autre cycle d'évolution rapide du climat concerne les événements de HEINRICH dont six phases (de -60 000 à -15 000 ans) ont été identifiées dans les carottes océaniques de l'Atlantique Nord. Il s'agit de phases de sédimentation détritique dues à des « débâcles d'icebergs » en provenance de l'inlandsis nord-américain dont les plus significatives, celles des événements « HEINRICH II » (21 000 ans ^{14}C BP / 23 000 ans cal BP) et « HEINRICH I » (15 000 ans ^{14}C BP / 16 000 ans cal BP) se seraient produites en quelques siècles. Ces événements qui ont eu lieu à la limite des grandes transitions climatiques précédant le LGM/DMG et la déglaciation du Tardiglaciaire ne seraient pas à inclure dans le **Dernier Maximum Glaciaire** (MIX *et al.*, 2001) dont la datation proposée par EPILOG se situerait de 18-19 à 23-24 cal – kyr BP (correction CALIB – 4). Comme pour le cycle de D/O, les mécanismes du phénomène de HEINRICH sont mal connus et donnent lieu à controverse : « forçage interne » dû à l'effondrement de la calotte Laurentide ; « forçage externe » dû à une variation d'insolation ?

Le dernier changement brutal a eu lieu au **Dryas récent (Younger Dryas : 12 900 – 11 600 ans cal-BP)**, important refroidissement de la fin du Pléistocène se caractérisant par une chute des températures de 7° à 10°C dans l'hémisphère nord. Ce changement est consécutif à une modification de la circulation thermohaline dans l'Atlantique entraînant la disparition temporaire du Gulf Stream par suite d'un phénomène empêchant la plongée vers les abysses des eaux denses de l'Atlantique nord résultant de son refroidissement. Un tel arrêt a été attribué au déversement dans l'océan d'une quantité importante d'eau douce de faible densité par suite du retrait de la calotte glaciaire Laurentide ; cette eau douce en provenance de l'ancien lac Agassiz aurait pu avoir comme exutoire le St Laurent alors que le lac, avant la déglaciation, s'écoulait vers le Mississipi. Toutefois, cet apport d'eau douce pourrait avoir aussi une autre origine, comme la calotte glaciaire de Scandinavie (MANABE & STOUFFER, 2000).

A la fin du Dernier Dryas, la circulation thermohaline s'est rétablie et s'est maintenue depuis, bien que le ralentissement de celle-ci puisse être tenu pour responsable des refroidissements rencontrés à 8 200 ans cal BP (ALLEY *et al.*, 1997 ; KLITGAARD-KRISTENSEN *et al.*, 1998 ; BARBER *et al.*, 1999), entre 5 200 et 4 000 BP (PISSART, 2002) et au Petit Age Glaciaire, entre 1550 et 1850 (DUPLESSY, 1997).

L'épisode abrupt de 8.2 cal - kyr BP correspondrait, tout comme pour le Dryas récent, à un apport d'eau douce dans l'Atlantique nord qui aurait ralenti la circulation océanique. Cet apport proviendrait des lacs Ojibway et Agassiz qui auraient vu leur écoulement vers le St Laurent se modifier par suite de la fonte d'un reste de la calotte nord-américaine occupant encore la baie d'Hudson, ce qui leur aurait créé un nouvel exutoire vers la Mer de Labrador (BARBER *et al.* 1999). La chute des températures estimée pour cette période aurait été de 5°C dans l'hémisphère N et de 3°C en zone tropicale. Quant au refroidissement du Subboréal, ca. 4 000 B.P., il serait estimé à -2°, -3°C (KOÇ KARPUZ & JANSEN, 1992).

Au cours du dernier millénaire, faisant suite à l'Optimum chaud médiéval (de 900 à 1300 apr. J.-C.), un dernier refroidissement s'est manifesté pendant la période dite du « Petit Age Glaciaire », se caractérisant par des hivers très froids entre le XV^{ème} et le XIX^{ème} siècles. Attribué à une dernière altération du Gulf Stream ou à un dernier épisode D/O, ce refroidissement peut trouver son explication dans une diminution de l'activité solaire qui, au cours du dernier millénaire, a connu trois minima se situant respectivement de 1280 à 1350 (Minimum de Wolf), de 1450 à 1550 (Minimum de Spörer) et, le plus important, de 1645 à 1715 (Minimum de Maunder) (BERGER, 1992).

L'analyse de sédiments provenant de la Mer des Sargasses, datés au ^{14}C , a montré que, il y a mille ans (OM), la température de surface était de 1°C supérieure à l'actuelle et qu'il y a 400 ans (PAG), elle lui était de 1°C inférieure (KEIGWIN, 1996).

Enfin, en ce qui concerne les éruptions volcaniques, même si elles ont un impact non négligeable sur les conditions climatiques, entraînant souvent un abaissement des températures mondiales de -0.2° à -1.3°C (RAMPINO & SELF, 1982), elles n'interfèrent que sur le court terme. Ce sont les éruptions dites « cataclysmiques » telles celles les plus connues du Tambora (1815), du Krakatoa (1883), de la Montagne pelée (1902), du Pinatubo (1991), dont les aérosols envoyés dans l'atmosphère tournent plusieurs fois autour de la Terre, qui produisent des perturbations climatiques importantes. Celles-ci, d'une durée d'environ 2-3 ans, des années « sans été » (RAMPINO *et al.* 1988), ont des effets sur l'environnement qui laissent des traces décelables ultérieurement. Ainsi, l'« hiver volcanique » qui a régné de 535 à 540 de notre ère, du Bassin méditerranéen jusqu'en Chine et qui serait attribué à une explosion du Rabaul (Papouasie – Nouvelle Guinée), a été archivé sous forme d'aérosols sulfuriques dans les glaces du Groenland (STOTHERS, 1984) et mis en évidence par la dendrochronologie, en atteste une réduction des cernes de croissance des arbres de 536 à 545 AD (BAILLIE, 1994).

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Les évènements climatiques qui se sont produits en Afrique au cours des 20 derniers millénaires s'inscrivent dans le cadre des changements globaux principalement liés aux fluctuations de la circulation thermohaline dans l'océan atlantique (STREET & STREET-PERROT, 1990). Ces changements climatiques ont été enregistrés au niveau du continent par des faits marquants tels que régressions et transgressions marines, variations des niveaux lacustres, alluvionnements contrastés, balancement des zones humides et arides en région intertropicale, mouvements des glaciers en montagne (RUNGE, 2007).

En Afrique intertropicale, le climat est influencé par les alizés, vents soufflant des hautes pressions subtropicales vers les basses pressions équatoriales, du N-E au S-O dans l'hémisphère nord ; du S-E au N-O dans l'hémisphère sud. Au passage dans l'hémisphère nord, l'alizé du S-E subit une déviation au niveau du Golfe de Guinée où se crée un phénomène de mousson d'orientation SO – NE. Les flux inverses de la mousson humide du S-O et de l'alizé du N-E continental sec (Harmattan) génèrent un front intertropical connu sous le nom de Zone de convergence inter-tropicale (ZCIT) dont la mobilité au cours de

l'année détermine les alternances saisonnières et influent sur la distribution et la répartition des pluies entre les tropiques. L'espace délimité par le balancement de la ZCIT entre ses positions estivale et hivernale a connu deux situations extrêmes au cours des derniers 20 000 ans : au Dernier Maximum Glaciaire (DMG), période aride au cours de laquelle il était fortement réduit au niveau équatorial et pendant la Période Humide Holocène (PHH) lorsque son expansion était maximale (LEROUX, 1992).

Les régimes des vents agissent sur les courants marins qui, par réaction, influent sur les conditions climatiques des continents voisins. C'est le cas du courant de Benguela, courant froid remontant les côtes de Namibie et de l'Angola et alimenté par une remontée d'eau froide (upwelling) remplaçant les eaux de surface poussées vers le large par l'alizé du S-E. Le long de la côte de Namibie, ces eaux froides du Benguela maintiennent un anticyclone qui crée des conditions désertiques sur le continent (Désert de Namib). Durant la phase hypothermale du DMG, le courant de Benguela, poussé par le renforcement des vents (NEWELL *et al.*, 1981., SERVAIN *et al.*, 1982) se serait avancé plus au nord vers le Golfe de Guinée alors que la température des eaux, le long de la côte atlantique, subissait une nette baisse, de l'ordre de 4° à 9°C, liée à la vigueur des upwellings (PRELL *et al.*, 1976). Pour MALEY, J. (1987), il existerait une relation étroite entre les remontées d'eaux froides dans le Golfe de Guinée à cette époque et le rafraîchissement de la température atmosphérique, celle-ci amplifiant les influences arides sur le continent avec pour effet un rétrécissement de la zone des pluies en région équatoriale.

Au DMG, l'océan était à un bas niveau, de l'ordre de -120m (FAURE, H. & ELOUARD, P., 1967). Sur le littoral du Congo et des zones limitrophes, par suite de la régression marine, s'étaient formés, par accumulation éolienne, des cordons de dunes parallèles au rivage alors qu'une sédimentation fluviale terrigène s'effectuait dans un paysage lagunaire (GIRESSE, & KOUYOUMONTZAKIS, 1974 ; GIRESSE, 1975, 1978) sous des conditions arides d'hypersalinité (KOUYOUMONTZAKIS, G., 1990). Sur le continent, les niveaux des lacs étaient au plus bas : c'était le cas du Barombi Mbo au Cameroun (MALEY, 1983) et du Bosumtwi au Ghana. Sous une pluviosité réduite de 50% (SHANAHAN, *et al.* 2006) et un recul de température d'environ - 3°C, une phase aride intense s'est développée avec deux accentuations de l'aridité à 18,5 ka et à 14,7 ka (TALBOT & JOHANNESSEN, 1992), les côtes du Gabon et du Congo étant fortement refroidies (GIRESSE & LAFRANCHI, 1984). Par ailleurs, les recherches de DE PLOEY (1969) sur les importants processus d'érosion dans la région de Kinshasa (R.D.Congo) attestent de l'existence d'une période de sécheresse contemporaine de la dernière glaciation en Europe.

Les observations faites en zone intertropicale sur les milieux fluviaux montrent que les dépôts datant du DMG sont constitués pour la plupart de traînées de matériaux grossiers graveleux attestant un processus d'accumulation sous des conditions arides (RUNGE, 2007).

Le début de la transgression holocène se précise entre ca. 15000 et 12000 ans ^{14}C B.P. alors que le courant de Benguela a perdu de son intensité et que le climat retrouve une certaine humidité, moins affecté par le phénomène d'upwelling (GIRESSE, 1978) ; toutefois il présentait encore des saisons contrastées (MARTIN, & TASTET, 1972). Par ailleurs, le refroidissement global du Dryas récent a provoqué un repos relatif de cette transgression, entre 13000 et 11000 ans B.P., sur les marges du Congo et de la Côte d'Ivoire (GIRESSE, P. *et al.*, 1990). Cet arrêt dans l'évolution humide du climat est signalé aussi par DE MENOCA, P. *et al.* (2000). Ensuite, avec la reprise progressive de l'humidification, la transgression s'est poursuivie pour atteindre son maximum au cours de la PHH, ce qui s'est traduit sur la côte congolaise par un colmatage des chenaux par des dépôts de mangroves, phénomène dont le début est estimé à 9000 ans B.P. et qui s'est poursuivi jusqu'à 6000 ans B.P. (MALOUNGUILA-NGANGA, D. *et al.*, 1990). Le maximum de la transgression aurait été atteint vers 5000 ans B.P., au niveau océanique actuel (GIRESSE, P. & KOUYOUMONTZAKIS, G. 1990).

Vers 4 000 ans ^{14}C B.P., on voit apparaître en Afrique les effets d'un assèchement climatique dû à l'affaiblissement de la mousson atlantique qui aurait commencé ca 5500 ans B.P. Sur la côte atlantique, cet épisode n'aurait eu qu'un effet limité traduit par une faible régression marine (-1m) se situant entre 4000 et 3000 ans ^{14}C B.P. (GIRESSE, P. & KOUYOUMONTZAKIS, G., 1990). Sur le continent par contre, cela a conduit à l'aridification du Sahara, à des régressions, voire à des disparitions de lacs.

Pendant la PHH, le Sahara était jalonné de marécages et d'étendues lacustres à leur optimum entre 8000 et 7000 ans ^{14}C B.P. A partir de 6000 ans ^{14}C B.P. se serait amorcée une détérioration hydrologique irrégulière qui aurait abouti, vers 4500 ans ^{14}C B.P. à une chute importante des pluies mettant fin assez brutalement à la phase humide holocène (DUPLESSY, J.C. *et al.* 1989 ; PETIT MAIRE, N., 1992, 1993). Pour ces auteurs, l'aridification du Sahara devrait donc être considérée comme un événement climatique abrupt. Cette idée est relayée par DE MENOCA *et al.* (2000) et aussi par SALZMAN, U. & HOELZMANN, P. (2005) qui considèrent que l'ouverture du « Dahomey Gap » (Couloir du Dahomey), fragmentation de la forêt dense guinéenne au niveau du Bénin se serait produite en peu de temps. Cependant, des recherches récentes effectuées sur des indicateurs paléoenvironnementaux issus des sédiments du Lac Yoa, un des rares lacs permanents du Sahara, ont mis en évidence une

séquence écologique progressive de l'humide vers l'aride entre 5500 et 2700 ans B.P. En conclusion l'assèchement récent du Sahara ne pourrait être utilisé comme un exemple de changement climatique abrupt (KRÖPELIN, S. *et al.*, 2008).

Après 2500 ans B.P., le climat évolue vers un stade plus humide. Sur la côte du Congo, entre 2000 et 1500 ans B.P., on enregistre une nouvelle transgression marine qui aurait dépassé légèrement le niveau actuel de l'océan. Les effets de cette montée des eaux aurait affecté principalement l'embouchure de la Songolo et la plaine maritime du Kouilou où une extension des lacs et des marécages a été enregistrée. Par la suite, un léger mouvement négatif a ramené l'océan au niveau qu'on lui connaît aujourd'hui (GIRESSE, P. & KOUYOUMONTZAKIS, G., 1990).

LES REPONSES DE LA VEGETATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

L'analyse palynologique de séquences sédimentaires marines, lacustres et palustres constitue l'outil essentiel permettant de reconstituer l'évolution de l'environnement végétal au cours du temps et d'en déduire ses rapports avec les changements climatiques. Pour apprécier l'évolution de la végétation en Afrique occidentale atlantique sur base des données polliniques disponibles, un choix de carottes issues de différents sites marécageux ou lacustres de la dite zone a été effectué. Ces sites sont répertoriés dans le tableau 1 et reportés sur la carte 1.

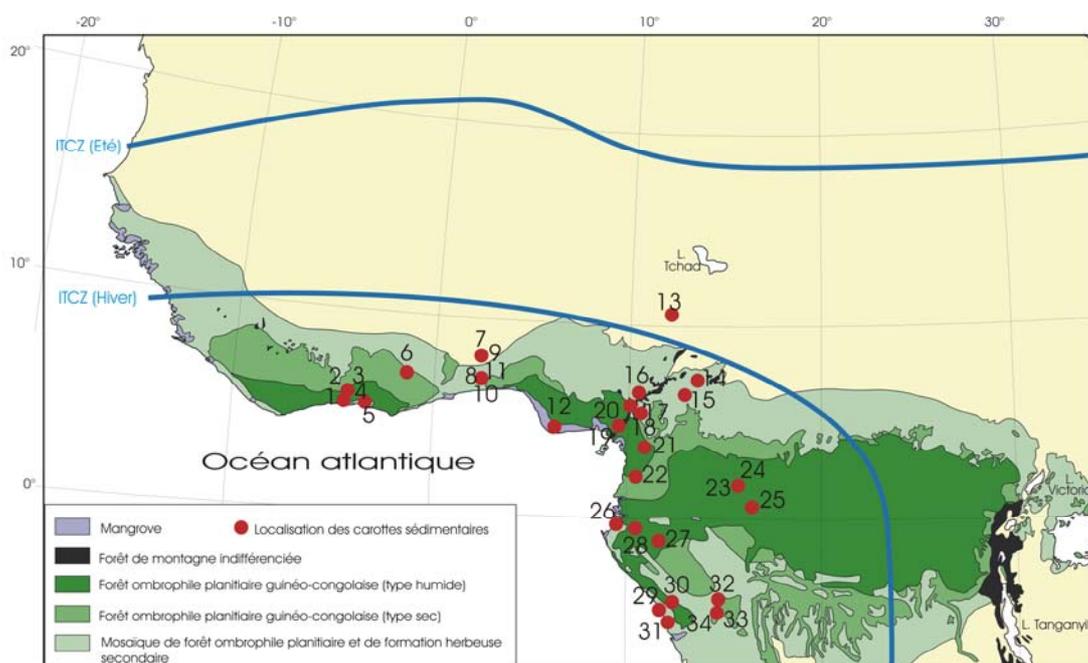
Présentation du secteur de référence : climat et végétation

Le secteur du centre régional d'endémisme guinéo-congolais de l'Afrique s'étend sur une latitude d'environ 10°N à 5°S et une longitude de 23°W à 12°E. L'altitude moyenne dans la grande partie de cet ensemble guinéo-congolais est inférieure à 1000m excepté pour le secteur de la zone volcanique du Cameroun et l'extrémité orientale du bassin du Zaïre où de hautes montagnes sont couvertes d'une végétation afro-montagnarde. Entre la République de Guinée et celle du Gabon, il existe aussi quelques zones de superficie limitée supérieures à 1000m où la végétation guinéo-congolaise est, soit mélangée à des espèces afro-montagnardes ou des espèces endémiques locales d'altitude, soit entièrement remplacée par des formations afro-montagnardes. La région guinéo-congolaise, de par sa grande étendue, est soumise à des conditions climatiques très variées, tant en ce qui concerne les températures que les

précipitations. Les taux de précipitations se situent en moyenne entre 1600 et 2000mm par an ; les zones côtières de la haute et basse-Guinée recevant davantage de pluies.

Sur la base des unités cartographiques de WHITE, F., (1986), la végétation en Région guinéo-congolaise est constituée de :

- (1) la Forêt ombrophile guinéo-congolaise de type humide,
- (2) la Forêt ombrophile guinéo-congolaise de type sec,
- (3) la Mosaïque de (1) et (2),
- (4) la Forêt ombrophile de transition entre la Région guinéo-congolaise et un grand « îlot » de la Région afro-montagnarde à l'Est,
- (5) la Forêt marécageuse,
- (6) la Mosaïque de (5) et de (1),
- (7) la Mosaïque de forêt ombrophile guinéo-congolaise et de formations herbeuses secondaires.



Carte 1 : Localisation des sites répertoriés en zone intertropicale atlantique :

1.A10 2.Agnéby 3.VRIDI6 4.IVCO3 5.Assinie 6.Bosumtwi 7.Yéviédié 8.Nokoué 9.Sélé 10.Goho, 11.Dangbo 12.Niger (delta) 13.Tilla 14.M'Balang 15.Assom 16.Njupi 17.W-10 (Shum Laka) , 18.Bafounda 19.Barombi-Mbo 20.Mboandong 21.Ossa 22.Nyabessan 23.Mopo Bai 24.Goulougo 25.Télé 26.Maridor 27.Kamalété 28.Nguène 29.Kitina 30.Sinnda 31.Coraf 32.Bilanko 33.Ngamakala 34.Songolo.

Tableau 1. Coordonnées géographiques et altimétriques des sites de prélèvement des carottes sédimentaires de la région considérée.

N°	Site	Latitude	Longitude	Pays	Altitude (m)
1	A10	05.10.44 N	04.24.25 W	Côte d'Ivoire	-5
2	Agnéby (3 puits)	05.20.00 N	04.15.00 W	Côte d'Ivoire	28
3	VRIDI 6	05.15.00 N	03.58.00 W	Côte d'Ivoire	0
4	IVCO 3	05.06.00 N	03.31.00 W	Côte d'Ivoire	-34
5	Assinie	05.08.00 N	03.19.00 W	Côte d'Ivoire	9
6	Lake Bosumtwi [core B6/B7]	06.30.00 N	01.25.00 W	Ghana	100
7	Yéviédié	06.32.06 N	02.22.42 E	Benin	53
8	Lac Nokoué	06.29.42 N	02.23.17 E	Benin	47
9	Lac Sélé	07.09.00 N	02.26.00 E	Benin	8
10	Goho	06.26.35 N	02.34.45 E	Benin	35
11	Dangbo	06.36.25 N	02.35.43 E	Benin	40
12	Niger delta core (boring 22)	04.33.00 N	06.26.00 E	Nigeria	0
13	Lake Tilla	10.23.44 N	12.07.47 E	Nigeria	690
14	M'balang	07.19.00 N	13.44.00 E	Cameroun	1100
15	Lac Assom	06.38.00 N	12.59.00 E	Cameroun	900
16	Lac Njupi	06.27.00 N	10.19.00 E	Cameroun	1108
17	W-10 (Shum Laka)	05.51.00 N	10.03.00 E	Cameroun	1355
18	Bafounda Swamp	05.32.00 N	10.20.00 E	Cameroun	1310
19	Lac Barombi-Mbo [BM6]	04.39.45 N	09.24.15 E	Cameroun	300
20	Mboandong	04.30.00 N	09.24.00 E	Cameroun	130
21	Lac Ossa	03.48.05 N	10.45.00 E	Cameroun	8
22	Nyabessan	02.40.00 N	10.40.00 E	Cameroun	156
23	Mopo Bai	02.14.26 N	16.15.41 E	Congo	390
24	Lac Goulougo	02.09.50 N	16.30.32 E	Congo	400
25	Lac Télé	01.20.00 N	17.10.00 E	Congo	350
26	Lac Maridor	00.10.00 S	09.21.00 E	Gabon	5
27	Lac Kamalété	00.43.00 S	11.46.00 E	Gabon	350
28	Lac Nguène [NGU1]	00.12.00 S	10.28.00 E	Gabon	20
29	Lac Kitina	04.16.12 S	12.00.00 E	Congo	120
30	Lac Sinnda [SN 2]	03.50.10 S	12.48.00 E	Congo	128
30	Lac Sinnda [SN 3]	03.50.10 S	12.48.00 E	Congo	128
31	Coraf [CORAF 2]	04.45.00 S	11.51.00 E	Congo	1
31	Coraf [CORAF T]	04.45.00 S	11.51.01 E	Congo	0
32	Bois de Bilanko [LH1]	03.31.00 S	15.21.01 E	Congo	600
32	Bois de Bilanko [LH3]	03.31.00 S	15.21.02 E	Congo	600
32	Bois de Bilanko [LS3]	03.31.00 S	15.21.00 E	Congo	600
33	Ngamakala [P] Gama 1	04,04,27 S	15.23.00 E	Congo	400
33	Ngamakala [1] Gama 2	04.04.30 S	15.23.00 E	Congo	400
34	Songolo [S2]	04.45.51 S	11.51.55 E	Congo	5

Les données polliniques disponibles

La Figure 1 représente la synthèse faite à partir des données polliniques enregistrées depuis 22 000 ans dans 34 sites d'Afrique occidentale atlantique repris dans le Tableau 1. N'ont pas été pris en compte dans cette figure de synthèse les sites océaniques dont les indications sont d'ordre plus général et donc peu précis du fait d'apports polliniques fort disparates. Cette figure de synthèse n'est pas représentative de séquences sédimentaires mais plutôt de séquences temporelles d'évolution de la végétation au cours du temps sur base des datations disponibles ; ces dernières étant converties en années calendaires. Les sites repris sont disposés selon deux directions : une direction Ouest – Est, de la Côte d'Ivoire (A10) au Nigéria (Delta du Niger) et une direction Nord - Sud du Nigéria (Tilla) au Congo (Songolo). Les sites littoraux sont marqués par une étoile.

Dans l'ensemble, les reconstitutions sont hétérogènes. Les schémas de végétation qui sont encadrés n'ont qu'une seule datation de référence. La chronologie de A10 et Agnéby est basée sur des extrapolations et celle de Télé et Assom sur les études sédimentologiques. La sédimentation de certaines carottes est discontinue (Njupi et Sinnda) et des limites non précisées sont marquées par des points d'interrogation. Quatre carottes recoupent le Dernier Maximum Glaciaire (Bosumtwi, Shum Laka (W-10), Barombi Mbo (Ngamakala) avec un nombre de niveaux comptés plutôt faible variant entre 300 et 1 000 ans pour les séries plus anciennes. Les données sur l'environnement de Tilla et Bilanko se situent pendant la transition Glaciaire-Interglaciaire mais sur la carotte de Bilanko, une seule datation a été faite à la base. Le reste des sites retrace l'environnement de l'Holocène. Les analyses polliniques de la Côte d'Ivoire remontant aux années 1970 à 1977 n'ont pas suffisamment de datations (FREDOUX, A. & TASTET, J.P., 1976 ; FREDOUX, A., 1977 ; ASSEMIEN, P. *et al.*, 1970 ; ASSEMIEN, P., 1971). Les données disponibles des lacs Télé et Assom ne permettent pas de faire la synthèse de leur environnement de manière précise dans le temps (LARAQUE, A. *et al.*, 1998 ; NGOS III, S. *et al.*, 2003). Très peu de données concernent la carotte de Bafounda (TAMURA, T., 1990) ; une datation aux environs de 1,5m a été faite sur les 3m de sédiment et la majorité des taxa polliniques n'est pas reprise sur le diagramme. Les reconstitutions sur les derniers millénaires, plus récentes, ont toutefois une résolution plus fine. Il s'agit des sites de Maridor, Nguène, Kamalété (NGOMANDA, A., 2005 ; NGOMANDA, A., *et al.*, 2007 ; 2009), Mopo Baï, Goualougo (BRNCIC, T.M., *et al.*, 2007 ; 2009) et Mbalang (VINCENS, A., *et al.*, 2010).

Description des données paléoenvironnementales du secteur étudié

La figure 1 fait ressortir les traits majeurs de l'évolution de la végétation des sites étudiés. Les différentes couleurs utilisées sont celles de la carte de végétation de l'Afrique dressée par WHITE, (1983). La présence de formations herbeuses est indiquée par le jaune. Celle de la mangrove est marquée en marron, celle de la forêt ombrophile en bleu foncé, de la forêt marécageuse en bleu roi et de la mosaïque de forêt ombrophile en bleu clair. La forêt claire est notée en vert, la forêt de montagne par des figurés rouges ; enfin les petits figurés indiquent différents faciès dégradés selon leur couleur. En considérant la ligne en pointillé rouge, on constate que les végétations allant de l'Ouest à l'Est, ainsi que celle du Nord, sont dégradées ; par contre dans la direction du Sud (en dehors de Sinnda et Coraf), la forêt persiste mais elle est appauvrie. Il ressort du schéma de synthèse, différents cas de figures d'évolution de l'environnement suivant leur localisation :

- Le seul site dans la partie Ouest qui donne des informations avant 10 000 ans BP est Bosumtwi. Selon les résultats relatifs aux données de ce site, l'on constate entre 22 000 et 10 000 ans, une formation herbeuse avec présence de la forêt de montagne.

A l'Holocène, pour l'ensemble des sites de l'Ouest, on observe une évolution de la mangrove et des forêts de basse altitude. Entre 8 000 et 6 000 ans BP, les mangroves sont relativement bien développées puis elles évoluent vers des forêts marécageuses dégradées. A Yéviédié et Nokoué, cette dégradation est poussée, vers 2 500 ans BP, jusqu'au développement de formations herbeuses (TOSSOU, M.G., 2002 ; TOSSOU, M.G. *et al.*, 2008). Quelques lambeaux de forêt ombrophile et de mangroves sont toutefois conservés dans le delta du Niger (SOWUNMI, M.A., 1981).

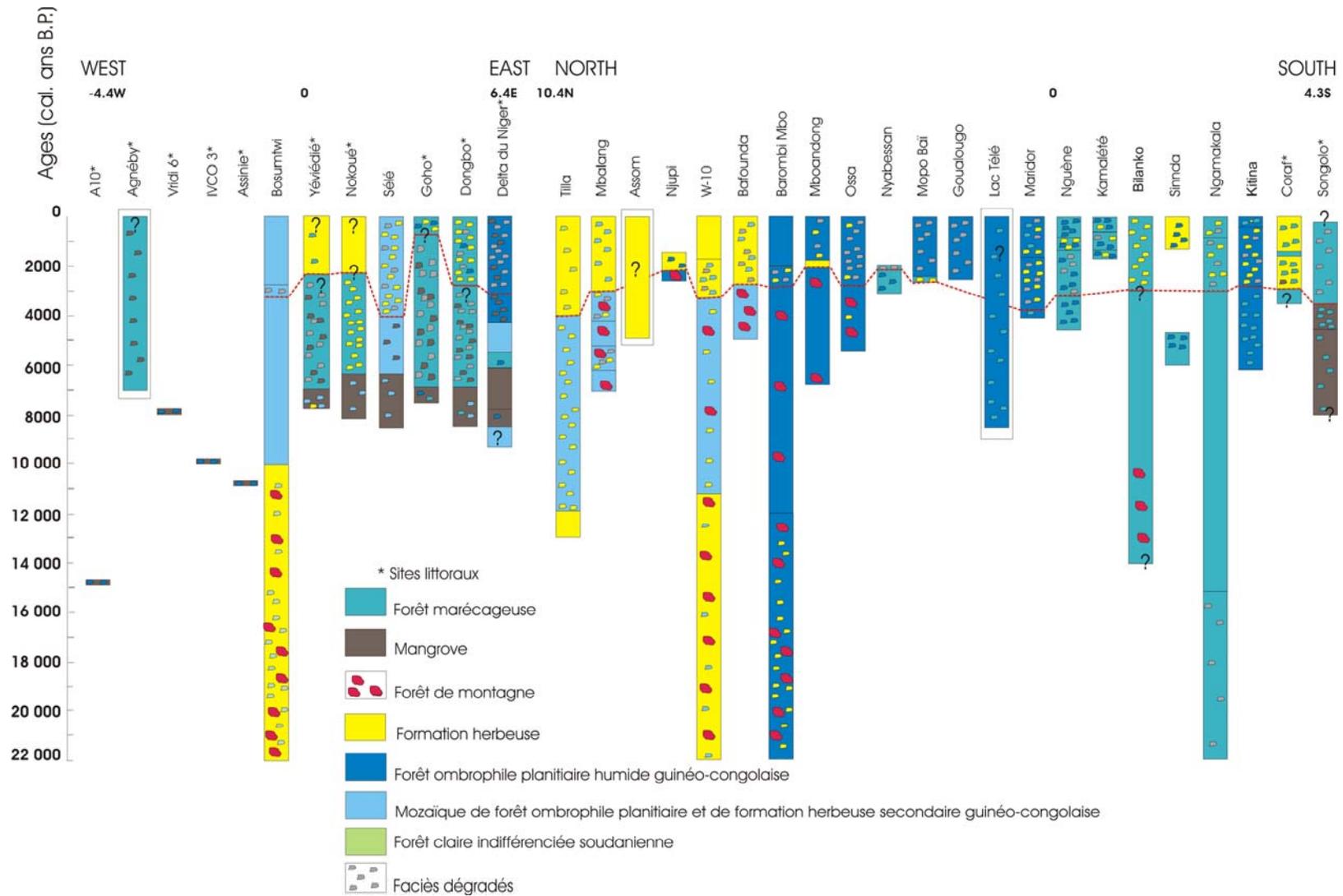


Figure 1. Synthèse paléoenvironnementale du secteur de l'Afrique occidentale atlantique et équatoriale, à partir des données polliniques.

- Dans la partie nord du transect nord-sud de cette figure de synthèse, les formations herbeuses associées à des îlots de forêt de montagne évoluent à Tilla et Shum Laka (W-10) vers une mosaïque forêt-savane, cette dernière étant fortement teintée à Mbalang et Bafounda d'éléments afro-montagnards. Après 4000 ans BP, dans tous les sites de ce secteur se développe une végétation ouverte de savane plus ou moins arborée.

- Dans les sites centraux, la séquence la plus longue, celle de Barombi Mbo montre, avant 10 000 ans BP, une intrusion de la forêt montagnarde dans la forêt ombrophile planitiaire, celle-ci persistant ensuite normalement jusqu'à la période actuelle. Dans les autres sites, l'on observe une ouverture du milieu après 3 000 ans BP. Le retrait forestier est particulièrement marqué à Mboandong aux environs de 2 000 ans BP. A Mopo Baï, Goualougo, et Maridor, les courtes séquences des derniers millénaires ne montrent que des environnements dégradés.

- Dans la partie sud, on assiste à une évolution régressive des forêts marécageuses à partir de 4 000 ans BP, dégradation particulièrement prononcée à Coraf tandis qu'à Songolo les mangroves évoluent vers une forêt marécageuse secondarisée.

Globalement, on peut donc dire que, de 3 500 à 2 000 ans cal.BP, le massif forestier guinéo-congolais a régressé. Sur les sites de Sélé, Goho, Dongbo, Mboandong, Ossa, Maridor, Nguène, Kamalété, Bilanko, Ngamakala, Barombi Mbo et Kitina, cela se traduit par la présence de forêts fragmentées en mélange avec des savanes ; par contre, à Yéviédié, Nokoué, Tilla, Mbalang, Njupi, W-10 (Shum Laka), Bafounda, Sinnda et Coraf , la perturbation a entraîné le remplacement de la forêt par des formations herbacées.

Cette régression, considérée comme d'origine climatique, serait due à une diminution significative des précipitations à l'échelle régionale (GASSE, F., 2000 ; MARCHANT, R. et HOOGHMSTRA, H., 2004).

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET EVOLUTION DU MILIEU EN AFRIQUE DE L'OUEST

Depuis la dernière Période Glaciaire

En Afrique intertropicale, des études relatives aux changements de végétation liés au climat (LIVINGSTONE, D., A., 1967 ; COETZEE, 1967 ; HAMILTON, A., 1982 ; MALEY, J., 1970 ;

1984 ; 1985 ; 1987 ; 1989 ; MALEY, J. & BRENAC, P., 1998 ; BRENAC, P., 1988 ; LEZINE, A.M., 1991 ; 1997 ; 2007 ; ROCHE, E. *et al.* 1988 ; ROCHE, E. & BIKWEMU, G., 1989 ; VINCENS, A., 1991a, 1991b) ont montré que, pendant la dernière période glaciaire, une importante expansion des milieux de savanes est survenue au détriment des milieux forestiers qui seraient réduits à des "zones refuges" dispersées dans la zone.

Sur base des données polliniques disponibles en Afrique occidentale atlantique, on constate que la végétation forestière a été très réduite pendant le DMG, ainsi que l'attestent les diagrammes de KW31, Bosumtwi, Ngamakala et Bambili et, dans une mesure moindre, celui de Barombi Mbo. La dégradation de la végétation pendant cette période est la plus accentuée dans les secteurs de Shum Laka (W-10) au Cameroun (KADOMURA, H. & KIYONAGA, J., 1994) et du lac Bosumtwi au Ghana (MALEY, J., 1987). Les données polliniques de ce lac, situé à 100 m d'altitude, montrent que durant la phase aride intense survenue entre 19 000 et 15 000 ans B.P., les pollens de Graminées et de Cyperacées ont atteint alors 94%, ceux des arbres ne représentant que 4 à 5% (MALEY, J., 1987). Au Barombi-Mbo, de 24 000 à 11 000 ans B.P., on observe également une explosion des Graminées (MALEY, J. et BRENAC, P., 1998), moins marquée cependant qu'au Bosumtwi, car le Barombi-Mbo, situé à 300m d'altitude, semble encore entouré d'une végétation afro-montagnarde vraisemblablement favorisée par la présence de nuages bas formant des brouillards générateurs d'une certaine humidité atmosphérique (MALEY, J. & LIVINGSTONE, DA., 1983 ; MALEY, J., 1987).

Les diagrammes polliniques de Barombi Mbo, de Ngamakala (ELENGA, H. *et al.*, 1994) et de la séquence marine KW31 (LEZINE, A.M. et CAZET, J.P., 2005) indiquent que la strate arborée était moins dense au cours de la dernière période glaciaire qu'à l'Holocène. Les pourcentages de pollens d'arbres dans les niveaux correspondant au DMG se situent à un minimum de 40% à Ngamakala et de 50% au Barombi Mbo, alors qu'ils s'élèvent respectivement jusqu'à 85% et 68% à l'Holocène. Sur le littoral du Congo, on note une régression des mangroves et une expansion des savanes au détriment de la forêt côtière alors que la masse planctonique en mer connaît une augmentation sensible (CARATINI, C. & GIRESSE, P., 1979).

L'extension de taxons montagnards à basse altitude et leur mélange au sein d'associations forestières ombrophiles et mésophiles ont également été observés, suggérant l'installation de conditions climatiques plus froides qu'actuellement à basse et moyenne altitude à la fin du Pléistocène (MALEY, J., 1987 ; MALEY, J. & LIVINGSTONE, D.A., 1983 ; MALEY, J. &

BRENAC, P., 1998 ; ELENGA, H. & VINCENS, A., 1990 ; ELENGA, H. *et al.*, 1991). Ce fait est très marqué sur le site de Kouyi, sur le flanc congolais du Massif du Chaillu. La persistance actuelle, dans cette station située à 700m d'altitude sous un climat à forte nébulosité, d'espèces afro-montagnardes comme *Podocarpus* et *Rapanea* témoignent de l'existence antérieure de conditions paléoclimatiques plus froides favorables à l'installation de ce type de végétation (MALEY, J. *et al.* 1990). De même, sur les Plateaux Batéké, au cours du Pléistocène supérieur, la végétation était dominée par des taxons appartenant au groupement afro-montagnard, particulièrement *Podocarpus milanjanus* (35%), *Ilex mitis* (10%) et *Olea welwitschii* (3,5%). Ces plateaux auraient été soumis aux conditions climatiques d'altitude plus haute (800-1000m). Selon ELENGA & VINCENS, (1990), il s'agirait du même phénomène que celui décrit par MALEY & LIVINGSTONE, (1983) au Ghana et par MALEY & BRENAC (1998) au Cameroun et qui se serait poursuivi jusqu'à la limite Pleistocène-Holocène.

La dégradation de l'environnement au DMG est également perçue en altitude ainsi que l'attestent les données du lac Bambili (05°56'11"N ; 10°14'31"E ; 2273m alt.). Le diagramme pollinique montre aux environs de 17 000 ans cal B.P., l'abondance des plantes herbacées, notamment des Poaceae, Apiaceae undiff., Solanaceae undiff., Amaranthaceae-Chenopodiaceae undiff., la présence d'arbustes héliophiles (*Gnidia*, *Myrica*), et de plantes de milieux secs : forêts claires et/ou savanes, voire steppes tels *Aerva*, *Commiphora*, *Lannea*, *Boscia*... (ASSI-KAUDJHIS, C. *et al.*, 2008).

Pour expliquer l'extension à basse altitude de végétations montagnardes, certains auteurs (HAMILTON, A., 1973 ; 1982 ; ELENGA, H., 1992 ; ELENGA, H. *et al.*, 1994 ; MALEY, J., 1987, 1989), ont envisagé un abaissement de la température se situant entre 5° et 9°C. MALEY (1987) suggère que l'intensification des "upwellings" à l'origine du refroidissement des eaux océaniques dans le Golfe de Guinée à la fin du Pléistocène aurait été à l'origine de la formation de nuages stratiformes peu précipitants responsables de l'installation de conditions humides en montagne et aridifiantes à basse altitude. Cela aurait permis le développement d'une forêt de nuage en altitude caractérisée par les taxons montagnards et une extension de milieux ouverts de savanes en plaine (MALEY, J. & BRENAC, P., 1998).

Pendant la dernière période glaciaire, l'abaissement des températures (FARRERA, I. *et al.*, 1999) couplé au développement des glaciers sur les hauts reliefs en Afrique de l'Est, auraient provoqué l'abaissement de la limite supérieure des arbres de 1000m pour les végétations de

montagne (JOLLY, D. & HAXELTINE, A., 1997 ; OSMATSON, H.A. & HARRISON, S.P., 2005 ; WU, H. *et al.*, 2007). Dans leur reconstitution des biomes du DMG basée sur la documentation disponible de l'Afrique de l'Ouest, ELENGA *et al* (2000) concluent que, globalement, la forêt ombrophile mêlée d'éléments afro-montagnards intrusifs, se réduit fortement durant cette période au profit de milieux ouverts herbacés en forte expansion.

La recolonisation forestière Post-Glaciaire

Les reconstitutions paléoenvironnementales et paléoclimatiques en Afrique intertropicale atlantique ont permis de situer le début de la période humide holocène il y a environ 14 500 ans avec l'augmentation du débit du fleuve Niger (LEZINE, A-M. & CAZET, J-P., 2005; LEZINE, A.M. *et al.*, 2005) et l'arrêt du transport des poussières sahariennes vers l'océan à 14 800 ans BP (DE MENOCA, P. *et al.*, 2000).

Pendant la dernière déglaciation, les enregistrements palynologiques montrent des taux de pollens d'arbres (AP) progressivement plus élevés, attestant une recolonisation du milieu de façons diverses :

- cette augmentation se manifeste en deux phases au lac Bosumtwi (MALEY & LIVINGSTONE, 1983), une ca 14 500 BP (AP variant de 1,4 à 2,9%) et l'autre ca 9 000 BP (AP variant de 2,9 à 4,9%).
- au lac Barombi Mbo, de 13 000 à 9 000 ans BP, la reforestation est soulignée par la progression d'éléments semi-caducifoliés et la diversification d'espèces sempervirentes, ce qui correspondrait à un climat devenant progressivement plus humide (BRENAC, P., 1988 ; MALEY, J. & BRENAC, P., 1998).
- à Ngamakala, à partir de 13 000 ans BP, le début de l'épisode humide se traduit par le développement d'une forêt mésophile avec, comme éléments dominants parmi les AP : *Syzygium* dont le pourcentage passe de 10 à 45%, des Sapotaceae et, dans une moindre mesure, d'*Alchornea* (ELENGA, H. *et al.*, 1994).
- En Côte d'Ivoire, la continuité de la représentation de *Rhizophora* démontre la permanence de la mangrove sur le littoral proche, tout au long de la dernière déglaciation (LEZINE, A.M. & LE THOMAS, A., 1995).
- En altitude au Cameroun, l'exemple de Bambili montre que la reprise de la forêt de montagne se situe à 14 080 cal BP, caractérisée, dans un premier temps, par une expansion de *Myrica*

immédiatement suivie de celle d'arbres tels que *Schefflera*, *Celtis*, *Ficus*, *Macaranga*, *Maesa* et *Podocarpus* (ASSI-KAUDJHIS *et al.*, 2008). Le début de l'expansion forestière à Bambili serait ici contemporain de celui observé en bordure du Golfe de Guinée par LEZINE, A-M. & CAZET, J-P. (2005) et correspondrait, comme le notent STAGER & ANFANG-SUTTER (1999), à l'augmentation des conditions humides en montagne.

- Selon WATRIN, J. *et al.*, (2009), la végétation tropicale humide aurait commencé à s'étendre en latitude jusqu'à 15°N à partir de 12 000 ans cal BP. Le phénomène aurait connu son optimum de 10 000 à 8 000 ans cal BP et aurait persisté jusqu'à 5 000 ans cal BP.

- Quant à LEZINE, A-M. & CAZET, J-P. (2005), la corrélation qu'ils établissent entre les enregistrements continentaux et océaniques montre un certain décalage entre le renforcement des flux de mousson dans le Golfe de Guinée et la réponse de la végétation sur le continent voisin depuis 5° de latitude sud jusqu'au Tropique du cancer. L'association des données polliniques à celles de la flore d'algues d'eau douce qui sont abondantes et diversifiées dans les enregistrements de la carotte KW31, ont permis de caractériser les phases hydrologiques qui se sont succédées lors de la transition Pléistocène - Holocène dans le bassin versant du fleuve Niger (CAZET, J.P., 2001 ; LEZINE, A.M. & CAZET, J.P., 2005). Ces auteurs constatent que le climat de la période de transition glaciaire-interglaciaire a été très instable. Au cours du dernier maximum glaciaire, le débit du fleuve est faible et les apports d'eau douce dans l'océan sont plutôt réduits. La courbe des *Pediastrum*, montre que les apports d'eau douce ont commencé vers 14 500 ans cal BP ; pendant le Bölling/Alleröd avec un pic à 13 650 ans cal BP. Deux grands événements de sécheresse enregistrés entre 13 400 et 12 100 cal BP et entre 11 400 et 11 200 cal BP, correspondraient au Dryas récent (YD) marqué par la baisse de pourcentage de *Pediastrum*, ce qui suggère une chute considérable du débit du fleuve. Par la suite, les apports d'eau douce redeviennent massifs pour atteindre leur maximum à 8 500 BP ; ce secteur du Golfe de Guinée restant alors sous l'influence du Niger jusqu'à 4 500 BP.

L'évolution holocène de la végétation

- La période humide holocène

Les conditions chaudes et humides de la première moitié de l'Holocène ont, sans doute, favorisé le développement d'une végétation de type prairie au Sahara (WATRIN, J. *et al.*, 2009),

une extension de la forêt mésophile sur la marge occidentale du Sahel (LEZINE, A.M, 1988a ;1988b) et aussi une vaste expansion des forêts tropicales en plaine (FARRERA, I. *et al.*, 1999 ; ELENGA, H. *et al.*, 2000 ; MALEY, J., 1985; LEZINE, AM. 2007; VINCENS, A. *et al.*, 1999) et des formations montagnardes en altitude (ASSI-KAUDJHIS, C. *et al.*, 2008).

Au cours de cette période, les pourcentages de grains de pollen de genres ligneux sont élevés dans les diagrammes polliniques mais varient très peu dans les séquences relevées en milieu équatorial. Dès 10 000 ans BP, la végétation est dominée par les taxons forestiers dont l'augmentation brutale atteste l'extension des forêts Guinéo-Congolaises sempervirente et semi-décidue :

- Les informations fournies par la carotte KW31 prélevée au large du delta du Niger, montrent que l'extension du massif forestier holocène débute à partir de 9 700 B.P. et que celle-ci est progressive jusqu'à 8 500 B.P. Sa composition floristique est variée au cours de cette période, associant aux taxons mésophiles (*Combretaceae*, *Lophira*, *Uapaca*, *Macaranga*, *Celtis*...) des éléments pionniers tel *Achornea*. Les représentants de la forêt dense sempervirente ou marécageuse (*Pandanus*, *Symphonia*, *Irvingia*, *Diospyros*...) sont toutefois encore rares.
- Les données polliniques et chronologiques obtenues au Lac Bosumtwi indiquent que la reconstitution de la forêt s'y est produite assez rapidement aux alentours de 9000 ans BP, en moins d'un millénaire (MALEY, J., 1987) pour atteindre des valeurs en AP de plus de 80%.
- Les AP atteignent aussi des taux élevés au Barombi Mbo (95%) et à Ngamakala (85 %), de même qu'au Bois de Bilanko (90 %).
- Sur le littoral, les résultats de la carotte S2 de Songolo témoignent que ce lieu a été occupé en grande partie par des formations forestières entre 7 000 et 4 000 ans cal B.P. La composition floristique de ces formations met en évidence l'existence de deux faciès forestiers : une forêt ombrophile littorale marécageuse et une mangrove bien développée au voisinage du site (ELENGA, *et al.*, 2001). Cela concorde avec les observations antérieures de CARATINI & GIRESSÉ (1979) qui avaient noté une progression sensible de la mangrove et de la forêt côtière marécageuse sur le littoral du Congo (Kouilou – Pointe-Noire) au cours de la PHH.
- En moyenne altitude, à Bambili, entre 10 300 cal BP et 4 600 cal BP, le milieu forestier est en progression constante. La phase forestière holocène sur ce site, est dominée par *Schefflera*, *Podocarpus*, *Olea* et *Syzygium* avec des pourcentages atteignant respectivement 35%, 22%, 11%, et 10% (ASSI-KAUDJHIS, C. *et al.*, 2008).

On trouve ce phénomène à la même période en Afrique de l'Est où la forêt afro-montagnarde et les forêts claires zambéziennes (Miombo) sont en expansion (COETZEE, J.A., 1967 ; LIVINGSTONE, D.A., 1967 ; VINCENS, A., 1991a et 1991b).

- L'assèchement climatique de ca 4000 BP à ca 2500 BP

De façon générale, les données paléoenvironnementales relatives à l'Afrique intertropicale témoignent d'un assèchement climatique, d'ampleur régionale, débutant dans la deuxième moitié de l'Holocène. Ce phénomène est perçu aussi bien en Afrique orientale (BONNEFILLE, R., 1987 ; ROCHE, E. et NTAGANDA, C., 1999 ; VINCENS, A., 1986 ; VINCENS, A. *et al.* 2003) qu'en Afrique de l'Ouest et se traduit par un retrait des formations boisées au profit des milieux ouverts de savanes.

SERVANT, M. (1983) situe l'apparition de cet assèchement au Tchad vers 4000 B.P. Cette période d'aridité est également attestée par les travaux sur les fluctuations de niveaux lacustres (GASSE, F., 2000 ; SHANAHAN, T. *et al.*, 2006).

Si la réponse de la végétation à cet événement varie selon les sites en Afrique de l'Ouest, l'amorce de la régression de la forêt ombrophile se situe néanmoins globalement après 4 000 BP (VINCENS *et al.*, 1999) ; les diagrammes palynologiques montrant, dans leur ensemble, un développement des taxons héliophiles caractérisant l'ouverture du milieu. Puis, vers 3 000 cal B.P et autour de 2 500 - 2000 cal BP selon les endroits, la végétation d'Afrique intertropicale a connu une évolution accentuée en ce sens.

- C'est aux environs de 4 000 ans que la végétation de mangrove du marais estuarien de la Songolo (Sud Congo), est remplacée par une forêt marécageuse (FABING, A., 1995 ; ELENGA *et al.*, 2001), cette perturbation climatique post-4000 BP est aussi bien marquée dans les régions situées plus au Nord, comme à Mbalang (VINCENS, A. *et al.*, 2010). Autour du lac (7°19'N, 13°44'E, 1110m alt.), on observe une expansion de la savane suite à l'assèchement progressif du milieu. A partir de 3 000 cal. BP, le pourcentage de Graminées passe de moins de 50% à 85% et des taxons forestiers comme *Podocarpus* ou *Alchornea* connaissent des taux de représentation très faibles, inférieurs à 5%.

- A Bambili, entre 4 300 cal BP et 3 400 cal BP, la configuration de la flore régionale montagnarde change brutalement avec une expansion de *Podocarpus*, un recul drastique de

Schefflera et une baisse des pourcentages de la majorité des arbres (ASSI-KAUDJHIS, C., *et al.*, 2008).

- La perturbation climatique est connue également au lac Maridor, à l'Ouest du Gabon ; elle se signale par une chute de 75% des AP ca 3 800 cal BP (N'GOMANDA, A., 2005).

- Au Lac Bosumtwi, l'on enregistre une expansion des Graminées, annonciatrice d'un retrait forestier, ca 3 000 BP (MALEY, 1987).

- A Sinnda, le changement paleoenvironnemental est aussi très marqué : après 3 000 B.P., l'on note une chute des pourcentages des A.P. et parallèlement une augmentation des Graminées consécutive de l'assèchement climatique (VINCENS, A. *et al.*, 1994).

- L'extension des savanes à l'Holocène moyen dans le Mayombe congolais serait estimée aussi à 3 000 ans BP, d'après SCHWARTZ, D. (1992) tandis que, sur le littoral congolais (Coraf), l'évènement se situerait, selon ELENGA (1992) et ELENGA, *et al.* (1992) vers 2 500 BP.

- Au lac Ossa (Cameroun), REYNAUD- FARRERA *et al.* (1996) remarquent l'irruption massive, vers 2 730 BP, de taxons indicateurs de milieux perturbés qui se développent au détriment de la forêt Biafréenne, en régression.

- A Kitina (ELENGA, H., *et al.*, 1996), ainsi qu'à Ossa, cette perturbation se révèle par l'augmentation des Graminées et des spores de Ptéridophytes et aussi par les pourcentages élevés de *Alchornea* et de *Macaranga* vers ca. 2 730 ans BP.

- Au Barombi Mbo, on observe une ouverture de la végétation caractérisée par une explosion de la savane à 2 500 cal BP (MALEY, J. & BRENAC, P., 1998).

- A Nyabessan, la perturbation a lieu plus tard, à 2 400 ans cal B.P., montrant un remplacement de la forêt mature (Ceasalpiniaceae, *Lophira*, *Pycnanthus angolensis*) par une forêt secondaire mésophile en évolution régressive (*Alchornea*, *Macaranga*, *Trema*) (N'GOMANDA, A. *et al.*, 2009).

- Sur les sites Barombi Mbo, Kitina, et Ossa, la régression se caractérise plutôt par la persistance d'une végétation mixte constituée d'un mélange de taxons herbacés de savane et de ligneux de forêt. Cette ouverture du milieu est attestée par l'apparition des taxons héliophiles tels *Alchornea* et *Musanga* et une explosion des Graminées.

- Dans le secteur du lac de cratère Mboandong, la sécheresse ne semble pas avoir causé des changements significatifs dans la végétation, si bien que RICHARDS (1986) et MALEY (1987) suggèrent que la zone pourrait être considérée comme un refuge régional.

- Bien que le site de Goualougo, secteur faisant partie intégrante du Parc national Nouabalé - Ndokien de la République du Congo-Brazzaville, soit resté boisé pendant les trois derniers millénaires, l'on y note toutefois l'empreinte de l'assèchement du climat sur la végétation par l'augmentation, au sein de celle-ci, d'arbres tels que *Elaeis guineensis*, *Tetrorchidium sp.* et *Erythrophleum sp.* (BRNCIC, T., M., *et al.*, 2007).

- Enfin, à Mopo Bai, à 2 500 ans, l'abondance des pollen d'une flore secondarisée (*Alchornea* (40%), *Elaeis guineensis* (10%)) associée à une expansion des Poaceae non aquatiques (36%) montrant une petite extension de la savane, pourraient être considérées comme la persistance d'un assèchement prolongé (BRNCIC, T., M., *et al.*, 2009).

- **L'installation des écosystèmes actuels et dégradation forestière**

Comme le démontre la majorité des diagrammes polliniques, la couverture forestière de l'Afrique tropicale était certainement plus étendue à l'Holocène moyen qu'elle ne l'est actuellement. Les sites palynologiques analysés montrent pour la plupart des spectres forestiers avant 3 500 ans B.P environ. Ensuite, sous l'effet des changements climatiques et de l'action anthropique, l'on observe une dégradation progressive ou radicale des forêts selon les enregistrements. SOWUNMI (1981) relève une montée notable des taxa de forêt ouverte (*Uncaria africana*, *Elaeis guineensis*) et des éléments indicateurs de milieux perturbés tels que *Cleome* et *Borreria* à partir de 3 000 ans B.P.

Concernant les stations situées au nord de notre ensemble, l'explosion des formations herbeuses et la réduction des éléments boisés commencent aux environs de 3 000 ans cal BP à Mbalang, au Cameroun (VINCENS, A., *et al.*, 2010) ; la végétation y étant majoritairement composée de Poaceae (>80%) et caractérisée par la quasi disparition des arbres de la forêt Guinéo-Congolaise. A Njupi, les formations herbeuses dominant dès 2 500 cal BP jusqu'à l'actuel (ZOGNING, A., *et al.*, 1997). En milieux soudanien et sahélien, les ligneux sont faiblement représentés, notamment à Tilla, au Nigeria (SALZMANN, U., 2000).

Au lac Nguène, au Gabon, à partir de 4 100 ans cal BP, la forêt sempervirente autour du lac est progressivement remplacée par la forêt humide semi-décidue et jusqu'à 2 400 ans cal BP, les AP sont dominés par des espèces telles *Alchornea* et *Elaeis*, dont la présence indique la perturbation des habitats. L'on note également, qu'entre 2 000 et 1 400 BP, cette perturbation

perdre malgré l'augmentation du niveau des précipitations. De 800 à 450 ans cal BP, la forêt mature reprend son expansion ; cependant, à partir de 450 ans cal BP, les formations secondaires, principalement à *Alchornea* (5-15%), *Martretia* (5-15%), *Macaranga* (5-8%), Moraceae (6-12%) et *Tetrorchidium* (5%), augmentent alors que les Caesalpiniaceae sont en recul, indiquant un nouvel épisode de perturbation de la forêt humide (N'GOMANDA, A., *et al.*, 2007).

Au Gabon, dans la réserve de Lopé près du Lac Kamalété, NGOMANDA *et al.* (2007), notent une perturbation à 1 330 cal BP comme suite à la diminution des composantes sempervirentes de la végétation. Ils attribuent cet état à des causes climatiques car n'ayant pas de coïncidence temporelle avec la présence humaine. Cette perturbation se poursuit jusqu'à ca. 580 BP et se caractérise par une prédominance progressive de taxons de milieux secondarisés sur ceux de la forêt primaire. Selon PEYROT (2008), ce phénomène évolutif des forêts gabonaises serait lié à un effet cumulatif d'effets climatiques et anthropiques.

A Sinnda, par contre, entre 1 200 et 500 cal B.P les taxons forestiers disparaissent cependant quasi complètement au profit des Gramineae, des Cyperaceae et des spores de Ptéridophytes (VINCENS, A., *et al.*, 1998) attestant une ouverture importante du milieu qui ne serait pas uniquement d'origine climatique.

- **L'influence anthropique**

L'Homme primitif ne disposait pas de moyens techniques suffisants pour avoir un impact déterminant sur le milieu naturel. C'est à l'Holocène, avec l'acquisition d'un outillage lithique élaboré (Néolithique) d'abord, puis de techniques métallurgiques que l'Homme a eu la possibilité de développer des pratiques agro-pastorales permettant de s'affranchir de son environnement. Les prémices de cette libération s'étaient déjà esquissées au Pléistocène supérieur alors qu'il disposait d'un outillage plus rudimentaire et qu'il en était encore au stade de chasseur-récolteur, comme au site de Shum Laka au Cameroun (CORNELISSEN, E., 2002 ; MOEYERSONS, J., *et al.*, 1996).

Etant donné l'importance des plantes d'origine étrangère dans l'économie agricole africaine l'on a longtemps cru que l'Afrique n'avait pu développer une agriculture propre. Diverses études ont cependant montré que la zone des savanes soudaniennes traversant l'Afrique d'ouest en est a connu d'importantes activités agro-pastorales dès l'Holocène moyen (HARLAN, J.R. 1972 ; HARLAN, J.R. *et al.*, 1976 ; HILU, K.W. *et al.*, 1979 ; STEMLER, A.B.L., 1980 ;

SOWUNMI, M.A. 1985). Dans le foyer agricole ouest-africain s'est développée la culture des mils, de divers sorghos, du riz africain et, en lisière de la forêt du palmier à huile (*Elaeis*) et des ignames. Même au Sahara, a été pratiquée une agriculture rudimentaire lors de la PHH lorsque les savanes soudaniennes se sont étendues vers le nord en région sahélienne (MALEY, J., 1983 ; SERVANT, M. & SERVANT-VILDARY, S., 1980 TALBOT, M.R., 1980; LEZINE, A.M., 1989). Ces activités agro-pastorales ont donc pu avoir, déjà à cette époque, un impact environnemental non négligeable (CLARCK, J.D., 1980).

A partir de 4 000 ans ¹⁴C B.P., et l'assèchement du Sahara, une pression démographique s'est exercée en Afrique subsaharienne ; en atteste notamment le recul de la lisière forestière guinéenne sous l'effet de défrichements nécessaires à l'exploitation de l'*Elaeis* et des ignames (SOWUNMI, AM., 1985). Dans la zone objet de notre synthèse, l'impact de l'homme sur la végétation a également été déduite de la présence d'*Elaeis guinéensis* dans différentes séquences : à Kitina aux environs de 5 400 ans B.P., à Barombi-Mbo entre 2 800 et 2 400 ans B.P., dans le Mayombe vers 2 880 B.P., à Ossa autour de 2 500 ans B.P. et à Coraf T vers 2 100 ans B.P.

Comme suite à la pression démographique s'accroissant au cours du temps, certaines populations ont été poussées à émigrer à la recherche de nouvelles terres exploitables. Deux flux migratoires se sont alors dégagés : un premier d'ouest en est selon lequel des populations bantouphones sont allées occuper la région interlacustre en Afrique orientale ; un second, plus tardif intra-forestier à l'ouest. Ce dernier ne se serait produit que lorsque l'augmentation de l'aridité aurait permis la fragmentation de la forêt, rendant le milieu plus accueillant à des populations habituées à une vie en savane. Le développement de la technologie du fer, plus récent à l'ouest qu'à l'est justifierait aussi cette différence chronologique entre les deux flux migratoires (ROCHE, E., 1991).

En Afrique occidentale, le peuple de Nok au Nigeria aurait travaillé le fer au 5^{ème} siècle av. J.-C. ESSOMBA, J.M. (1989) fait état de la mise à jour de sites d'Age du fer ancien datés du 5^{ème} au 2^{ème} siècle avant J.-C. dans la région de Yaoundé au Cameroun. Au Gabon, les datations les plus anciennes remontent au 3^{ème} siècle av. J.-C. (PEYROT, B. & OSLINSKY, R., 1987; DIGOMBE, L. *et al.*, 1988). Plus au sud, un site daté de 2 100 ans B.P. a été découvert au Mayombe (SCHWARTZ, D. *et al.*, 1990). Par contre, au Bas-Congo, les débuts de l'Age du Fer ne semblent pas remonter au-delà du 1^{er} siècle de notre ère (de MARET, P. 1985). Plus au nord,

cependant, le long du fleuve Congo et de ses tributaires, en R.D.Congo, EGGERT (1993) a découvert des sites d'Age du fer remontant à 2 300 ans B.P. La rapidité avec laquelle la diffusion de la métallurgie s'est propagée à l'ouest entre 3 000 et 2 000 ans B.P. plaide en faveur de milieux ouverts d'origine paléo-climatiques (ELENGA, H., *et al.*, 1992) et entretenus par une action anthropique (BRNCIC, T.M. *et al.*, 2007) qui ont permis un déplacement de populations entre les savanes soudaniennes du nord et les zambéziennes au sud (DE FORESTA, *et al.*, 1990). Ce phénomène est similaire de celui du Couloir de Dahomey (Dahomey Gap) où une action conjuguée climat-anthropisme a maintenu une zone de savanes entre deux zones forestières (TOSSOU, M.G., 2002).

Au cours des siècles, l'action anthropique n'a fait qu'accentuer, par des activités agropastorales, la savanisation d'espaces occupés antérieurement par la forêt. Au Cameroun, plus récemment, des mouvements migratoires de populations de pasteurs remontant à un peu plus d'un siècle, posent actuellement des problèmes de dégradations de pâturages : c'est le cas des Mbororo que l'administration coloniale a tenté, depuis 1920, de sédentariser à l'ouest dans leurs sites d'hivernage à 1500m d'altitude, ce qui est source de conflits avec les agriculteurs et des Peuhls, originaires du nord du pays, qui, en expansion vers l'est, menacent de dégradation rapide les savanes guinéennes (BOUTRAIS, J., 1981-1982 ; 1984).

DISCUSSION

Le massif forestier intertropical atlantique a, dans son ensemble, beaucoup varié au cours des vingt derniers millénaires. Les perturbations dues à une péjoration d'ordre climatique se situent principalement entre 22 000 et 15 000 ans cal BP, vers 4 000, 3 000, 2 500 cal BP et entre 1 200 et 500 cal B.P., avec comme caractéristique pour la majorité des sites inventoriés, des signes tangibles de régression ou de dégradation.

Ces changements sont tributaires de la répartition des pluies (NGOMANDA, A., 2005), de la température annuelle de l'atmosphère (GUILLAUMET, J.L, 1967) et de la longueur des différentes saisons comme le soulignent VINCENS *et al.* (2007) et NGOMANDA (2009). Selon GUILLAUMET, J.L, (1967), les taxons de la forêt dense humide ne supportent qu'une courte saison sèche qui ne dépasse pas 3 mois pour le type semi-caducifolié et 2 mois pour le type sempervirent. Les variations de la végétation sont ainsi liées à l'alternance saisonnière de deux

flux atmosphériques, le flux humide de la mousson atlantique d'orientation SO-NE et le flux inverse sec, NE-SO, de l'Alizé continental, qui déterminent la durée des saisons et donc influent sur la composition et la distribution des groupements végétaux.

Les données édaphiques ne sont pas à négliger, comme la qualité du drainage des sols qui peut être un facteur déterminant pour l'installation et le développement des forêts. Ce phénomène a pu contribuer au maintien d'une forêt hétérogène au lac Bosumtwi à 4 000 BP malgré la diminution des précipitations à cette période (MALEY, J., 1987). De même, parmi les diagrammes qui recourent la dernière déglaciation, ceux de Barombi Mbo et Ngamakala ne montrent pas de changement radical dans la physionomie de la végétation et les arbres y sont toujours bien représentés. Dans ces lieux, la composition floristique du massif forestier enregistre toutefois un changement : les espèces de forêt dense de basse et moyenne altitude y sont associées à des taxons montagnards (*Olea* et *Podocarpus*).

La localisation des sites joue aussi un rôle dans l'intensité des effets climatiques sur l'environnement ; ainsi, pour ce qui concerne l'abri sous roche de Shum Laka (Cameroun occidental), MOEYERSONS, *et al.* (1996) suggèrent que la persistance d'un milieu relativement humide durant la période d'aridité générale de la dernière glaciation reconnue par ailleurs dans la région par une expansion des savanes (KADOMURA : site W-10, 1350m d'altitude), s'expliquerait par la position topographique du site : un escarpement situé à 1650 m d'altitude constituant un refuge pour la végétation et la faune.

Pour la période allant de 20 000 à 4 500 ans B.P. l'évolution de l'environnement suit le schéma classique connu pour l'Afrique intertropicale. Au DMG, en Afrique occidentale, les milieux de savanes connaissent une expansion maximale tandis que la forêt dense guinéenne subit une importante fragmentation et est réduite à des zones refuges. On observe également l'intrusion de taxons afro-montagnards dans la végétation de moyenne altitude. Cette situation est le résultat de l'activation d'upwellings dans le Golfe de Guinée entretenant une aridité sur le continent. La recolonisation forestière s'opère de 15 000 ans à 9 000 ans B.P. par une progression d'éléments ligneux mésophiles précédant la reconstitution de la forêt dense. Au cours de cette période, l'évolution de la flore algale liée aux variations de débit du fleuve Niger permet de distinguer les épisodes Bölling/Alleröd et Dryas récent (CAZET, J.P., 2001). La PHH se développe entre 9 000 et 6 000 ans B.P. comme suite à une activation de la Mousson du S-O ; l'importante humidité favorisant une expansion maximale de la forêt dense.

Pendant la période d'aridité qui s'amorce ca. 5000 ans B.P. mais dont les effets se marquent surtout entre 4 000 et 2 500 ans B.P., on assiste à une nouvelle régression forestière dont les effets apparaissent plus marqués au nord qu'au sud de notre zone d'étude. Cette aridification serait liée à un affaiblissement de la mousson et un renforcement de l'Harmattan mais, dans la partie nord, un effet cumulatif anthropique ne serait pas à exclure étant donné l'occupation fort ancienne des savanes subsahariennes remontant aux débuts de la PHH. L'aridification de 4 000 B.P. considérée par certains auteurs comme un phénomène climatique abrupt, mais contestée par d'autres, apparaît d'après notre synthèse comme un système progressif. La péjoration climatique de 2 500 ans B.P. signalée par MALEY (1992) ne serait en fait que l'aboutissement d'un long processus de 1500 ans. Dans la partie sud de notre zone, la forêt persiste mais elle acquiert un aspect plus mésophile.

La reprise forestière post-2000 se remarque principalement dans la zone équatoriale, les milieux restant largement ouverts au nord. Globalement en région guinéenne, la forêt dense présente un certain pourcentage de genres mésophiles attestant qu'elle n'a pas repris un caractère sempervirent strict. Au Gabon, le regain forestier au début du dernier millénaire pourrait être liée au Petit Optimum Médiéval. La perturbation de 1410 ans B.P. considérée par NGOMANDA, *et al.* (2007) comme un épisode climatique et non anthropique pourrait être attribuée au « Dust Event » de la première moitié du 6^{ème} siècle A.D. (STOTHERS, R.B., 1984 ; BAILLIE, M.G.L., 1994) et la régression de 400 ans B.P. à la Petite Glaciation connue en Afrique de l'Est comme le Néoglaciale du Mont Kenya.

A Sinnda enfin, le recul drastique, entre 1200 et 500 B.P. des taxons forestiers au profit d'un ensemble largement ouvert constitué de Cypéracées, de Graminées et de Ptéridophytes devrait être considéré comme un effet de dégradation typiquement anthropique, conséquence d'une large extension de friches et de jachères (HABIYAREMYE, F.X. et LEJOLY, J. 1991 ; HABIYAREMYE, F.X. et ROCHE, E. 2003).

CONCLUSIONS

Par rapport à la quantité de données riches d'informations archivées en Afrique de l'Est, celles récoltées en Afrique de l'Ouest apparaissent moins étoffées, surtout en altitude. Mais, malgré la discontinuité de certaines séquences sédimentaires entraînant une disparité des

données, les différentes études palynologiques réalisées en Afrique occidentale atlantique permettent toutefois de se faire une idée globale de l'évolution des paléoenvironnements et de cerner les événements climatiques et anthropiques qui ont ponctué la période allant du dernier maximum glaciaire à l'Actuel.

La dernière période glaciaire se caractérise par une aridité intense se situant de 21 000 à 18 000 ans BP qui se traduit par une chute généralisée des niveaux des lacs, une expansion des milieux de savanes à basse altitude et, localement, par la baisse de la limite supérieure des arbres en haute altitude.

La période post-glaciaire, entre 15 500 et 12 000 ans B.P. connaît un réchauffement et une humidification progressifs du climat perçus à travers la remontée des niveaux lacustres et un regain des étendues arborées. Ensuite, l'optimum chaud et humide atteint entre 8 000 et 6 000 B.P. a eu pour effet l'expansion de la forêt dense guinéo-congolaise en plaine et l'extension de la forêt afro-montagnarde en altitude.

Un phénomène majeur d'assèchement climatique survenu vers 4 000 B.P., quelque peu atténué vers 3 500 BP, puis réactivé entre 3 000 et 2 500 BP, a provoqué, durant cette période, un recul forestier progressif et une nouvelle expansion des milieux ouverts herbacés. Ainsi la péjoration climatique généralement présentée comme se situant à 2500 ans ne serait que l'aboutissement d'un long processus commencé 1500 ans plus tôt.

A partir de 2 500 B.P., le climat évolue progressivement vers son stade actuel, à caractère plus chaud et plus humide mais il présente une certaine instabilité en rapport avec les changements climatiques globaux qui se sont succédés au cours des deux derniers millénaires.

Quant à l'influence anthropique sur l'environnement, si elle a commencé à se manifester de façon quelque peu sensible dans les savanes soudaniennes et en lisière de la forêt guinéo-congolaise avec l'avènement de la phase climatique sèche de 4 000 BP, c'est surtout à partir de 2 000 BP qu'elle s'est intensifiée, interférant au cours du dernier millénaire avec des événements climatiques dont elle peut masquer les effets.

BIBLIOGRAPHIE

- 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.
- ASSEMIEN, P., 1971. Etude comparative de flores actuelles et quaternaires récentes de quelques paysages végétaux d'Afrique de l'Ouest. Thèse, Université d' Abidjan, Côte d'Ivoire: 257p.
- ASSEMIEN, P., FILLERON, J.C., MARTIN, L. & TASTET, J.P., 1970. Le Quaternaire de la zone littorale de Côte d'Ivoire. *Bull. Liaison Ass. Sénégal. Et. Quatern. Ouest Afr.*, Dakar, 25 : 65-78.

- 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.
- BAILLIE, M.G.L. 1994. Dendrochronology raises questions about the nature of the AD 536 dust-veil event . *The Holocene*, 4, 2: 212-217.
- BARBER, D.C., DYKE, A., HILLAIRE-MARCEL, C., JENNINGS, A.E., ANDREWS, J.T., KERWIN, M.W., BILODEAU, G., Mc NELLY, R., SOUTHONS, J., MOREHEAD, M.D. & GAGNON, J.M. 1999. Forcing of the cold event of 8.200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, , 400, 22 : 344-348.
- BERGER, A.1992. Le climat de la Terre, un passé pour quel avenir ? De Boeck-Wesmael, Ed. Bruxelles; 479 p.
- BONNEFILLE, R., 1987. Evolution forestière et climatique au Burundi durant les quarante derniers milliers d'années. *C.R. Acad. Sci., Paris*, sér. II, 305 : 1021-1026.
- BOSCH, J.H.A., CLEVERINGA, P. & MEIJER, T. 2000. The Eemian stage in The Netherlands history, character and new research. *Geologie en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences*, 79, 2-3 : 135-345.
- BOUTRAIS, J., 1981-1982. L'expansion des éleveurs peuls dans les savanes humides du Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, XVIII, 1 : 31-45.
- BOUTRAIS, J., 1984. Entre nomadisme et sédentarité : Les Mbororo à l'Ouest du Cameroun. Congrès international de Géographie : « Le développement rural en questions : paysages, espaces ruraux, systèmes agraires ; Maghreb, Afrique noire, Mélanésie. » C.Blanc-Pamard, Edit. Paris. *Mémoires ORSTOM*, 106 : 225-560.
- 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 a seasonally flooded swamp. *The Holocene*, 19, 1: 79-89.
- 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.
- 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.
- CAZET, J. P. 2001. Paléoenvironnements végétaux et paléohydrologie dans le bassin versant du fleuve Niger au cours de la dernière déglaciation. Mémoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Sciences de la vie et de la terre, Paris : 78p.
- CHEEK M., J.-M., ONANA, B. & POLLARD, J. 2000. The plants of Mount Oku and the Ijim Ridge, Cameroon, a conservation checklist. Royal Botanic Gardens, Kew; 211p.
- CLARCK, J.D., 1980. Human populations and cultural adaptations in the Sahara and the Nile during prehistoric times. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam) : 527-582.
- COETZEE, J.A., 1967. Pollen analytical studies in East and Southern Africa. *Palaeoecology of Africa*, 3: 1-146.
- CORNELISSEN, E., 2002. Human Responses to Changing Environments in Central Africa Between 40,000 and 12,000 B.P. *Journal of World Prehistory*, 16, 3: 197-235
- DEMENOICAL, 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.
- DANSGAARD, W., WHITE, J.W.C. & JOHNSEN, S.J. 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature*, 339 : 532-533.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, D., GUNDERSTRUP, N.S.U.H.C., HVIDBERG, C.S., STEFFENSON, J.P., SVEINBJÖRNSDOTTIR, A.E., JOUZEL, J. & BOND, G. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364 : 218-220.
- 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.
- DE MARET, P., 1985. Recent archaeology research and dates from Central Africa. *J. of African History*, 26 : 129-148.
- DE PLOEY, J., 1969. Position géomorphologique, genèse et chronologie de certains dépôts superficiels au Congo occidental. *Quaternaria*, 7 : 131-154.

- DIGOMBE, L., SCHMIDT, P.R., MOULEINGUI BOUKOSSO, V., MOMBO, J.B. & LOCKO, M., 1988. The development of the Early Iron Age in Gabon. *Current Anthropology*, 29, 1 : 179-184.
- DUPLESSY, J.C. 1997. Vers un refroidissement de l'Europe ? *La Recherche*, 295 : 52-56.
- DUPLESSY, J.C., MOYES, J., PETIT-MAIRE, N. & GUIOT, J. 1989. De la forêt au désert. *Le Courrier du CNRS*, 72 : 10-11
- EGGERT, M., 1993. Central Africa and the archaeology of the equatorial rainforest: reflections on some major topics. In: T. Shaw, P. Sinclair, B. Andah & A. Okpoko (eds.), *The Archaeology of Africa: food, metals, and towns. One World Archaeology*, 20 (London/New York) : 289-329.
- 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., de NAMUR, C., MARTIN, L., WIRRMANN, D. & SERVANT M., 1996. Diagramme pollinique holocène du lac Kitina (Congo): mise en évidence de changements paléobotaniques et paléoclimatiques dans le massif forestier du Mayombe. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 323, série 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.
- ESSOMBA, J.M. 1989. Dix ans de recherches archéologiques au Cameroun méridional (1979-1989). *NSI*, 6 : 33-57.
- 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.
- FARRERA, I., HARRISON, S.P., PRENTICE, I.C., RAMSTEIN, G., GUIOT, J., BARTLEIN, P. J., BONNEFILLE, R., BUSH, M., CRAMER, W., GRAFENSTEIN, VON, U., HOLMGREN, K., HOOGHIEMSTRA, H., HOPE, G., JOLLY, D., LAURITZEN, S-E., ONO, Y., PINNOT, S., STUTE, M. & YU, G. 1999. Tropical climates at the last Glacial Maximum: a new synthesis of terrestrial palaeoclimate data. Vegetation, lake-levels and geochemistry. *Climate dynamics* 15 : 823-856.
- 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.
- FREDOUX, A., 1977. Etude palynologique de quelques sédiments du Quaternaire ivoirien. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, 50 (supplément) : 181-186.
- FREDOUX, A. & TASTET, J.P., 1976. Apport de la palynologie à la connaissance paléogéographique du littoral ivoirien entre 8 000 et 12 000 ans BP. In: 7th African Micropaleontological Colloquium, Ife-Ife, Nigeria: 1-7.
- GARDNER, A.A., DEMARCO, J. & ASANGA, C.A. 2001. Foresterie communautaire à Kilum-Ijim, Cameroun. Séminaire FORAFRI, Libreville. RDFN Ed. : 10-18.
- GASSE, F. 2000. Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1-5 : 189-211.
- GIEC-Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 2001. Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Evaluation de la vulnérabilité. Chapitre 2 : Afrique. Rapport spécial, 60 p.

- 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., 1978. Le contrôle climatique de la sédimentation marine et continentale à la fin du Quaternaire – Problèmes de corrélations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.*, 23 : 57-77.
- 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. & LANFRANCHI, R., 1984. Les climats et les océans de la région congolaise pendant l'Holocène. Bilan selon les échelles et les méthodes de l'observation. *Palaeoecology of Africa*, A.A. Balkema, Rotterdam, 16: 77-88.
- 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.
- GIRESSE, P., MALOUNGUILA-NGANGA, D. & MOGUEDET, G. 1990. La succession des paléoenvironnements quaternaires des plateformes continentales du sud du Gabon, du Congo, de Cabinda et du Zaïre (Pléistocène supérieur et Holocène). *In : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. ORSTOM* : 71-77.
- GUILLAUMET, J.L., 1967. Recherches sur la végétation et la flore de la région du Bas-Cavally (Côte d'Ivoire). *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 20 : 248p.
- HABIYAREMYE, F.-X. & LEJOLY, J., 1991. Place des fruticées sclérophylles dans la dynamique de la végétation au Rwanda occidental. *Colloques phytosociologiques ; Phytodynamique et Biogéographie historique des forêts* (Bailleul 1991), XX : 327- 341.
- HABIYAREMYE, F.-X. & ROCHE, E. 2003. Incidence anthropique sur le milieu montagnard du graben centrafricain : complément phytodynamique aux interprétations palynologiques. *Geo-Eco-Trop*, 27, 1-2: 53-62.
- HAMILTON, A.C., 1973. The history of the vegetation. Reprinted from "The vegetation of East Africa" by E. M. Lind and M. E. S. Morrison, Longman, Ed.: 188-209
- HAMILTON, A.C., 1982. Environmental history of East Africa. A study of the Quaternary. Academic Press, London : 328 pp.
- 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.
- HEINRICH, H. 1988. Origin and consequences of Cyclic Ice Rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130.000 years. *Quaternary Research*, 29 : 142-152.
- HILU, K.W., DE WET, J.M.J. & HARLAN, J.R., 1979. Archaeobotanical studies of *Eleusine coracana* (Finger Millet). *Amer. Journ. Botany*, 66, 3 : 330-333.
- JOLLY, D., & HAXELTINE, A., 1997. Effect of Glacial Atmospheric CO² on Tropical African Montane Vegetation. *Science*, 276 : 786-788.
- 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.
- KEIGWIN, L.D. 1996. The Little Ice Age and Medieval Warm Period in the Sargasso Sea. *Science*, 274: 1504-1508.
- KLITGAARD-KRISTENSEN, D., SEJRUP, H.P., HAFLIDASON, H., JOHNSEN, S. & SPURK, M. 1998. *Journal of Quaternary Science*, 13, 2: 165-169
- KOÇ KARPUZ, N. & JANSEN, E. 1992. A high resolution diatom record of the last deglaciation from the S.E.Norwegian Sea: documentation of rapid climatic changes. *Paleoceanography*, 7: 499-520.
- KOUYOUMONTZAKIS, G., 1990. Les associations de foraminifères benthiques du plateau continental congolais. Quaternaire supérieur et actuel. *In : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. ORSTOM* : 78-88.
- 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
- LARAQUE, A., POUYAUD, B., ROCCHIA, R., ROBIN, E., CHAFFAUT, I., MOUTSAMBOTE, J. M., MAZIEZOULA, B., CENSIER, C., ALBOUY, Y., ELENGA, H., ETCHEBER, H., DELAUNE, M., SONDAG, F., GASSE, F., 1998. Origin and function of a closed depression in equatorial humid zones: the Lake Télé in North Congo. *Journal of Hydrology*, 207: 236-253.

- 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., 1988a. Les variations de la couvertures forestières mésophile d'Afrique occidentale au cours de l'Holocène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, Série II : 439-445.
- LEZINE, A-M., 1988b. New pollen data from the sahel, Senegal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 55: 141-154.
- LEZINE, A.M. 1989. Le Sahel: 20000 ans d'histoire de la vegetation. *Bull.Soc.géol.France*, 8, 5-1 : 35-42.
- LEZINE, A-M., 1991. West African Paleoclimates during the Last Climatic cycle inferred from an Atlantic deep-sea pollen record. *Quaternary Research*, 35: 456-463.
- LEZINE, A-M., 1996. La mangrove ouest africaine, signal des variations du niveau marin et des conditions régionales du climat au cours de la dernière déglaciation. *Bull. Soc. Géol. France*, 167, 6 : 743-752.
- LEZINE, A-M., 1997. Evolution of the west African mangrove during the late Quaternary: a review. *Geographie physique et Quaternaire*, 51, 3 : 405-414.
- LEZINE, A-M. & LE THOMAS, A., 1995. Histoire du massif forestier ivoirien au cours de la dernière déglaciation. In: 2è 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.
- LIVINGSTONE, D. A., 1967. Postglacial vegetation of the Rwenzori Mountains in Equatorial Africa. *Ecological Monographs*, 37, 1 : 25-52.
- MALEY, J., 1970. Contributions à l'étude du bassin tchadien. Atlas de pollens du Tchad. *Bulletin du Jardin botanique national de Belgique*, 40 : 29-48.
- 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., 1984. Influence des nuages sur les paléoenvironnements : quelques exemples pris dans le Quaternaire récent. *Bothalia*, 14 : 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 : pp.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, chronologiques et biogéographiques. *Paleoecology of Africa*, 18 : 307-334.
- MALEY, J., 1989. Late Quaternary climatic changes in the African rain forest : forest refugia and the major role of sea surface temperature variations. In: *Paleoclimatology and Paleometeorology; modern and past patterns of global atmospheric transport*, vol. 282 (Eds M. Leinen *et al.*) : 585-616. Dordrecht-Boston International, the Netherlands: D. Reidel Publishing Company.
- MALEY, J., 1992. Commentaires sur la note de D. Schwartz. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre ca 2 500 et 2 000 ans B.P. en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. géol. France*, 163, 3 : 363-365.
- MALEY, J. & LIVINGSTONE, A., D., 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*, 296, Série II : 1287-1292.
- 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 western Cameroon during the last 28 000 years BP. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99 : 157-187.
- MALOUNGUILA-NGANGA, D., NGUIE, J. & GIRESSE, P. 1990 Les paléoenvironnements quaternaires du colmatage de l'estuaire du Kouilou (Congo). In : *Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique*. *ORSTOM* : 89-97.
- MANABE, S. & STOUFFER, R.J. 2000. Study of abrupt climate change by a coupled ocean-atmosphere model. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1-5 : 285-299.
- MARCHANT, R. & HOOGHIEMSTRA, H., 2004 – Rapid environmental change in Africa and South American tropics around 4 000 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.
- MAYAUX, P., BARTHOLOME, E., FRITZ, S. & BELWARD, A., 2004. A new land-cover map of Africa for the year 2000. *Journal of Biogeography*, 31 : 861-877.
- MILANKOVITCH, M. 1920. Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Académie yougoslave des Sciences et des Arts de Zagreb. Gauthier-Villars, Paris.
- MIX, A., C., BARD E & SCHNEIDER, R., 2001. Environmental processes of the Ice Age: land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quaternary Science Review*, 20 : 627-657.
- 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.
- MOMO SOLEFACK, M. C., 2009. Influence des activités anthropiques sur la végétation du Mont Oku (Cameroun). Thèse en Biologie-Santé, Univ. de Picardie et Univ. de Youndé 1 : 161p.
- NEWELL, R.E., GOULD-STEWART, S. & CHUNG, J.C., 1981. A possible interpretation of palaeoclimatic reconstruction for 18000 BP for the region 60° N to 60° S, 60° W to 100° E. *Paleoecology of Africa*, 13 : 1-19.
- NGOMANDA, A., 2005. Dynamique des écosystèmes forestiers du Gabon au cours des cinq derniers millénaires. Thèse, Université de Montpellier II : 163p.
- NGOMANDA, A., JOLLY, D., BENTALEB, I., CHEPSTOW-LUSTY, A., MAKAYA, M., MALEY, J., FONTUGNE, M., OSLISLY, R. & RABENKOGO, N., 2007. Lowland rainforest response to hydrological changes during the last 1500 years in Gabon, Western Equatorial Africa. *Quaternary Research* 67, 3: 411-425.
- NGOMANDA, A., NEUMANN, K., SCHWEIZER, A. & MALEY, J. 2009. Seasonality change and the third millennium BP rainforest crisis in southern Cameroon (Central Africa). *Quaternary Research*, 71: 307-318.
- NGOS III, S., GIRESE, P. & MALEY, J., 2003. Palaeoenvironments of Lake Assom near Tibati (south Adamawa, Cameroon). What happened in Tibati around 1700 years BP? *Journal of African Earth Sciences*, 37: 35-45.
- OSMASTON, H., A., & HARRISON, S., P. 2005. The Late Quaternary glaciation of Africa : A regional synthesis. *Quaternary International*, 138-139: 32-54.
- 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.
- PEYROT, B., 2008. Incidences écologiques, anthropiques et paléocéologiques sur l'évolution des forêts du Gabon. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 241-242.
- PEYROT, B. & OSLISLY, R. 1987. Paléoenvironnement et archéologie au Gabon (1985-1986). *NSI*, 1 : 13-15
- 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 Carribean foraminiferal assemblages, temperatures and circulation: interglacial and glacial comparisons. *Geological Soc. of America Memoirs*, 145 : 247-266.
- RAMPINO, M.R. & SELF, S. 1982. Historic eruptions in Tambora (1815), Krakatau (1883) an Angung (1963); their stratospheric aerosols and climatic impact. *Quaternary Research*, 18: 127-143.
- RAMPINO, M.R., SELF, S. & STOTHERS, R.B. 1988. Volcanic winters. *Ann. Rev. Earth Planet Sci.*, 16 : 73-99.
- REYNAUD-FARRERA, I., 1996. Late Holocene vegetational changes in South-West Cameroon. In: Dalfes H.N., Kukla G. & Weiss H. (eds). Climate change in the Third millenium BC, *NATO ASI Series*, Subseries in Global Environmental Change: 641-652.
- REYNAUD-FARRERA, I., MALEY, J. & WIRRMANN, D., 1996. Végétation et climat dans les forêts du Sud-Ouest Camerounais depuis 4 770 ans BP : analyse pollinique des sédiments du lac Ossa. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 322, II a : 749-755.
- RICHARDS, K., 1986. Preliminary results of pollen analysis of a 6000 year core from Mboandong, a crater lake in Cameroun. In: Baker R.G.E., Richards K., Rimes C.A. (Hrsg.): The Hull University. Cameroun Expedition 1981-1982. Final Report. Department of Geography, University of Hull: 14 -28.
- ROCHE, E., 1991. Evolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 27 : 187-208.

- ROCHE, E., 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. français de Pondichéry, Trav.Sect.scient.et techn.*, 25 : 105-123.
- ROCHE, E. & BIKWEMU, G., 1989. Palaeoenvironmental 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*; Ed: W.C.MAHANEY. *York University, Toronto*. A.A.Balkema /Rotterdam/Brookfield.
- 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. Actes du 4^{ème} Symposium de Palynologie africaine (Sousse, Tunisie / avril 1999)
- RUNGE, J., 2007 : Des déserts et des forêts, histoire du paysage et du climat de l'Afrique Centrale au Quaternaire Supérieur. *Geo-Eco-Trop*, 2007, 31 :1-18.
- SALZMANN, 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
- SCHRÖTER, D., CRAMER, W., LEEMANS, R., PRENTICE, I., C., ARAÚJO, M., B., ARNELL, N., W., BONDEAU, A., BUGMANN, H., CARTER, T., R., GRACIA, C., A., DE LA VEGA-LEINERT, A., C., ERHARD, M., EWERT, F., GLENDINING, M., HOUSE, J., I., KANKAANPÄÄ, S., KLEIN, R., J., T., LAVOREL, S., LINDNER, M., METZGER, M., J., MEYER, J., MITCHELL, T., D., REGINSTER, I., ROUNSEVELL, M., SABATE, S., SITCH, S., SMITH, B., SMITH, J., SMITH, P., SYKES, M., T., THONICKE, K., THUILLER, W., TUCK, G., ZAEHLE, S. & ZIERL B., 2005. Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science*, 310:1333-1337.
- SCHWARTZ, D., 1992. Assèchement climatique vers 3 000 B.P. et expansion Bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions. *Bull. Soc. géol. France*, 163, 3 : 353-361.
- SCHWARTZ, D., 1997. Forêt et savanes d'Afrique centrale : une histoire holocène mouvementée. *La lettre du changement global, Paléoclimatologie* : 7 p.
- SCHWARTZ, D., DE FORESTA, H., DECHAMPS, R. & LAFRANCHI, R. 1990. Découverte d'un premier site de l'Age du Fer ancien (2110 B.P.) dans le Mayumbe congolais. Implications paléobotaniques et pédologiques. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 310, 2 : 1293-1298
- SERVAIN, J., PICAUT, J. & MERLE, J. 1982. Mise en évidence du couplage à longue distance entre le vent et la température de surface dans l'Atlantique équatorial. *C.R. Acad.Sc.Paris*, sér. 2, 294 : 789-792.
- SERVANT, M., 1983. Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. *ORSTOM, Paris, Trav. & Doc.* : 159-573.
- SERVANT & SERVANT-VILDARY, 1980. L'environnement quaternaire du Tchad. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 133-162.
- SEVERINGHAUS, J.P. & BROOK, E.J., 1999. Abrupt climate change at the end of the last glacial period inferred from trapped air in polar ice. *Science*, 286 : 930-934.
- 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 stands of Lake Bosumtwi, Ghana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242 : 287-312.
- 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.
- STAGER C.J. & ANFANG-SUTTER, R. 1999. Preliminary evidence of environmental changes at Lake Bambili (Cameroon, West Africa) since 24 000 BP. *Journal of Paleolimnology*, 22: 319-330.
- STEMLER, A.B.L., 1980. Origins of plant domestication in the Sahara and the Nile Valley. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 503-526.
- STOCKER, T.F. & MARCHAL, O. 2000. Abrupt climate change in the computer : is it real ? *PNAS*, 97, 4 : 1362-1365.
- STOTHERS, R.B. 1984. Mystery cloud of AD 536. *Nature*, 307 : 344-345.
- STREET-PERROT, F.A. & PERROT, R.A. 1990. Abrupt climate fluctuation in the tropics: the influence of Atlantic Ocean circulation. *Nature*, 343 : 607-611.

- TALBOT, M.R., 1980. Environmental responses to climatic change in West African Sahel over the past 20000 years. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 37-62.
- TALBOT, M.R. & JOHANNESSEN, T., 1992. A high resolution palaeoclimatic record of the last 27,500 years in tropical West Africa from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. *Earth and Planetary Science Letters*, 110: 23-37.
- TAMURA, T., 1990. Late Quaternary landscape evolution in the West Cameroon Highlands and the Adamaoua Plateau. In: Lanfranchi, R. & Schwartz, D. (Eds). *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. ORSTOM., Paris: 298-318.
- THOMAS, C., D., CAMERON, A., GREEN, R., E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L., J., COLLINGHAM, Y., C., ERASMUS, B., F., N., FERREIRA DE SIQUEIRA, M., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARSVELD, A., S., MIDGLEY, G., F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M., A., TOWNSEND PETERSON, A., PHILLIPS, O., L., & WILLIAMS, S., E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 247:145-148.
- THUILLER, W., MIDGLEY, G., F., HUGHES, G.O., BOMHARD, B., DREW, G., RUTHERFORD, M.C. & WO, O., 2006. Endemic species and ecosystem sensitivity to climate change in Namibia. *Global Change Biology* 12 : 759–776.
- 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.
- TOSSOU, M.G., AKOEGNINO, A., BALLOUCHE, A., SOWUNMI, M.A. & AKPAGANA, K., 2008. The history of the mangrove vegetation in Benin during the Holocene : a palynological study. *Journal of African Earth Sciences*, 52 : 167-174.
- VINCENS, A., 1986. Diagramme pollinique d'un sondage Pléistocène supérieur-Holocène du lac Bogoria (Kenya). *Rev. Paleobot. Palynol.*, 47, 169-192.
- VINCENS, A., 1991a. Late Quaternary vegetation history of the South-Tanganyika Basin. Climatic implications in South Central Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 86: 207-226.
- VINCENS, A., 1991b. Végétation et climat dans le bassin Sud-Tanganyika entre 25 000 et 9000 B.P.: nouvelles données palynologiques. *Palaeoecology of Africa.*, 22: 253-263.
- VINCENS, A., BUCHET, G., ELENGA, H., FOURNIER, M., de NAMUR, C., SCHWARTZ, D., SERVANT, M. & WIRRMANN, D. 1994. Changement majeur de la végétation du Lac Sinnda (Vallée du Niarii, Sud Congo) consécutif à un assèchement climatique holocène supérieur : apport de la palynologie. *C.R. Acad. Sciences, Paris* : sér. 2a, 318 : 1521-1526
- VINCENS, A., SCHWARTZ, D., BERTAUX, J., ELENGA, H. & de NAMUR, C. 1998. Late Holocene Climatic Change in Western Equatorial Africa Inferred from Pollen from lake Sinnda, Southern Congo. *Quaternary Research*, 50: 34-45.
- VINCENS, A., SCHWARTZ, D., ELENGA, H., REYNAUD-FARRERA, I., ALEXANDRE, A., BERTAUX, J., ARIOTTI, A., MARTIN, L., MEUNIER, J.-D., NGUETSOP, F., SERVANT, M., SERVANT-VILDARY, S. & WIRRMANN, D., 1999. Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years BP and inheritance on the modern landscapes. *Journal of Biogeography*, 26: 879–885.
- VINCENS, A., WILLIAMSON, D., THEVENON, F., TAIEB, M., BUCHET, G., DECOBERT, M. & THOUVENY, N., 2003. Pollen-based vegetation changes in southern Tanzania during the last 4200 years: climate change and/ or human impact. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 198: 321-334.
- VINCENS, A., GARCIN, Y. & BUCHET, G., 2007. Influence of rainfall seasonality on African lowland vegetation during the late Quaternary : Pollen evidence from lake Masoko, Tanzania. *Journal of Biogeography*, 34: 1274-1288.
- 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.
- WALTHER, G-R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESANK, C., BEEBEE, T., J., C., FROMENTIN, J-M., HOEGH-GULDBERGI, O., & BAIRLEIN, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.
- 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. 1983. The guineo-Congolian regional centre of endemism. The vegetation of African: a descriptive memoir to accompany the *UNESCO/AETFAT/UNSO* vegetation map of Africa. Paris, France: UNESCO.
- WHITE, F. 1986. La végétation de l'Afrique. Recherche sur les ressources naturelles XX. ORSTOM – UNESCO. 384p.

- WU, H., GUIOT, J., BREWER, S., GUO, Z., & PENG, C, 2007. Dominant factors controlling glacial and interglacial variations in the treeline elevation in tropical Africa. *PNAS*, 104, 23 : 9721-9724.
- ZOGNING, A., GIRESSE, P., MALEY, J. & GADEL, F., 1997. The Late Holocene palaeoenvironment in the Lake Njupi area, West Cameroon: implications regarding the history of Lake Nyos. *Journal of African Earth Sciences*, 24: 285-300.

2ème Partie

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



2-1 Le lac Bambili

Le lac Bambili ($05^{\circ}56'11.9N$; $10^{\circ}14'31.6E$; 2273 m d'altitude) est un lac de cratère qui se situe dans la zone volcanique du Cameroun en Afrique centrale atlantique (Figures 2 et 3), plus précisément dans le domaine des hautes terres de Bamenda et des monts Bamboutos. Au Nord-Est de Bambili, se trouve le mont Oku qui culmine à 3011 m d'altitude et qui représente le deuxième sommet du pays, après le mont Cameroun (4070 m d'altitude). Le lac fait partie d'un ensemble complexe formé de deux cratères adjacents séparés l'un de l'autre par 45 m de dénivelé environ. Le cratère le plus haut fonctionne aujourd'hui comme un marécage et ses eaux se déversent vers le cratère le plus bas, rempli d'un lac de 3 m environ de profondeur. Ce lac déverse à son tour ses eaux dans la plaine en direction du Nord-Est. Les flancs de cratère de Bambili sont escarpés et la bordure du lac est étroite, formée d'une bande de végétation herbacée composée d'éléments sub-aquatiques (Cyperaceae, fougères...) qui pousse sur un sol organique, tourbeux.



Figure 2. Le lac de cratère Bambili ($05^{\circ}56'11.9N$; $10^{\circ}14'31.6E$, 2273m d'altitude). Le point rouge indique l'emplacement du carottage en bordure du lac et le point jaune celui du marécage du second cratère.

2-2- Le relief

Les massifs montagneux et hauts plateaux occupent plus du quart de la superficie du Cameroun. Ils se déploient en un puissant arc de cercle médian, du Mont Cameroun à la République

Centrafricaine. Celui-ci, appelé encore Ligne Volcanique du Cameroun (LVC), s'élargit considérablement dans sa partie centrale (CHAMPAUD, 1973). Entre le 5° et le 6° parallèle, la Ligne Volcanique du Cameroun s'épanouit largement vers l'Est sur une centaine de kilomètres en de vastes plateaux étagés surmontés de massifs volcaniques. Au Nord-Ouest, elle est flanquée par l'énorme masse des Monts Bamboutos, dont le cône atteint 2740 m. Vers le Sud-Ouest, elle se redresse en un bourrelet assez raide, qui s'élève jusqu'à plus de 2000 m.

Dans l'ensemble, les altitudes supérieures à 1500 m couvrent de vastes étendues et les sommets remarquables culminent pour la plupart entre 2000 et 4070 m. Le volcanisme, qui marque toute cette région, a empilé d'épaisses couches de basaltes ou d'andésites, édifié de grands appareils complexes du même type que le Mont Cameroun et construit des pitons de trachytes ou rhyolites et des cônes de scories depuis la fin du Secondaire jusqu'au Quaternaire (SUCHEL, 1988). Cette architecture permet au relief de modifier les conditions normales de la pluviosité. D'une manière générale, la façade ouest de la LVC se comporte comme un immense versant au vent ; les vallées qui s'ouvrent en entonnoir vers l'Ouest ou le Nord-Ouest sont autant de voies offertes à l'invasion de la mousson.

2-3- Le climat

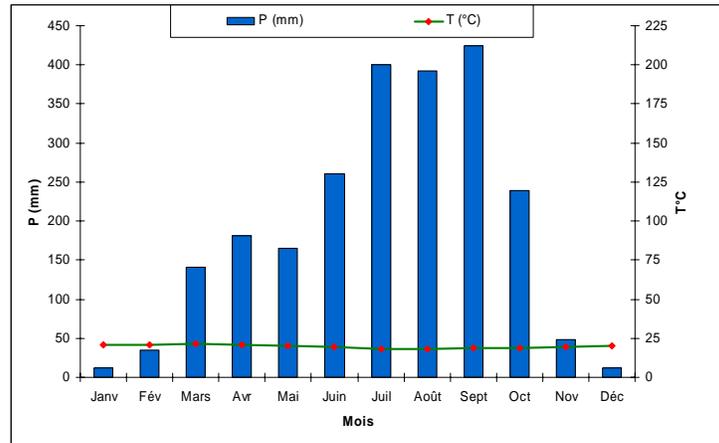


Figure 4a. Diagramme ombrothermique de Bambili (05°56'11.9N; 10°14'31.6E; 2273 m d'altitude) selon les estimations mensuelles locales de Web LocClim, de la FAO (2002).

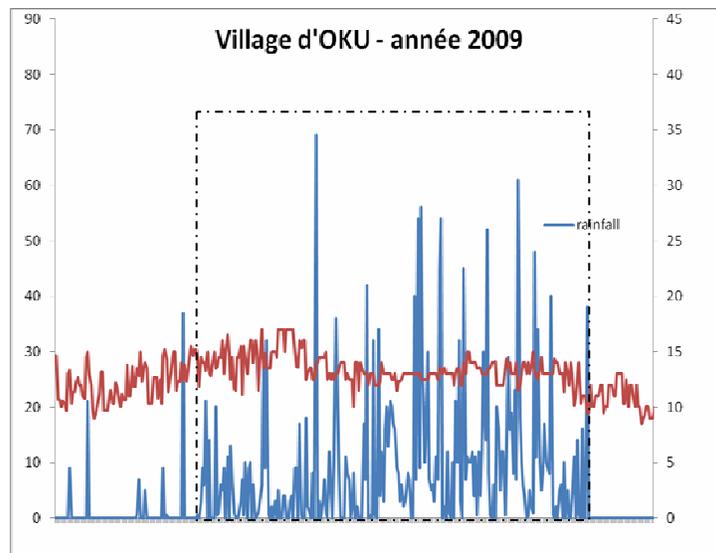


Figure 4b. Données journalières de température et précipitation au village d'Oku (1900 m d'altitude) – année 2009. Le carré noir identifie la saison des pluies entre le 26 mars et le 19 novembre.

Situé au centre du Domaine Guinéo-congolais, le Cameroun est traversé aussi bien par des climats de l'Afrique de l'Ouest que ceux de l'Afrique centrale. Cette variété de climats peut-être regroupée en deux grandes catégories. La première est celle des climats humides : équatorial, subéquatorial et tropical à longue saison pluvieuse qui couvre les 4/5 environ de la surface totale du pays, soit les régions occidentales (incluant les zones de montagne) et méridionales et la seconde celle des climats tropicaux un plus secs au Nord des plateaux de l'Adamawa. Concernant

l'humidité, SUCHEL (1988), souligne qu'au Cameroun, elle est favorisée par la localisation du pays au creux du Golfe de Guinée, à l'endroit où l'océan s'enfonce le plus profondément dans les terres. C'est par là qu'arrive en permanence le flux très humide, établi entre les hautes pressions de l'Atlantique sud et les basses pressions relatives du continent, de la "mousson atlantique".

L'alternance saisonnière du flux humide d'orientation SO-NE et les flux inverses (NE-SO), secs, de l'Alizé continental, induit la formation d'une longue saison humide de Mars à Octobre où les précipitations atteignent un maximum de 744 mm (Douala, au mois d'Août ; 2592 mm / an) et une saison plus sèche où les précipitations diminuent jusqu'à environ 35 mm (Douala entre Décembre et Janvier). L'influence de l'altitude et l'éloignement du littoral entraînent, aux environs de Bambili, des précipitations moins élevées qu'à Douala (2280 mm à Bamenda à 1370 m d'altitude et 2107 mm à Bafoussam à 1411 m d'altitude) et des températures moyennes plus basses (19°C à Bamenda et 20°C à Bafoussam contre 26°C à Douala). Selon le schéma de répartition des zones de temps de LEROUX (1970) modifié par SUCHEL (1988), les régions littorales et montagneuses de l'Ouest constituent un domaine original, caractérisé par les pluies abondantes pendant tout l'été. Mais, pendant que les basses plaines atlantiques baignent à longueur d'année dans l'air humide de la mousson, les montagnes et hauts plateaux sont soumis à l'invasion saisonnière de la saison sèche. Le diagramme ombrothermique de Bambili (Figure 4a), selon les estimations mensuelles locales de Web LocClim, de la FAO (2002), montre une saison sèche de Novembre à Février, avec des précipitations inférieures à 50 mm. La saison des pluies qui caractérise le reste de l'année a des taux de précipitations pouvant atteindre 400 mm par mois. Les températures fluctuent entre 18,1 et 21,2°C. Les mesures journalières effectuées au village d'Oku à 1900 m d'altitude environ (6°14.672N, 10°30.483E) en 2009 (Figure 4b), montrent que la saison des pluies se situe entre le 26/03/2009 et le 19/11/2009 avec des précipitations journalières atteignant jusqu'à 69 mm. La saison sèche, entre 01/01/2009 et 25/03/2009, est interrompue d'événements pluvieux isolés (0.5 à 30 mm par jour) alors que la période postérieure au 19/11/2009 est totalement sèche.

2-4- La végétation

La végétation camerounaise (Figures 5a et 5b) a été décrite par LETOUZEY (1968, 1985), repris par WHITE (1983). Elle est organisée aussi bien horizontalement que verticalement, car elle est

répartie latitudinalement (Figure 6) et étagée en altitude (Figure7). La végétation spécifique de la zone d'étude est présentée sur les Figures 5a et 5b.



Figure 5a. Photo satellitale du lac de cratère Bambili (05°56'11.9N ; 10°14'31.6E, 2273m d'altitude).

Le trait en tiret reliant le lac Oku au Lac Bambili représente 36.5 kms
Rouge foncé = Forêt
Rouge clair = Mosaique de jachères et forêts dégradées
Bleu nuit = Zone marécageuse
Noir = Eau libre
Blanc : Sol nu

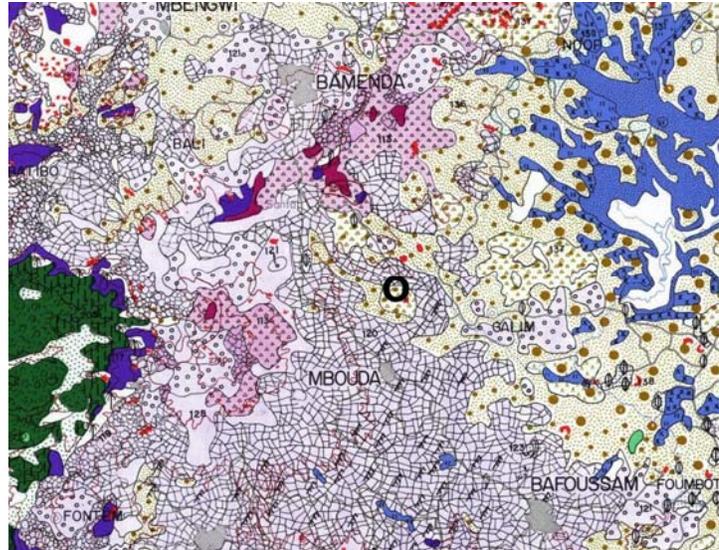


Figure 5b. Carte de végétation de la région de Bambili (LETOUZEY, 1985)

Vert = Forêt dense humide
Rose clair = Jachère
Rouge = Forêt de montagne
Violet = Forêt submontagnarde
Bleu = Zone marécageuse
Jaune hachuré = Pelouse graminéenne issue de la forêt de montagne
Jaune clair = Savane

Les cercles noirs indiquent la localisation du lac Bambili

2-4-1 La répartition zonale de la végétation

Les différents types de végétations camerounaises décrites par LETOUZEY (1985) appartiennent à cinq divisions phytogéographiques de l'Afrique (WHITE, 1986) regroupant chacun, plusieurs ensembles (Figure 6) :

2-4-1-1 Le centre régional d'endémisme Guinéo-Congolais

La limite septentrionale de la région Guinéo-Congolaise peut être définie par une ligne oblique s'étirant de la latitude 6°30' vers l'Ouest à la latitude 5° vers l'Est. Cette région englobe essentiellement des savanes périforestières et des forêts denses humides de divers types, y compris des forêts submontagnardes (800-1200 m à 1800-2200 m).

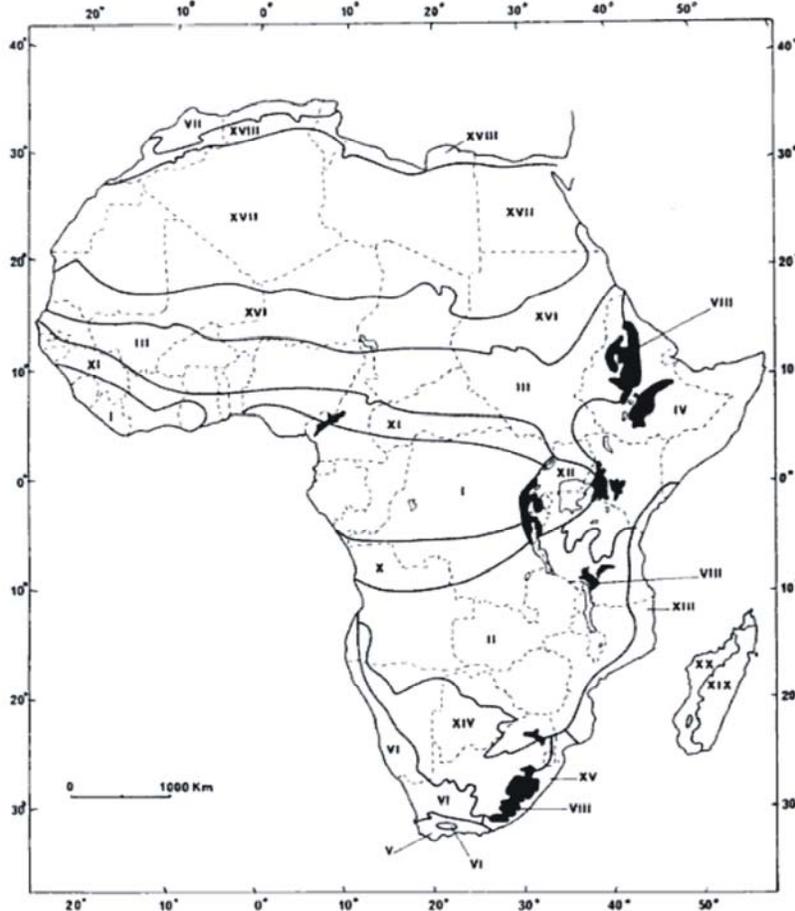


Figure 6. Principales phytochories de l'Afrique et de Madagascar d'après WHITE (1986).

Centre régional d'endémisme guinéo-congolais. II. Centre régional d'endémisme zambézien. III. Centre régional d'endémisme soudanien. IV. Centre régional d'endémisme de la Somalie et du pays Masai. V. Centre régional d'endémisme du Cap. VI. Centre régional d'endémisme du Karoo-Namib. VII. Centre régional d'endémisme méditerranéen. VIII. Centre régional d'endémisme morcelé afromontagnard, incluant IX, la région morcelée afroalpine d'appauvrissement floristique extrême (non figurée séparément). X. Zone de transition régionale guinéo-congolaise/ zambézienne. XI. Zone de transition régionale guinéo-congolaise/ soudanienne. XII. Mosaïque régionale du lac Victoria. XIII. Mosaïque régionale de Zanzibar-Inhambane. XIV. Zone de transition régionale Kalahari-Highveld. XV. Mosaïque régionale du Tongaland-Pondoland. XVI. Zone de transition régionale du Sahel. XVII. Zone de transition régionale du Sahara. XVIII. Zone de transition régionale méditerranéo-saharienne. XIX. Centre régional d'endémisme malgache oriental. XX. Centre régional d'endémisme malgache occidental.

2-4-1-1-1 Le domaine de la forêt dense humide toujours verte

Il se compose essentiellement de forêts toujours vertes, morcelées en beaucoup d'endroits à cause des cultures et l'urbanisation. On y trouve des grands arbres pouvant atteindre 50-60 m de hauteur au feuillage persistant, des arbustes du sous-bois et des lianes. Ce domaine comprend deux secteurs. Le premier est le secteur forestier Camerouno-Congolais qui se limite au Cameroun, au seul district du Dja tributaire du bassin du Congo, et qui se caractérise par l'absence d'espèce de forêts semi-caducifoliées lorsque la forêt est intacte et l'absence d'espèce de forêt atlantique. On y trouve un important peuplement de *Uapaca paludosa* (Euphorbiaceae), *Baphia pubescens* (Fabaceae), *Entandrophragma congoense* (Meliaceae), *Pycnanthus angolensis* (Myristicaceae), *Zanthoxylum heitzii* (Rutaceae), *Irvingia gabonensis* (Irvingiaceae), *Klainedoxa gabonensis* (Irvingiaceae), *Pentaclethra macrophylla* (Mimosaceae), *Santiria trimera* (Burseraceae), *Alchornea floribunda* (Euphorbiaceae), *Ficus natalensis* (Moraceae), *Hymenocardia ulmoides* (Hymenocardiaceae), ... Le second correspond au secteur forestier Nigéro-Camerounais ou atlantique. Il se constitue dans l'ensemble, du district atlantique biafréen avec sa typique forêt à Caesalpiniaceae et le district atlantique littoral. Ce sont différents types de forêts (biafréennes à Caesalpiniaceae, marécageuses, littorales, dégradées, mangroves, prairies marécageuses...). On y rencontre des espèces appartenant au premier district et d'autres telles que : *Myrianthus arboreus* (Moraceae), *Antiaris toxicaria* (Moraceae), *Lannea welwitschii* (Anacardiaceae), *Lophira alata* (Ochnaceae), *Sterculia tragacantha* (Sterculiaceae), *Trilepisium madagascariense* (Moraceae), *Strombosia* spp. (Olacaceae), *Celtis midbraedii* (Ulmaceae), *Ixora* spp. (Rubiaceae), *Crudia gabonensis* (Caesalpiniaceae)...

2-4-1-1-2 Le domaine de la forêt dense semi-caducifoliée

Il se compose essentiellement de forêt de l'étage de basse et moyenne altitudes (0 à 800-1200 m). Des savanes sont également présentes où l'on trouve *Terminalia glaucescens* (Combretaceae) accompagné d'éléments tels que *Annona senegalensis* (Annonaceae), *Bridelia ferruginea* (Euphorbiaceae), *Entada abyssinica* (Mimosaceae), avec un tapis herbacé constitué d'*Hyparrhenia* spp. (Poaceae). La forêt est dominée par les Sterculiaceae (*Cola* spp., *Sterculia* spp., *Pterygota* spp., *Mansonia altissima*, *Nesogordonia papaverifera*, *Dombeya*...) et les

Ulmaceae (*Celtis* spp., *Holoptelea grandis*, *Trema orientalis*..) en mélange avec d'autres espèces arborescentes : *Lecaniodiscus cupanioides* (Sapindaceae), *Trilepisium madagascariensis* (Moraceae), *Schrebera arborea* (Oleaceae), *Croton oligandrus* (Euphorbiaceae), *Ficus exasperata* (Moraceae), *Margaritaria discoidea* (Euphobiaceae), *Phyllanthus lemairi* (Euphorbiaceae), *Bertiera* spp. (Rubiaceae), Acanthaceae.

2-4-1-2 La Région Soudano-Zambézienne

Les trois régions phytogéographiques suivantes, rencontrées au Cameroun, se réfèrent, selon WHITE (1983) à la Zone de transition régionale Guinéo-Congolaise/Soudanienne, le Centre régional d'endémisme Soudanien, et la Zone de transition régionale Sahélien

LETOUZEY (1985) rassemble ces phytochories dans la Région Soudano-Zambézienne qui s'étend depuis le lac Tchad jusqu'à une ligne oblique s'étirant de la latitude 6°30' vers l'Ouest à la latitude 5° vers l'Est. Cette région comprend le Domaine Sahélien et le Domaine Soudanien. Le premier Domaine comporte deux types de paysages : les steppes à épineux avec *Acacia* spp. (Mimosaceae), *Boscia senegalensis* (Capparidaceae), *Balanites aegyptiaca* (Balanitaceae), Capparidaceae, *Ziziphus* spp. (Rhamnaceae), *Ipomoea* spp. (Convolvulaceae), *Maerua crassifolia* (Capparidaceae) et les prairies périodiquement inondées avec *Echinochloa pyramidalis* (Poaceae), *Hyparrhenia rufa* (Poaceae), *Pennisetum ramosum* (Poaceae), ... Le Domaine Soudanien comprend trois secteurs. Le secteur Soudano-Sahélien qui regroupe différents types de steppes, de savanes et de jachères. De plus, en dehors des éléments intrusifs Sahéliens, il comporte des espèces ligneuses caractéristiques telles que *Commiphora* spp. (Burseraceae), *Prosopis africana* (Mimosaceae), *Sterculia setigera* (Sterculiaceae)...et des herbacées. Le secteur Médio-Soudanien correspond aux savanes boisées ou forêts sèches claires qui sont sous influences anthropiques agricoles et l'action des feux de brousse. Enfin, le secteur Soudano-Guinéen d'altitude (800-1200 m), qui subit également l'effet anthropique, est représenté par les savanes arbustives et arborées du plateau de l'Adamaoua.

2-4-2 La région afro-montagnarde

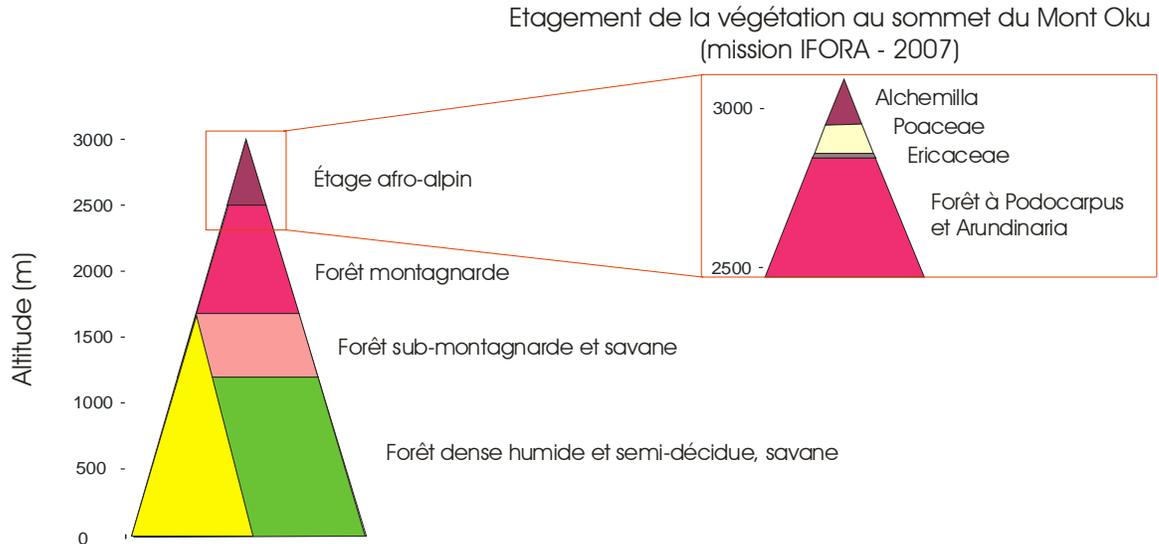


Schéma général de l'étagement de la végétation au Cameroun d'après Letouzey, 1968

Figure 7. Répartition des associations végétales du Cameroun en altitude

La Région Afro-Montagnarde est un centre d'endémisme morcelé (White, 1978a). Il est constitué de différents monts que l'on trouve au Cameroun (LVC), Ethiopie, Région du lac Victoria, Tanzanie, Kenya et en Afrique du Sud. Au Cameroun, les végétations qui couvrent un grand nombre de massifs de la LVC (monts Cameroun, Bambouto, Koupé, collines de Yaoundé, Nkolobot Nord et sud, Oku...) ont été décrites par CABLE et CHEEK, 1998 ; PORTERES, 1946 ; LETOUZEY, 1985 ; TCHIENGUE, 1993 et 2004 ; ACHOUNDONG, 1996 ; KITIO, 1993 ; CHEEK et al., 2000 ; MOMO SOLEFACK, 2009). Trois étages ont été distingués (Figure 7) :

- Au sommet, au dessus de 2400 m d'altitude, se trouve l'étage afro-subalpin : cet étage est caractérisé par la présence d'*Alchemilla fisheri* subsp. *camerunensis* (Rosaceae) qui tapit le sommet du mont Oku, et d'autres espèces telles qu'*Agrostis mannii* (Poaceae) et *Veronica mannii* (Asteraceae).

- De 2400 à 1600 m en moyenne se trouve l'étage forestier montagnard. Il est représenté, au Mont Oku par *Podocarpus latifolius* (Podocarpaceae); *Rapanea melanophloeos* (Myrsinaceae), *Olea capensis* (Oleaceae), *Nuxia congestata* (Loganiaceae), *Embelia* sp. (Myrsinaceae), *Clematis simensis* (Ranunculaceae), *Hypericum* sp. (Hypericaceae), *Zanthoxylum rubescens* (Rutaceae), *Celtis* sp. (Ulmaceae), *Schefflera* sp. (Araliaceae), *Syzygium staudtii* (Myrtaceae), *Gnidia glauca* (Thymelaeaceae), *Nuxia congesta* (Loganiaceae), *Carapa grandiflora* (Meliaceae), *Schefflera abyssinica* (Araliaceae), *S. mannii* (Araliaceae), *Prunus africana* (Rosaceae), *Arundinaria alpina* (Poaceae), *Syzygium staudtii* (Myrtaceae) (Letouzey, 1985). Dans les sous-bois, les espèces les plus fréquentes sont : *Ardisia kivuensis* (Myrsinaceae), *Pavetta hookeriana* (Rubiaceae), *Chassalia laikomensis* (Rubiaceae), *Xymalos mospora* (Monimiaceae), *Rytigynia neglecta* (Rubiaceae). Les herbacées généralement rencontrées en forêt sont *Pilea rivularis* (Urticaceae), *Adiantum poiretii* (Adiantaceae), *Galium simense* (Rubiaceae), *Pycnostachys meyeri* (Lamiaceae), *Plectranthus insignis* (Labiataeae), *Microglossa densiflora* (Asteraceae) ainsi qu'*Achyranthes aspera* (Amaranthaceae), ainsi que *Diodia scandens* (Rubiaceae) en bordure des chemins et dans les espaces ouverts. On y distingue également des lianes telles que *Zehneria minutiflora* (Cucurbitaceae), *Z. scabra* (Cucurbitaceae), *Stephania abyssinica* (Menispermaceae), *Pentarrhinum abyssinicum* (Asclepiadaceae) (MOMO SOLEFACK, 2009).
- De 1600 à 800 m se trouve l'Etage forestier submontagnard. Cet étage marque la limite du domaine Guinéo-Congolais et du domaine Afro-montagnard. On y trouve *Olea hochstetteri* (Oleacea) et *Woodfordia uniflora* (Lithraceae), *Schefflera abyssinica* (Araliaceae), *Microglossa densiflora* (Asteraceae), *Stereospermum acuminatissimum* (Bignoniaceae), *Maytenus undata* (Celastraceae), *Croton macrostachyus* (Euphorbiaceae), *Erythrina excelsa* (Fabaceae), *Hypericum revolutum* (Hypericaceae), *Prunus africana* (Rosaceae), *Alchemilla fischeri* (Rosaceae), associés à des éléments de forêt dense semi-caducifoliée : *Dracaena arborea* (Agavaceae), *Xylophia Africana* (Annonaceae), *Polyscias fulva* (Araliaceae), *Santiria trimera* (Burseraceae), *Anthonotha* sp. (Caesalpiniaceae), *Hymenostegia* sp. (Caesalpiniaceae), *Bridelia speciosa* (Euphorbiaceae), *Uapaca* sp. (Euphorbiaceae), *Leonardoxa africana* (Caesalpiniaceae), *Ritchiea albersii*. (Capparaceae), *Celtis Africana* (Ulmanceae), *Anthocleista scnadens* (Loganiaceae)...

- Des savanes se rencontrent aux mêmes altitudes, principalement composées d'*Annona senegalensis* (Annonaceae), *Bridelia ferruginea* (Euphorbiaceae), *Cussonia djalonensis* (Araliaceae), *Piliostigma thonningii* (Caesalpiniaceae), *Terminalia avicennioides* (Combretaceae), *Vernonia turbinata* (Compositae), *Hymenocardia acida* (Euphorbiaceae), *Leonotis nepetifolia*, (Lamiaceae), *Entada abyssinica* (Mimosaceae), *Mussaenda arcuata* (Rubiaceae), *Protea madiensis* (Proteaceae), *Vitex doniana* (Verbenaceae). La strate herbacée est représentée par *Sporobolus africanus*, *Pennisetum* spp., *Hyparrhenia* spp.

2-4-3 La végétation au lac Bambili

2-4-3-1 Les relevés botaniques en forêt

Autour du lac Bambili, la végétation forestière est morcelée et restreinte aux flancs du cratère. Les espèces qui la composent sont principalement *Schefflera abyssinica* (Araliaceae), *Syzygium* sp. (Myrtaceae), *Trilepisium madagascariense* (Moraceae), *Arundinaria alpina* (Poaceae), *Anthocleista schweinfurthii* (Loganiaceae), *Dorstenia* (Moraceae), *Dracaena* (Dracaenaceae), *Hymenocardia acida* (Hymenocardiaceae), *Hypericum* sp. (Hypericaceae), *Maesa lanceolata* (Myrsinaceae), *Maytenus undata* (Celastraceae), *Microglossa densiflora* (Compositae), *Piper capense* (Piperaceae), *Pittosporum viridiflorum* (Pittosporaceae), *Prunus africana* (Rosaceae), *Psychotria peduncularis* (Rubiaceae), *Rapanea melanophloeos* (Myrsinaceae), *Vitex doniana* (Verbenaceae) et montrent un mélange d'éléments afro-montagnards et sub-montagnards. Le tableau 2 présente la liste des plantes déterminées sur le terrain lors des missions IFORA et C3A par E. KITIO et O. SENE.

Tableau 2. liste des plantes relevées par E. Kitio et O. Sene au Lac Bambili. Les plantes sont énumérées par ordre alphabétique des familles.

FAMILLES	GENRES	ESPECES	PHYSIONOMIE
ACANTHACEAE	Acanthaceae		undiff.
ACANTHACEAE	Brillantaisia	owariensis	H
ACANTHACEAE	Brillantaisia	vogeliana	H
ACANTHACEAE	Hypoetes	aristada	H

ACANTHACEAE	Justicia	insularis	H
ADIANTACEAE	Adiantum	porotii	Sp
AMARANTHACEAE	Achryranthes	aspera var. pubescens	H
AMARANTHACEAE	Amaranthaceae		N
APIACEAE	Hydrocotyle	hirta	H
APIACEAE	Hydrocotyle	sibthorpioides	H
ARALIACEAE	Araliaceae		A
ARALIACEAE	Polyscias	fulva	A
ARALIACEAE	Schefflera	abyssinica	A
ARALIACEAE	Schefflera	barteri	A
ARALIACEAE	Schefflera	mannii	A
ASPARAGACEAE	Asparagus	racemosus	L
ASTERACEAE	Adenostemma	caffrum	H
ASTERACEAE	Adenostemma	mauritianum	H
ASTERACEAE	Ageratum	conyzoides	H
ASTERACEAE	Aspilia	africana	H
ASTERACEAE	Bidens	pilosa	H
ASTERACEAE	Blumea	axillaris (=mollis ou perottetiana)	H
ASTERACEAE	Conyza	bonariensis syn. Erigeron bonariensis (=floribundus)	H
ASTERACEAE	Crassocephalum	montuosum	H
ASTERACEAE	Dichrocephala	chrysanthemifolia	H
ASTERACEAE	Echinops	mildbraedii	H
ASTERACEAE	Emilia	abyssinica syn. Senecio abyssinicus	H
ASTERACEAE	Emilia	coccinea	H
ASTERACEAE	Helichrysum	odoratissimum	H
ASTERACEAE	Lactuca	inermis	H
ASTERACEAE	Launaea	rarifolia	H
ASTERACEAE	Microglossa	densiflora	A
ASTERACEAE	Microglossa	pyrifolia	A
ASTERACEAE	Mikania	chenopodifolia	H
ASTERACEAE	Senecio	hochstetteri	H
ASTERACEAE	Senecio	ruwenzoriensis	H
ASTERACEAE	Solanecio	mannii	A
ASTERACEAE	Tithonia	diversifolia	H
ASTERACEAE	Vernonia	blumeoides	A
ASTERACEAE	Vernonia	hymenolepis	H
ASTERACEAE	Vernonia	purpurea	H
ASTERACEAE	Vernonia	subaphylla	H
ATHYRIACEAE	Diplazium	sammatii	N
BALSAMINACEAE	Impatiens	hians	H
BALSAMINACEAE	Impatiens	mannii	H
BIGNONIACEAE	Stereospermum	acuminatissimum	A
BORAGINACEAE	Cynoglossum	amplifolium var. subalpinum	H
BORAGINACEAE	Cynoglossum	coeruleum subsp. Johnstonii var. mannii	H
BRASSICACEAE	Brassica	rapa	H
CARYOPHYLLACEAE	Drymaria	cordata	H
CARYOPHYLLACEAE	Drymaria	villosa	H

CARYOPHYLLACEAE	Stellaria	mannii*	H
CELASTRACEAE	Maytenus	buchananii (=ovatus)	A
CELASTRACEAE	Maytenus	undata	A
CHENOPODIACEAE	Chenopodium	ambrosioides	H
CHENOPODIACEAE	Chenopodium	congolatum	H
COMMELINACEAE	Commelina	sp.	N
CONVOLVULACEAE	Dichondra	micrantha	H
CRASSULACEAE	Kalanchoe	crenata	H
CUCURBITACEAE	Cucurbitaceae		N
CUCURBITACEAE	Raphidiocystis	mannii	A
CUCURBITACEAE	Zehneria	scabra	H
CYPERACEAE	Carex	sp.	N
CYPERACEAE	Cyperaceae		N
CYPERACEAE	Cyperus	sp.	N
CYPERACEAE	Cyperus	papyrus	N
DAVALLIACEAE	Arthropteris	camerounensis	Sp
DRACAENACEAE	Dracaena	sp.	A
EUPHORBIACEAE	Bridelia	speciosa	A
EUPHORBIACEAE	Croton	macrostachyus	A
EUPHORBIACEAE	Neoboutonia	mannii	A
FABACEAE	Adenocarpus	mannii	A
FABACEAE	Calopogonium	mucunoides	N
FABACEAE	Centrosema	pubescens	L
FABACEAE	Dalbergia	saxatilis	A
FABACEAE	Erythrina	excelsa	A
FABACEAE	Erythrina	sigmoidea	A
FABACEAE	Fabaceae		undiff.
FABACEAE	Indigofera	mimosoides	H
FABACEAE	Tephrosia	vogelii	A
HYMENOCARDIACEAE	Hymenocardia	acida	A
HYPERICACEAE	Harungana	madagascariensis	A
HYPERICACEAE	Hypericum	peplidifolium	H
HYPERICACEAE	Hypericum	revolutum	A
HYPERICACEAE	Hypericum	roeperanum	A
LAMIACEAE	Leonotis	nepetifolia	H
LAMIACEAE	Leucas	deflexa	H
LAMIACEAE	Leucas	oligocephala	H
LAMIACEAE	Plectranthus	esculentus	H
LAMIACEAE	Plectranthus	sylvestris	H
LAMIACEAE	Solenostemon	repens	H
LOBELIACEAE	Lobelia	columnaris	H
LOBELIACEAE	Lobelia	hartlaubii	H
LOBELIACEAE	Lobelia	minutula	H
LOBELIACEAE	Lobelia	neumannii	H
LOBELIACEAE	Lobelia	rubescens	H
LOBELIACEAE	Lobelia	sapinii	H
LOGANIACEAE	Anthocleista	schweinfurthii	A

LORANTHACEAE	Phragmanthera	polycrypta	A
LORANTHACEAE	Tapinanthus	globiferus	A
LORANTHACEAE	Tapinanthus	letouzeyi	A
MALVACEAE	Hibiscus	macranthus	undiff
MALVACEAE	Kosteletzkya	adoensis	H
MALVACEAE	Malvaceae		undiff.
MALVACEAE	Sida	acuta	H
MALVACEAE	Sida	rhombifolia	A
MELASTOMATACEAE	Dissotis	brazzae	H
MELASTOMATACEAE	Dissotis	senegambiensis	H
MELIANTHACEAE	Bersama	abyssinica	A
MIMOSACEAE	Albizia	gummifera	A
MORACEAE	Dorstenia	sp.	N
MORACEAE	Trilepisium	madagascariense	A
MYRSINACEAE	Ardisia	kivuensis	A
MYRSINACEAE	Maesa	lanceolata	A
MYRSINACEAE	Rapanea	melanophloeos	A
MYRSINACEAE	Rapanea	melanophloeos	A
MYRTACEAE	Syzygium	sp.	A
ONAGRACEAE	Onagraceae		undiff.
PIPERACEAE	Peperomia	vulcanica	H
PIPERACEAE	Piper	capense	A
PITTOSPORACEAE	Pittosporum	viridiflorum	A
POACEAE	Poaceae		undiff.
POACEAE	Arundinaria	alpina	N
POLYGALACEAE	Polygala	albida	H
POLYGONACEAE	Polygonum	salicifolium	H
POLYGONACEAE	Polygonum	strigosum	H
POLYGONACEAE	Rumex	abyssinicus	H
PROTEACEAE	Protea	madiensis	A
PTERIDACEAE	Pteridium	sp.	Sp
PTERIDACEAE	Pteridium	aquilinum	Sp
RANUNCULACEAE	Clematis	grandiflora	L
RHAMNACEAE	Gouania	longispicata	L
ROSACEAE	Alchemilla	fischeri	H
ROSACEAE	Alchemilla	kiwuensis	H
ROSACEAE	Prunus	africana	A
ROSACEAE	Rubus	apetalus	A
ROSACEAE	Rubus	pinnatus	A
RUBIACEAE	Cremaspora	triflora	A
RUBIACEAE	Ixora	sp.	A
RUBIACEAE	Psychotria	peduncularis	A
RUBIACEAE	Psychotria	peduncularis	A
RUBIACEAE	Psychotria	sp.	A
RUBIACEAE	Rothmannia	urcelliformis	A
RUBIACEAE	Rubiaceae		undiff.

RUBIACEAE	Spermacoce	natalensis	H
RUBIACEAE	Virectaria	sp.	N
SAPINDACEAE	Allophylus	bullatus	A
SAPINDACEAE	Deinbollia	pinnata	A
SCROPHULARIACEAE	Alectra	sessiliflora	H
SOLANACEAE	Physalis	peruviana	A
SOLANACEAE	Solanum	aculeastrum	A
SOLANACEAE	Solanum	aculeatissimum	A
SOLANACEAE	Solanum	distichum	A
SOLANACEAE	Solanum	nigrum	H
STERCULIACEAE	Dombeya	ledermannii	A
THYMELAEACEAE	Gnidia	glauca	A
TILIACEAE	Triumfetta	cordifolia	A
ULMACEAE	Trema	orientalis	A
URTICACEAE	Boehmeria	macrophylla	A
URTICACEAE	Laportea	ovalifolia	H
URTICACEAE	Urticaceae		undiff.
VERBENACEAE	Vitex	doniana	A
VERBENACEAE	Vitex	grandifolia	A
VITACEAE	Cyphostemma	mannii	H
VITACEAE	Cyphostemma	rubrosetosum	H
ZINGIBERACEAE	Aframomum	sp.	N
ZINGIBERACEAE	Zingiberaceae		undiff.

2-4-3-2 La végétation du bord du lac

La répartition de la flore locale en bordure du lac reflète l'éloignement de la zone d'eau libre permanente : après les *Nymphaea sp.* (Nymphaeaceae) en bordure de l'eau libre, se trouve une ceinture de Cyperaceae, fougères et des plantes péri-aquatiques puis, sur le sol sec apparaissent les Poaceae.

2-4-3-3 L'évolution récente du massif forestier aux environs du lac Bambili

L'analyse des images satellites des années 1998 et 2003 montrent que la couverture forestière des alentours de Bambili s'est fortement dégradée au cours des dernières décennies. Avec l'aide de M. GUEDE (Université de Marne-la-vallée) et en utilisant les images mises à ma disposition et traitées à l'Ulg par M. SALMON, nous avons pu mesurer l'amplitude de cette dégradation. Nous avons tout d'abord déterminé une zone d'étude correspondant à un carrée de 580 pixel sur 580

pixel soit une superficie de 10 092 000 m². Une composition colorée a été ensuite réalisée afin de visualiser et détecter les différents éléments du paysage relativement à une connaissance du terrain fournie par une carte du paysage réalisée par LETOUZEY (1985) et des observations sur place détaillées ci-dessus. Les bandes 2, 3 et 4 ont été retenues parce qu'elles permettent de détecter l'activité chlorophyllienne.

La nomenclature se décline en cinq unités d'occupation du sol à savoir:

- La forêt
- La forêt dégradée
- Les savanes, prairies et cultures
- Lac
- Localités et sols nus.

Tableau 3 : Superficies (en ha) des différentes unités d'occupation du sol entre 1988 et 2003.

	1988	%	2003	%
Savane, prairie et culture	3676,17	13,3	11615,65	42,03
Localité et sols nus	2196,79	7,95	4766,18	17,25
Forêt	3660,14	13,23	2472,65	8,95
Forêt dégradée	18086,1	65,40	8754,07	31,66
Lacs	31,81	0,12	29,31	0,11

Nous nous sommes limités à réaliser une classification supervisée parce que nous avons une connaissance a priori des différents objets existants sur le terrain (localisation, nature) à travers la carte de végétation. Ainsi la photo-interprétation et l'utilisation de cartes de végétation permettent de repérer sur l'image des zones homogènes. Dans le cadre de ce travail, l'algorithme de classification dit *Maximum de vraisemblance* a été utilisé. Cette méthode, par la règle d'affectation de chaque pixel, permet de réduire les risques d'erreur, en utilisant au mieux les

probabilités d'appartenance. L'appartenance d'un pixel à une classe est déterminée suivant la probabilité plus ou moins importante d'y être intégrée (BONN et ROCHON, 1992). Le traitement des données a été effectué avec le logiciel ENVI 4.8.

Cette étude montre que la forêt était déjà très dégradée en 1988 et n'occupait que 65% de la superficie de la zone d'étude et la forêt la mieux conservée (en vert foncé sur l'image) ne représentait que 13%. L'ensemble enregistre une très forte réduction de 34 et 4%, respectivement entre 1988 et 2003 alors que les savanes, prairies et zones cultivées augmentent de 13,3 à 42,03%. Ces observations rejoignent celles de MOMO SOLEFACK (2009) sur la forêt d'Oku qui prédit sa disparition quasi-complète à l'horizon 2016.

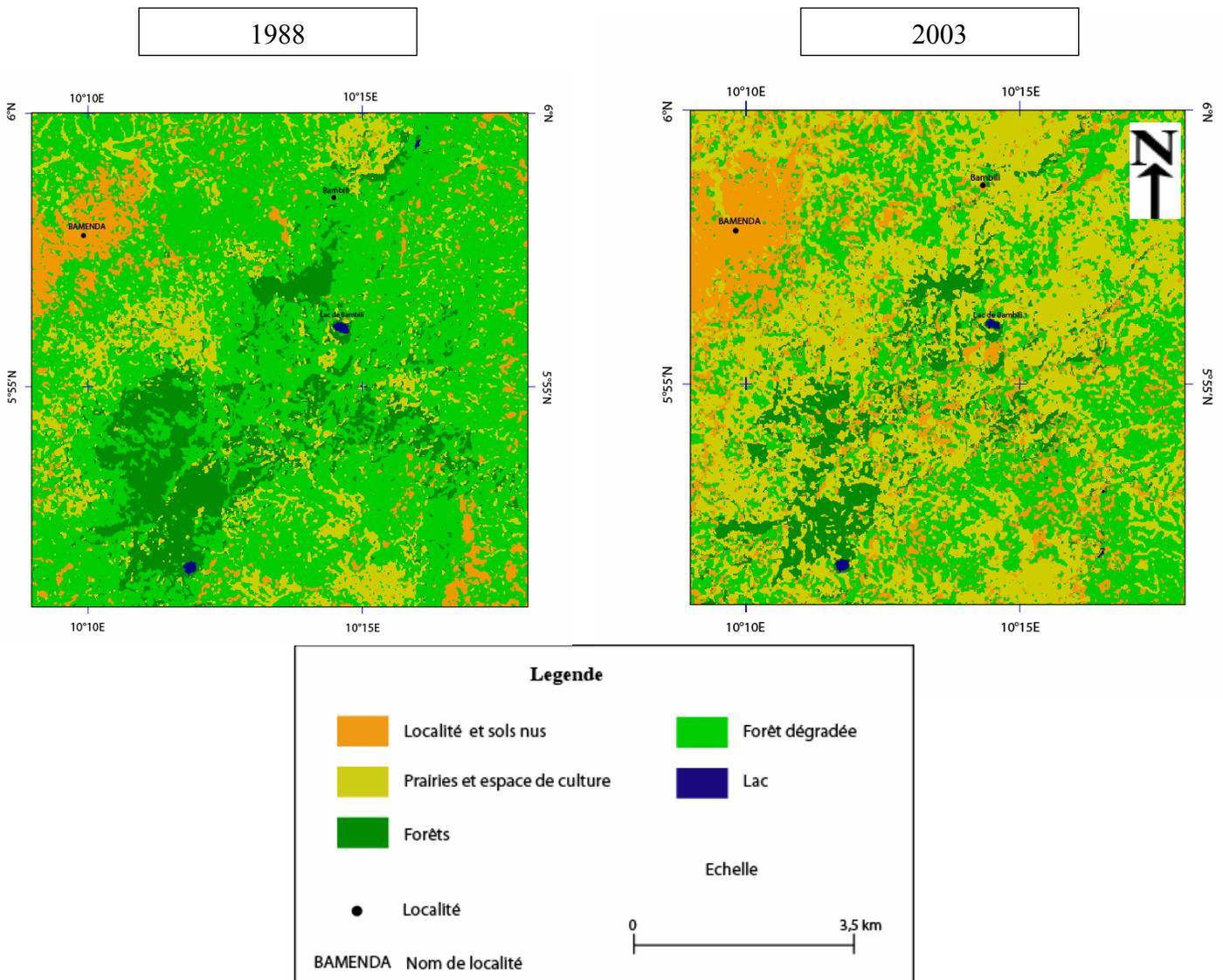


Figure 8 : Evolution de la couverture végétale entre 1998 et 2003 dans les environs du lac Bambili après traitement d'images satellitales.

3ème Partie

MATERIEL ET METHODES



3-1 Les carottes de sondage

Deux carottes de sondage de 13,5 m et 14,01 m ont été prélevées en bordure du lac Bambili respectivement en Février 2007 et Janvier 2010, à quelques mètres de distance (Figure 9a). Les sondages ont été réalisés à l'aide d'un carottier russe manuel (JOWSEY, 1966) par sections de 60 cm de longueur (Figure 9b). Les deux séries sédimentaires ont été réunies en une séquence unique sur la base de niveaux repères identifiés dans chaque séquence dont la profondeur (mcd) a été recalculée. Les carottes ont été échantillonnées tous les 5 à 10 cm pour l'analyse palynologique.



Figure 9a. Carottage en bordure du lac Bambili à l'aide du carottier manuel russe.



Figure 9b. Un exemple de sédiment récolté àBambili.

3-1-1 La séquence sédimentaire

Dans l'ensemble, les sédiments sont constitués de matériel organique plus ou moins décomposé et d'argile (Figure 10). Du sommet à 635 cm de profondeur, domine la matière organique tourbeuse figurée brune qui devient de plus en plus compacte et sombre vers la base. Entre 635 et 657 cm de profondeur s'individualisent, au sein de la sédimentation organique des nodules argileux centimétriques gris-verts. Enfin, de 657 cm à la base de la séquence la sédimentation devient organique noire, compacte et localement argileuse. Un niveau de charbons est individualisé à 1355 cm.

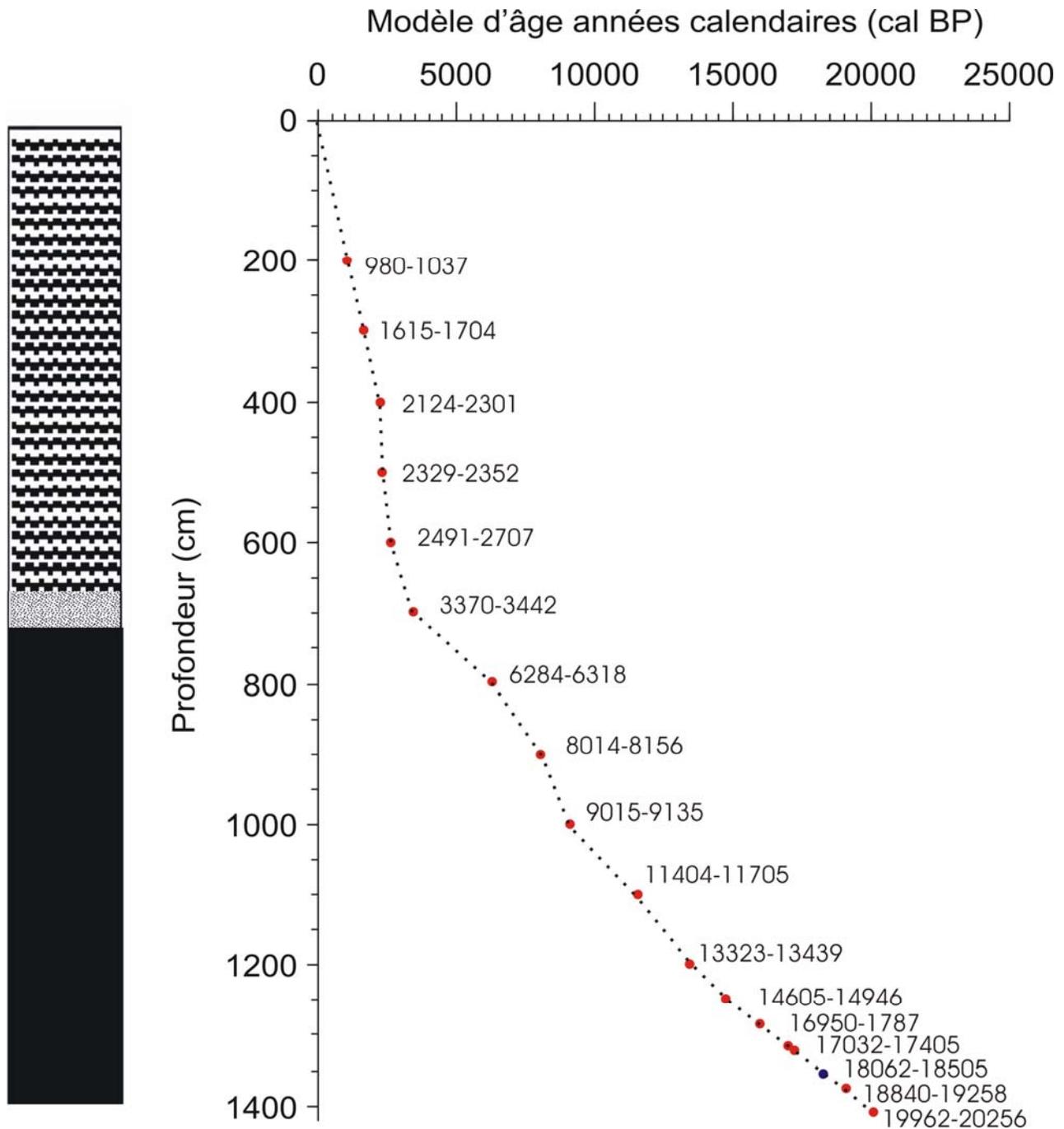


Figure 10. Stratigraphie et datations des tourbes de Bambili (AMS Artemis, Saclay). Les points rouges (tourbes) et bleu (charbon de bois) indiquent les datations au carbone 14 (ramenées en âges calendaires). Leur projection sur l'axe des ordonnées figure le modèle d'âge. A gauche de la figure est représentée la série sédimentaire simplifiée. En noir : Argile tourbeuse compacte, en gris : Argile tourbeuse gris foncé, en tiretés : Tourbe fibreuse brune.

Cette figure montre le changement majeur opéré à 3370-3442 cal BP au cours duquel le taux de sédimentation passe de 0.05 cm par an (à la base de la séquence) à 0.208 cm (au sommet).

3-1-2 Les datations au radiocarbone

Tableau 4. Datations au radiocarbone et Modèle d'âge calendaire des sédiments de la carotte 2007 et 2010 de Bambili.

Numéro de laboratoire	Profondeur (cm) de l'échantillon	Nature	Age radiocarbone BP			cal age-	cal age+	âge moyen (ans cal BP)
SacA 8485	199-200	tourbe	1125	±	30	980	1037	1008.5
SacA 8486	299-300	tourbe	1745	±	30	1615	1704	1659.5
SacA 8487	399-400	tourbe	2170	±	30	2124	2301	2212.5
SacA 8488	499-500	tourbe	2315	±	30	2329	2352	2340.5
SacA 8489	599-600	tourbe	2485	±	30	2491	2707	2599
SacA 8490	699-700	tourbe	3175	±	30	3370	3442	3406
SacA 8491	799-800	tourbe	5515	±	30	6284	6318	6301
SacA 8492	899-900	tourbe	7255	±	35	8014	8156	8085
SacA 8493	999-1000	tourbe	8160	±	45	9015	9135	9075
SacA 8494	1099-1100	tourbe	10050	±	45	11404	11705	11554.5
SacA 8495	1198-1199	tourbe	11560	±	50	13323	13439	13381
SacA 10870	1248-1249	tourbe	12550	±	50	14605	14946	14775.5
SacA 10872	1348-1349	tourbe	14330	±	60	16950	17387	17168.5

Numéro de laboratoire	Profondeur (cm) de l'échantillon	Nature	Age radiocarbone BP			cal age-	cal age+	âge moyen (ans cal BP)
BB01-2010	1325	tourbe	14150	±	60	17032	17405	17218.5
BB01-2010	1355	Charbon	15020	±	60	18062	18505	18283.5
BB01-2010	1377	tourbe	15840	±	70	18840	19258	19049
BB01-2010	1410	tourbe	16910	±	70	19962	20256	20109

Dix sept datations AMS ont été réalisées, qui témoignent d'une sédimentation continue depuis 20 000 ans BP avec un taux de sédimentation qui varie de 0.208 cm par an entre le sommet et 650 cm de profondeur et 0.05 cm par an de 650 cm de profondeur à la base (Tableau 4, Figure 10). Les mesures au radiocarbone ont été converties en âge calendaire à l'aide du logiciel CALIB version 5. 0. (STUIVER, et al., 2005).

3-2 Le traitement chimique des échantillons palynologiques

Les échantillons ont été traités chimiquement à l'acide Chlorhydrique (HCl) et à l'acide Fluorhydrique (HF) selon la méthode classique décrite par FAEGRI et IVERSEN (1975)

précédée d'un tamisage à 250 µm pour extraire les particules grossières. Le traitement s'est achevé par une filtration à 5 µm. Une quantité connue de grains de pollen exotiques (*Alnus*) a été ajoutée à chaque échantillon en début de traitement afin de permettre de calculer les concentrations (nombre de grains de pollen par cm³ de sédiment) et les influx (nombre de grains de pollen par cm² par an) (non présentés dans ici).

3-3 La détermination et comptage des grains de pollen et des spores

Les grains ont été déterminés à l'aide de la collection de lames de référence du Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris, du LSCE à Gif-sur-Yvette, du CEREGE à Aix-en-Provence et du Laboratoire de Micropaléontologie de l'Université de Liège, ainsi qu'à l'aide d'atlas (APLF, 1974 ; BONNEFILLE, 1971a, 1971b ; BONNEFILLE, et RIOLLET, 1980 ; CERCEAU-LARRIVAL, et HIDEUX, 1983; FREDOUX, 1977; LOBREAU-CALLEN, 1977; MALEY, 1970 ; SALARD-CHEBOLDAEFF, 1980-1993 ; SOWUNMI, 1973, 1995 ; STRAKA, 1964-1983 ; YBERT, 1979) et de la collection iconographique de la Banque Africaine de Données Polliniques (APD). Au total, 141 échantillons ont été analysés avec une résolution temporelle moyenne de 146 ans. Les comptages ont porté sur 300 à 1500 grains selon la richesse pollinique des échantillons et 203 taxons polliniques ont été identifiés. Ceux-ci ont été classés selon la physiologie des plantes sources, en se référant à l'étude de VINCENS et al. (2007) sur les taxons polliniques APD, corrigée des données régionales de Bambili de CHEEK et al., 2000 ; HARVEY et al., 2004. L'écologie et la physiologie des plantes sources (LETOUZEY, 1968; CHEEK et al. 2000 ; HARVEY et al., 2004, TROUPIN, 1982, HUTCHINSON et DALZIEL, 1958, 1963, 1966, 1968 et 1972) figurent également sur le tableau 5. Les données sont présentées sous forme d'un diagramme établi sur base des pourcentages calculés sur une somme excluant les Cyperaceae undiff., les fougères et mousses et les plantes aquatiques. Le logiciel CONISS, option de Tilia (GRIMM, 1987) a été utilisé pour la subdivision du diagramme pollinique en zones principales. L'analyse de raréfaction (BIRKS et LINE, 1992) utilisée pour estimer la biodiversité a été réalisée à l'aide du logiciel PSIMPOLL (<http://www.chrono.qub.ac.uk/psimpoll/psimpoll.html>). La diversité des types de pollen dans un échantillon est étroitement dépendante du nombre de grains compté par échantillons. L'analyse de raréfaction permet de ramener le nombre de taxons à une somme pollinique constante, le plus faible de toute la séquence analysée.

Tableau 5. Liste des taxons polliniques déterminés à Bambili. Les taxons sont classés par rapport à l'appartenance des plantes correspondantes dans les types de végétation : AA : Afro-montagnard ; FM : forêt de montagne ; FSM : forêt sub-montagnarde ; FSD : forêt demi-décidue ; FDH : forêt dense humide ; SAV : savane ; STP : steppe. La physionomie reprend les catégories définies par Vincens et al. (2007) A : arbres ; AL : arbres et/ou lianes ; PA : palmiers ; Par : parasites ; N : herbes, NL : lianes herbacées ; Nq : plantes herbacées aquatiques ; I : indifférenciés ; Sp : spores de fougères.

FAMILLE	Taxons	Physionomie	A A	F M	FS M	FS D	FD H	SA V	ST P
LOGANIACEAE	Nuxia-type	A	X	X	X				
POLYGALACEAE	Polygala-type	AL	X	X	X			X	
ROSACEAE	Rubus	AL	X	X	X				
ROSACEAE	Rosaceae undiff.	I	X	X	X				
SOLANACEAE	Solanum-type	I	X	X	X				
URTICACEAE	Urticaceae undiff.	I	X	X	X				
BALSAMINACEAE	Impatiens	N	X	X	X	X			
RANUNCULACEAE	Thalictrum	N	X	X	X				
ERICACEAE	Ericaceae undiff.	A	X	X					
ERICACEAE	Erica-type	A	X	X					
MYRICACEAE	Myrica	A	X	X					
MYRSINACEAE	Rapanea	A	X	X					
RANUNCULACEAE	Ranunculaceae undiff.	A	X	X					
THYMELAEACEAE	Gnidia-type	A	X	X					
MYRSINACEAE	Maesa	AL	X	X				X	
GENTIANACEAE	Gentianaceae undiff.	I	X	X			X		
HYPERICACEAE	Hypericum	I	X	X					
ROSACEAE	Alchemilla	N	X	X					
ACANTHACEAE	Isoglossa	N	X	X					
CRASSULACEAE	Crassula	N	X	X					
DIPSACACEAE	Dipsacaceae undiff.	N	X	X					
LOBELIACEAE	Lobelia	N	X	X					
RUBIACEAE	<i>Galium-type</i>	N	X	X					
POLYGONACEAE	Rumex	N	X		X				
MYRSINACEAE	Myrsine-type africana	A	X						
ASTERACEAE	Artemisia	I	X						X
RUBIACEAE	Anthospermum	I	X						
LAMIACEAE	Leucas-type	N	X					X	
PRIMULACEAE	Anagallis	N	X					X	
EUPHORBIACEAE	Flueggea	A		X	X	X	X	X	
SALICACEAE	Salix	A		X					
ACANTHACEAE	Mellera-type	I		X					
ARALIACEAE	Araliaceae undiff.	A		X	X	X		X	

ARALIACEAE	Polyscias	A		X	X	X		X	
BURSERACEAE	Santiria-type	A		X	X	X	X		
COMBRETACEAE	Combretaceae/Melastomataceae undiff.	A		X	X	X	X	X	
HYPERICACEAE	Harungana	A		X	X	X		X	
MELIACEAE	Carapa-type procera	A		X	X	X	X		
MELIACEAE	Entandrophragma-type	A		X	X	X	X		
MELIACEAE	Meliaceae undiff	A		X	X	X	X	X	
MORACEAE	Ficus	A		X	X	X	X	X	
MORACEAE	Trilepisium-type madagascariensis	A		X	X	X	X		
MYRSINACEAE	Embelia-type	A		X	X	X	X		
MYRTACEAE	Syzygium-type	A		X	X	X	X	X	
RUBIACEAE	Pavetta	A		X	X	X			
RUBIACEAE	Psydrax-type	A		X	X	X			
RUTACEAE	Zanthoxylum-type	A		X	X	X	X	X	
SAPINDACEAE	Allophylus	A		X	X	X	X	X	
STERCULIACEAE	Dombeya-type	A		X	X	X			
ULMACEAE	Celtis	A		X	X	X	X	X	
ULMACEAE	Celtis/Trema	A		X	X	X		X	
ARALIACEAE	Schefflera	A		X	X				
HYPERICACEAE	Psorospermum	A		X	X			X	
OLEACEAE	Olea capensis	A		X	X				
RUBIACEAE	Keetia-type cornelia	A		X	X				
SAPOTACEAE	Sapotaceae undiff.	A		X	X			X	
SIMAROUBACEAE	Brucea	A		X	X				
OLEACEAE	Olea europaea-type	A		X	X				
DILLENIACEAE	Tetracera	AL		X	X	X	X	X	
APOCYNACEAE	Landolphia-type	AL		X	X		X		
ACANTHACEAE	Justicia-type	I		X	X	X			
APOCYNACEAE	Apocynaceae undiff.	I		X	X	X	X	X	X
FABACEAE	Dolichos-type	I		X	X	X			
URTICACEAE	Laportea-type	N		X	X	X			
ACANTHACEAE	Hypoestes-type	N		X	X	X		X	
AMARANTHACEAE	Achyranthes-type	N		X	X			X	
RUBIACEAE	Spermacoce-type	N		X	X				
BEGONIACEAE	Begonia	N et NL épiphyte		X	X	X			
PALMAE	Phoenix	PA		X	X	X			
LORANTHACEAE	Tapinanthus-type	par		X	X				
ANACARDIACEAE	Lanea-type	A		X		X		X	
CELASTRACEAE	Celastraceae undiff.	A		X		X	X	X	
IRVINGIACEAE	Irvingia-type	A		X		X	X		

RUTACEAE	Clausena anisata	A		X		X		X	
EUPHORBIACEAE	Phyllanthus-type	A		X		X		X	
AQUIFOLIACEAE	Ilex mitis	A		X					
CELASTRACEAE	Maytenus	A		X				X	
PODOCARPACEAE	Podocarpus	A		X					
RHAMNACEAE	Rhamnus-type	A		X					
ROSACEAE	Prunus	A		X					
FLACOURTIACEAE	Flacourtia	A		X					
CELASTRACEAE	Cassine	AL		X		X	X		
MIMOSACEAE	Acacia	AL		X				X	X
MENISPERMACEAE	Cissampelos-type	AL		X				X	
FABACEAE	Indigofera	I		X		X		X	
RANUNCULACEAE	Clematis-type	L		X		X			
FABACEAE	Eriosema-type	N		X		X	X	X	
AMARANTHACEAE	Celosia argentea-type	N		X				X	
FABACEAE	Lotus-type	N		X					
GENTIANACEAE	Sebaea	N		X			X		
GENTIANACEAE	Swertia abyssinica-type	N		X					
GESNERIACEAE	Streptocarpus	N		X					
EUPHORBIACEAE	Alchornea	A			X	X	X	X	
EUPHORBIACEAE	Antidesma-type	A			X	X	X	X	
EUPHORBIACEAE	Uapaca	A			X	X	X	X	
LOGANIACEAE	Anthocleista	A			X	X	X	X	
ANACARDIACEAE	Pseudospondias-type	A			X	X			
ANACARDIACEAE	Sorindeia-type	A			X	X		X	
EUPHORBIACEAE	Macaranga-type	A			X	X			
EUPHORBIACEAE	Margaritaria discoidea	A			X	X		X	
MELIANTHACEAE	Bersama	A			X	X		X	
MIMOSACEAE	<i>Entada-type</i>	A			X	X		X	
MORACEAE	Myrianthus-type	A			X	X		X	
RUBIACEAE	Ixora-type	A			X	X			
STERCULIACEAE	Sterculia-type	A			X	X		X	
EUPHORBIACEAE	Croton-type	A			X	X		X	
CAESALPINIACEAE	Leonardoxa-type africana	A			X		X		
EUPHORBIACEAE	Bridelia-type	A			X		X	X	
EUPHORBIACEAE	Erythrococca-type3	A			X			X	
FABACEAE	Baphia-type	AL			X	X	X		
RUBIACEAE	Tarenna-type	AL			X				
CAPPARIDACEAE	Capparidaceae undiff.	I			X	X		X	X
EUPHORBIACEAE	Acalypha	I			X	X			
STERCULIACEAE	Pterygota	N			X	X			

MENISPERMACEAE	Stephania-type abyssinica	NL			X				
OCHNACEAE	Campylospermum	A			X				
MALPIGHIACEAE	Acridocarpus	AL			X				
EUPHORBIACEAE	Drypetes-type	A				X	X		
EUPHORBIACEAE	Tetrorchidium	A				X	X		
MELIACEAE	Khaya-type	A				X	X	X	
MIMOSACEAE	Pentaclethra macrophylla	A				X	X		
MORACEAE	Antiaris-type toxicaria	A				X	X	X	
MYRISTICACEAE	Pycnanthus	A				X	X		
OLACACEAE	Strombosia	A				X	X		
RUBIACEAE	Bertiera	A				X	X		
RUBIACEAE	Pausinystalia-type	A				X	X		
ANACARDIACEAE	Rhus-type	A				X		X	
ARALIACEAE	Cussonia	A				X		X	
BALANITACEAE	Balanites	A				X		X	
CONNARACEAE	Cnestis-type	A				X		X	
DICHAPETALACEAE	Tapura fischeri-type	A				X			
EUPHORBIACEAE	Mallotus-type	A				X			
HYMENOCARDIACEAE	Hymenocardia	A				X		X	
OCHNACEAE	Lophira	A				X		X	
OLEACEAE	Schrebera	A				X			
RUBIACEAE	Morelia-type senegalensis	A				X		X	
RUTACEAE	Teclea-type	A				X			
SAPINDACEAE	Aphania-type senegalensis	A				X		X	
SAPINDACEAE	Blighia	A				X			
SAPINDACEAE	Lecaniodiscus/Aphania senegalensis	A				X			
ULMACEAE	Holoptelea grandis	A				X		X	
CAESALPINIACEAE	Cassia-type	I				X		X	
TILIACEAE	Triumfetta-type	I				X		X	
SAPINDACEAE	Sapindaceae undiff.	AL				X	X		
OCHNACEAE	Sauvagesia erecta	N				X			
ANISOPHYLLEACEAE	Anopyxis klaineana	A				X			
CAESALPINIACEAE	Crudia-type	A					X		
EUPHORBIACEAE	Klaineanthus gaboniae	A					X		
EUPHORBIACEAE	Thecacoris-type	A					X		
RUBIACEAE	Adenorandia-type kalbreyeri	A					X		
SAPINDACEAE	Aporrhiza	A					X		
OLACACEAE	Olacaceae undiff.	AL					X		
EUPHORBIACEAE	Cyathogyne	N					X		
BURSERACEAE	Commiphora	A						X	X
CAPPARIDACEAE	Crateva adansonii	A						X	X

MENISPERMACEAE	Cocculus	A							X	X
RUBIACEAE	Mitragyna-type inermis	A							X	X
CAPPARIDACEAE	Maerua-type	A							X	
CAPPARIDACEAE	Boscia-type	I							X	X
LAMIACEAE	Basilicum polystachyon/Hoslundia opposita	I							X	
VERBENACEAE	Lippia-type	I							X	
AMARANTHACEAE/CHENOPODIACEAE	Amaranthaceae/Chenopodiaceae undiff.	N							X	X
RUBIACEAE	Mitracarpus villosus	N							X	X
STERCULIACEAE	Hermannia-type	N							X	X
LAMIACEAE	Leonotis-type	N							X	
AMARANTHACEAE	Aerva-type	N								X
PROTEACEAE	Faurea-type	A							X	
VITACEAE	Cissus	I							X	
COCHLOSPERMACEAE	Cochlospermum	I							X	X
SAPINDACEAE	Pappea capensis	A							X	
CAESALPINIACEAE	Parkinsonia aculeata-type	A								
ANACARDIACEAE	Anacardiaceae undiff.	A								
ACANTHACEAE	Acanthaceae undiff	I								
APIACEAE	Apiaceae undiff.	I								
ASTERACEAE	Asteraceae undiff.	I								
ASTERACEAE	Cichoriae undiff.	I								
EUPHORBIACEAE	Euphorbiaceae undiff.	I								
EUPHORBIACEAE	Euphorbia-type	I								
FABACEAE	Fabaceae undiff.	I								
LAMIACEAE	Lamiaceae undiff.	I								
RUBIACEAE	Rubiaceae undiff.	I								
SOLANACEAE	Solanaceae undiff.	I								
MONOCOTYLEDONAE	Monocotyledones	I								
BRASSICACEAE	Brassicaceae undiff.	N								
ASTERACEAE	Centaurea-type	N								
PLANTAGINACEAE	Plantago	N								
POACEAE	Poaceae undiff.	N								
EUPHORBIACEAE	Ricinus communis	NG								
CYPERACEAE	Cyperaceae undiff.	Nq								
HALORRHAGACEAE	Laurembergia tetrandra	Nq								
HYDROCHARITACEAE	Ottelia-type	Nq								
NYMPHAEACEAE	Nymphaea	Nq								
ONAGRACEAE	Ludwigia-type	Nq								
ONAGRACEAE	Onagraceae undiff.	Nq								
POLYGONACEAE	Polygonum senegalense-type	Nq								

POTAMOGETONACEAE	Potamogeton	Nq							
TYPHACEAE	Typha	Nq							
XYRIDACEAE	Xyris	Nq							
Spores monolètes Lisse		Sp							
Spores monolètes NL		Sp							
Spores trilètes L		Sp							
Spores trilètes NL		Sp							

4ème Partie

DESCRIPTION DES DONNEES



4-1 La microflore pollinique

La microflore (Tableau 5) est constituée de 119 taxons d'arbres, lianes et palmiers, associés à 36 taxons de plantes herbacées et 32 taxons indifférenciés, pouvant correspondre aussi bien à des arbres qu'à des herbes. Enfin, 10 taxons correspondent à des plantes aquatiques, 4 à des fougères et un à une plante parasite.

La nomenclature pollinique suit les règles de la Banque Africaine de Données Polliniques (APD) (VINCENS et al., 2007) basée sur l'inventaire des plantes à fleurs de l'Afrique tropicale de LEBRUN et STORK (1991-1997). Elle se base sur la distinction deS niveaux taxonomiques : l'espèce, le genre et la famille. Deux familles distinctes peuvent présenter une morphologie pollinique similaire ou trop proche pour être distinguée sans erreur comme par exemple Combretaceae et Melastomataceae ou Chenopodiaceae et Amaranthaceae. Lorsqu'un taxon pollinique se réfère à plusieurs genres ou espèces botaniques, le mot « type » a été ajouté au nom du taxon : **au nom de genre** lorsque plusieurs genres montrent des morphologies polliniques similaires ou quand la différence entre les genres n'est pas facilement perceptible au microscope. Par exemple, *Syzygium*-type qui regroupe les genres *Syzygium* et *Eugenia*. Un nom d'espèce peut être ajouté lorsque la plante est considérée comme caractéristique de la région étudiée (ex : *Carapa*-type *procera*) ; **au nom d'espèce** lorsque le genre est bien identifié mais correspond à des espèces distinctes (ex : *Lophira alata*-type dont le grain de pollen n'est pas distinguable de *Lophira lanceolata*-type). L'utilisation du « type » souligne l'incertitude des déterminations car toutes les espèces botaniques correspondant aux types déterminés n'ont pu être étudiées pour leur morphologie pollinique (dans la mesure où toutes les espèces botaniques ont pu elles-mêmes être inventoriées). En conséquence, l'assignation de caractéristiques morphologiques, écologiques ou phytogéographiques aux taxons polliniques qui figurent sur le tableau 5 comporte une erreur qu'il est difficile de quantifier. En tenant compte du travail de VINCENS et al. (2007), nous avons recherché les informations correspondant au maximum de genres et espèces contenus dans chaque type pollinique déterminé. Il est donc fréquent de retrouver en regard de chaque taxon des indications multiples soit du point de vue morphologique (par exemple « I » lorsque la plante peut se présenter sous plusieurs formes : herbes, sous-arbrisseau, arbuste, arbre ou liane ou lorsque plusieurs genres ou espèces présentent au même type pollinique) soit du point de vue phytogéographique (dans le cas de plusieurs espèce botaniques de même morphologie

pollinique). Le tableau montre également que les plantes elles-mêmes ont une distribution géographique souvent très large incluant plusieurs niveaux d'altitude (Annexe 1). Nous avons suivi ici la distinction effectuée par LETOUZEY (1968) entre la végétation afro-alpine (incluant la prairie supra-forestière, la forêt de montagne), la forêt sub-montagnarde, la végétation guinéo-congolaise incluant les forêts denses semi-décidues et sempervirentes et la végétation sèche (soudano-zambézienne, sahélienne) des steppes et savanes. En ce qui concerne ces dernières, les savanes de basse et moyenne (haute) altitude n'ont pas été différenciées.

4-1-1 La représentation pollinique de la végétation afro-alpine

4-1-1-1 L'étage supra-forestier se compose d'éléments de forêt de montagne (23), d'éléments supra-montagnards (2) et des taxons (4) pouvant aussi se trouver dans la forêt submontagnarde, la savane et les steppes. Il n'existe pas, dans notre enregistrement, de taxons afro-montagnards stricts. Les 29 taxons marqués « AA » dans le tableau 5 traduisent en majorité la limite supérieure des arbres (taxons de lisières). Il s'agit de 11 taxons d'arbres et arbustes parmi lesquels les Ericaceae (2 taxons), *Myrica* (Myricaceae) et *Rubus* (Rosaceae) sont les plus caractéristiques. S'agissant des taxons herbacés et indifférenciés, on remarque la présence d'*Artemisia* (Asteraceae) qui n'est pas mentionné dans la flore locale. Nous l'avons classé dans l'ensemble afro-alpin car on le retrouve dans les niveaux glaciaires des diagrammes polliniques de l'ensemble des montagnes d'Afrique intertropicale (ex : LIVINGSTONE, 1967). *Artemisia* fait également partie de la flore méditerranéenne et désertique (QUEZEL, 1965 et 2002). Les autres taxons herbacés ou indifférenciés caractéristiques de l'étage afro-montagnard sont *Hypericum* (Hypericaceae), *Anthospermum* (Rubiaceae), *Rumex* (Polygonaceae) et *Isoglossa* (Acanthaceae). C'est dans cet étage supra-forestier que les Asteraceae sont les mieux représentées (AUBREVILLE, 1949).

4-1-1-2 La forêt de montagne (FM) se compose de 63 taxons polliniques dont seuls 9 sont spécifiques : *Podocarpus* (Podocarpaceae), *Rhamnus*-type (Rhamnaceae), *Ilex mitis* (Aquifoliaceae), *Prunus* (Rosaceae), *Swertia abyssinica*-type (Gentianaceae), *Streptocarpus* (Gesneriaceae), *Salix* (Salicaceae), *Flacourtia* (Flacourtiaceae) et *Mellera*-type (Acanthaceae). Les autres se retrouvent soit avec des éléments supra-forestiers (AA - Tableau 5) car ils peuvent

se trouver en limite supérieure de la forêt et descendent également en altitude : *Nuxia*-type (Loganiaceae), *Rapanea* (Myrsinaceae), *Maesa* (Myrsinaceae) et *Gnidia*-type (Thymelaeaceae), soit avec des éléments que l'on retrouve parmi les sub-montagnards (FSM) comme *Schefflera* (Araliaceae), *Olea* (Oleaceae), *Embelia*-type (Myrsinaceae), *Syzygium*-type (Myrtaceae), *Allophylus* (Sapindaceae). En fait, la majorité des taxons forestiers ont une répartition altitudinale et phytogéographique très large et nombreux sont ceux que l'on peut retrouver dans d'autres formations de forêt et savanes afro-alpine et guinéo-congolaise comme *Celtis* (Ulmaceae), Combretaceae / Melastomataceae, *Zanthoxylum* (Rutaceae), Meliaceae.

4-1-2 La représentation pollinique de la végétation guinéo-congolaise

4-1-2-1 La forêt sub-montagnarde et semi-décidue. Ces deux ensembles ont été distingués bien qu'ils se recouvrent très certainement en grande partie : si l'ensemble sub-montagnard est bien identifié dans légende de la carte de végétation par LETOUZEY (1985, sa spécificité est moins apparente dans sa monographie sur la végétation du Cameroun (LETOUZEY, 1968). La forêt sub-montagnarde se compose de 25 taxons polliniques dont la majorité se retrouve également en forêt semi-décidue, ce qui confirme le caractère de transition de cette formation végétale entre les ensembles afro-alpins et guinéo-congolais. Ce sont principalement des espèces héliophiles de lisières ou forêts secondaires, appartenant principalement à la famille des Euphorbiaceae : *Alchornea*, *Macaranga*, *Croton*, *Acalypha*, *Bridelia*-type et *Erythrococca*-type que l'on retrouve également en savane.

La forêt semi-décidue se compose de 29 taxons d'arbres que l'on retrouve soit en forêt dense humide, soit en savane. *Balanites* (Balanitaceae) et *Lophira* (Ochnaceae) sont présents dans cet ensemble ainsi que dans l'ensemble des savanes car les espèces qui se rapportent à ces deux genres qui caractérisent soit les forêts soit les savanes sont indissociable par leur morphologie pollinique. De même *Rhus* (Anacardiaceae) dont la morphologie pollinique est indissociable d'*Anthrocaryon* (Anacardiaceae) figure dans cet ensemble bien que la répartition des plantes correspondantes soit beaucoup plus large (WATRIN et al., 2007).

4-1-2-2 La forêt dense humide est représentée par 7 taxons d'arbres auxquels il faut ajouter les taxons cités plus haut dont la répartition est plus large et inclut la forêt semi-décidue.

4-1-3 Le cas particuliers des savanes et steppes. Les taxons de savane de montagne et de basse altitude ont été regroupés. Ils indiquent des milieux ouverts dominés par les Poaceae. On trouve des savanes de montagne aujourd'hui non loin du lac Bambili à une altitude toutefois inférieure. Les éléments arbustifs qui les composent se retrouvent également en lisière des formations forestières sub-montagnardes et des forêts semi-décidue (cf. supra). Quatorze taxons polliniques se rapportent à des formations très éloignées de la région de Bambili aujourd'hui, de type soudanien, voire sahélien comme *Commiphora*, *Crateva adansonii*, *Mitragyna-type inermis*, *Boscia-type*, *Aerva-type*.

4-1-4 La représentation pollinique de la flore locale se compose de 10 taxons aquatiques comme *Nymphaea*, *Potamogeton*, *Ottelia-type*, *Typha* auxquels sont associés les Cyperaceae undiff. et les spores de fougères monolètes et trilètes.

Sur la base de ces observations, et tenant compte de la répartition très large de certains taxons, j'ai pris le parti d'assigner aux taxons leur origine la plus proche en distinguant principalement : les prairies afro-montagnardes, la forêt de montagne, la forêt sub-montagnarde ou de transition, la forêt semi-décidue et les espaces ouverts (steppes et savanes) (Tableau 5 ; Annexe 1). Les herbacés undiff. se rapportent en majorité aux espaces ouverts.

4-1-5 La microflore de Bambili dans le contexte de l'évolution holocène des environnements d'Afrique centrale Atlantique

En vue d'analyser la spécificité de la micro-flore de Bambili par rapport à celle des autres sites d'Afrique centrale Atlantique et le dynamisme des plantes sources, j'ai comparé (Annexe 2) les taxons rencontrés à Bambili à ceux des sites de la Banque Africaine de Données Polliniques : Bois de Bilanko (600 m), Ngamakala (400 m) (ELENGA, 1992 ; ELENGA et al., 1994), Ossa (8 m) (REYNAUD-FARRERA et MALEY, 1994 ; REYNAUD-FARRERA et al., 1996) ainsi que

les sites de Barombi Mbo (300 m) et Mbalang (1100 m) pour lesquels les listes complètes des taxons a été publiées (MALEY et BRENAC, 1998 ; VINCENS et al., 2010). Cette analyse m'a permis d'identifier les taxons polliniques spécifiques aux secteurs d'altitude ou de plaine ainsi que ceux qui, à un moment ou un autre de l'histoire paléoenvironnementale, ont eu une dispersion très large, que cela résulte du transport de longue distance d'une zone à une autre ou de l'extension des aires de répartition des plantes source. L'annexe 2 contient au total 464 taxons polliniques répartis sur les 8 sites.

Les taxons communs aux sites d'altitude supérieure à 1000 m :

- Mbalang, capitule le maximum de taxons (239). Ce site et Bambili ont ensemble 24 taxons. Ces derniers sont repartis entre l'étage afro-subalpin: *Achemilla*, *Rumex*, *Anthospermum*, *Anagalis*, *Leucas*, la forêt de montagne: *Dombeya*-type, *Pavetta*, *Cissampelos*, la savane et la steppe : *Commiphora*, *Mitragyna*, *Aerva*.

- Sur les 27 taxons répertoriés à Shum Laka, 18 se retrouvent également à Bambili. Parmi eux, il y a des arbres appartenant à la forêt de montagne: *Allophylus*, *Celtis*, *Olea* et *Podocarpus* ou à la forêt sub-montagnard: *Alchornea*, *Anthocleista*, *Macaranga* et *Commiphora* qui est un taxon de savane et steppe.

- *Carapa*-type et les Ericaceae sont les seuls taxons communs à Bambili, Shum Laka et Mbalang.

Les taxons communs à toutes les altitudes

Dix taxons se retrouvent dans tous les sites palynologiques d'Afrique centrale atlantique entre entre 8 et 2273 m d'altitude. Parmi les plus spécifiques, un seul est un taxon de forêt de montagne : *Podocarpus*, les autres sont héliophiles et appartiennent aux forêts secondaires : *Achornea*, *Anthocleista*, *Macaranga*. *Podocarpus*, aujourd'hui, est une espèce restreinte à certaines zones d'altitude supérieure à 1800 m, la plante a donc au fil du temps colonisé les zones de plaine, puis elle a migré en altitude.

Les taxons de basse et moyenne altitude

Les taxons de basses altitudes que l'on retrouve aussi bien à Bambili qu'à Barombi Mbo, Sinnda, Kitina, Ossa et les sites du Congo, sont au nombre de 20 et 83 taxa sont capitulés sur les 6 sites.

En dehors des indifférenciés et aquatiques, 20 taxons font partie des forêts submontagnardes (*Acridocarpus*, *Macaranga*, *Alchornea*, *Trilepisium*, *Anthocleista...*), de la forêt semi-décidue (*Tetrorchidium*, *Pycnanthus...*), de la forêt dense humide (*Aporrhiza*, *Crudia*) et de la Savane (*Lippia*-type).

Sur l'ensemble des taxons répertoriés, environ la moitié, 224, sont des taxons de basse et moyenne altitude stricts. Ils n'ont pas été identifiés à Bambili et à Shum Laka. Ce sont principalement des taxons de forêt (*Ceiba pentandra*, *Guirbourtia demeusei*, *Parinari*, *Bombax buonopozense...*) et de savane (*Terminalia*, *Urticularia*, *Vangueria madagascariensis...*).

La flore originale de Bambili

L'originalité de Bambili est traduite par les taxons qui lui sont spécifiques. Ils sont au nombre de 54 : 24 font partie de l'étage afro subalpin (*Thalictrum*, *Gnidia*-type, *Isoglossa...*) et de la forêt de montagne (*Embelia*-type, *Laportea*-type, *Maytenus*, *Rhamnus*, *Sebaea...*). Les autres appartiennent aux forêts submontagnarde (*Pterygota*, *Erythrococca*-type3), semi-décidue (*Antiaris*, *Sauvagesia erecta*, *Schrebera...*), dense humide (*Adenorandia*, *Thecacoris...*) et savane et steppes (*Boscia*, *Leonotis*-type, *Crateva...*).

4-2 Le diagramme pollinique

Le diagramme pollinique montre des variations de pourcentages des taxons d'arbres comprises entre 10,56% (16 593 cal BP) et 95,28% (7 032 cal BP) (Figure 11). Un certain nombre d'entre eux, appartenant aux forêts de montagne et forêts denses de moyenne altitude sont présents dans la quasi totalité des échantillons analysés. Il s'agit de *Podocarpus*, *Schefflera*, *Alchornea*, *Celtis*, *Embelia*, *Maesa*, *Macaranga*-type, *Olea capensis*, *Ficus*, *Rapanea* et *Syzygium*. Leurs pourcentages sont toutefois très variables : entre 0,2 et 45,75%. Sur la base de ces variations ainsi que sur celle de l'apparition et la disparition d'autres taxons caractéristiques (*Aerva*, *Alchemilla*, *Artemisia*, *Farsetia*, *Hypericum*, *Ilex mitis*, *Gnidia*-type et *Myrica*) cinq grandes zones polliniques ont pu être distinguées du bas au haut de la séquence :

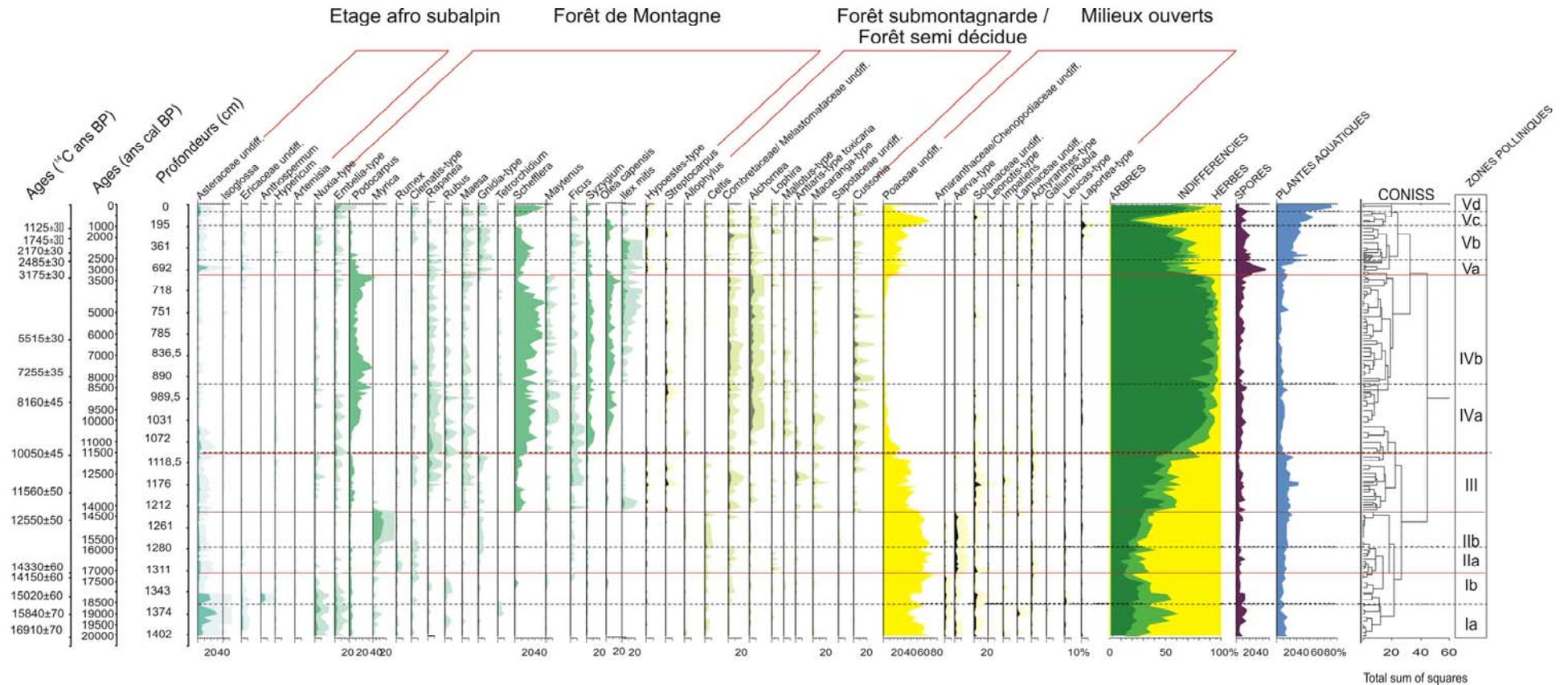


Figure 11. Diagramme pollinique simplifié de Bambili (Cameroun). Ce diagramme montre à gauche les âges radiocarbone mesurés sur la séquence à partir desquels a été établi le modèle d'âge. Les âges et les profondeurs sont figurés ensuite. Les pourcentages des principaux taxons, présentés en fonction des grands groupes de végétation régionaux sont calculés sur un somme excluant les plantes aquatiques et les fougères. Dans le cas des taxons faiblement représentés, un facteur multiplicatif ($\times 10$) a été appliqué (en couleur claire) et superposé aux valeurs initiales (en couleur foncée). A droite de la figure un diagramme synthétique montre les variations du rapport AP/NAP. Les zones ont été délimitées après application du logiciel CONISS (GRIMM, 1987).

ZONE I : 14,01 m à 12,295 mcd (20 109 - 17 192 ans cal BP)

Cette zone est caractérisée par des pourcentages élevés de plantes herbacées, notamment des Poaceae undiff., qui diminuent de la base (75,68%) vers le sommet (34,44 %) et les Asteraceae undiff. dont les pourcentages atteignent 30,29%. Les pourcentages des arbres n'excèdent pas 26,64%.

Ce qui est remarquable dans cette zone est la présence de taxons d'arbres et de plantes herbacées qui caractérisent aujourd'hui les espaces ouverts, les savanes et les steppes, notamment *Lannea* (1,22%), *Commiphora* (0,44%), différents taxons de Capparidaceae undiff. (0,34%) et *Aerva*-type (6,15%). La prairie afro-alpine et la limite supérieure des arbres sont également représentées par un certain nombre de taxons : *Myrica* (16,99%), Ericaceae undiff. (3,09%), *Artemisia* (1,68%), *Maesa* (1,29%), *Gnidia*-type (0,93%) associés à des éléments de l'étage montagnard, *Nuxia* (9,31%), *Rapanea* (1,25%), *Rubus* (2,37%), *Carapa procea* (1,82%).

Les arbres de l'étage sub-montagnard et des forêts semi-décidues sont présents en pourcentages ne dépassant pas individuellement 2,5%. Il s'agit principalement d'*Antiaris*, *Antidesma*, *Lophira*, *Pausynistalia*, *Trilepisium*-type *madagascariensis*, Sapindaceae undiff.

Sur la base des variations des principaux taxons de cette zone (Asteraceae, *Aerva*-type, *Anthospermum*, *Myrica*) deux sous-zones ont été déterminées :

Sous-zone Ia : 14,01 m à 13,63 mcd (20 109 – 18 589 ans cal BP)

La sous-zone Ia se distingue par le maximum de pourcentages d'Asteraceae undiff. (30,29%), atteint au niveau daté 19 049 cal BP (13495 cm). La végétation est dominée par les taxons herbacés ou arbustifs de milieux ouverts de savanes ou de lisières forestières : Amaranthaceae/Chenopodiaceae undiff. (2,30%), Asteraceae undiff. (30,29%), *Aerva*-type (2,63%), Solanaceae undiff. (3,13%), Lamiaceae undiff. (4,15%), *Achyranthes*-type (0,95%), *Lannea* (0,41%), *Boscia* (0,41%), *Crudia* (0,35%) et Urticaceae undiff. (0,74%).

Sous-zone Ib : 13,63 m – 13,21 mcd (18 589- 17 192 ans cal BP)

L'ensemble des arbres diminue de 32,89% à 12,84% pendant que les herbacées augmentent de 44,40% à 80,41%. Cette sous-zone se caractérise par les pics successifs entre 18 436 et 18 167 cal BP, du taxon herbacé de l'étage afro subalpin : *Anthospermum*

(6,95%), suivi à 17 640 cal BP d'un premier pic d'*Olea capensis* (4%) et de *Schefflera* (6,22%).

ZONE II : 13,21 m – 12,295 mcd (17 192 – 14 320 ans cal BP)

Cette zone est caractérisée par des valeurs élevées de Poaceae undiff. (68,58%) associé à *Aerva*-type qui atteint ses valeurs maximum (6,15%). Les Asteraceae restent à des valeurs notables tout au long de cette zone. D'autres taxons de savanes et steppes sont également présents : Amaranthaceae/ Chenopodiaceae undiff (1,39%), *Commiphora* (0,48%), *Mitragyna*-type *inermis* (0,24%), *Faurea* (0,45%), *Crateva adansonii* (0,23%). Les progressions de *Myrica* et *Aerva*-type déterminent deux sous-zones :

Sous-zone IIa : 13,21 m – 12,83 mcd (17 192 – 15 916 ans cal BP)

Dans cette sous-zone, les arbres de forêt de montagne et de la prairie afro-alpine restent à des valeurs peu importantes ou diminuent fortement par rapport à la zone précédente : *Podocarpus* (3,56%), *Myrica* (2,85%), *Schefflera* (2,49%), *Syzygium* (1,85%), *Olea capensis* (1,43%), *Embelia*-type (2,31%), et Ericaceae undiff. (1,1%) tandis qu'*Anthospermum* disparaît.

Sous-Zone IIb : 12,83 m – 12,295 mcd (15 916 – 14 320 ans cal BP)

Cette sous-zone s'individualise par les très fortes valeurs atteintes par *Myrica* entre 15 496 et 14 320 cal BP (16,99%). L'ensemble des arbres augmente (31,84%). Il s'agit principalement d'éléments montagnards (*Carapa* type-*procea*, *Clausena anisata*, *Clematis*, *Embelia*, *Ilex mitis*, *Lannea*...) qui atteignent jusqu'à 30,94% et d'éléments sub-montagnards (7,82%) : *Macaranga*, *Bredelia*-type, *Croton*-type, *Erythrococca*-type. La plus part des éléments de savanes et steppes disparaissent à l'exception de *Mitragyna*-type *inermis*, *Cohlospermum*, *Commiphora*, *Crateva adansonii* dont les pourcentages ne dépassent pas 1%.

ZONE III : 12,295 m – 11,005 mcd (14 320 – 11 572 ans cal BP)

Cette zone est marquée par la diminution drastique des pourcentages de Poaceae undiff. qui n'atteignent plus que 11,13% (minimum à 11 757 cal BP). Les pourcentages de l'ensemble des

arbres augmentent, en particulier ceux de *Schefflera* (19,07%) et *Podocarpus* (7,45%). Cette zone est par ailleurs caractérisée par la disparition définitive de *Myrica*, remplacé par *Ilex mitis* (5,11%).

Entre 14 200 et 13 602 cal BP, les pourcentages d'arbres diminuent notablement, en particulier *Schefflera* et *Podocarpus* qui ne représentent plus que 12,03% et 7,45% respectivement.

ZONE IV : 11,005 m – 6,80 mcd (11 572 - 3 252 ans cal BP)

L'augmentation des arbres initiée dans la zone précédente reprend en zone IV avec des pourcentages qui atteignent la valeur maximale de 92%. A l'inverse, les Poaceae undiff. disparaissent ainsi que tous les éléments allochtones des steppes et savanes. L'évolution du milieu s'effectue en deux phases :

Sous-zone IVa : 11,005 m – 9,205 mcd (11 572– 8 292 ans cal BP)

On note la disparition d'*Ilex mitis* qui précède la phase maximale de l'expansion forestière. L'augmentation générale des arbres se traduit par l'apparition et/ou l'expansion de toute une série de taxons forestiers montagnards : *Olea capensis* (15,61%), *Syzygium* (12,62%), *Maytenus* (4,36%), *Ficus* (6%), *Embelia* (3,40%), *Rubus* (5,38%), *Achyranthes*-type (1,38%), *Clematis* (1,84%), *Celtis* (4,34%), *Podocarpus* (32,13%) et *Schefflera* (36%)... Les taxons de la forêt sub-montagnarde augmentent également: *Alchornea* (7,36%), *Mallotus*-type (3,35%), *Macaranga*-type (3,88%), *Erythrococca*-type (2,07%), *Streptocarpus* (4,15%)...

Sous-zone IVb : 9,205 m - 6,80 mcd (8 292 – 3 252 ans cal BP)

Cette sous-zone est marquée par la re-apparition d'*Ilex mitis* (1,74% à 10,15%) et l'irrégularité de la représentation des différents taxons forestiers présents ; l'ensemble des arbres variant entre 86,93% à 75,80%. Les taxons de la forêt afro subalpine : Ericaceae undiff. (1,32%), *Isoglossa* (0,23%), *Gnidia* (1,15%), *Maesa* (4,36%), *Rapanea* (3,48%) et *Nuxia*-type (1,75%) ont des pourcentages relativement élevés.

ZONE V : 6,80 m – 0 mcd (3 252 ans cal BP – Actuel)

Les spectres polliniques de cette zone révèlent un milieu forestier sérieusement appauvri avec des pourcentages d'arbres qui ne représentent plus que 39% en moyenne. De nombreux taxons disparaissent définitivement : *Indigoferra*, *Blighia*, Sapindaceae undiff., *Brucea*, *Sauvagesia*, *Faurea*, *Salix*, et ne restent présents en pourcentages notables que *Podocarpus* (maximum 19,43%), *Olea capensis* (12,24%), *Schefflera* (45,25%), *Ilex mitis* (13,27%), Asteraceae undiff. (15,74%), Ericaceae undiff. (4,45%). Par ailleurs, *Achyranthes* (1,53%) et *Laportea*-type (6,33%), tous les deux caractéristiques des milieux dégradés, *Gnidia* (6,08%), *Impatiens* (1,52%) et enfin *Ricinus* (0,60%) apparaissent et progressent dans cette zone. Les différentes fluctuations des pourcentages des principaux taxons, dessinent 4 sous-zones :

Sous-zone Va : 6,80 m – 5,805 mcd (3 252 – 2 549 ans cal BP)

On note un changement dans la végétation dans cette sous-zone marquée par la diminution de la masse forestière dont les pourcentages chutent jusqu'à 46% : *Alchornea* (1%), *Allophylus* (0,29%), *Antiaris* (0,30%), *Antidesma*-type (0,81%), *Carapa*-type *procea* (0,34%), *Celtis* (0,40%), *Clausena anisata* (0,67%), Combretaceae undiff. (0,30%), *Cussonia* (0,64%), *Drypetes* (0,29%), *Embelia* (0,30%), Ericaceae undiff. (0,39%), *Erythrococca*-type (0,34%), *Ficus* (0,30%), *Gnidia* (0,31%), *Podocarpus* (5,43%), *Olea* (0,30%), *Schefflera* (7,66%)... Les Poaceae undiff., Asteraceae undiff. et les fougères augmentent de façon très importante jusqu'à 36,50%, 5,53% et 15,35% respectivement.

Sous-zone Vb : 5,805 m – 1,905 mcd (2 549 - 960 ans cal BP)

La végétation forestière se reconstitue mais elle est appauvrie et se dégrade très vite, de manière brutale à 960 cal BP. On note l'importance des taxons indicateurs de milieux ouverts : *Celtis* qui atteint (11,84%), *Laportea* (6,33%), Solanaceae undiff. (2,59%), Poaceae undiff (48,95%), *Macaranga* (10,10%), Lamiaceae undiff. (2,17%), *Hypoestes*-type (2,55%), *Clematis* (2,36%). La grande partie des taxons de l'étage montagnard cités dans la sous-zone précédente régresse : *Podocarpus* (0,51%), *Maytenus* (0,28%), *Embelia*-type (0,42%), *Syzygium* (1,27%), *Schefflera* (0,84%), *Ilex mitis* (1,68%), *Antiaris* (0,76%), *Rapanea* (0,38%) et *Cussonia* (0,31%).

Sous-zone Vc : 1,905 m – 0,605 mcd (960 – 266 ans cal BP)

Cette sous-zone marque le minimum de la représentation des arbres à l'Holocène avec un pourcentage de 18%. A l'inverse les plantes herbacées augmentent, en particulier les Poaceae undiff. (78%) et les Asteraceae undiff. (4,11%), Urticaceae (*Laportea*-type) (1%) et Solanaceae undiff. (5,80%). Les éléments forestiers *Olea capensis* (1,61%), *Podocarpus* (1,36%), *Maytenus* (0,4%), *Syzygium* (1,27%), *Ficus* (0,34%) et supra-forestiers Ericaceae undiff. (0,34%), *Hypericum* (0,40%), *Isoglossa* (0,80%), sont présents en très faible quantité.

Sous-zone Vd : 0,605 m – 0 mcd (266 cal BP– Actuel)

Le sommet du diagramme s'individualise par l'extrême pauvreté de la flore forestière dominée par *Schefflera* (45%) et *Embellia* (11%), associés à *Syzygium* (7,07%), *Hypoestes*-type (4,04%), *Clematis* (2,26%), *Celtis* (3,80%) et *Ilex mitis* (0,45%), *Cussonia* (3,61%), *Achornea* (4,22%), *Macaranga*-type (1,1%)... Les Poaceae undiff. restent à un niveau élevé et les Solanaceae undiff. augmentent (5,5%).

5ème Partie

DISCUSSION



5-1 L'évolution de la couverture végétale

5-1-1 Une végétation ouverte et dégradée au cours de la période glaciaire

5-1-1-1 La couverture forestière

A Bambili, la couverture forestière est extrêmement réduite durant la période glaciaire. La végétation est dominée par les plantes herbacées, comme c'est le cas dans tous les sites ouest africains, quelle que soit leur altitude : au marécage de Shum Laka (KADOMURA, 1994) à 1200 m d'altitude sur le plateau de Bamenda, à Barombi Mbo au pied du Mont Cameroun (MALEY et BRENAC, 1998) et au lac Bosumtwi, au Ghana (MALEY, 1987) situés à basse et moyenne altitude. Les sites polliniques des montagnes d'Afrique orientale témoignent également de la dégradation générale des forêts tropicales au cours de cette période (LIVINGSTONE, 1967, COETZEE, 1967, HAMILTON, 1982). Trois sites polliniques localisés en hémisphère sud enregistrent toutefois un schéma différent. Il s'agit de deux sites forestiers : Ngamakala localisé au Sud Congo à 400 m alt. où l'environnement, bien que dégradé, reste forestier pendant la période glaciaire jusqu'à 13 000 ans BP (ELENGA et al., 1994) et le secteur de l' « Eastern Arc Mountains » de Tanzanie (forêt de Kisinga-Rugaro) où MUMBI et al. (2008) soulignent une certaine « stabilité environnementale » au cours de toute la période glaciaire. Ils notent toutefois que les plantes herbacées enregistrent entre 19 000 et 14 000 cal BP leurs plus forts pourcentages, ce qui pourrait correspondre à l'instauration de conditions plus sèches et froides que précédemment. MUMBI et al. (2008) suggèrent que cette stabilité relative des écosystèmes durant la dernière période glaciaire serait due à l'influence de l'Océan Indien qui aurait permis le maintien d'une forêt humide alors que le climat régional de l'Afrique de l'Est était sec. Au lac Masoko (9°20' S, 33°45' E, 840 m d'altitude) VINCENS et al. (2006) identifient également une phase de développement de la forêt semi-décidue ininterrompue au cours de la période 23 000 – 11 800 cal BP.

5-1-1-2 La composition de la végétation locale

La composition des spectres polliniques de la période glaciaire à Bambili montre un mélange d'éléments floristiques décrits aujourd'hui comme représentatifs d'étages distincts : de l'étage sub-montagnard, des forêts semi-décidues (*Antiaris*, *Antidesma*, *Lophira*, *Pausynistalia*, *Trilepisium-type madagascariensis*, Sapindaceae undiff.), de la forêt de montagne (*Nuxia*, *Rapanea*, *Rubus*, *Carapa procea*, *Myrica*, *Gnidia-type*, *Maesa*, Ericaceae undiff.) et de l'étage afro-alpin (*Artemisia*, *Alchemilla*, *Anthospermum*, *Hypericum*, *Rumex*, *Isoglossa*). Les taxons herbacés qui dominent appartiennent aux milieux ouverts ou de lisières forestières, parmi lesquels, on peut citer : Poaceae undiff, Cyperaceae undiff., Amaranthaceae/Chenopodiaceae undiff., Asteraceae undiff., Lamiaceae undiff., *Achyranthes-type* et Urticaceae undiff. Parmi les taxons arborescents, les éléments de la forêt de montagne dominant mais leurs pourcentages restent cependant très faibles.

5-1-1-3 Les apports lointains

Les niveaux de la dernière période glaciaires sont caractérisés par la présence de taxons de savanes et steppes comme *Aerva-type*, *Boscia-type*, Capparidaceae undiff., *Commiphora*, *Crataeva adansonii*, *Crudia-type*, *Lannea-type* et *Maerua-type* qui témoignent de l'importance des apports éoliens de longue distance, liés à une circulation d'alizé renforcée (SARNTHEIN et al., 1981) et/ou de l'extension des zones de végétation soudano-zambézienne à la faveur de conditions climatiques sèches. Dans les lames d'observation des sédiments de Bambili qui correspondent à la période glaciaire et jusqu'à environ 11 500 cal BP, des charbons de bois sont présents. Ils atteignent une taille millimétrique à centimétrique autour du niveau daté à $15\,020 \pm 60$ ^{14}C BP (18 283 cal BP) ce qui témoigne de l'importance des feux dans l'environnement proche du lac Bambili.

Conclusions partielles

L'environnement et le climat glaciaires sont loin d'avoir été aussi homogènes à l'échelle de l'Afrique intertropicale que les études antérieures semblaient le montrer. L'Afrique nord-tropicale semble avoir été très touchée par une forte dégradation forestière, amenant certains

auteurs à suggérer la disparition totale de la forêt en dehors de zones refuges localisées aux massifs forestiers du Kivu ou de certains inselbergs d'Afrique centrale atlantiques (MALEY, 1989 ; HAMILTON, 1982). Au Sud de l'Equateur, cependant, ce signal est moins clair avec des zones restées forestières à l'Est comme à l'Ouest de l'Afrique. A Bambili, l'enregistrement palynologique s'insère dans le contexte régional de l'assèchement climatique et de la réduction de la couverture forestière glaciaire. La présence de taxons steppiques, preuve d'un transport lointain de pollen depuis des écosystèmes secs, et l'extrême réduction de la couverture arbustive vont dans le sens des travaux suggérant l'expansion pré-Holocène des savanes en Afrique (AUBREVILLE, 1949 ; VAN ZINDEREN BAKKER, 1976 ; RUNGE, 2007) et le déplacement vers le Sud de la limite nord du Domaine forestier Guinéo-Congolais au cours de la dernière période glaciaire. Bambili n'a pas été le lieu d'un refuge forestier glaciaire.

Les données palynologiques des niveaux glaciaires de Bambili ne permettent également pas de documenter clairement l'abaissement général de la limite supérieure des arbres telle qu'elle a été observée en Afrique orientale. Après l'extension des glaciers (OSMATSON et HARRISON, 2005), celle-ci aurait été d'une amplitude moyenne de 1000 m environ (JOLLY et HAXELTINE, 1997). A la suite de nombreux auteurs, (FARRERA et al., 1999) proposent un abaissement annuel des températures moyennes de 5°C environ durant le Dernier Maximum Glaciaire. Mais, cette estimation ne tient pas compte de l'impact du CO₂ sur les écosystèmes. JOLLY, et HAXELTINE (1997) puis WU et al. (2007) suggèrent que les facteurs influençant beaucoup plus que les températures, l'abaissement de la limite supérieure des arbres et l'expansion des prairies et fourrés afro-alpins, sont le faible taux de CO₂ (270 ppmv) associé à la réduction des précipitations. A Bambili, si la forêt a été fortement dégradée, elle n'a jamais complètement disparu et ses éléments majeurs (*Podocarpus*, *Nuxia*-type, *Embelia*, *Maesa*, *Syzygium*, *Clematis*-type, *Rubus*....) sont restés présents tout au long de la séquence indiquant leur permanence dans l'environnement régional du lac. La présence en mélange des taxons de haute ou basse altitude qui caractérisent les niveaux glaciaires pourrait avoir été favorisée par la faiblesse de la couverture forestière. Seuls des échantillons actuels permettraient de tester le transport pollinique en zone de montagne.

5-1-2 La colonisation forestière post-glaciaire

5-1-2-1 : la chronologie de la colonisation forestière

Au fur et à mesure du réchauffement post-glaciaire s'observe la recolonisation forestière. Celle-ci s'effectue à Bambili en trois étapes distinctes (Figure 12) entrecoupées par deux phases de régression qui correspondent à l'événement H1 et au Younger Dryas (YD).

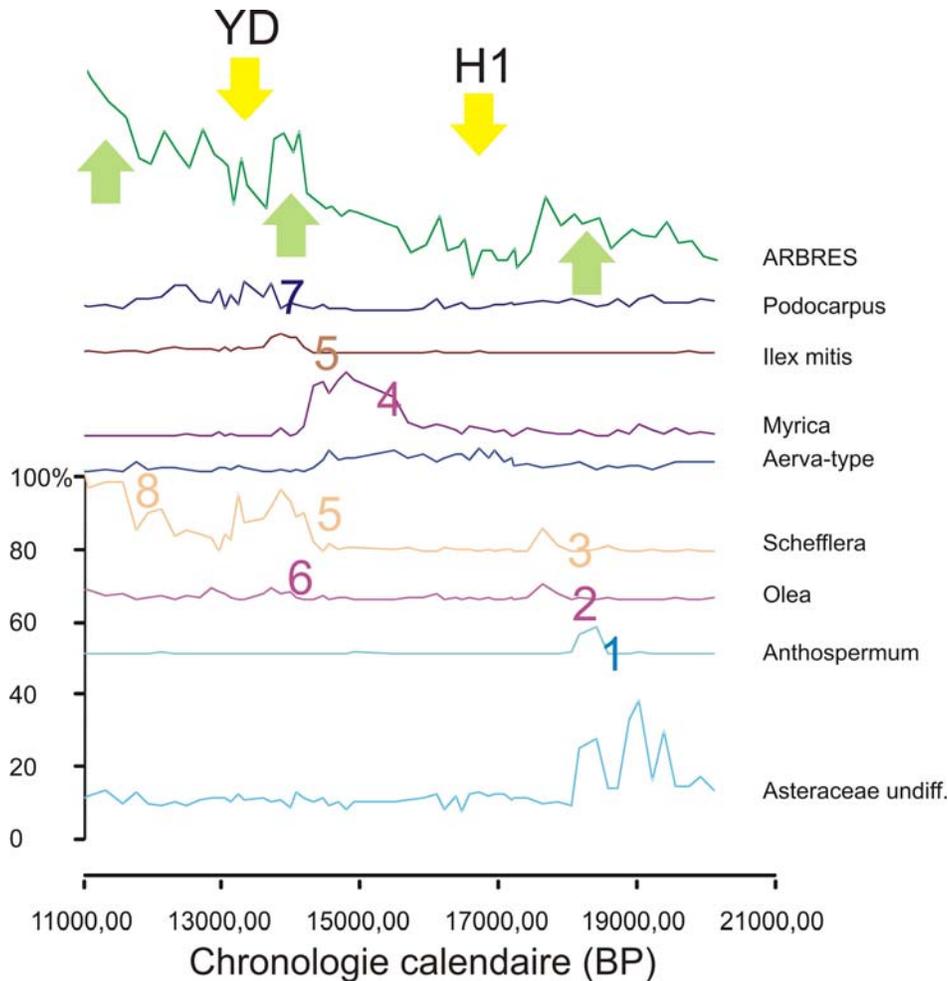


Figure 12. La colonisation forestière post-glaciaire à Bambili. Les courbes sont effectuées à partir des pourcentages de chaque taxon sur la période de 21 000 à 11 000 cal BP. Cette colonisation forestière s'effectue en trois phases entrecoupées par deux phases de régression qui correspondent à l'événement H1 et au Younger Dryas (YD). Elle débute à 18 400 cal BP avec l'apparition d'*Anthospermum* (1) suivi d'*Olea capensis* (2) puis *Schefflera* (3). L'interruption à 17 100 cal BP, marquée par l'augmentation d'*Aerva-type* est corrélée avec l'événement H1. Une seconde phase de colonisation forestière débute à 14 900 cal BP avec l'apparition de *Myrica* (4) suivi de *Schefflera* et d'*Ilex mitis* (5), d'*Olea capensis* (6) puis de *Podocarpus* (7). Entre 13 000 et 11 700 cal BP, une seconde phase de régression forestière s'observe avec la diminution des arbres. Puis, à partir de 11 500 cal BP, *Schefflera* (8) ouvre la phase d'expansion forestière holocène.

La première phase de colonisation débute à 18 400 cal BP avec l'apparition d'*Anthospermum*. Ce taxon est noté par LIVINGSTONE (1967) comme élément important du premier stade de colonisation des champs de lave de la région des volcans des Virunga en Afrique orientale. Il s'agit au Cameroun d'*Anthospermum camerounensis*, herbe naine, ramifiée de l'étage afro-alpin (LETOUZEY, 1968). Ce taxon est suivi par la première amorce d'augmentation d'*Olea capensis* puis de *Schefflera* le tout formant une première phase d'augmentation des arbres. Cette étape s'interrompt à 17 100 cal BP, avec l'augmentation d'*Aerva*-type qui indique le renforcement de la circulation éolienne d'orientation NE-SO en provenance des steppes sahéliennes et des feux importants indiqués par les nombreux charbons de bois d'ordre centimétriques (non décomptés) dans la section correspondante de la série sédimentaire. Cette augmentation est à corrélérer avec l'événement H1, dont les caractéristiques climatiques à l'échelle globale sont la sécheresse (MIX et al., 2001 et KAGEYAMA et al., 2005, TIMMERMANN A. et MENVIEL L., 2009).

Après une interruption d'une durée de 1900 ans environs, une seconde phase de colonisation forestière débute à 14 900 cal BP : elle est initiée cette fois par l'apparition de *Myrica*, arbuste héliophile résistant au feu qui vit dans les clairières de l'étage supérieur des forêts montagnardes (LIVINGSTONE, 1967). Ce taxon est suivi d'une autre essence héliophile, *Ilex mitis*, puis d'*Olea capensis*, de *Podocarpus* et de *Schefflera*. Cette phase culmine pendant une très courte période entre 13 800 et 13 700 cal BP qui correspond au début de l'intervalle chaud de l'Alleröd des hautes et moyennes latitudes (ROBERTS et al., 1993 ; 2010).

La reprise forestière à Bambili est contemporaine de ce que DeMENOCA et al. (2000) ont appelé le début de la Période Humide Africaine datée de 15 500 cal BP. Cette période est marquée par l'augmentation des débits du fleuve Niger (LEZINE et CAZET, 2005) et l'élévation générale du niveau des lacs (GASSE, 2000 ; SHANAHAN et al., 2006) (Figure 13). A Bambili, STAGER et ANFANG-SUTTER (1999) notent un rapport P/E positif au cours de cette période. La présence encore importante des taxons steppiques tels qu'*Aerva* jusqu' à 11 700 cal BP montrent cependant que la circulation d'alizé était encore importante au cours de cette période contrairement à ce qui est enregistré plus au Nord en milieu océanique où DeMENOCA, et al., 2000 notent l'arrêt du transport des poussières sahariennes à l'océan.

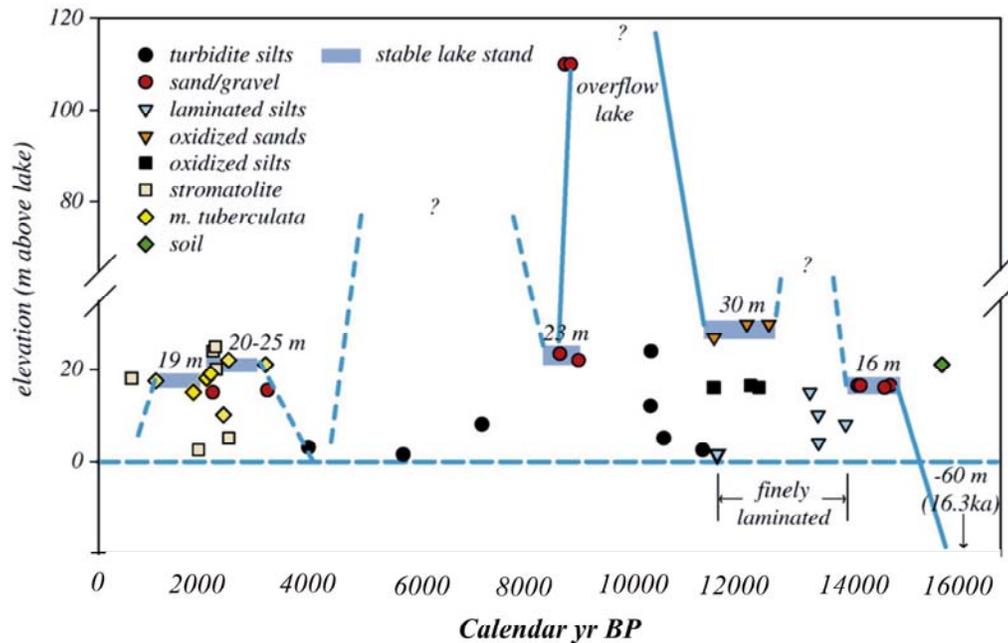


Figure 13. Les variations du niveau de lac Bosumtwi (SHANAHAN et al., 2006) reconstituées d'après la datation des témoins des anciens rivages et des bioindicateurs lacustres. Le niveau lacustre augmente au cours de la déglaciation pour atteindre son maximum il y a 10 000 ans. Des phases de bas niveau lacustre entrecourent la période humide holocène, notamment au cours du Younger Dryas, au moment de l'événement 8.2 et à la fin de l'Holocène vers 4000 cal BP.

Entre 13 000 et 11 700 cal BP, une seconde phase de régression forestière est enregistrée qui culmine à 12 900 cal BP. Cette phase ne correspond pas, cette fois, à la destruction totale du massif forestier. Elle est caractérisée par la régression massive de *Schefflera*. L'ensemble des arbres enregistrés présente une diminution notable à l'exception toutefois de *Podocarpus*, *Rapanea*, et *Gnidia* dont les pourcentages ne diminuent pas (ou même augmentent) au cours de cette période. La permanence des éléments steppiques témoigne de l'importance maintenue de la circulation d'orientation NE-SO. Cette phase correspond au Younger Dryas (YD) des hautes et moyennes latitudes (ROBERTS et al., 1993). Comme nous l'avons mentionné en première partie, le Younger Dryas correspond à une phase globalement sèche en Afrique nord tropicale qui se traduit par l'abaissement général des niveaux lacustres en Afrique nord tropicale (GASSE, 2000) comme le montrent les données du lac Bosumtwi (Figure 13). Cet épisode est marqué par un transport accru de poussières à l'Océan atlantique enregistré depuis l'Equateur (LEZINE et al., 1994) jusqu'aux latitudes sahariennes (DeMenocal et al., 2000). Sa signature sur la végétation forestière est cependant peu visible en Côte d'Ivoire comme le soulignent LEZINE et Le THOMAS (1995), à partir des analyses de la carotte KS-84063. Malgré les indices

sédimentologiques de l'accroissement des vents d'alizés, les auteurs ne notent pas de modification majeure de l'environnement forestier au cours de cet épisode. Le Younger Dryas semble toutefois être plus clairement enregistré dans la végétation des environs des lacs Barombi Mbo et Bosumtwi. Les données de Barombi Mbo indiquent à 12 500 ca BP, une augmentation des spores (de 2 à plus de 15%), des Graminées (de 13 à 17%) et des taxons pionniers tels que *Trema*, *Macaranga*, *Mallotus* et *Alchornea* (MALEY et BRENAC, 1998). Au même site, LEBAMBA et al. (2010) montrent, après ca 14 000 cal BP, la régression des forêts tropicales humides et saisonnières et une augmentation des biomes de savane. Au Bosumtwi, on note une progression des Graminées ainsi que des Cypéracées alors que les taxons d'arbres régressent (MALEY, 1991).

A partir de 11 500 cal BP, *Schefflera* ouvre une nouvelle phase d'expansion forestière qui aboutit à la mise en place de l'optimum forestier daté entre 10 000 et 8 400 cal BP. Ce développement de la forêt se fait de manière progressive entre 11 500 et 10 200 cal BP et se traduit par l'expansion des taxons montagnards. Après *Schefflera*, apparaissent tour à tour, *Rubus*, *Rapanea*, *Embelia* et *Syzygium*... Les éléments de la forêt de montagne, en particulier, *Schefflera*, *Podocarpus*, *Olea* et *Syzygium* progressent constamment au cours de cette période. La forêt submontagnarde est également présente à travers un certain nombre de taxons qui apparaissent de manière sporadique ; il s'agit de *Cussonia*, *Macaranga*-type, *Antiaris*-type *toxicaria*, *Allophylus*.

5-1-2-2 : L'exemple de deux taxons forestiers majeurs : *Olea* et *Podocarpus*

Olea

La comparaison des données palynologiques des sites de Barombi Mbo, Tilla et Bambili montre que, depuis 20 000 ans, certaines plantes ont migré des basses vers les hautes altitudes. C'est le cas d'*Olea* (Figure 14) qui présente, dans les niveaux glaciaires de Barombi Mbo des pourcentages allant jusqu'à 35% (MALEY et BRENAC, 1998), indiquant la présence de la plante source à basse altitude, à proximité du lac. Ses pourcentages diminuent drastiquement à partir de 12 000 cal BP. C'est à cet âge qu'*Olea* apparaît à Tilla, à 700 m d'altitude au Nord de la LVC (SALZMANN et al., 2000) où il se développe jusqu'à atteindre 14%. Il s'étend ensuite à Bambili à 2200 m d'altitude après 10 800 cal BP où il reste présent jusqu'à la fin de la période forestière holocène. Cet arbre est aujourd'hui encore présent en montagne, à la limite de la forêt

montagnarde et sous-montagnarde, à proximité du village d'Oku. *Olea* est connu pour être un taxon pionnier, ce qui explique sa présence au tout début de la reconquête forestière à Tilla, avant le développement des Euphorbiaceae (*Uapaca*) qui caractérisent ensuite la forêt holocène. Le comportement d'*Olea* au cours de la transition glaciaire-interglaciaire pourrait être lié aux changements de températures. Lorsque celles-ci s'élèvent après 12 000 ans à basse altitude, *Olea* migre en direction de plus hautes altitudes jusqu'à sa localisation afro-montagnarde actuelle.

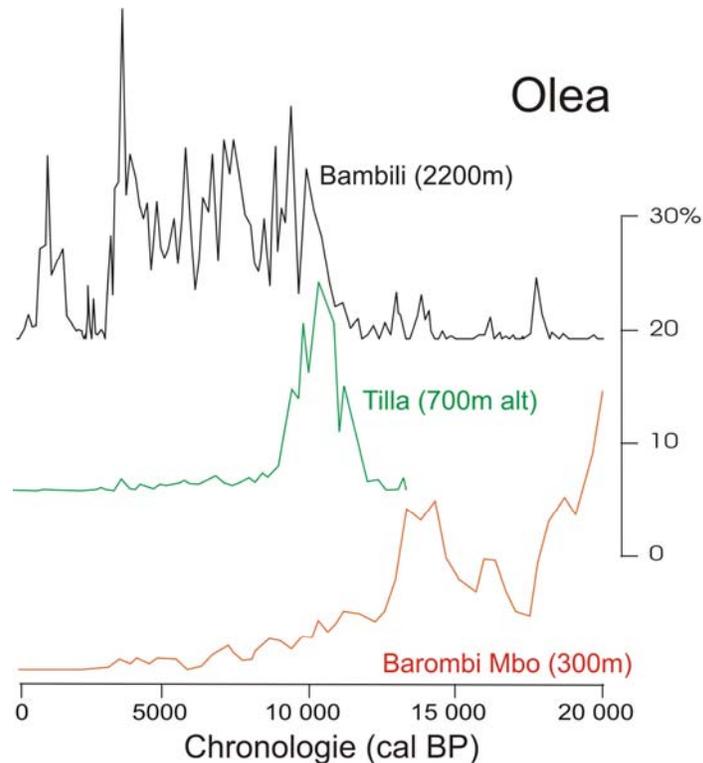


Figure 14. Les courbes des tendances d'*Olea*-type à Bambili, Tilla et Barombi Mbo. Pendant le Dernier Maximum Glaciaire, *Olea*-type a une présence significative à Barombi Mbo et s'y étend jusqu'à 12 000 cal BP, puis il atteint Tilla entre 12 000 et 11 800 cal BP et s'installe à Bambili de 10 800 à 3 300 cal BP.

Podocarpus

Contrairement au taxon précédent, *Podocarpus* présente dans les deux sites de Barombi Mbo et Bambili, une évolution similaire (Figure 15). Il est peu représenté dans les niveaux glaciaires. Cependant, les pourcentages polliniques qu'il atteint à Barombi Mbo sont si faibles que cela exclut l'hypothèse de sa présence à basse altitude aux environs du lac. Nous avons vu plus haut

qu'il était sans doute présent à Bambili, bien que sous forme de populations restreintes. *Podocarpus* augmente à Bambili à partir de 10 000 cal BP. Il se développe ensuite au cours de deux périodes respectivement centrées à 7 560 cal BP et 3 360 cal BP. Il est intéressant de noter que ces deux pics d'abondance se retrouvent également enregistrés à Barombi Mbo, bien qu'en proportion 10 fois inférieure ce qui pourrait conforter l'hypothèse de deux phases distinctes d'expansion de *Podocarpus* en altitude au cours de l'Holocène.

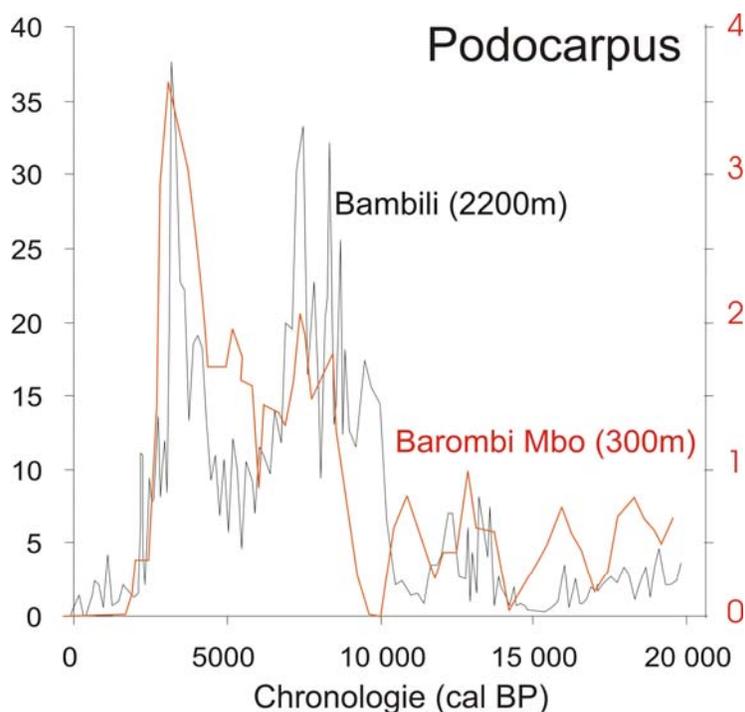


Figure 15. Les courbes des tendances de *Podocarpus* à Bambili et Barombi Mbo. Hormis le fait que l'écart entre les pourcentages de *Podocarpus* sur les deux sites est très grand, on constate une similarité entre les allures des deux courbes.

L'expansion de *Podocarpus* au cours de l'Holocène est par ailleurs attestée partout en Afrique centrale atlantique depuis le site d'Ossa à 8 m d'altitude (REYNAUD-FARRERA, 1995 ; REYNAUD-FARRERA et al., 1996), jusqu'à ceux de Mboandong à 130 m (RICHARDS, 1986), Mbalang à 1100 m (VINCENS et al., 2009), Njupi à 1108 m (ZOGNING et al., 1997), Bafounda à 1310 m (TAMURA, 1990), et Shum laka (W-10) à 1355 m (KADOMURA, 1994).

Conclusions partielles :

- Le développement des éléments forestiers à Bambili est très précoce et débute environ 3000 ans avant le début de la Période Humide Africaine (DeMENOCA et al., 2000). Il a été interrompu notamment au cours du H1 par un épisode de grande sécheresse et de feux importants. Ces derniers ont été maintenus jusqu'à 11 500 cal BP, comme l'indique la présence de charbons de bois dans les sédiments du lac, ce qui suggère une répartition saisonnière des précipitations.
- L'exemple des deux taxons aujourd'hui montagnards, *Olea* et *Podocarpus*, suggère une histoire forestière complexe où les plantes ont présenté un comportement individuel face au changement climatique. La rareté des données palynologiques couvrant les derniers 20 000 ans de façon continue dans ce secteur d'Afrique centrale atlantique limite toutefois la portée de nos observations car, selon ELENGA et al. (1992), *Podocarpus* était présent à Bilanko au Congo, à 600 m d'altitude avant l'Holocène. L'expansion importante de *Podocarpus* en Afrique centrale Atlantique au cours de la période glaciaire est également confirmée par les enregistrements marins au large du Delta du Niger, du Gabon, et du Congo (DUPONT et al., 2000). Son absence des environs immédiats du Barombi Mbo ne pourrait être que la conséquence de conditions locales trop humides, comme c'est le cas aujourd'hui au Mont Cameroun. Quoiqu'il en soit, cet exemple suggère que les plantes aujourd'hui associées en zone montagnarde, occupaient des secteurs distincts au cours de la dernière période glaciaire.

5-1-3 L'optimum forestier de l'holocène ancien

L'optimum forestier à Bambili qui se situe entre 10 000 et 8 400 cal BP, est caractérisé par la domination des taxons d'arbres qui représentent entre 80 et 92% de la somme pollinique. Sur les 118 grains de pollen d'arbres déterminés à Bambili, cette période en totalise plus que la moitié (67) ; la majorité appartenant à la forêt de montagne et à la forêt semi-décidue. Il s'agit principalement de *Schefflera*, *Syzygium*, *Podocarpus*, *Olea capensis*, *Rapanea* pour la forêt de montagne et de *Macaranga*, *Celtis*, *Cussonia*, *Antiaris* pour la forêt submontagnarde, les éléments des milieux ouverts ayant disparu (*Leonotis*, *Leucas*, *Boscia*, *Aerva...*) ou diminué (*Impatiens*, *Achyranthes*, *Solmanaceae* undiff., *Galium/ Rubia...*).

En Afrique tropicale, au début de l'Holocène, les pourcentages de grains de pollen de genres ligneux sont élevés dans tous les diagrammes polliniques, ce qui montre l'expansion des forêts aussi bien en latitude qu'en altitude (LEZINE, 2007). En Afrique occidentale, l'analyse des séquences marines suggère que la forêt guinéo-congolaise n'était alors pas séparée par le corridor de savane qui existe aujourd'hui au Togo et Bénin, « l'intervalle sec du Dahomey » (DUPONT et al., 2000) ce qui est confirmé par l'analyse des sédiments du lac Sélé (SALZMANN et al., 2000). Les plantes tropicales migrent vers le Nord le long des cours d'eau et des lacs qui s'étendaient dans tout le Sahel et le Sahara (in WATRIN et al., 2009). Les mangroves à *Rhizophora* également occupaient largement les zones littorales jusqu'aux environs de 21°N (LEZINE, 1997). Tous les auteurs mettent en relation l'expansion des éléments tropicaux humides guinéo-congolais et de mangrove en Afrique nord équatoriale avec l'augmentation de la circulation de mousson atlantique au début de l'Holocène (MARZIN, 2009). Les précipitations étaient nettement plus élevées qu'aujourd'hui et leur répartition annuelle plus large comme en témoignent les hauts niveaux des lacs (GASSE, 2000 ; SHANAHAN et al., 2006) et le transport fluvial accru (LEZINE et CAZET, 2005).

Conclusion partielle :

Les données palynologiques de Bambili montrent que les environnements d'altitude ont suivi, au début de l'Holocène, une évolution semblable à celle des altitudes inférieures. Ceci contredit les conclusions de STAGER et ANFANG-SUTTER (1999) qui suggèrent une opposition entre les basses et hautes altitudes avec, au moment de l'optimum forestier à partir de 9500 ¹⁴C BP (10 039 cal BP) un rapport P/E extrêmement réduit.

5-1-4 La déstabilisation de la forêt à l'Holocène moyen : l'événement 8.2

La phase forestière à Bambili est marquée par un épisode de régression, très court mais bien marqué, qui intervient au moment de l'événement 8.2 des hautes et moyennes latitudes (Von GRAFENSTEIN et al., 1998). Il se traduit dans la physionomie du massif forestier par une diminution des pourcentages d'arbres et à l'intérieur de la végétation par la chute plus ou moins prononcée des valeurs de certains taxons. Les diminutions les plus remarquables sont celles de *Schefflera*, *Podocarpus*, *Rapanea* et dans une moindre mesure, celles de *Olea capensis*, *Maesa*,

Syzygium, *Ilex mitis*, *Nuxia*, *Embelia*-type, pour les éléments de la forêt de montagne ; ainsi que celles d'*Alchornea* et *Cussonia* pour la forêt submontagnarde. Cette dégradation répondrait à des conditions climatiques sèches comme le suggère l'abaissement du niveau du lac Bosumtwi (Figure 13) (SHANAHAN et al., 2006) lié au ralentissement de la circulation thermohaline dans l'Atlantique nord (PISSART, A. 2002).

5-1-5 La fin de la période forestière holocène à Bambili

5-1-5-1 la période comprise entre 8400 et 3300 cal BP

Après 8 400 cal BP, les fluctuations des taxons présents suggèrent une certaine instabilité forestière. Cette phase de perturbation s'effectue progressivement pour aboutir à la destruction brutale du massif forestier à 3300 cal BP (Figure 16). A cours de cette période *Podocarpus* s'oppose à *Schefflera*, *Syzygium* et *Alchornea*. La dégradation forestière s'amorce dès 4 500 cal BP, avec le recul de *Schefflera* qui est suivi de celui de *Olea capensis* à 3 500 cal BP puis de *Podocarpus* à 3 300 cal BP

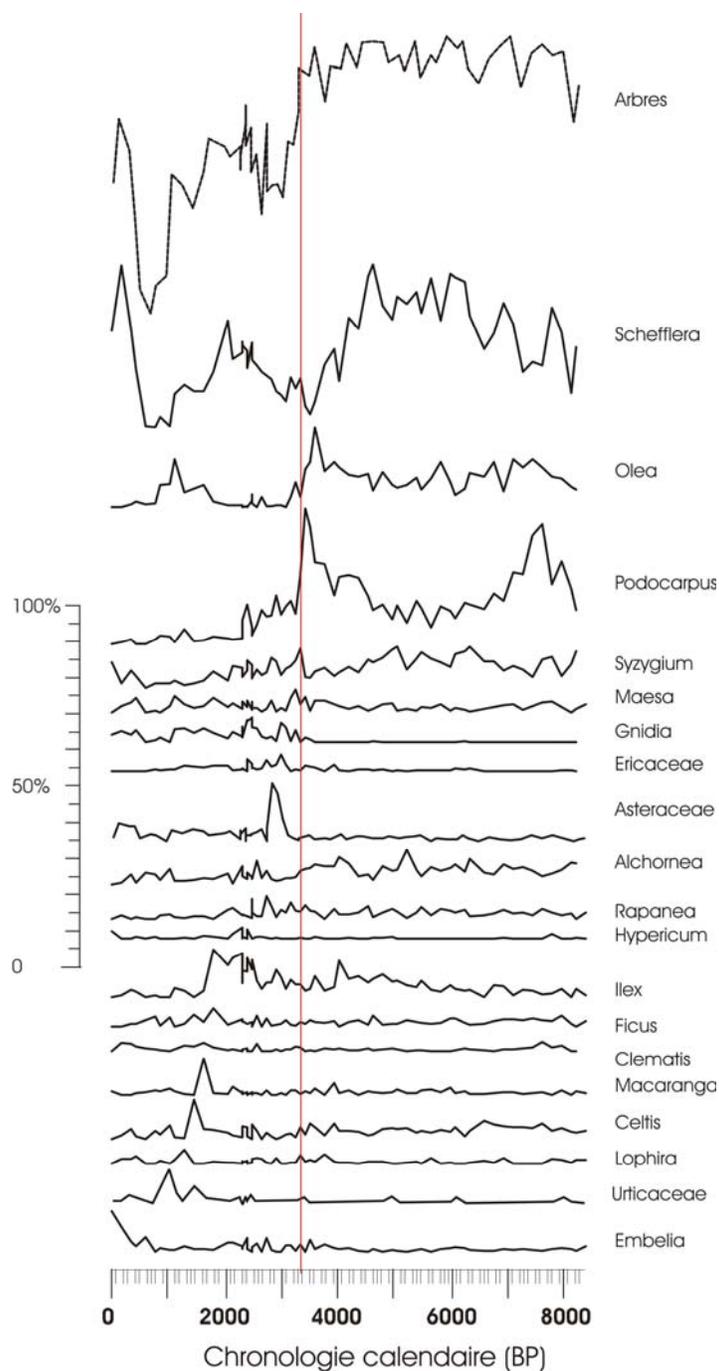


Figure 16. Déclin forestier à l'Holocène récent et mise en place de l'environnement actuel à Bambili. Les variations des pourcentages de quelques taxons de la flore pollinique du lac Bambili à l'Holocène récent illustrent la dégradation progressive du massif forestier. Cette figure met en parallèle l'évolution de la physionomie forestière et les fluctuations internes des espèces végétales. La destruction de la forêt à 3300 cal BP intervient après une longue période de déstabilisation des principales espèces (*Schefflera*, *Olea*, *Podocarpus*, *Syzygium*) depuis l'holocène moyen en même temps que se développent les espèces de lumières (*Ilex*). Par la suite la dégradation forestière s'accroît avec le remplacement successif des espèces d'arbres et d'herbes jusqu'à la phase actuelle, très dégradée de l'environnement végétal à Bambili. Le trait rouge souligne la fin de la période forestière holocène à 3300 cal BP

5-1-5-2 Les fluctuations récentes de la forêt et la mise en place de l'environnement actuel

La diminution drastique des éléments forestiers montagnards à 3300 cal BP intervient, dans l'enregistrement sédimentaire au moment où s'observe le changement brutal de taux de sédimentation (Figure 10). Il est probable que la destruction du milieu forestier a favorisé au cours de cette période l'érosion des sols et l'apport sédimentaire en provenance des bords du cratère. Ce dernier a ensuite été favorisé par la reprise des conditions humides au cours de la petite phase forestière postérieure datée entre 2500 et 1300 cal BP.

A 3300 cal BP, la baisse des taxons forestiers montagnards est partiellement compensée par l'augmentation de *Syzygium*, *Maesa* et *Gnidia*, qui indiquent l'ouverture du massif forestier ; ouverture qui atteint son apogée avec l'augmentation des Urticaceae et des Poaceae undiff. à 2600 cal BP. (Figure 16). L'évolution de la végétation s'organise ensuite en deux étapes. Entre 2500 et 1300 cal BP, on note une petite reprise forestière. La végétation forestière est dominée par *Ilex mitis*, associé à *Schefflera* et dans une moindre mesure à *Syzygium*, *Rapanea*, *Maesa*, *Gnidia*-type et *Nuxia*-type. *Podocarpus* et *Olea capensis* sont très peu représentés. On perçoit la présence d'éléments de l'étage submontagnard avec successivement *Macaranga*, *Celtis*, *Lophira* qui se développent à la fin de cette petite phase forestière. Enfin, les éléments afro-subalpins (Ericaceae undiff., *Hypericum*, *Isoglossa*), avec des pourcentages restreints, sont globalement mieux représentés que pendant la grande phase forestière.

Cette phase forestière correspondrait à une période humide à Bambili comme le suggèrent STAGER et ANFANG-SUTTER (1999) qui notent alors un rapport P/E positif. L'élévation du niveau lacustre au cours de cette période dont témoignent les assemblages de diatomées a cependant pu être artificiellement favorisée par l'apport massif des sédiments de bordure. Mais l'humidité du climat est également notée à Ossa entre 2700 et 1300 cal BP par NGUETSOP et al. (2004) ce qui confirme son caractère régional.

A 960 cal BP, la profonde régression de *Schefflera*, partiellement compensée par l'élévation des pourcentages d'*Olea* illustre une autre phase de dégradation environnementale. L'ouverture du milieu est soulignée par la domination des Poaceae et Urticaceae.

Au delà de 960 cal BP jusqu'à l'Actuel, s'observe une dernière phase de reprise forestière marquée spécifiquement par l'expansion de *Schefflera* (45%). La dégradation du milieu forestier

se traduit par une chute généralisée de la majorité des taxons, montagnards et submontagnards. La présence de Asteraceae undiff, *Ilex mitis*, *Ficus*, *Embelia*-type, *Maesa*, *Rapanea*, *Syzygium*, *Gnidia*-type, *Clematis*-type, *Nuxia*-type, *Hypoestes*-type, *Alchornea*, Sapotaceae undiff., Solanaceae undiff, *Celtis*... révèle néanmoins le caractère forêt de montagne en mélange avec la forêt semi-décidue.

Conclusions partielles

La réduction drastique de la couverture forestière à Bambili illustrée par la baisse des pourcentages d'arbres aux alentours de 3300 cal BP s'effectue de façon brutale au cours d'une période dont la durée n'excède pas 300 ans. Toutefois, l'examen du comportement des taxons forestiers au cours de l'Holocène montre que la déstabilisation du système forestier est bien antérieure et trouve son origine dans la crise climatique qui correspond à l'événement 8.2.

L'histoire récente de la forêt à Bambili montre qu'après sa destruction massive elle n'a jamais pu se reformer pleinement. Une courte phase forestière a lieu entre 2 500 et 1 300 cal BP qui contraste avec ce que montrent les enregistrements palynologiques des basses et moyennes altitudes : A Barombi Mbo, une phase à Poaceae est centrée à 2000 cal BP témoignant de la dégradation du milieu forestier à cette période (MALEY et BRENAC, 1998). A Mbalang, aucune modification notable n'est enregistrée une fois que la forêt s'est dégradée à 3000 cal BP (VINCENS et al., 2010). Ceci confirme l'observation de cet auteur selon laquelle la réponse de la végétation aux fluctuations mineures du climat en Afrique centrale atlantique à l'Holocène récent dépend étroitement de la localisation et des conditions environnementales propres à chaque site.

5-2 Comparaison des données de Bambili avec un site de l'Afrique Orientale : Rusaka (3°26'S, 29°37'E, alt. 2070 m) au Burundi.

5-2-1 Flores polliniques de Bambili et de Rusaka (Annexe 3).

Les flores polliniques de Bambili et Rusaka comptabilisent ensemble 295 taxa. 60 parmi eux sont communs aux deux sites hormis les aquatiques et les indifférenciés. Une vingtaine appartiennent à la forêt de montagne : *Schefflera*, *Syzygium*-type, *Nuxia*, *Olea capensis*, *Podocarpus*,

Myrica... ; 11 taxa sont de la forêt submontagnarde : *Alchornea*, *Bersama*, *Anthocleista*, *Macaranga*... ; 5 taxa de la forêt semie-décidue : *Blighia*, *Hymenocardia*, *Tetrorchidium*... et un taxon spécifique de la savane : *Maerua*-type. 127 taxa sont spécifiques à Bambili (*Embelia*, *Mallotus*, *Maesa*, *Rubus*, *Cussonia*, *Holoptelea* et 123 taxa à Rusaka : *Hagenia*, *Aeschynomene*-type *baunii*, *Afrocrania volkensisii*, *Diospyros*, *Garcinia*, *Sapium*, *Zanha*-type *golungensis*....

5-2-2 Comparaison des diagrammes de Bambili et de Rusaka.

Dans l'ensemble, le diagramme pollinique de Bambili et celui de Rusaka sont proches. Ils sont marqués par une réduction de la couverture forestière pendant la période glaciaire, une colonisation forestière discontinue ; l'optimum forestier du premier site se situe entre 10 000 et 8 400 cal BP et celui du second entre 11 946 et 6 085 cal BP.

Dans le détail, les traits majeurs de la végétation autour de Rusaka peuvent être présentés en 4 points :

De la base de la séquence ca 34 000 cal BP à ca 12 000 cal BP, la végétation est dominée par des pourcentages élevés de Poaceae (80 à 90%), les taxons arborés n'excèdent pas 5% et sont dominés par *Podocarpus* et les Ericaceae associés à *Myrica*, *Hagenia*, *Olea*, *Macaranga*...

Entre ca 12 000 cal BP et 11 946 cal BP, les taxa arborés augmentent de 5 à 60% pendant que les Poaceae diminuent. La mise en place de la forêt n'est pas continue. Elle commence avec la diminution des Poaceae et l'augmentation des Asteraceae suivies par celle des Ericaceae et *Myrica* en association avec *Cliffortia*, *Ilex*, *Afrocrania*, *Ficalhoa*, *Podocarpus*, *Syzygium* et *Schefflera*. La première phase d'interruption est soulignée par un pic d'*Hagenia abyssinica* qui précède la régression de la forêt. La seconde phase de développement de la forêt est marquée par la progression de *Macaranga*.

De 11 946 à 6 085 cal BP, l'apparition de nombreux taxa arborés (60 à 80%) indique l'installation de la forêt de montagne humide aux alentours de Rusaka avec les taxons tels que : *Macaranga*, *Alchornea*, *Syzygium*, *Rapanea*.

Entre 6 085 cal BP et 2 448 cal BP, la végétation est caractérisée par une augmentation significative de *Nuxia / Ficalhoa*, *Macaranga* et *Olea* et une diminution de *Schefflera*, *Alchornea* et l'apparition d'éléments soudano-zambéziens tels que *Uapaca*.

Au-delà de 2 448 cal BP, on note une forte augmentation des taxa arborés (60 à 70%) indiquant la présence de la forêt jusqu'à 906 cal BP dominée par *Macaranga* et la progression d'*Olea*.

5-3 Les conséquences du changement environnemental sur la biodiversité

Les fluctuations de la biodiversité, calculées selon la méthode de raréfaction développée par BIRKS et LINE (1992) (Figure 17), montrent quatre phases de biodiversité maximale qui correspondent à des périodes de transition ou de perturbation du massif forestier. Ces phases sont centrées autour de 18 000 cal BP, 12 000 cal BP, 6 500 cal BP et 1 500 cal BP avec un maximum atteint à deux reprises : au cours de la phase post-glaciaire de colonisation forestière qui suit le Younger Dryas (ca 12 000 cal BP) et à la fin de la petite période forestière (ca 1000 cal BP). Au cours de ces périodes, la biodiversité forestière est accrue du fait de la dynamique forestière interne qui intègre la disparition progressive de certaines plantes alors que d'autres apparaissent provoquant des mélanges d'espèces. Selon BIRKS et LINE (1992), la richesse floristique est favorisée au cours de phases de perturbation « intermédiaire » par la fragmentation de l'écosystème qui leur est associée et qui limite la domination d'un de ses composants ; la perturbation n'étant cependant pas suffisante pour provoquer la disparition totale de l'écosystème à l'échelle régionale.

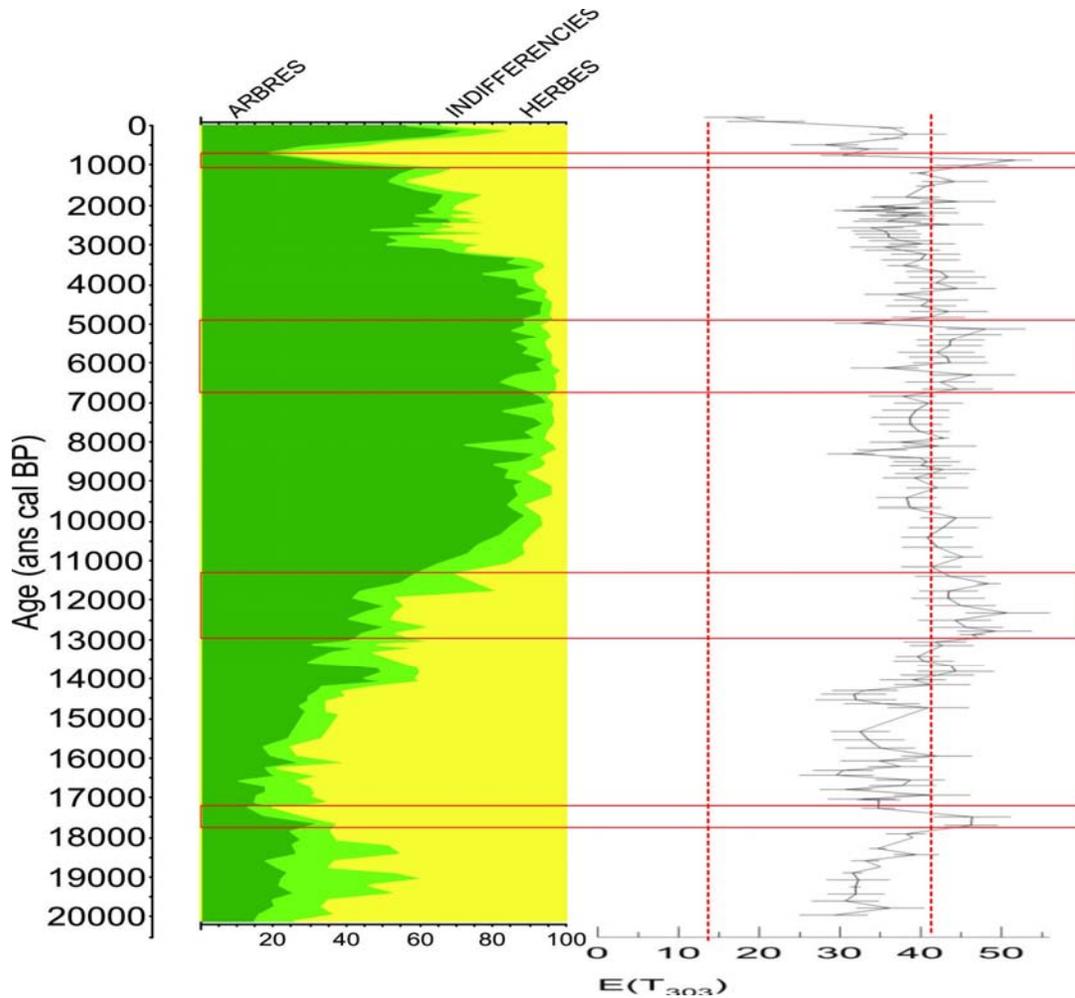


Figure 17. Physionomie de la végétation et variation de la biodiversité à Bambili. A gauche, le diagramme de synthèse de Bambili présentant les pourcentages des arbres, des indifférenciés et des herbes, et à droite la courbe de la Biodiversité à Bambili. La biodiversité est très élevée dans les phases de transition de la végétation (encadrés rouges). Les lignes en tirets indiquent le minimum de biodiversité (ligne de gauche) et la valeur au-delà de laquelle s'individualisent les phases de biodiversité maximum (ligne de droite).

Cette observation s'applique à Bambili où les périodes de plus forte biodiversité ne correspondent pas à celles de stabilisation forestière où, à l'opposé, les indices de biodiversité sont faibles.

La Figure 17 met en lumière un dernier fait majeur : la biodiversité actuelle des environs du lac Bambili révélée par l'analyse palynologique se situe au niveau le plus bas jamais atteint au cours des derniers 20 000 ans. Ceci confirme l'appauvrissement considérable du milieu lié à la dégradation récente de l'environnement forestier, sans doute amplifiée par l'action de l'homme, mise en évidence par l'analyse comparée des photos satellites de 1998 et 2003 (§ 2-4-3-3).

5-4 Végétation régionale, hydrologie et climat

L'observation de la répartition actuelle des plantes sur et en bordure du plan d'eau nous a poussée à envisager la construction de plusieurs indices permettant d'analyser les variations du niveau du lac et de les relier (tentativement) aux fluctuations climatiques. Nous avons regroupé les plantes qui poussent sur l'eau (*Nymphaea...*), et nous les avons analysées en regard des plantes qui poussent en bordure du lac, à proximité de la rive (Cyperaceae) ou plus loin sur les bords asséchés et les flancs du cratère (Poaceae). Nous avons ainsi considéré les rapports Aquatiques/Cyperaceae, Aquatiques+Cyperaceae/Poaceae et Aquatiques/Poaceae (Figure 18). La configuration particulière du lac Bambili qui reçoit les apports par ruissellement du cratère supérieur et dont les eaux s'écoulent ensuite vers la plaine limitent la portée de ces indices mais donnent des éléments de discussion sur l'évolution paléoclimatique régionale. Nous avons comparé l'enregistrement de Bambili à celui de Challa en Afrique orientale (VERSCHUREN et al., 2009) qui fournit un enregistrement à haute résolution du changement climatique au cours de la même période et à celui de Bosumtwi (SHANAHAN et al., 2006) qui, élaboré à partir des témoins des lignes de rivage, ne fournit que les grandes tendances de l'histoire paléohydrologique locale.

- Trois phases majeures d'assèchement sont mises en valeur par cette comparaison : au moment du Younger Dryas, à la fin de la période forestière puis aux environs de 950 cal BP. Elles apparaissent à Bosumtwi comme à Challa ce qui semble leur conférer une certaine valeur régionale. Cependant, si l'assèchement du Younger Dryas et de l'Holocène le plus récent est aussi enregistré à Bosumtwi, celui qui correspond à la fin de la période forestière y est antérieur d'environ un millénaire.
- La comparaison de ces trois enregistrements confirme la première phase d'élévation du niveau lacustre post-glaciaire qui a lieu au cours du Bölling/Alleröd et qui suit, à Bambili, le premier pic forestier. Dans tous les sites, le maximum lacustre est ensuite enregistré au tout début de l'Holocène. L'indice « Aquatiques+Cyperaceae/Poaceae » enregistre une hausse brutale ce qui rejoint l'observation de LEZINE et al. (sous presse) sur la rapidité du remplissage des lacs au début de l'Holocène en Afrique tropicale en réponse à l'intensification des flux de mousson. A Bambili et Bosumtwi cependant, celui-ci semble retardé par rapport à Challa et sa durée à Bambili est plus longue que dans les autres sites.

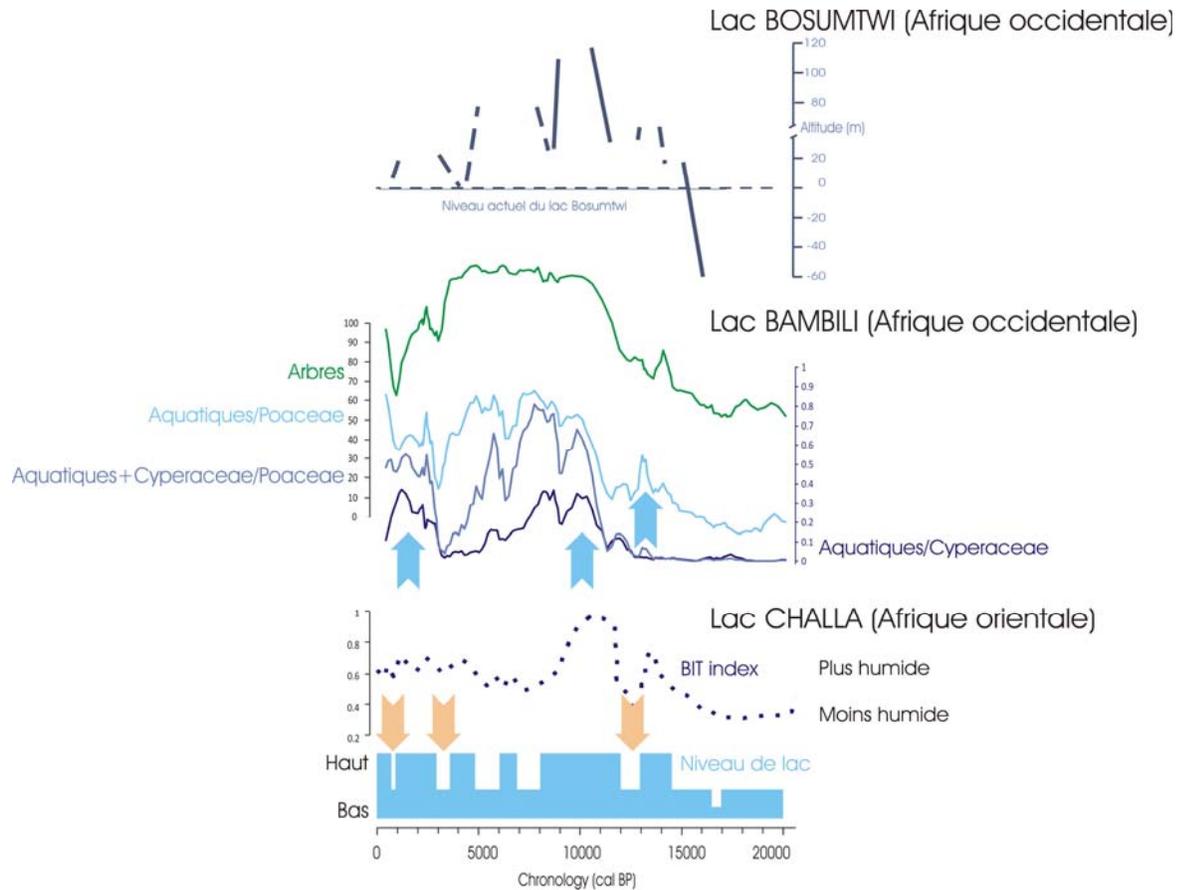


Figure 18 : Index de variations du niveau lacustre à Bambili élaborés à partir des éléments aquatiques et pré-aquatiques (moyennes mobiles d'ordre 4 : en bleu, les index aquatiques et en vert, les arbres) comparés aux variations du niveau du lac Bosumtwi en Afrique occidentale (SHANAHAN et al., 2006) (en haut) et du lac CHALLA en Afrique orientale (VERSCHUREN et al., 2009). Dans ce dernier site, les variations d'humidité sont reconstruites à partir des données de sismique-réflexion (en bleu) et de l'index BIT ("Branched and Isoprenoid Tetraether») (ligne pointillée bleue) un proxy du transport au lac de la matière organique terrestre par ruissellement. Les flèches soulignent les événements communs aux sites de Bambili et Challa.

- Les fluctuations lacustres au cours de l'Holocène montrent dans les trois sites une tendance similaire avec un Holocène moyen globalement plus « sec » que l'Holocène ancien. L'indice « Aquatiques/Cyperaceae » reproduit l'enregistrement de Challa (BIT index) en indiquant une tendance à la baisse jusqu'au point le plus bas atteint à 3300 cal BP. Les autres indices témoignent d'une instabilité hydrologique tout au long de l'Holocène comme cela avait déjà été noté par STAGER et ANFANG-SUTTER (1999). L'imprécision de la chronologie de la série diatomitique, élaborée à partir de trois

mesures uniquement, ne permet cependant pas de comparaison précise entre nos deux enregistrements.

- La phase lacustre de l'Holocène récent qui prélude à la courte phase de reprise forestière entre 2 500 et 1 300 cal BP est enregistrée dans les trois sites.

Conclusions partielles

La comparaison des trois sites de Bambili, Bosumtwi et Challa donne une première vue d'ensemble sur les grands changements hydrologiques à l'échelle de l'Afrique tropicale. La validité de nos indices devra cependant être vérifiée par la recherche de nouveaux proxies. Tels quels, ils illustrent néanmoins toute la complexité du milieu hydrologique et des rapports entre hydrologie locale et végétation régionale qui n'est abordée dans ce chapitre que sous son aspect physionomique.

Il est tentant de relier les fluctuations du niveau lacustre telles que reconstruites par les données palynologiques à Bambili aux apports de précipitation sur le site. Mais cela ne tient pas compte des autres paramètres qui interviennent dans le rapport P/E comme la température et la saisonnalité ou qui interviennent dans les variations du niveau lacustre comme les contraintes géomorphologiques et sédimentaires locales. Dans l'ensemble, on observe une bonne relation entre l'évolution du couvert végétal et les fluctuations du niveau du lac : le parallélisme des courbes « Aquatiques/Poaceae » et des arbres suggère que l'expansion forestière post-glaciaire est bien liée à l'humidité croissante du milieu. Au cours de l'Holocène moyen la destabilisation forestière progressive qui provoque le développement de taxons héliophiles tels qu'*Ilex mitis* (§ 5-1-5-1) correspond à une aridité croissante particulièrement claire dans le rapport « Aquatiques/Cyperaceae » et la destruction du massif forestier est contemporaine d'une phase au cours laquelle le niveau lacustre est le plus bas de toute la période holocène. Cette phase est enregistrée par les deux indices « Aquatiques+Cyperaceae/Poaceae » et « Aquatiques/Poaceae ». A la fin de l'Holocène les successions de périodes d'expansion ou réduction de la forêt sont en phase avec les fluctuations lacustres.

L'absence de relation entre l'événement 8.2, bien enregistré dans la végétation (§ 5-1-4), et les indices de fluctuations lacustres illustrent cependant les limites de notre analyse.

CONCLUSION

Les premières études paléoenvironnementales menées au lac Bambili par STAGER et ANFANG-SUTTER (1999), à partir de l'étude de la flore de diatomées d'une séquence sédimentaire de 28 000 ans suggéraient que les zones de haute altitude d'Afrique centrale Atlantique avaient été soumises à des conditions climatiques de grande amplitude mais de direction opposée à celles des zones de basse altitude. Reprenant une hypothèse émise par MALEY (1992), ces auteurs suggéraient que cette opposition était liée au rôle des upwellings dans le golfe de Guinée intensifiés lors de périodes « froides », qui auraient favorisé la formation de nuages stratiformes amenant, sur les zones d'altitude, de l'air humide sous forme de brouillard alors que les zones de basse altitude seraient restées soumises à des précipitations plus atténuées. Pendant les périodes chaudes au contraire, la réduction des upwellings aurait entraîné la formation de nuages cumuliformes amenant d'importantes précipitations sur les zones basses.

La forêt des hauts plateaux et montagnes de la région de Bambili fait partie d'un des points chauds de biodiversité (MYERS et al., 2000) et contient des espèces tout à fait particulières dont un des rares gymnospermes africains, *Podocarpus*, et une flore très comparable à celle des hautes montagnes d'Afrique orientale (AUBREVILLE, 1949). Les analyses palynologiques menées jusqu'à aujourd'hui à basse altitude en Afrique centrale atlantique (MALEY, 1985 ; 1987 ; 1989 ; BRENAC, 1988 ; MALEY et BRENAC, 1998 ; RICHARDS, 1986 ; ELENGA, 1992 ; ELENGA et al., 1992 ; REYNAUD- FARRERA et al., 1996 ; ELENGA et al., 1996 ; VINCENS et al., 1998 ; ELENGA et al., 2001 ; VINCENS et al., 2010) comme en milieu marin (NING et al., 1998 ; DUPONT et al., 2000) ont montré que ce genre avait couvert des étendues beaucoup plus larges par le passé et s'était probablement trouvé en mélange avec les éléments de la forêt Guinéo-Congolaise comme cela a par ailleurs été également noté en Amérique tropicale (COLINVAUX et al., 1996 ; 2000). La présence de *Podocarpus* et de la fore de montagne au Cameroun aurait résulté d'une migration depuis les hautes montagnes d'Afrique orientale empruntant un trajet passant par l'Angola puis remontant le long du littoral atlantique (WHITE, 1993).

En entreprenant l'analyse palynologique du site de Bambili notre intérêt était de vérifier l'hypothèse paléoclimatique de MALEY (1992) et STAGER et ANFANG-SUTTER (1999) et de comprendre la genèse et la sensibilité des formations forestières d'altitude, tout à fait particulière dans ce secteur, au changement climatique.

Comment s'est mise en place la forêt actuelle de Bambili ?

Notre travail a mis en évidence que la végétation à Bambili a suivi le schéma général de l'évolution paléoclimatique des hautes et moyennes latitudes de l'Hémisphère nord au cours de la dernière transition glaciaire-interglaciaire (NorthGRIP-community-members, 2004). Les principaux événements : événements Heinrich 1, Bölling/Alleröd, Younger Dryas y sont perçus. Cette évolution est étroitement liée aux variations de précipitation dans le bassin versant du lac comme le montrent les fluctuations du niveau du lac Bambili. Les variations de températures, comme l'abaissement de 5°C en moyenne au cours de la période glaciaire (FARRERA et al., 1999) et la descente corrélative de la limite supérieure des arbres de 1000 m (JOLLY et HAXELTINE, 1997 ; OSMASTON et HARRISON, 2005) n'ont pas pu être mises directement en évidence. Au cours de la période glaciaire, la forêt était déjà présente à Bambili, bien que très dégradée. Les données palynologiques régionales montrent cependant que certains de ses éléments étaient plus nombreux à basse altitude comme c'est le cas d'*Olea*, qui a progressivement migré vers les hautes altitudes au cours de la déglaciation. La colonisation post-glaciaire à Bambili a pu être analysée en détail. Elle a été interrompue à plusieurs reprises par un événement très secs et des feux importants (H1) puis dans une moindre mesure au cours du Younger Dryas. La présence attestée de feux jusqu'à 11 500 cal BP montre une saisonnalité marquée des précipitations et une saison sèche importante tout au long de la transition glaciaire-interglaciaire, par ailleurs marquée par de bas niveaux lacustres.

L'optimum forestier est atteint au cours de la période la plus humide entre 10 000 et 8 400 cal BP. Elle est alors dominée par *Schefflera*, *Syzygium*, *Podocarpus*, *Olea capensis*, *Rapanea*, *Macaranga* et *Celtis*.

La sensibilité de la couverture végétale au changement climatique au cours de l'Holocène

Le rapport entre les pourcentages de grains de pollen d'arbres sur les grains de pollen des plantes herbacées montre une couverture forestière continue entre 10 000 et 3300 cal BP. Des

fluctuations interviennent dans la seconde partie de l'Holocène après 8 200 cal BP suggérant des conditions paléo environnementales moins stables que précédemment. L'événement « 8.2 » se solde par une diminution d'au moins 20% de la masse forestière et voit l'apparition d'un taxon héliophile, *Ilex mitis*, qui se développe ensuite jusqu'à 1720 cal BP. La dégradation des conditions climatiques au cours de cette période est enregistrée par des niveaux lacustres en baisse suggérant un retour à une saisonnalité marquée des précipitations comme le notent VINCENS et al. (2010) à Mbalang. Celle-ci a été mise en relation avec une augmentation des événements ENSO à partir de l'Holocène moyen (MOY et al., 2002) par LEZINE et al. (soumis). La forêt holocène se dégrade très brusquement à 3300 cal BP au moment d'une phase sèche très marquée après la longue période de fragilisation environnementale amorcée à l'Holocène moyen. Cette dégradation se produit au cours d'une période qui n'excède pas trois siècles et la forêt perd alors environ 40% de son importance.

Les fluctuations de la biodiversité

La diversité floristique s'est considérablement accrue à Bambili par l'arrivée et l'expansion successive des plantes au cours de la déglaciation et l'instabilité environnementale et climatique qui l'a accompagnées. Il en est de même à l'Holocène moyen et à la toute fin de la dernière phase forestière du dernier millénaire. Comme le soulignent BIRKS et LINE (1992) « la richesse floristique est maximisée par la perturbation et la fragmentation du paysage lorsque celle-ci atteignent un niveau suffisant pour empêcher la domination d'une espèce unique et insuffisant pour causer l'extinction de tous les composants du paysage ». Le niveau le plus bas des mesures de raréfaction atteint au sommet de la séquence de Bambili où domine un taxon unique, *Schefflera*, indique que la perturbation du paysage a atteint alors un niveau maximal où l'appauvrissement considérable de la flore locale a sans doute été amplifié par l'action de l'homme au cours des derniers siècles. Nous n'avons cependant pas trouvé à Bambili d'indice clair de l'activité humaine.

Les trois derniers millénaires : un environnement instable dans un contexte de dégradation environnementale

La fin de l'Holocène à Bambili est caractérisée par une grande instabilité environnementale marquée par deux phases de dégradation forestière entourant une courte phase de reprise de la

forêt entre 2500 et 1300 BP. Cette dernière correspond à une période humide marquée par l'élévation du niveau lacustre à Bambili, qui est également enregistrée à basse altitude, au lac Ossa (NGUETSOP et al., 2010). La composition forestière est alors dominée par les espèces héliophiles. La dégradation de la forêt de montagne à 3300 cal BP a été d'une amplitude telle qu'elle n'a jamais permis à la forêt de se reconstituer. Ses éléments majeurs (*Olea* et *Podocarpus*) ont considérablement régressé. Le changement climatique, associé à la pression humaine a ensuite amplifié ce phénomène. Les données actuelles sur l'évolution du massif forestier montrent que la dégradation du milieu forestier s'accroît encore aujourd'hui et les prédictions les plus pessimistes (MOMO SOLEFACK, 2009) envisagent sa disparition dans moins d'une décennie.

Ce travail a fourni des documents uniques sur le comportement de la forêt de montagne face au changement climatique. Des données d'écologie espèce par espèce sont nécessaires pour analyser en détail la compétition des espèces à l'intérieur du massif forestier holocène et leur sensibilité au climat. Des données palynologiques actuelles permettraient de calibrer la relation pollen-végétation, notamment la production et le transport pollinique ainsi que la relation pollen-plante-climat. L'acquisition d'informations validées du changement climatique ne pourra cependant aboutir sans la comparaison des données palynologiques avec d'autres proxies comme les isotopes de la matière organique. Ces travaux sont en cours ou seront effectués dans le cadre du projet C3A.

Liste des figures

- Carte 1. Localisation des sites répertoriés en zone intertropicale atlantique.
- Figure 1. Synthèse paléoenvironnementale du secteur de l’Afrique occidentale atlantique et équatoriale, à partir des données polliniques.
- Figure 2. Le lac de cratère Bambili (05°56’11.9N ; 10°14’31.6E, 2273m d’altitude). Le point rouge indique l’emplacement du carottage en bordure du lac et le point jaune celui du marécage du second cratère.
- Figure 3. Présentation du site d’étude.
- Figure 4. (a) Diagramme ombrothermique de Bambili (05°56’11.9 N; 10°14’31.6 E; 2273 m d’altitude) selon les estimations mensuelles locales de Web LocClim, de la FAO (2002) ; (b) Données journalières de température et précipitation au village d’Oku (1900 m d’altitude) – année 2009.
- Figure 5. (a) Photo satellitale du lac de cratère Bambili (05°56’11.9 N ; 10°14’31.6 E, 2273 m d’altitude) ; (b) Carte de végétation de la région de Bambili (LETOUZEY, 1985).
- Figure 6. Principales phytochories de l’Afrique et de Madagascar d’après WHITE (1986).
- Figure 7. Répartition des associations végétales du Cameroun en altitude.
- Figure 8. Evolution de la couverture végétale entre 1998 et 2003 dans les environs du lac Bambili après traitement d’images satellitales.
- Figure 9. (a) Carottage en bordure du lac Bambili à l’aide du carottier manuel russe ; (b) Un exemple de sédiment récolté à Bambili.
- Figure 10. Stratigraphie et datations des tourbes de Bambili (AMS Artemis, Saclay).
- Figure 11. Diagramme pollinique simplifié de Bambili (Cameroun).
- Figure 12. La colonisation forestière post-glaciaire à Bambili.
- Figure 13. Les variations du niveau de lac Bosumtwi (SHANAHAN et al., 2006) reconstituées d’après la datation des témoins des anciens rivages et des bioindicateurs lacustres.
- Figure 14. Les courbes des tendances d’*Olea*-type à Bambili, Tilla et Barombi Mbo.
- Figure 15. Les courbes des tendances de *Podocarpus* à Bambili et Barombi Mbo.
- Figure 16. Déclin forestier à l’Holocène récent et mise en place de l’environnement actuel à Bambili.
- Figure 17. Physionomie de la végétation et variation de la biodiversité à Bambili.

Figure 18 : Index de variations du niveau lacustre à Bambili élaborés à partir des éléments aquatiques et pré-aquatiques (moyennes mobiles d'ordre 4 : en bleu, les index aquatiques et en vert, les arbres) comparés aux variations du niveau du lac Bosumtwi en Afrique occidentale (SHANAHAN et al., 2006) (en haut) et du lac CHALLA en Afrique orientale (VERSCHUREN et al., 2009).

Liste des tableaux

Tableau 1. Coordonnées géographiques et altimétriques des sites de prélèvement des carottes sédimentaires de la région considérée.

Tableau 2. Liste des plantes relevées par E. Kitio et O. Sene au Lac Bambili. Les plantes sont énumérées par ordre alphabétique des familles.

Tableau 3. Superficies (en ha) des différentes unités d'occupation du sol entre 1988 et 2003.

Tableau 4. Datations au radiocarbone et Modèle d'âge calendaire des sédiments de la carotte 2007 et 2010 de Bambili.

Tableau 5. Liste des taxons polliniques déterminés à Bambili.

Liste des annexes

Annexe 1. Répartition des principaux taxons polliniques recensés à Bambili selon l'altitude des plantes correspondantes selon LETOUZEY (1963-1970 ; 1968), TROUPIN (1982) et WHITE (1983).

Annexe 2. La microflore de Bambili dans le contexte de l'évolution holocène des environnements d'Afrique centrale Atlantique.

Annexe 3. Comparaison de la flore pollinique de Bambili et celle de Rusaka (3°26'S, 29°37'E, alt. 2070 m) au Burundi (BONNEFILLE et al., 1995), dans le contexte de l'évolution des environnements d'Afrique centrale et Afrique de l'Est.

Annexe 4. ASSI-KAUDJHIS, C., LEZINE, A.-M., ROCHE, E. 2008. Contribution à l'étude de la végétation d'altitude (Afrique centrale atlantique) à partir des analyses préliminaires de la carotte de Bambili (Nord-ouest du Cameroun), depuis 17 000 ans BP. *ECO-GEO-TROP* **32**, 131-143.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHOUNDONG, G., 1996. Les forêts sommitales au Cameroun. Végétation et flore des collines de Yaoundé. *Bois et forêts des tropiques* 247: 37-52.
- 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.
- ASSEMIEN, P., 1971. *Etude comparative de flores actuelles et quaternaires récentes de quelques paysages végétaux d'Afrique de l'Ouest. Thèse, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire: 257p.*
- ASSEMIEN, P., FILLERON, J.C., MARTIN, L. & TASTET, J.P., 1970. Le Quaternaire de la zone littorale de Côte d'Ivoire. *Bull. Liaison Ass. Sénégal. Et. Quatern. Ouest Afr.*, Dakar, 25: 65-78.
- 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.
- Association des Palynologues de Langue Française (APLF), 1974. Pollen et spores d'Afrique tropicale. *CNRS, Talence. Travaux et Documents de Géographie Tropicale* 16 : 282 p.
- AUBREVILLE, A., 1949. *Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique tropicale*. Société d'Editions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, N°93 : 351p.
- AUBREVILLE, A., 1949. *Contribution à la paléohistoire des forêts de l'Afrique tropicale*. Société d'Edition Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris : 98p
- BAILLIE, M.G.L., 1994. Dendrochronology raises questions about the nature of the AD 536 dust-veil event . *The Holocene* 4, 2: 212-217.
- BARBER, D.C., DYKE, A., HILLAIRE-MARCEL, C., JENNINGS, A.E., ANDREWS, J.T., KERWIN, M.W., BILODEAU, G., Mc NELLY, R., SOUTHONS, J., MOREHEAD, M.D. & GAGNON, J.M. 1999. Forcing of the cold event of 8.200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature* 400, 22 : 344-348.
- BERGER, A.1992. *Le climat de la Terre, un passé pour quel avenir ?* De Boeck-Wesmael, Ed. Bruxelles; 479 p.
- BIRKS, H.J.B. & LINE, J.M., 1992. The use of rarefaction analysis for estimating palynological richness from Quaternary pollen-analytical data. *The Holocene* 2, 1: 1-10.
- BONN, F. & ROCHON, G., 1992. *Précis de Télédétection, principe et méthode*. Volume 1. Sainte-Foy, Presse de l'université du Québec / AUPELF : 485 p.
- BONNEFILLE, R., 1971a. Atlas des pollens d'Ethiopie, principales espèces des forêts de montagne. *Pollen et Spores* 13, 1: 15-72.
- BONNEFILLE, R. 1971b. Atlas des pollens d'Ethiopie. Pollens actuels de la basse vallée de l'Omo, récoltes botaniques 1968. *Adansonia*, (2), 11/3 : 463-518.
- BONNEFILLE, R. & RIOLLET, G., 1980. *Pollens des savanes d'Afrique orientale*. CNRS Editions, Paris : 140 p.
- BONNEFILLE, R., 1987. Evolution forestière et climatique au Burundi durant les quarante derniers milliers d'années. *C.R. Acad. Sci., Paris, sér. II*, 305: 1021-1026.
- BONNEFILLE, R., RIOLLET, G., BUCHET, G., ICOLE, M., LAFONT, R., ARNOLD, M., & JOLLY, D., 1995. Glacial/Interglacial record from intertropical africa, High resolution pollen and carbon data et Rusaka, Burundi. *Quaternary ScienceReviews*, Vol. 14, pp. 917-936.

- BOSCH, J.H.A., CLEVERINGA, P. & MEIJER, T. 2000. The Eemian stage in The Netherlands history, character and new research. *Geologie en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences* 79, 2-3: 135-345.
- BOUTRAIS, J., 1981-1982. L'expansion des éleveurs peuls dans les savanes humides du Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, XVIII, 1: 31-45.
- BOUTRAIS, J., 1984. Entre nomadisme et sédentarité : Les Mbororo à l'Ouest du Cameroun. Congrès international de Géographie : « Le développement rural en questions : paysages, espaces ruraux, systèmes agraires ; Maghreb, Afrique noire, Mélanésie. » C.Blanc-Pamard, Edit. Paris. *Mémoires ORSTOM*, 106 : 225-560.
- 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 a seasonally flooded swamp. *The Holocene*, 19, 1: 79-89.
- CABLE, S. & CHEEK, M., 1998. *The plants of mount Cameroon. A conservation checklist*. Royal Botanic gardens Kew, M.C.P. 198 p.
- CARATINI, C. & GIRESSE, 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.
- CAZET, J. P. 2001. *Paléoenvironnements végétaux et paléohydrologie dans le bassin versant du fleuve Niger au cours de la dernière déglaciation*. Mémoire de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Sciences de la vie et de la terre, Paris: 78p.
- CERCEAU-LARRIVAL, M-T. & HIDEUX, M., 1983. *Pollens de quelques plantes médicinales du Rwanda*. Agence de Coopération culturelle et technique, 75015 Paris : 58p.
- CHAMPAUD, J, 1973. *Atlas regional l'Ouest 2*. Yaoundé: ORSTOM.
- CHEEK M., J.-M., ONANA, B. & POLLARD, J. 2000. *The plants of Mount Oku and the Ijim Ridge, Cameroon, a conservation checklist*. Royal Botanic Gardens, Kew; 211p.
- CLARCK, J.D., 1980. Human populations and cultural adaptations in the Sahara and the Nile during prehistoric times. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 527-582.
- COETZEE, J.A., 1967. Pollen analytical studies in East and Southern Africa. *Palaeoecology of Africa* 3: 1-146.
- COLINVAUX, P., A., De OLIVEIRA, P., E., MORENO, E., J., MILLER, M., C. & BUSH, M., B., 1996. A long Pollen record from lowland Amazonia : forest and cooling in Glacial times. *Sciences*, 274, 85-88.
- COLINVAUX, P., A., De OLIVEIRA, P., E. & BUSH, M., B., 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews* 19, 141-169.
- CORNELISSEN, E., 2002. Human Responses to Changing Environments in Central Africa Between 40,000 and 12,000 B.P. *Journal of World Prehistory* 16, 3: 197-235
- DEMENOCAL, P., ORTIZ, J., GUILDERTSON, 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.
- DANSGAARD, W., WHITE, J.W.C. & JOHNSEN, S.J. 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature* 339 : 532-533.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, D., GUNDERSTRUP, N.S.U.H.C., HVIDBERG, C.S., STEFFENSON, J.P., SVEINBJÖRNSDOTTIR, A.E., JOUZEL, J. & BOND, G. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364 : 218-220.
- 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.
- DE MARET, P., 1985. Recent archaeology research and dates from Central Africa. *J. of African History* 26: 129-148.
- DE PLOEY, J., 1969. Position géomorphologique, genèse et chronologie de certains dépôts superficiels au Congo occidental. *Quaternaria* 7: 131-154.
- DIGOMBE, L., SCHMIDT, P.R., MOULEINGUI BOUKOSSO, V., MOMBO, J.B. & LOCKO, M., 1988. The development of the Early Iron Age in Gabon. *Current Anthropology* 29, 1: 179-184.
- DUPLESSY, J.C. 1997. Vers un refroidissement de l'Europe ? *La Recherche* 295: 52-56.
- DUPLESSY, J.C., MOYES, J., PETIT-MAIRE, N. & GUIOT, J. 1989. De la forêt au désert. *Le Courrier du CNRS* 72: 10-11
- DUPONT, L., M., JAHNS, S., MARRET, F. & NING, S., 2000. Vegetation in equatorial West Africa: time-slices for the last 150ka. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 155: 95-122.
- EGGERT, M., 1993. Central Africa and the archaeology of the equatorial rainforest: reflections on some major topics. In: T. Shaw, P. Sinclair, B. Andah & A. Okpoko (eds.), *The Archaeology of Africa: food, metals, and towns. One World Archaeology* 20 (London/New York) : 289-329.
- 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., de NAMUR, C., MARTIN, L., WIRRMANN, D. & SERVANT M., 1996. Diagramme pollinique holocène du lac Kitina

- (Congo): mise en évidence de changements paléobotaniques et paléoclimatiques dans le massif forestier du Mayombe. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 323, série 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.
- EL-GHAZALY, G. A. 1991. Pollen Flora of Qatar. Printed by AiO Print Ltd., on behalf of Qatar University, 429p.
- ESSOMBA, J.M., 1989. Dix ans de recherches archéologiques au Cameroun méridional (1979-1989). *NSI*, 6 : 33-57.
- 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.
- FAEGRI K. & IVERSEN, J., 1992. *Textbook of Pollen Analysis*. IV Edition. Printed and bound in Great Britain by Courier International Limited, East Kilbride; 328p.
- FAO, 2002. Web LocClim, Local Monthly Climate Estimator (LocClim 1.0).
- FARRERA, I., HARRISON, S.P., PRENTICE, I.C., RAMSTEIN, G., GUIOT, J., BARTLEIN, P. J., BONNEFILLE, R., BUSH, M., CRAMER, W., GRAFENSTEIN, VON, U., HOLMGREN, K., HOOGHMSTRA, H., HOPE, G., JOLLY, D., LAURITZEN, S.-E., ONO, Y., PINNOT, S., STUTE, M. & YU, G. 1999. Tropical climates at the last Glacial Maximum: a new synthesis of terrestrial palaeoclimate data. Vegetation, lake-levels and geochemistry. *Climate dynamics* 15: 823-856.
- 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.
- FREDOUX, A., 1977. Etude palynologique de quelques sédiments du Quaternaire ivoirien. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, 50 (supplément): 181-186.
- FREDOUX, A. & TASTET, J.P., 1976. Apport de la palynologie à la connaissance paléogéographique du littoral ivoirien entre 8 000 et 12 000 ans BP. In: 7th African Micropaleontological Colloquium, Ife-Ife, Nigeria: 1-7.
- GARDNER, A. A., DEMARCO, J. & ASANGA, C.A. 2001. *Foresterie communautaire à Kilum-Ijim, Cameroun*. Séminaire FORAFRI, Libreville. RDFN Ed.: 10-18.
- GASSE, F. 2000. Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews* 19, 1-5 : 189-211.
- GIEC-Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat, 2001. *Incidences de l'évolution du climat dans les régions : Evaluation de la vulnérabilité*. Chapitre 2 : Afrique. Rapport spécial, 60 p.
- GIRESE, 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.

- GIRESSSE, P., 1978. Le contrôle climatique de la sédimentation marine et continentale à la fin du Quaternaire – Problèmes de corrélations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 23: 57-77.
- GIRESSSE, 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.
- GIRESSSE, P. & LANFRANCHI, R., 1984. Les climats et les océans de la région congolaise pendant l'Holocène. Bilan selon les échelles et les méthodes de l'observation. *Palaeocology of Africa*, A.A. Balkema, Rotterdam 16: 77-88.
- GIRESSSE, 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.
- GIRESSSE, P., MALOUNGUILA-NGANGA, D. & MOGUEDET, G. 1990. La succession des paléoenvironnements quaternaires des plateformes continentales du sud du Gabon, du Congo, de Cabinda et du Zaïre (Pléistocène supérieur et Holocène). *In* : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. *ORSTOM* : 71-77.
- GUILLAUMET, J.L., 1967. Recherches sur la végétation et la flore de la région du Bas-Cavally (Côte d'Ivoire). *Mém. O.R.S.T.O.M.*, 20: 248p.
- GOSLING, W., D. & MILLER, C., S., 2010. 50 000 years of environmental change in west tropical Africa. *Abstrat 959148, AGU Fall Meeting 2010*.
- GRIMM, E., 1987. CONISS: a fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences* 13, 1: 13-35.
- HABIYAREMYE, F.-X. & LEJOLY, J., 1991. Place des fruticées sclérophylles dans la dynamique de la végétation au Rwanda occidental. *Colloques phytosociologiques ; Phytodynamique et Biogéographie historique des forêts* (Bailleul 1991), 20: 327- 341.
- HABIYAREMYE, F.-X. & ROCHE, E., 2003. Incidence anthropique sur le milieu montagnard du graben centrafricain : complément phytodynamique aux interprétations palynologiques. *Geo-Eco-Trop*, 27, 1-2: 53-62.
- HAMILTON, A.C., 1973. The history of the vegetation. Reprinted from “*The vegetation of East Africa*” by E. M. Lind and M. E. S. Morrison, Longman, Ed.: 188-209
- HAMILTON, A.C., 1982. *Environmental history of East Africa. A study of the Quaternary*. Academic Press, London : 328 pp.
- 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.
- HARVEY H., POLLARD, B., J., DARBYSHIRE, I., ONANA, J.-M. & CHEEK , M., 2004. *The plants of Bali Ngemba Forest Reserve, Cameroon, a Conservation Checklist*. Royal Botanic Gardens, Kew; 154 p.
- HEINRICH, H., 1988. Origin and consequences of Cyclic Ice Rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130.000 years. *Quaternary Research* 29: 142-152.
- HILU, K.W., DE WET, J.M.J. & HARLAN, J.R., 1979. Archaeobotanical studies of *Eleusine coracana* (Finger Millet). *Amer. Journ. Botany* 66, 3: 330-333.
- JOLLY, D., & HAXELTINE, A., 1997. Effect of Glacial Atmospheric CO² on Tropical African Montane Vegetation. *Science* 276: 786-788.
- JOWSEY, P.C., 1966. An improved peat sampler. *New Phytol* 65, 245-248.

- 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.
- KAGEYAMA, M., COMBOURIEU NEBOUT, N., SEPULCHRE, P., PEYRON, O., KRINNER, G., RAMSTEIN, G. & CAZET, J-P, 2005. Last Glacial Maximum and Heinrich Event 1 in terms of climate and vegetation around the Alboran Sea: a preliminary model-data comparison. *C.R. Geoscience* 337, 983–992.
- KEIGWIN, L.D., 1996. The Little Ice Age and Medieval Warm Period in the Sargasso Sea. *Science* 274: 1504-1508.
- KITIO, E., 1993. *Essai de phytosociologie topographique des formations végétales du mont Nkolobot-Nord. (Région de Yaoundé)*. Mém. Maîtr. Univ. Yaoundé I. 109 p.
- KLITGAARD-KRISTENSEN, D., SEJRUP, H.P., HAFLIDASON, H., JOHNSEN, S. & SPURK, M. 1998. *Journal of Quaternary Science* 13, 2: 165-169
- KOÇ KARPUZ, N. & JANSEN, E. 1992. A high resolution diatom record of the last deglaciation from the S.E.Norwegian Sea: documentation of rapid climatic changes. *Paleoceanography* 7: 499-520.
- KOUYOUMONTZAKIS, G., 1990. Les associations de foraminifères benthiques du plateau continental congolais. Quaternaire supérieur et actuel. In : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. *ORSTOM* : 78-88.
- 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.
- LARAQUE, A., POUYAUD, B., ROCCHIA, R., ROBIN, E., CHAFFAUT, I., MOUTSAMBO, J. M., MAZIEZOULA, B., CENSIER, C., ALBOUY, Y., ELENGA, H., ETCHEBER, H., DELAUNE, M., SONDAG, F. & GASSE, F., 1998. Origin and function of a closed depression in equatorial humid zones: the Lake Télé in North Congo. *Journal of Hydrology* 207: 236-253.
- LEBAMBA, J., 2009. *Relation pollen-végétatif-climat actuel en Afrique centrale. Une approche numérique appliquée à la séquence quaternaire du lac Barombi Mbo, Cameroun*. Thèse Université Montpellier II : 253p.
- LEBRUN, J-P. & STORK A., L., 1991-1997. *Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale*, Vol. I : 249 p. Vol. II : 257 p. Vol. III : 341 p. Vol. IV : 712 p. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- LEROUX, M., 1970. *Dynamique des précipitations en Afrique Occidentale* (ASCENA, Public. D.E.M., n°23, Dakar).
- LEROUX, M., 1992. Interprétation météorologique des changements climatiques observés en Afrique depuis 18000 ans. *Geo-Eco-Trop.*, 16, 1-4: 207-258.
- LETOUZEY, R., 1963-1978. Flore du Cameroun. Muséum National d'Histoire Naturelle. Paris.
- LETOUZEY, R., 1968. *Etude phytogéographique du Cameroun*. Encyclopédie Biologique, 69, 511 p.
- LETOUZEY, R., 1985. *Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500.000è*. Inst. Carte Intern. Végétation, Toulouse, et Inst. Rech. Agron., Yaoundé, 240 p.
- LEZINE, A-M., 1988a. Les variations de la couverture forestières mésophile d'Afrique occidentale au cours de l'Holocène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, Série II : 439-445.

- LEZINE, A-M., 1988b. New pollen data from the Sahel, Senegal. *Review of Palaeobotany and Palynology* 55: 141-154.
- LEZINE, A.M. 1989. Le Sahel: 20000 ans d'histoire de la vegetation. *Bull.Soc.géol.France*, 8, 5-1: 35-42.
- LEZINE, A-M., 1991. West African Paleoclimates during the Last Climatic cycle inferred from an Atlantic deep-sea pollen record. *Quaternary Research* 35: 456-463.
- LEZINE, A-M., 1996. La mangrove ouest africaine, signal des variations du niveau marin et des conditions régionales du climat au cours de la dernière déglaciation. *Bull. Soc. Géol. France* 167, 6 : 743-752.
- LEZINE, A-M., 1997. Evolution of the west African mangrove during the late Quaternary: a review. *Geographie physique et Quaternaire* 51, 3: 405-414.
- LEZINE, A-M. & LE THOMAS, A., 1995. Histoire du massif forestier ivoirien au cours de la dernière déglaciation. *In: 2è 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.
- LEZINE, 2007. Postglacial Pollen records of Africa. *In Scott A Elias (ed.) Encyclopedia of Quaternary Sciences*, Elsevier, 4, 2682-2699.
- LEZINE, A-M., ASSI-KAUDJHIS, C., ROCHE, E., VINCENS, A. & ACHOUNDONG, G. Towards an understanding of the response of west African montane forests to climate change. Article soumis à PNAS.
- LIVINGSTONE, D. A., 1967. Postglacial vegetation of the Rwenzori Mountains in Equatorial Africa. *Ecological Monographs* 37, 1: 25-52.
- MALEY, J., 1970. Contributions à l'étude du bassin tchadien. Atlas de pollens du Tchad. *Bulletin du Jardin botanique national de Belgique* 40: 29-48.
- 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., 1984. Influence des nuages sur les paléoenvironnements : quelques exemples pris dans le Quaternaire récent. *Bothalia* 14 : 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, chronologiques et biogéographiques. *Paleoecology of Africa* 18: 307-334.
- MALEY, J., 1989. Late Quaternary climatic changes in the African rain forest : forest refugia and the major role of sea surface temperature variations. *In: Paleoclimatology and Paleometeorology; modern and past patterns of global atmospheric transport*, vol. 282 (Eds M. Leinen *et al.*): 585-616. Dordrecht-Boston International, the Netherlands: D. Reidel Publishing Company.

- MALEY, J., 1992. Commentaires sur la note de D. Schwartz. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre ca 2 500 et 2 000 ans B.P. en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. géol. France* 163, 3 : 363-365.
- MALEY, J. & LIVINGSTONE, A., D., 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*, 296, Série II : 1287-1292.
- 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., 1992. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre ca 2 500 et 2 000 ans B.P. en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. géol. France* 163, 3 : 363-365.
- MALEY, J. & BRENAC, P., 1998. Vegetation dynamics, palaeoenvironments and climatic changes in the forests of western Cameroon during the last 28 000 years BP. *Review of Palaeobotany and Palynology* 99 : 157-187.
- MALOUNGUILA-NGANGA, D., NGUIE, J. & GIRESE, P. 1990 Les paléoenvironnements quaternaires du colmatage de l'astuaire du Kouilou (Congo). In : Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. *ORSTOM* : 89-97.
- MANABE, S. & STOUFFER, R.J. 2000. Study of abrupt climate change by a coupled ocean-atmosphere model. *Quaternary Science Reviews* 19, 1-5: 285-299.
- MARCHANT, R. & HOOGHIEMSTRA, H., 2004. Rapid environmental change in Africa and South American tropics around 4 000 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.
- MAYAUX, P., BARTHOLOME, E., FRITZ, S. & BELWARD, A., 2004. A new land-cover map of Africa for the year 2000. *Journal of Biogeography* 31: 861-877.
- MILANKOVITCH, M., 1920 . Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Académie yougoslave des Sciences et des Arts de Zagreb. Gauthier-Villars, Paris.
- MIX, A., C., BARD E & SCHNEIDER, R., 2001. Environmental processes of the Ice Age: land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quaternary Science Review* 20 : 627-657.
- 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.
- MOMO SOLEFACK, M. C., 2009. *Influence des activités anthropiques sur la végétation du Mont Oku (Cameroun)*. Thèse en Biologie-Santé, Univ. de Picardie et Univ. de Youndé 1 : 161p.
- MOY, C.M., SELTZER, G.O., RODBEL, D.T. & ANDERSON, D.M, 2002. Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. *Nature* 420, 162-165.
- MARZIN, C. & BRACONNOT, P., 2009. The role of the ocean feedback on Asian and African monsoon variations at 6 kyr and 9.5 kyr BP. *C. R. Geoscience* 341 : 643-655.
- MUMBI, C., T., MARCHANT, R., HOOGHIEMSTRA, H. & WOOLLER, M.J., 2008. Late Quaternary vegetation reconstruction from the Eastern Arc Mountains, Tanzania. *Quaternary Research* 69: 326-341.

- MYERS N., MITTERMEIER R.A., MITTERMEIER C.G., DA FONSECA G.A.B. & KENT, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- NEWELL, R.E., GOULD-STEWART, S. & CHUNG, J.C., 1981. A possible interpretation of palaeoclimatic reconstruction for 18000 BP for the region 60° N to 60° S, 60° W to 100° E. *Paleoecology of Africa* 13: 1-19.
- NING, S., DUPONT, L., M., BEUG, H-J. & SCHNEIDER, R., 1998. Vegetation and climate changes during the last 21 000 years in S.W. Africa based on a marine pollen record. *Veget Hist Archaeobot* 7:127-140.
- NGOMANDA, A., 2005. *Dynamique des écosystèmes forestiers du Gabon au cours des cinq derniers millénaires*. Thèse, Université de Montpellier II : 163p.
- NGOMANDA, A., JOLLY, D., BENTALEB, I., CHEPSTOW-LUSTY, A., MAKAYA, M., MALEY, J., FONTUGNE, M., OSLISLY, R. & RABENKOGO, N., 2007. Lowland rainforest response to hydrological changes during the last 1500 years in Gabon, Western Equatorial Africa. *Quaternary Research* 67, 3: 411-425.
- NGOMANDA, A., NEUMANN, K., SCHWEIZER, A. & MALEY, J. 2009. Seasonality change and the third millennium BP rainforest crisis in southern Cameroon (Central Africa). *Quaternary Research* 71: 307–318.
- NGOS III, S., GIRESE, P. & MALEY, J., 2003. Palaeoenvironments of Lake Assom near Tibati (south Adamawa, Cameroon). What happened in Tibati around 1700 years BP? *Journal of African Earth Sciences* 37: 35-45.
- NGUETSOP, V.F., SERVANT-VILDARY, S., SERVANT, M. & ROUX, M, 2010. Long and short-time scale climatic variability in the last 5500 years in Africa according to modern and fossil diatoms from Lake Ossa (Western Cameroon). *Glob. Planet. Change* 72: 356-367.
- NorthGRIP-community-members, 2004. High resolution climate record of the northern hemisphere reaching into last interglacial period. *Nature* 431, 147-151.
- OSMASTON, H., A., & HARRISON, S., P. 2005. The Late Quaternary glaciation of Africa : A regional synthesis. *Quaternary International* 138–139: 32–54.
- 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*. Thorweih & Schandelmeier Eds. Balkema, Rotterdam: 551-560.
- PEYROT, B., 2008. Incidences écologiques, anthropiques et paléocéologiques sur l'évolution des forêts du Gabon. *Les Cahiers d'Outre-Mer* : 241-242.
- PEYROT, B. & OSLISLY, R. 1987. Paléoenvironnement et archéologie au Gabon (1985-1986). *NSI* 1: 13-15
- 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.
- PORTERES, R., 1946. Climat et végétation de la chaîne des monts Bambuttos (Cameroun). *Bull. Soc. Bot. Fr* 93: 352-360.
- 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., 2001. *La Forêt tropicale humide*. Belin, 448 p.
- QUEZEL, P., 1965. *La végétation du Sarah*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 333p.

- QUEZEL, P., 2002. *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*, Ibis Press, Paris, France : 117 p.
- RAMPINO, M.R. & SELF, S. 1982. Historic eruptions in Tambora (1815), Krakatau (1883) and Agung (1963); their stratospheric aerosols and climatic impact. *Quaternary Research* 18: 127-143.
- RAMPINO, M.R., SELF, S. & STOTHERS, R.B. 1988. Volcanic winters. *Ann. Rev. Earth Planet Sci.* 16: 73-99.
- REYNAUD-FARRERA, I., 1995. *Histoire des paléoenvironnements forestiers du Sud Cameroun à partir d'analyses palynologiques et statistiques de dépôts holocènes et actuels*. Thèse, Univ. De Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc : 198p.
- REYNAUD-FARRERA, I., 1996. Late Holocene vegetational changes in South-West Cameroon. *In: Dalfes H.N., Kukla G. & Weiss H. (eds). Climate change in the Third millenium BC, NATO ASI Series, Subseries in Global Environmental Change: 641-652.*
- REYNAUD-FARRERA, I., MALEY, J. & WIRRMANN, D., 1996. Végétation et climat dans les forêts du Sud-Ouest Camerounais depuis 4 770 ans BP : analyse pollinique des sédiments du lac Ossa. *C.R. Acad. Sci. Paris* 322, II a: 749-755.
- RICHARDS, K., 1986. Preliminary results of pollen analysis of a 6000 year core from Mboandong, a crater lake in Cameroun. *In: Baker R.G.E., Richards K., Rimes C.A. (Hrsg.): The Hull University. Cameroun Expedition 1981-1982. Final Report. Department of Geography, University of Hull: 14 -28.*
- ROBERTS, N., TAIEB, M., BARKER, P., DAMNATI, B., ICOLE M. & WILLIAMSON, D., 1993. Timing of the Younger Dryas event in East Africa from lake-level changes. *Nature* 366 : 146-148.
- ROBERTS, N., L., PIOTROWSKI, A., M., MCMANUS, J., F. & KEIGWIN, L., D., 2010. Synchronous Deglacial Overturning and Water Mass Source Changes. *Science* 327 : 75-77.
- ROCHE, E., 1991. Evolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bulletin de la Société géographique de Liège* 27: 187-208.
- ROCHE, E., 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. français de Pondichéry, Trav.Sect.scient.et techn.* 25: 105-123.
- ROCHE, E. & BIKWEMU, G., 1989. Palaeoenvironmental change on the Zaire-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; Ed: W.C.MAHANAY. York University, Toronto. A.A.Balkema /Rotterdam/Brookfield.*
- 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.
- 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.
- SALARD-CHEBOLDAEFF, M., 1980-1987. Palynologie camerounaise. *Congrès national des Sociétés savantes, Sciences*, 105, 1 : 233-247; 106, 1 : 125-136; 108, 1 : 117-129; 109, 2 : 19-35; 110, 5 : 231-248; 111, 2 : 59-80; 112, 3 : 47-63;

- SALARD-CHEBOLDAEFF, M., 1993. Palynologie camerounaise. *Palynosciences* 2: 189-208
- SALZMANN, 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.
- SARNTHEIN, M., TETZLAFF, G., KOOPMANN, B., WOLTER, K. & PFLAUMANN, U., 1981. Glacial and interglacial wind regimes over the eastern subtropical Atlantic and North-West Africa. *Nature* 293: 193-296.
- SEVERINGHAUS, J.P., SOWERS, T., BROOK, E.J., ALLEY, R.B. & BENDER, M.L. 1998. Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice. *Nature* 391: 141-146.
- 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 stands of Lake Bosumtwi, Ghana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 242: 287-312.
- SCHRÖTER, D., CRAMER, W., LEEMANS, R., PRENTICE, I. C., ARAÚJO, M. B., ARNELL, N. W., BONDEAU, A., BUGMANN, H., CARTER, T. R., GRACIA, C. A., DE LA VEGA-LEINERT, A. C., ERHARD, M., EWERT, F., GLENDINING, M., HOUSE, J. I., KANKAANPÄÄ, S., KLEIN, R. J. T., LAVOREL, S., LINDNER, M., METZGER, M. J., MEYER, J., MITCHELL, T. D., REGINSTER, I., ROUNSEVELL, M., SABATE, S., SITCH, S., SMITH, B., SMITH, J., SMITH, P., SYKES, M. T., THONICKE, K., THUILLER, W., TUCK, G., ZAEHLE, S. & ZIERL B., 2005. Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science* 310: 1333-1337.
- SCHWARTZ, D., 1992. Assèchement climatique vers 3 000 B.P. et expansion Bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions. *Bull. Soc. géol. France* 163, 3: 353-361.
- SCHWARTZ, D., 1997. Forêt et savanes d'Afrique centrale : une histoire holocène mouvementée. *La lettre du changement global, Paléoclimatologie*: 7 p.
- SCHWARTZ, D., DE FORESTA, H., DECHAMPS, R. & LAFRANCHI, R. 1990. Découverte d'un premier site de l'Age du Fer ancien (2110 B.P.) dans le Mayumbe congolais. Implications paléobotaniques et pédologiques. *C.R. Acad. Sci. Paris* 310, 2: 1293-1298
- SERVAIN, J., PICAUT, J. & MERLE, J. 1982. Mise en évidence du couplage à longue distance entre le vent et la température de surface dans l'Atlantique équatorial. *C.R. Acad.Sc.Paris*, sér. 2, 294: 789-792.
- SERVANT, M., 1983. Séquences continentales et variations climatiques : évolution du bassin du Tchad au Cénozoïque supérieur. *ORSTOM, Paris, Trav. & Doc.* : 159-573.
- SERVANT & SERVANT-VILDARY, 1980. L'environnement quaternaire du Tchad. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 133-162.
- SEVERINGHAUS, J.P. & BROOK, E.J., 1999. Abrupt climate change at the end of the last glacial period inferred from trapped air in polar ice. *Science* 286 : 930-934.
- 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 stands

- of Lake Bosumtwi, Ghana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 242: 287-312.
- SOWUNMI, M.A., 1973. Pollen grains of Nigerian plants. *Grana* 13: 145-186.
- 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.
- SOWUNMI, M.A., 1995. Pollen of Nigerian plants. *Grana* 34: 120-141.
- STAGER C.J. & ANFANG-SUTTER, R. 1999. Preliminary evidence of environmental changes at Lake Bambili (Cameroon, West Africa) since 24 000 BP. *Journal of Paleolimnology* 22: 319-330.
- STEMLER, A.B.L., 1980. Origins of plant domestication in the Sahara and the Nile Valley. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 503-526.
- STOCKER, T.F. & MARCHAL, O. 2000. Abrupt climate change in the computer : is it real ? *PNAS* 97, 4 : 1362-1365.
- STOTHERS, R.B. 1984. Mystery cloud of AD 536. *Nature* 307: 344-345.
- STRAKA, H., (Ed.). 1964–1983. *Palynologia madagassica et mascarenica*. Pollen Spores 6, 1, 239–288; 6, 1, 289–300; 7, 1, 27–33; 7, 2, 303–312; 7, 3, 491–507; 8, 2, 241–264; 9, 1, 59–70; 9, 3, 427–466; 11, 2, 299–332; 17, 1, 11–57; 20, 1, 157–166; 22, 3/4, 343–353; 22, 3/4, 355–423; 24, 1, 65–91; 25, 1, 49–73.
- STRAKA, H., (Ed.). 1983–1989. *Palynologia madagassica et mascarenica*. Trop. Subtrop. Pflanzenw. 44, 1–93; 49, 1–87; 51, 1–136; 55, 1–158; 67, 1–225.
- STREET-PERROT, F.A. & PERROT, R.A. 1990. Abrupt climate fluctuation in the tropics: the influence of Atlantic Ocean circulation. *Nature* 343: 607-611.
- STUIVER, M., REIMER, P.J., & REIMER, R., W., 2005. CALIB 5.0. [program and documentation]. <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- SUCHEL, J-B, 1988. *Les climats du Cameroun*. Thèse de doctorat d'Etat, Université de Saint-Etienne : 789 p.
- TALBOT, M.R., 1980. Environmental responses to climatic change in West African Sahel over the past 20000 years. *The Sahara and the Nile*, Balkema (Rotterdam): 37-62.
- TALBOT, M.R. & JOHANNESSEN, T., 1992. A high resolution palaeoclimatic record of the last 27,500 years in tropical West Africa from the carbon and nitrogen isotopic composition of lacustrine organic matter. *Earth and Planetary Science Letters* 110: 23-37.
- TAMURA, T., 1990. Late Quaternary landscape evolution in the West Cameroon Highlands and the Adamaoua Plateau. In: Lanfranchi, R. & Schwartz, D. (Eds). *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. ORSTOM., Paris: 298-318.
- TCHIENGUE, B., 1993. *Etude écologique et phytosociologique des formations végétales de la colline Nkolobot-Sud. Région de Yaoundé*. Mém. Maîtr. Univ. Yaoundé I : 109 p.
- TCHIENGUE, B., 2004. *Etude écologique et floristique de la végétation d'un massif de la ligne du Cameroun: le mont Koupé*. Thèse de Doctorat 3ème CYCLE ès Sciences Biologiques. Université de Yaoundé I : 238 p.
- TIMMERMANN, A., & MENVIEL, L., 2009. What Drives Climate Flip-Flops? *Science* 325, 273-274.
- THOMAS, C., D., CAMERON, A., GREEN, R., E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L., J., COLLINGHAM, Y., C., ERASMUS, B., F., N., FERREIRA DE SIQUEIRA, M., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARVELD, A., S., MIDGLEY, G., F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M., A., TOWNSEND

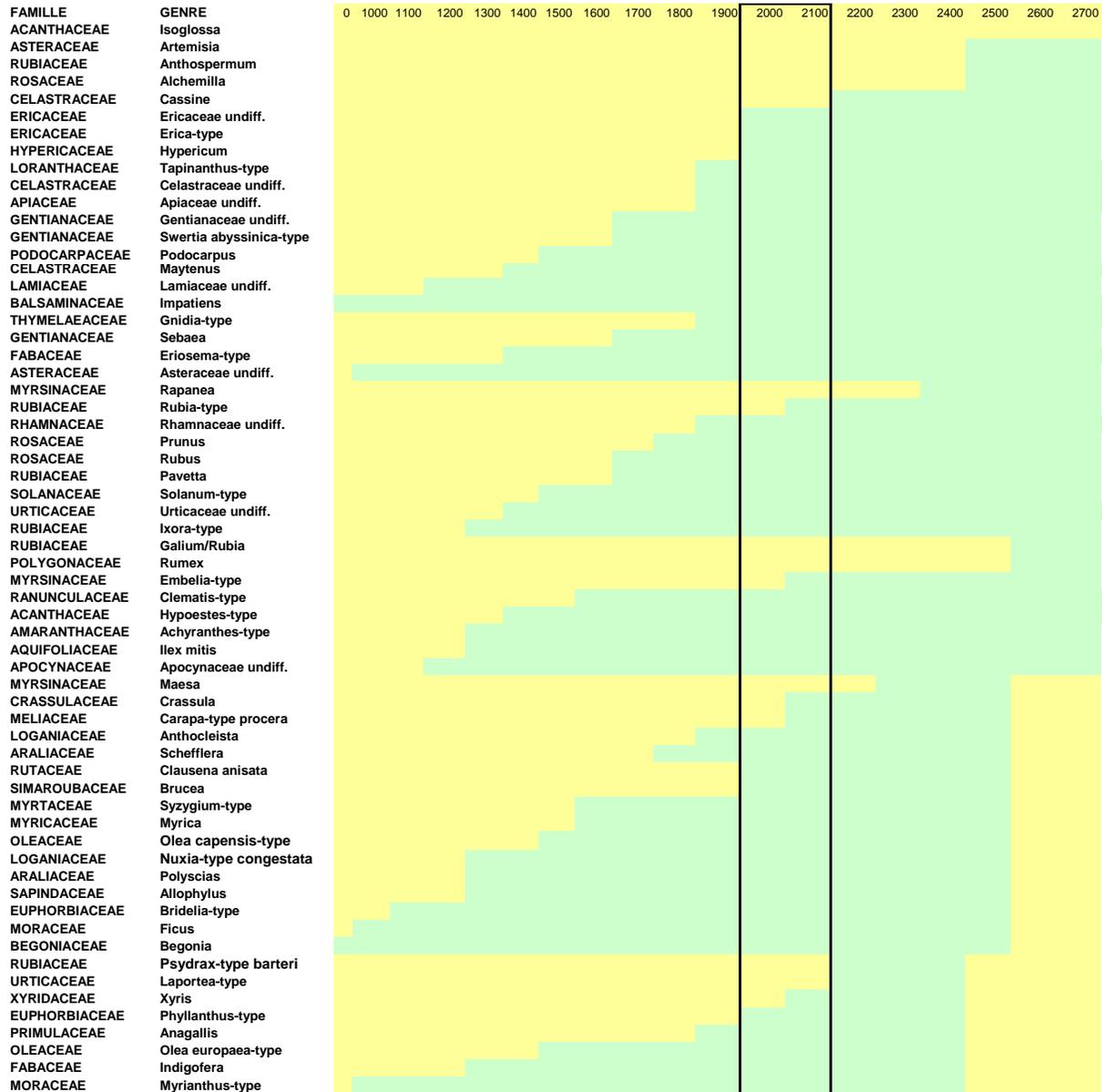
- PETERSON, A., PHILLIPS, O., L., & WILLIAMS, S., E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 247:145-148.
- THUILLER, W., MIDGLEY, G., F., HUGHES, G.O., BOMHARD, B., DREW, G., RUTHERFORD, M.C. & WO, O., 2006. Endemic species and ecosystem sensitivity to climate change in Namibia. *Global Change Biology* 12: 759–776.
- 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.
- TOSSOU, M.G., AKOEGNINOU, A., BALLOUCHE, A., SOWUNMI, M.A. & AKPAGANA, K., 2008. The history of the mangrove vegetation in Benin during the Holocene : a palynological study. *Journal of African Earth Sciences* 52: 167-174.
- VANDEN BOSSCHE J., P. & BERNACSEK, G., M., 1990. Source book for the inland fishery resources of Africa, volume 2, *CIFA Technical Paper*. N°. 18.2. Rome, FAO. 1990. 411p.
- VERSCHUREN, D., S., DAMSTE, J., S., MOERNAUT, J., KRISTEN, I., BLAAUW, M., FAGOT, M., HAUG G., H. & CHALLACEA project members, 2009. Half-precessional dynamics of monsoon rainfall near the East African Equator. *Nature* 08520, 462 : 637-641.
- VINCENS, A., 1986. Diagramme pollinique d'un sondage Pléistocène supérieur-Holocène du lac Bogoria (Kenya). *Rev. Paleobot. Palynol.* 47: 169-192.
- VINCENS, A., 1991a. Late Quaternary vegetation history of the South-Tanganyika Basin. Climatic implications in South Central Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 86: 207-226.
- VINCENS, A., 1991b. Végétation et climat dans le bassin Sud-Tanganyika entre 25 000 et 9000 B.P.: nouvelles données palynologiques. *Palaeoecology of Africa* 22: 253-263.
- VINCENS, A., BUCHET, G., ELENGA, H., FOURNIER, M., de NAMUR, C., SCHWARTZ, D., SERVANT, M. & WIRRMANN, D. 1994. Changement majeur de la végétation du Lac Sinnda (Vallée du Niarii, Sud Congo) consécutif à un assèchement climatique holocène supérieur : apport de la palynologie. *C.R. Acad. Sciences, Paris* : sér. 2a, 318 : 1521-1526
- VINCENS, A., SCHWARTZ, D., BERTAUX, J., ELENGA, H. & de NAMUR, C. 1998. Late Holocene Climatic Change in Western Equatorial Africa Inferred from Pollen from lake Sinnda, Southern Congo. *Quaternary Research* 50: 34-45.
- VINCENS, A., SCHWARTZ, D., ELENGA, H., REYNAUD-FARRERA, I., ALEXANDRE, A., BERTAUX, J., ARIOTTI, A., MARTIN, L., MEUNIER, J.-D., NGUETSOP, F., SERVANT, M., SERVANT-VILDARY, S. & WIRRMANN, D., 1999. Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years BP and inheritance on the modern landscapes. *Journal of Biogeography* 26: 879–885.
- VINCENS, A., WILLIAMSON, D., THEVENON, F., TAIEB, M., BUCHET, G., DECOBERT, M. & THOUVENY, N., 2003. Pollen-based vegetation changes in southern Tanzania during the last 4200 years: climate change and/ or human impact. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 198: 321-334.
- VINCENS, A., GARCIN, Y. & BUCHET, G., 2007. Influence of rainfall seasonality on African lowland vegetation during the late Quaternary : Pollen evidence from lake Masoko, Tanzania. *Journal of Biogeography* 34: 1274-1288.
- 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.

- VON GRAFENSTEIN, U., ERLÉNKEUSER, H., MÜLLER, J., JOUZEL, J. & JOHNSEN, S., 1997. The cold event 8200 years ago documented in oxygen isotope records of precipitation in Europe and Greenland. *Clim. Dyn.* 14: 73-81.
- WALTHER, G-R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESANK, C., BEEBEE, T., J., C., FROMENTIN, J-M., HOEGH-GULDBERGI, O., & BAIRLEIN, F., 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- WATRIN, J., LEZINE, A-M., GAJEWSKI, K. & VINCENS A., 2007. Pollen–plant–climate relationships in sub-Saharan Africa. *Journal of Biogeography* 34, 489–499.
- 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., 1983. *The vegetation of African: a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa*. Paris, France: UNESCO.
- WHITE, F., 1986. *La végétation de l’Afrique. Recherche sur les ressources naturelles XX*. ORSTOM – UNESCO: 384p.
- WHITE, F., 1993. Refuge theory, ice-age aridity and the history of tropical biotas: an essay in plant geography. *Fragm. FLor. Geobot. Suppl.* 2 (2): 385-409.
- WU, H., GUIOT, J., BREWER, S., GUO, Z., & PENG, C, 2007. Dominant factors controlling glacial and interglacial variations in the treeline elevation in tropical Africa. *PNAS* 104, 23: 9721-9724.
- YBERT, J.P., 1979. *Atlas des pollens de Côte d’Ivoire*. ORSTOM, Paris. Initiations, Documentation. Technique 40 : 40 p.
- ZOGNING, A., GIRESSE, P., MALEY, J. & GADEL, F., 1997. The Late Holocene palaeoenvironment in the Lake Njupi area, West Cameroon: implications regarding the history of Lake Nyos. *Journal of African Earth Sciences* 24: 285-300.

ANNEXES



Annexe 1 : Répartition des principaux taxons polliniques recensés à Bambili selon l'altitude des plantes correspondantes selon LETOUZEY (1963-1970 ; 1968), TROUPIN (1982) et WHITE (1983). Encadré : la position altitudinale du Lac Bambili).



EUPHORBIACEAE	Croton-type				
MYRSINACEAE	Myrsine africana				
POLYGONACEAE	Polygonum senegalense-type				
SAPINDACEAE	Sapindaceae undiff.				
POLYGALACEAE	Polygala-type				
COMBRETACEAE	Combretaceae undiff.				
EUPHORBIACEAE	Acalypha				
RUTACEAE	Zanthoxylum-type				
EUPHORBIACEAE	Antidesma-type				
ANACARDIACEAE	Sorindeia-type				
ANACARDIACEAE	Rhus-type				
HYPERICACEAE	Harungana				
EUPHORBIACEAE	Drypetes-type				
EUPHORBIACEAE	Erythrococca-type				
CYPERACEAE	Cyperaceae undiff.				
EUPHORBIACEAE	Cyathogyne				
ULMACEAE	Celtis				
STERCULIACEAE	Dombeya-type				
PROTEACEAE	Faurea-type				
AMARANTHACEAE/CHE	Amaranthaceae/Chenopodiaceae undiff.				
EUPHORBIACEAE	Margaritaria discoidea				
ARALIACEAE	Cussonia				
ANACARDIACEAE	Anacardiaceae undiff.				
OLEACEAE	Schrebera arborea-type				
SAPINDACEAE	Aphania-type senegalensis				
SAPINDACEAE	Pappea capensis				
RUBIACEAE	Aidia-type micrantha				
ANACARDIACEAE	Lannea-type				
MENISPERMACEAE	Cocculus				
DICHAPETALACEAE	Tapura fischeri-type				
EUPHORBIACEAE	Thecacoris-type				
OLACACEAE	Strombosia				
EUPHORBIACEAE	Uapaca				
EUPHORBIACEAE	Tetrorchidium				
OCHNACEAE	Lophira				
MORACEAE	Antiaris-type toxicaria				
EUPHORBIACEAE	Mallotus-type				
RUTACEAE	Teclea-type				
EUPHORBIACEAE	Macaranga-type				
MENISPERMACEAE	Stephania-type abyssinica				
AMARANTHACEAE	Celosia argentea-type				
STERCULIACEAE	Pterygota				
BURSERACEAE	Commiphora				
MORACEAE	Trilepisium-type madagascariensis				
EUPHORBIACEAE	Alchornea				
ACANTHACEAE	Mellera-type				
STERCULIACEAE	Sterculia-type				
RUBIACEAE	Tarenna-type				
SAPINDACEAE	Aporrhiza				
CAESALPINIACEAE	Crudia-type				
HYMENOCARDIACEAE	Hymenocardia				
AMARANTHACEAE	Aerva-type				
ULMACEAE	Holoptelea grandis				
CAPPARIDACEAE	Boscia-type				
DILLENIACEAE	Tetracera				
EUPHORBIACEAE	Klaineanthus gaboniae				
CONNARACEAE	Cnestis-type				
IRVINGIACEAE	Irvingia-type				

Annexe 2. La microflore de Bambili dans le contexte de l'évolution holocène des environnements d'Afrique centrale Atlantique. Comparaison des taxons rencontrés à Bambili avec ceux des sites de Bois de Bilanko (600 m), Ngamakala (400 m) (ELENGA, 1992 et ELENGA et al., 1994), Ossa (REYNAUD- FARRERA, I., et MALEY, J., 1994 ; REYNAUD- FARRERA et al., 1996), Barombi Mbo (MALEY et BRENAC, 1998) ainsi que Mbalang (1100 m) (VINCENS, A. et al., 2010), les taxons aquatiques sont surlignés en bleu.

Taxons/sites	BAMBILI	SHUM LAKA	MBALANG	CONGO	BAROMBI MBO	SINNDA	KITINA	OSSA
	2273 m	1355 m	1100 m	600 et 400 m	300 m	128 m	120 m	8 m
Alchornea	x	x	x	x	x	x	x	x
Amaranthaceae/Chenopodiaceae undiff.	x	x	x	x	x	x	x	x
Anthocleista	x	x	x	x	x	x	x	x
Asteraceae undiff.	x	x	x	x	x	x	x	x
Cyperaceae undiff.	x	x	x	x	x	x	x	x
Macaranga-type	x	x	x	x	x	x	x	x
Poaceae undiff.	x	x	x	x	x	x	x	x
Podocarpus	x	x	x	x	x	x	x	x
Combretaceae/Melastomataceae undiff.	x	x	x	x	x	x	x	x
Rubiaceae undiff.	x	x	x	x	x	x	x	x
Acridocarpus	x		x	x	x	x	x	x
Allophylus	x		x	x	x	x	x	x
Phyllanthus	x		x	x	x	x	x	x
Pycnanthus angolensis-type	x		x	x	x	x	x	x
Sapotaceae undiff.	x		x	x	x	x	x	x
Syzygium-type	x		x	x	x	x	x	x
Tetrorchidium	x		x	x	x	x	x	x
Trilepisium-type madagascariensis	x		x	x	x	x	x	x
Uapaca	x		x	x	x	x	x	x
Zanthoxylum-type	x		x	x	x	x	x	x
Nymphaea	x	x	x	x	x	x	x	
Antidesma	x		x	x	x	x	x	
Urticaceae undiff.	x		x	x	x	x	x	
Celtis	x	x	x	x	x	x		x
Bridelia ferruginea-type	x		x	x	x	x		x
Typha	x		x	x	x	x		x
Entada-type	x		x	x	x	x		
Hypoestes-type	x		x	x	x	x		
Ficus	x		x	x	x		x	x
Olea	x	x	x	x	x			x
Blighia	x		x	x	x			x
Lannea-type	x		x	x	x			x
Rhus-type longipes	x			x	x			x
Harungana	x		x	x	x			

Ilex mitis	x		x	x	x			
Laurembergia tetrandra	x			x	x			
Xyris / Xyridaceae	x			x	x			
Monocotyledonae undiff.	x		x	x		x	x	x
Tapinanthus-type	x		x	x		x	x	x
Pentaclethra-type	x			x		x	x	x
Campylospermum	x		x	x		x	x	
Celastraceae	x		x	x		x	x	
Pausinystalia-type	x		x	x		x	x	
Teclea-type	x	x		x		x		x
Clematis	x		x	x		x		x
Euphorbiaceae undiff.	x		x	x		x		x
Hymenocardia	x		x	x		x		x
Achyranthes-type	x		x	x		x		
Cichoriae undiff.	x		x	x		x		
Myrianthus-type	x		x	x		x		
Anacardiaceae	x			x		x		
Crudia-type	x			x		x		
Euphorbia-type	x			x		x		
Gentianaceae undiff.	x			x		x		
Psorospermum	x			x		x		
Croton-type	x		x	x			x	
Cassia-type	x		x	x				x
Fabaceae undiff.	x		x	x				x
Indigofera	x		x	x				x
Myrica	x		x	x				x
Polygala-type	x			x				x
Begonia	x		x	x				
Flueggea	x		x	x				
Galium-type	x		x	x				
Onagraceae undiff.	x		x	x				
Potamogeton thunbergii-type	x		x	x				
Psydrax-type schimperiana	x		x	x				
Spermacoce-type	x		x	x				
Hypericum	x			x				
Landolphia-type	x			x				
Lecaniodiscus/Aphania senegalensis	x			x				
Irvingia-type	x		x		x	x	x	x
Strombosia-type	x		x		x	x	x	x
Polygonum senegalense-type	x		x		x	x	x	x
Phoenix	x		x		x	x	x	
Cissus	x		x		x	x		x
Holoptelea grandis	x		x		x	x		x
Margaritaria discoidea	x		x		x	x		x

Acalypha	x		x		x	x		
Acanthaceae undiff	x		x		x	x		
Anopyxis	x				x		x	
Tetracera alnifolia	x				x		x	
Klaineanthus gaboniae	x		x		x			x
Lophira	x		x		x			x
Mallotus-type	x		x		x			x
Nuxia-type	x		x		x			x
Santiria-type	x		x		x			x
Sorindeia-type	x		x		x			x
Sterculia-type	x		x		x			x
Baphia-type	x				x			x
Drypetes-type	x				x			x
Ixora-type	x				x			x
Leonardoxa-type africana	x				x			x
Pseudospondias-type	x				x			x
Ericaceae undiff.	x	x	x		x			
Acacia	x		x		x			
Apocynaceae undiff.	x		x		x			
Justicia-type	x		x		x			
Mitragyna-type inermis	x		x		x			
Ricinus communis	x		x		x			
Antiaris-type toxicaria	x				x			
Brucea	x				x			
Celosia argentea-type	x				x			
Cnestis-type	x				x			
Lamiaceae undiff.	x		x			x		x
Sapindaceae undiff.	x					x		x
Apiaceae undiff.	x	x	x			x		
Cussonia	x		x			x		
Impatiens	x		x			x		
Polyscias	x		x			x		
Schefflera	x		x			x		
Entandrophragma-type	x					x		
Ludwigia	x					x		
Tarenna-type	x					x		
Ludwigia-type	x					x		
Bersama	x		x					x
Meliaceae undiff	x		x					x
Mitracarpus villosus	x		x					x
Morelia-type senegalensis	x		x					x
Solanum-type	x		x					x
Stephania-type abyssinica	x		x					x
Aporrhiza	x							x

Araliaceae undiff.	x							x
Bertiera	x							x
Lippia-type	x							x
Ranunculaceae undiff.	x							x
Triumfetta-type	x							x
Carapa-type	x	x	x					
Aerva-type	x		x					
Alchemilla	x		x					
Anagallis	x		x					
Anthospermum	x		x					
Aphania-type senegalensis	x		x					
Brassicaceae undiff.	x		x					
Cissampelos-type	x		x					
Clausena anisata	x		x					
Commiphora	x		x					
Cyathogyne	x		x					
Dombeya-type	x		x					
Leucas-type	x		x					
Maesa	x		x					
Pavetta	x		x					
Prunus	x		x					
Rapanea	x		x					
Rubus	x		x					
Rumex	x		x					
Swertia-type	x		x					
Adenorandia-type kalbreyeri	x							
Artemisia	x							
Balanites	x							
Basilicum polystachyon/Hoslundia opposita	x							
Boscia-type	x							
Capparidaceae undiff.	x							
Cassine	x							
Centaurea-type	x							
Cocculus	x							
Cochlospermum	x							
Crassula	x							
Crateva adansonii	x							
Dipsacaceae undiff.	x							
Dolichos-type	x							
Embelia-type	x							
Eriosema-type	x							
Erythrococca	x							
Faurea-type	x							
Flacourtia	x							

Gnidia-type	x							
Hermannia-type	x							
Isoglossa	x							
Keetia-type cornelia	x							
Khaya-type	x							
Laportea-type	x							
Leonotis-type	x							
Lobelia	x							
Lotus-type	x							
Maerua-type	x							
Maytenus	x							
Mellera-type	x							
Myrsine-type africana	x							
Olacaceae undiff.	x							
Ottelia-type	x							
Pappea capensis	x							
Parkinsonia aculeata-type	x							
Plantago	x							
Pterygota	x							
Rhamnus-type	x							
Rosaceae undiff.	x							
Salix	x							
Sauvagesia erecta	x							
Schrebera	x							
Sebaea	x							
Solanaceae undiff.	x							
Streptocarpus	x							
Tapura fischeri-type	x							
Thalictrum	x							
Thecacoris-type	x							
Diospyros			x	x	x	x	x	x
Elaeis guineensis			x	x	x	x	x	x
Caesalpiniaceae undiff.			x	x	x	x	x	
Ceiba pentandra			x	x	x	x		x
Trema-type orientalis			x	x	x	x		x
Iodes				x	x	x		
Trichoscypha-type arborea				x	x		x	x
Dracaena				x	x		x	
Aeschynomene			x	x	x			x
Psychotria amboniana-type				x	x			x
Guibourtia demeusei-type			x	x	x			
Limnophyton-type			x	x	x			
Utricularia inflexa-type			x	x	x			
Alstonia-type			x	x		x	x	x

Moraceae undiff.			x	x		x	x	x
Calpocalyx-type				x		x	x	x
Dacryodes-type			x	x		x	x	
Hallea				x		x	x	
Plagiostyles-type africana				x		x	x	
Flabellaria-type paniculata			x	x		x		x
Hymenodictyon-type			x	x		x		x
Parinari-type			x	x		x		x
Abutilon				x		x		x
Bombax buonopozense-type			x	x		x		
Cleistanthus-type			x	x		x		
Leguminosae undiff.			x	x		x		
Mimosa pigra			x	x		x		
Tetrapleura tetraptera-type			x	x		x		
Evolvulus-type				x		x		
Gilbertiodendron-type mayombense				x		x		
Verbenaceae undiff.				x		x		
Grewia-type			x	x			x	x
Pancovia-type			x	x				x
Clerodendrum				x				x
Ehretia				x				x
Eriocoelum				x				x
Treculia africana-type				x				x
Cucurbitaceae undiff.			x	x				
Garcinia			x	x				
Keetia-type gueinzii			x	x				
Sericostachys-type scandens			x	x				
Stipularia-type africana			x	x				
Tacazzea-type apiculata			x	x				
Vangueria-type madagascariensis			x	x				
Anacolosa uncifera				x				
Apodytes dimidiata				x				
Ascolepis				x				
Baikiaea				x				
Cardiospermum				x				
Cercestis-type congoensis				x				
Chaetocarpus africanus				x				
Chrysobalanus icaco/Parinari				x				
Commelina-type forskalaei				x				
Drymaria cordata-type				x				
Ekebergia-type				x				
Gaertnera paniculata-type				x				
Hibiscus micranthus-type				x				
Loranthaceae undiff.				x				

Mesanthemum-type				x				
Oldfieldia-type				x				
Pentadesma				x				
Pterodiscus				x				
Rhynchosia-type				x				
Rutaceae undiff.				x				
Rytigynia-type				x				
Haematostaphis-type barteri				x				
Aidia-type			x		x	x	x	x
Canthium schimperianum-type					x	x	x	
Cordia			x		x	x		x
Antrocaryon			x		x	x		
Borassus-type aethiopium			x		x	x		
Hymenostegia-type pellegrini			x		x	x		
Coccina-type grandis					x	x		
Julbernardia seretii-type					x	x		
Berlinia-type					x		x	x
Microdesmis					x		x	
Maprounea		x			x			x
Adenia			x		x			x
Piptadeniastrum-type africanum			x		x			x
Triplochiton scleroxylon-type			x		x			x
Canarium-type					x			x
Cynometra-type					x			x
Dialium					x			x
Heisteria					x			x
Nesogordonia					x			x
Sabicea					x			x
Salacia					x			x
Cola cordifolia-type		x	x		x			
Terminalia-type		x			x			
Chaetacme aristata			x		x			
Detarium senegalense-type			x		x			
Milicia-type excelsa			x		x			
Trichilia-type			x		x			
Afselia					x			
Ambrosia					x			
Ancistrophyllum					x			
Anisophyllea					x			
Anthonotha					x			
Brachystegia					x			
Calamus					x			
Commelinaceae					x			
Copaifera					x			

Cryptosepalum					x			
Dalbergia					x			
Daniellia					x			
Desbordesia glaucescens					x			
Discoglyprena caloneura					x			
Distemonanthus					x			
Dorstenia					x			
Eremosphatha					x			
Flacourtiaceae					x			
Griffonia					x			
Hyppocratea					x			
Homalium					x			
Klainedoxa gabonensis					x			
Lasianthera africana					x			
Lebruniodemtron					x			
Leptonychia					x			
Liliaceae					x			
Mesobotrya					x			
Mezoneuron					x			
Monopetalanthus					x			
Musanga					x			
Mussaenda					x			
Nauclea					x			
Oxystigma					x			
Sapium					x			
Scoltelia					x			
Tessmannia					x			
Tragia					x			
Ganophyllum			x			x	x	x
Vernonieae undiff.			x			x	x	x
Martretia						x	x	x
Raphia		x	x			x	x	
Papilionoideae						x	x	
Commelina-type bengalensis			x			x		x
Gardenia-type			x			x		x
Raphiostylis			x			x		x
Rauvolfia			x			x		x
Sherbournia			x			x		x
Hugonia						x		x
Pterocarpus-type						x		x
Mimosaceae undiff.		x				x		
Adansonia digitata			x			x		
Albizia			x			x		
Celosia trigyna-type			x			x		

Heliotropium steudneri-type			x			x		
Piliostigma thonningii			x			x		
Rhamnaceae undiff.			x			x		
Tiliaceae undiff.			x			x		
Acanthus						x		
Alternanthera						x		
Amaranthus-type						x		
Canthium subcordatum-type						x		
Caryophyllaceae						x		
Commelina-type capitata						x		
Crossopteryx-type febrifuga						x		
Dichondra-type micrantha						x		
Fadogia-type						x		
Gardenia-type imperialis						x		
Hua gabonese						x		
Lingelsheimia-type frutescens						x		
Mangifera indica						x		
Paullinia pinnata						x		
Ranalisma humile						x		
Scorodophloeus zenkeri-type						x		
Vigna-type						x		
Anthostema-type			x				x	x
Pandanus			x				x	x
Symphonia globulifera			x				x	x
Maranthes-type							x	
Newtonia-type							x	
Parkia-type							x	
Sclerosperma							x	
Funtumia-type			x					x
Lepidagathis			x					x
Protea-type			x					x
Tabernaemontana			x					x
Abrus								x
Amanoa-type								x
Asclepiadaceae undiff.								x
Bauhinia								x
Calycobolus-type								x
Campanulaceae undiff.								x
Clusiaceae undiff.								x
Convolvulus-type								x
Coula edulis								x
Cupressaceae undiff.								x
Cylicodiscus-type gabunensis								x
Desmodium								x

Diodia-type									x
Dodonaea									x
Erythrophleum-type									x
Eugenia-type									x
Heteropteris leona									x
Hevea brasiliensis									x
Icacinaceae undiff.									x
Jasminum									x
Jatropha-type									x
Leptaulus									x
Loesenera-type									x
Malpighiaceae undiff.									x
Millettia-type									x
Ochnaceae undiff.									x
Occhthocosmus									x
Olax									x
Oldenlandia-type									x
Oncoba									x
Penianthus									x
Pinus									x
Prosopis-type africana									x
Protomegalaria-type									x
Rinorea									x
Sacoglottis gabonensis									x
Selaginella									x
Sesbania									x
Stachyothyrus									x
Trichocladus									x
Vismia									x
Voacanga-type									x
Waltheria									x
Ziziphus-type									x
Isoberlinia-type		x	x						
Myrtaceae undiff.		x	x						
Corchorus-type		x							
Alangium chinense-type			x						
Anisotes			x						
Anogeissus-type leiocarpus			x						
Argomuelleria macrophylla-type			x						
Asystasia gangetica-type			x						
Combretum-type molle			x						
Convolvulaceae undiff.			x						
Crinum natans-type			x						
Cyphostemma-type cyphopetalum			x						

Dichrostachys cinerea-type			x					
Dioscorea dumetorum-type			x					
Elaeophorbia-type			x					
Eriocaulaceae undiff.			x					
Faidherbia-type albida			x					
Guizotia-type abyssinica			x					
Hagenia abyssinica			x					
Heterotis-type canescens			x					
Hydrocotyle manii-type			x					
Hygrophila			x					
Ipomoea-type			x					
Kedrostis-type			x					
Kigelia africana			x					
Kotschya africana-type			x					
Lantana-type ukambensis			x					
Lantana-type viburnoides			x					
Macrosphyra-type			x					
Mansonia altissima-type			x					
Mendoncia			x					
Merremia-type hederacea			x					
Micrococca-type mercurialis			x					
Neoboutonia-type melleri			x					
Oncinotis-type			x					
Petersianthus-type macrocarpus			x					
Phaulopsis-type imbricata			x					
Shirakia-type elliptica			x					
Sida-type			x					
Stoebe kilimandscharica-type			x					
Thymelaeaceae undiff.			x					
Uncaria-type africana			x					
Vepris-type			x					
Virectaria			x					
Hylodendron gabunense			x					
Zahna golungensis-type			x					

Annexe 3. Comparaison de la flore pollinique de Bambili et celle de Rusaka (3°26'S, 29°37'E, alt. 2070 m) au Burundi (BONNEFILLE et al., 1995), dans le contexte de l'évolution des environnements d'Afrique centrale et Afrique de l'Est, les taxons aquatiques sont surlignés en bleu.

Taxa	Bambili	Rusaka
Acacia	x	x
Acalypha	x	x
Acanthaceae undiff	x	x
Achyranthes-type	x	x
Alchemilla	x	x
Alchornea	x	x
Allophylus	x	x
Amaranthaceae/Chenopodiaceae undiff.	x	x
Anacardiaceae undiff.	x	x
Anagallis	x	x
Anthocleista	x	x
Anthospermum	x	x
Artemisia	x	x
Begonia	x	x
Bersama	x	x
Blighia	x	x
Bridelia-type	x	x
Cassia-type	x	x
Celastraceae undiff.	x	x
Celtis	x	x
Clausena anisata	x	x
Clematis-type	x	x
Croton-type	x	x
Cyperaceae undiff.	x	x
Dipsacaceae undiff.	x	x
Dombeya-type	x	x
<i>Entada-type</i>	x	x
Ericaceae undiff.	x	x
Euphorbia-type	x	x
Ficus	x	x
Harungana	x	x
Hymenocardia	x	x
Hypericum	x	x
Hypoestes-type	x	x
Ilex mitis	x	x
Impatiens	x	x
Isoglossa	x	x
Lannea-type	x	x
Leucas-type	x	x
Lobelia	x	x
Macaranga-type	x	x
Maerua-type	x	x

Margaritaria discoidea	x	x
Monocotyledones	x	x
Myrianthus-type	x	x
Myrica	x	x
Olea capensis	x	x
Olea europaea-type	x	x
Plantago	x	x
Poaceae undiff.	x	x
Podocarpus	x	x
Polygala-type	x	x
Polygonum senegalense-type	x	x
Rhus-type	x	x
Ricinus communis	x	x
Rubiaceae undiff.	x	x
Rumex	x	x
Sapotaceae undiff.	x	x
Solanum-type	x	x
Spermacoce-type	x	x
Stephania-type abyssinica	x	x
Sterculia-type	x	x
Syzygium-type	x	x
Teclea-type	x	x
Tetrorchidium	x	x
Thalictrum	x	x
Trilepisium-type madagascariensis	x	x
Typha	x	x
Uapaca	x	x
Urticaceae undiff.	x	x
Xyris	x	x
Zanthoxylum-type	x	x
Acridocarpus	x	
Adenorandia-type kalbreyeri	x	
Aerva-type	x	
Anopyxis klaineana	x	
Antiaris-type toxicaria	x	
Antidesma-type	x	
Aphania-type senegalensis	x	
Apiaceae undiff.	x	
Apocynaceae undiff.	x	
Aporrhiza	x	
Araliaceae undiff.	x	
Asteraceae undiff.	x	
Balanites	x	
Baphia-type	x	
Basilicum polystachyon/Hoslundia opposita	x	
Bertiera	x	
Boscia-type	x	
Brassicaceae undiff.	x	

Brucea	x	
Campylospermum	x	
Capparidaceae undiff.	x	
Carapa-type procera	x	
Cassine	x	
Celosia argentea-type	x	
Celtis/Trema	x	
Centaurea-type	x	
Cichoriae undiff.	x	
Cissampelos-type	x	
Cissus	x	
Cnestis-type	x	
Cocculus	x	
Cochlospermum	x	
Combretaceae/Melastomataceae undiff.	x	
Commiphora	x	
Crassula	x	
Crateva adansonii	x	
Crudia-type	x	
Cussonia	x	
Cyathogyne	x	
Dolichos-type	x	
Drypetes-type	x	
Embelia-type	x	
Entandrophragma-type	x	
Erica-type	x	
Eriosema-type	x	
Erythrococca-type3	x	
Euphorbiaceae undiff.	x	
Fabaceae undiff.	x	
Faurea-type	x	
Flacourtia	x	
Flueggea	x	
<i>Galium</i> -type	x	
Gentianaceae undiff.	x	
Gnidia-type	x	
Hermannia-type	x	
Holoptelea grandis	x	
Hypoestes-type	x	
Indigofera	x	
Irvingia-type	x	
Ixora-type	x	
Justicia-type	x	
Keetia-type cornelia	x	
Khaya-type	x	
Klaineanthus gaboniae	x	
Lamiaceae undiff.	x	
Landolphia-type	x	
Laportea-type	x	

Lecaniodiscus/Aphania senegalensis	x	
Leonardoxa-type africana	x	
Leonotis-type	x	
Lippia-type	x	
Lophira	x	
Lotus-type	x	
Ludwigia-type	x	
Maesa	x	
Mallotus-type	x	
Maytenus	x	
Meliacea undiff	x	
Mellera-type	x	
Mitracarpus villosus	x	
Mitragyna-type inermis	x	
Morelia-type senegalensis	x	
Myrsine-type africana	x	
Nuxia-type	x	
Nymphaea	x	
Olacaceae undiff.	x	
Onagraceae undiff.	x	
Ottelia-type	x	
Pappea capensis	x	
Parkinsonia aculeata-type	x	
Pausinystalia-type	x	
Pavetta	x	
Pentaclethra macrophylla	x	
Phoenix	x	
Phyllanthus-type	x	
Polyscias	x	
Potamogeton	x	
Prunus	x	
Pseudospondias-type	x	
Psorospermum	x	
Psydrax-type	x	
Pterygota	x	
Pycnanthus	x	
Ranunculaceae undiff.	x	
Rapanea	x	
Rhamnus-type	x	
Rosaceae undiff.	x	
Rubus	x	
Salix	x	
Santiria-type	x	
Sapindaceae undiff.	x	
Sauvagesia erecta	x	
Schefflera	x	
Schrebera	x	
Sebaea	x	
Solanaceae undiff.	x	

Sorindeia-type	x	
Streptocarpus	x	
Strombosia	x	
Swertia abyssinica-type	x	
Tapinanthus-type	x	
Tapura fischeri-type	x	
Tarenna-type	x	
Tetracera	x	
Thecacoris-type	x	
Triumfetta-type	x	
Acanthus-type		x
Aeschynomene-type baumii		x
Afrocrania volkensii		x
Aidia-type micrantha		x
Anthocerotaceae		x
Apodytes dimidiata		x
Ascolepis		x
Baphiopsis parviflora		x
Brachystegia		x
Carduus-type		x
Caryophyllaceae		x
Celosia-type trigyna		x
Cerastium afromontanum-type		x
Cerastium-type octandrum		x
Chrysophyllum-type bengweolense		x
Cliffortia nitidula		x
Clutia		x
Commelina-type benghalensis		x
Commiphora boiviniana-type		x
Crassocephalum-type montuosum		x
Cruciferae		x
Cucurbitaceae		x
Diospyros		x
Dodonaea viscosa		x
Dracaena steudneri-type		x
Drosera		x
Ekebergia-type		x
Eriocaulaceae		x
Euclea		x
Flabellaria-type paniculata		x
Fleurya-type aestuans		x
Galiniera coffeoides		x
Garcinia volkensii-type		x
Geranium		x
Hagenia abyssinica		x
Hallea-type rubrostipulata		x
Hydrocotyle		x
Hymenodictyon-type floribundum		x
Ipomaea-type		x

Jasminum		x
Justicia striata-type		x
Keetia gueinzii-type		x
Keetia schimperianum-type		x
Kotschya-type		x
Labiatae		x
Lactuceae		x
Laurembergia tetrandra		x
Loranthaceae		x
Lythrum		x
Maesa lanceolata-type		x
Melastomataceae		x
Mimulopsis-type		x
Moraceae		x
Oldenlandia-type		x
Osmunda regalis		x
Papilionoideae		x
Parinari-type		x
Phoenix reclinata		x
Phyllanthus-type niruri		x
Phyllanthus-type rivae		x
Pilea-type bambuseti		x
Polygonum nepalense-type		x
Polyscias fulva-type		x
Potamogeton thunbergii-type		x
Protea-type		x
Prunus africana		x
Ranunculus		x
Rapanea melanophloeos		x
Resedaceae		x
Rhamnaceae		x
Rubia-type		x
Rubus pinnatus-type		x
Sapium-type ellipticum		x
Sebaea-type brachyphylla		x
Securinea-type virosa		x
Senecio-type mannii		x
Sericostachys-type scandens		x
Silene-type burchellii		x
Smithia-type elliotii		x
Sphagnum		x
Stellaria mannii-type		x
Swertia usambarensis-type		x
Symphonia globulifera		x
Thymeleaceae		x
Tiliaceae		x
Tiliacora-type funifera		x
Toddalia-type asiatica		x
Trema-type orientalis		x

Tubuliflorae		x
Uapaca kirkiana		x
Uebelinia-type abyssinica		x
Umbelliferae		x
Vangueria-type acutiloba		x
Vernonieae		x
Vigna-type luteola		x
Virectaria		x
Zanha-type golungensis		x

Annexe 4. Article publié à Geo-Eco-Trop, 2008, 32: 131 – 143.

**Dynamique de la végétation d'altitude en Afrique centrale atlantique depuis 17 000 ans BP.
Analyses préliminaires de la carotte de Bambili (Nord-Ouest du Cameroun)**

**Vegetation dynamics of Atlantic mountainous Central Africa since 17 000 years BP.
Preliminary analysis of pollen records from lake Bambili, Northwestern Cameroon.**

Chimène Assi-Kaudjhis^{1,2}, Anne-Marie Lézine¹ et Emile Roche²

Chimene.Assi-Kaudjhis@lsce.ipsl.fr, Anne-Marie.Lezine@lsce.ipsl.fr, rocheemile@yahoo.fr.

1. Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR 1572 CNRS-UVSQ, Orme des Merisiers, 91191 Gif-sur-Yvette, cedex, France.

2 Université de Liège, UPPM, Sart Tilman – Allée du 6 Août, B18 / P40 B – 4000 Liège 1, Belgique.

Abstract : This article presents the preliminary results of pollen analyses carried out on a 13.5m long core taken from the shore of the crater lake of Bambili, Cameroon (05°56'11.9N; 10°14' 31.6E; 2273m alt.). This allows us to reconstruct the history of montane forest ecosystems from Atlantic Central Africa since 17 000 years BP. Well diversified microflora, show several changes. At the base of the pollen sequence, the vegetation is dominated by herbaceous plant populations such as Poaceae, associated with “dry” plant types from Amaranthaceae/Chenopodiaceae families and tree and shrub plant types from savannas and open forest formations types such as *Gnidia*, *Lansea*, Combretaceae, *Cussonia*... The montane forest expansion started from 14 080cal BP with the appearance of the pioneer taxon *Myrica*. This taxon is followed by *Schefflera*, *Podocarpus*, *Olea*, *Syzygium*... which widely expanded in the immediate surroundings of the lake from 12 310 to 4 590 cal BP. After this date, the montane forest was strongly reduced. However a short phase of forest regrowth is recorded around 2000 BP during which *Schefflera* dominated the forest assemblage.

Keywords: Cameroon – Lake Bambili – Palynology – Vegetation dynamics – Upper Quaternary

Résumé : Cet article présente les résultats préliminaires d'analyses de pollen effectuées sur une carotte de 13.5m de long prélevée près du lac de cratère de Bambili, Cameroun (05°56'11''N ; 10°14'31''E ; 2273m alt.). Les données obtenues ont permis de reconstruire l'histoire d'écosystèmes forestiers montagnards de l'Afrique Centrale Atlantique depuis 17000 ans BP. La microflore bien diversifiée, montre plusieurs changements. À la base de la carotte sédimentaire, la végétation est dominée par les herbacées tels que Poaceae, associés à des plantes de milieux secs issues des familles des Amaranthaceae-Chenopodiaceae ainsi que d'arbres et d'arbustes de savanes et de formations forestières ouvertes comme *Gnidia*, *Lansea*, Combretaceae, *Cussonia* ... L'expansion forestière montagnarde a commencée à 14 080 cal BP avec l'apparition du taxon pionnier *Myrica*. Ce dernier est suivi par *Schefflera*, *Podocarpus*, *Olea*, *Syzygium* ... qui se sont largement étendus dans l'environnement immédiat du lac de 12 310 à 4 590 Cal BP. Après cette date, la forêt montagnarde a été fortement réduite. Cependant une courte phase de repousse forestière est enregistrée autour de 2000 BP, pendant laquelle *Schefflera* domine l'assemblage forestier.

Mots-clés : Cameroun – Lac Bambili – Palynologie – Dynamique de la végétation – Quaternaire supérieur

INTRODUCTION

Depuis la dernière période glaciaire, l'Afrique tropicale a subi des variations très intenses du climat qui ont perturbé les systèmes hydrologiques (GASSE, F., 2000 ; SHANAHAN, T. et *al.*, 2006) et influencé la répartition et la composition des écosystèmes (e.g., MALEY, J., 1987 ; BRENAC, P. 1988 ; MALEY, J. et BRENAC, P., 1998 ; VINCENS, A., LEZINE, AM. et CAZET, JP., 2005 ; LEZINE, AM., 2007). Jusqu'à présent, l'histoire du domaine forestier équatorial atlantique n'était documentée que par une seule série sédimentaire continue, recoupant la dernière déglaciation et l'Holocène, au lac Barombi Mbo localisé au pieds du Mont Cameroun (MALEY, J. et BRENAC, P., 1998). Cette série montrait que les forêts humides dense et semi-décidue de basse altitude étaient très réduites au cours de la dernière période glaciaire et probablement restreintes à des aires de refuges. Avec l'intensification des flux de la mousson atlantique au dessus de l'Afrique et le réchauffement général du climat. S'amorce ensuite, après 13 000 BP, une expansion forestière qui domine ensuite l'Holocène, jusqu'à 5000 BP. La forêt s'étend alors sur l'ensemble de l'Afrique intertropicale (CARATINI, C. et GIRESSE, P., 1979 ; VINCENS, A., 1999 ; JOLLY, D., et *al.*, 1997). La phase de grande expansion forestière holocène prend fin aux alentours de 3 000 BP en réponse à la dernière dégradation importante du climat tropical (in VINCENS et *al.*, 1999 ; MARCHANT R. et HOOGHIEMSTRA, H., 2004).

La migration des plantes afro-montagnardes vers les basses altitudes et la formation de refuges forestiers déduites des données palynologiques du lac Barombi Mbo ont donné lieu à de nombreux scénarios paléoclimatiques (MALEY, J. et LIVINGSTONE, A., D., 1983 ; MALEY, J., 1984 ; MALEY, J., 1985 ; MALEY, J., 1987 ; MALEY, J. et BRENAC, 1998), mettant en jeu en particulier le rôle de l'orographie et de l'océan proche sur le climat local qui en favorisant la formation de nuages d'altitude stratiformes et peu précipitants, ont entretenu des conditions humides à moyenne altitude et des conditions sèches au pied des grands massifs. Cette hypothèse a été reprise par STAGER C, J., et ANFANG-SUTTER, R. (1999) qui, voient, en altitude au Cameroun, des conditions climatiques plus humides que dans les basses terres en période glaciaire.

Le but de la recherche entreprise au lac Bambili (05°56'11.9N ; 10°14'31.6E ; 2273m alt.) est d'apporter des données palynologiques qui permettront, pour la première fois, de caractériser l'évolution de la végétation montagnarde depuis 17 000 ans au Cameroun et vérifier les hypothèses émises par STAGER C., J., et ANFANG-SUTTER, R., (1999) évoquées plus haut. Il s'agira également de tenter une comparaison avec l'évolution des formations forestières à différentes altitudes. Ce travail est mené dans le cadre d'un projet de recherche financé par l'Agence Nationale de la Recherche en France, le Programme IFORA (Iles FOREstières Africaines : modèles d'une nouvelle approche de la dynamique de structuration de la biodiversité).

CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE ET LOCALISATION

La ligne volcanique du Cameroun

La ligne volcanique du Cameroun (LVC) est une zone d'altitude élevée constituée d'une succession de massifs volcaniques et dominée par le mont Cameroun qui culmine à 4095m. Elle est orientée NE-SW et se situe à cheval entre les domaines continental et marin sur près de 1600 kms depuis Biu au NE (10°37' N et 12°12' E) à l'île de Pagalu au SW (1°25' S et 5°38' E).

Le lac Bambili se situe dans une zone de plateaux montagneux (Figure 1) localisée entre les monts Bamboutos (9° à 11° Est et entre 5° à 6° Nord) et la ville de Bamenda (06.03N et 10.07E entre 1239 et 1510m d'altitude). L'altitude moyenne de cette zone se situe autour de 1500m et s'élève jusqu'à 3011m (Mt Oku). Le lac appartient à un système complexe constitué de deux cratères adjacents situés à 50m d'altitude de différence et reliés par un exutoire depuis le cratère le plus haut aujourd'hui asséché (au Sud), jusqu'au cratère le plus bas (au Nord) où se trouve un lac de 4m de profondeur et d'une superficie de 28ha (VANDEN BOSSCHE, J., P., et BERNACSEK, G., M.,1990). L'ensemble se déverse par un second exutoire en direction du Nord-Est vers le village de Bambili (6° N et $10^{\circ}15$ E à 1500m d'altitude).

CLIMAT

Le climat régional est de type équatorial à précipitations élevées (3800mm à Douala au niveau de la mer). L'alternance saisonnière des deux flux atmosphériques, les flux humides de *la mousson atlantique* d'orientation SW-NE et les flux inverses (NE-SW), secs, de l'*Alizé continental*, induit la formation d'une longue saison humide de mars à octobre où les précipitations atteignent un maximum de 744 mm (Douala en Août) et une saison plus sèche où les précipitations diminuent jusqu'à environ 35 mm (Douala en Décembre et Janvier). L'influence de l'altitude et l'éloignement du littoral entraînent, aux environs de Bambili, des précipitations moins élevées qu'à Douala (2280 mm à Bamenda à 1370 m d'altitude et 2107 mm à Bafoussam à 1411 m d'altitude) et des températures moyennes plus basses (19°C à Bamenda et 20°C à Bafoussam contre 26°C à Douala). On note donc un abaissement des températures moyennes de 0,4° à 0,6°C et des précipitations de 150 mm tous les 100 m de dénivellé du niveau de la mer à 1400 m d'altitude. Il n'existe pas de stations météorologiques au dessus de 1400 m d'altitude mais les travaux anciens de HAWKINS et BRUNT (1965 - cités par CHEEK *et al.*, 2000) distinguent au Mont Oku trois secteurs climatiques: (a) la plus grande partie de la montagne est caractérisée par des températures moyennes maximales de 20-22°C et minimales de 13-14°C et des précipitations comprises entre 1780 et 2290 mm par an, plus abondantes de Juillet à Septembre. (b) Au sommet du Mont Oku les précipitations sont probablement supérieures à 3050 mm par an et l'humidité est renforcée par l'abondance des nuages et des brumes. Les températures maximales sont comprises entre 16,5 et 19° C et les minimales entre 9° et 10,5°C. (c) Sur les versants règne un climat peu différent du secteur (a) mais la topographie abrupte favorise l'accélération des vents.

VEGETATION

La végétation des Plateaux de Bamenda s'inscrit dans le contexte général de l'étagement des ceintures de végétation au Cameroun (Figures 2a, 2b et 2c). Elle correspond à la forêt de montagne qui s'étend entre 1600-1800m et 2200-2500m d'altitude (LETOUZEY, R., 1968). Cette forêt se compose d'*Allophylus bullatus* (Sapindaceae), *Bambusa spp.* (Poaceae), *Bersama abyssinica* (Melianthaceae), *Bridelia speciosa* (Euphorbiaceae), *Clausena anisata* (Rutaceae), *Ficus spp.* (Moraceae), *Erythrococca hispida* (Euphorbiaceae), *Gnidia glauca* (Thymelaeaceae), *Ilex mitis* (Aquifoliaceae), *Ixora foliosa* (Rubiaceae), *Macaranga occidentalis* (Euphorbiaceae), *Myrica arborea* (Myricaceae), *Olea capensis* (Oleaceae), *Pittosporum mannii* (Pittosporaceae), *Podocarpus milanjanus* (Podocarpaceae), *Prunus africanum* (Rosaceae), *Schefflera barberi* (Araliaceae), *Strombosia scheffleri* (Olacaceae), *Syzygium staudtii* (Myrtaceae), *Zanthoxylum rubescens* (Rutaceae)... Au dessus, se situe l'étage afro sub-alpin (2400 et 2750 m) qui est caractérisé par la présence d'Ericaceae, associés à *Hypericum spp.* (Hypericaceae), *Maesa lanceolata* (Myrsinaceae), *Rapanea neutrophylla* (Myrsinaceae). Puis, au sommet du mont Oku (Etage afro alpin : au-delà de 2750 m) se trouve une pelouse constituée en grande partie de Graminées (*Hyparrhenia spp.*, *Paspalum...*) et d'*Alchemilla spp.* (Rosaceae).

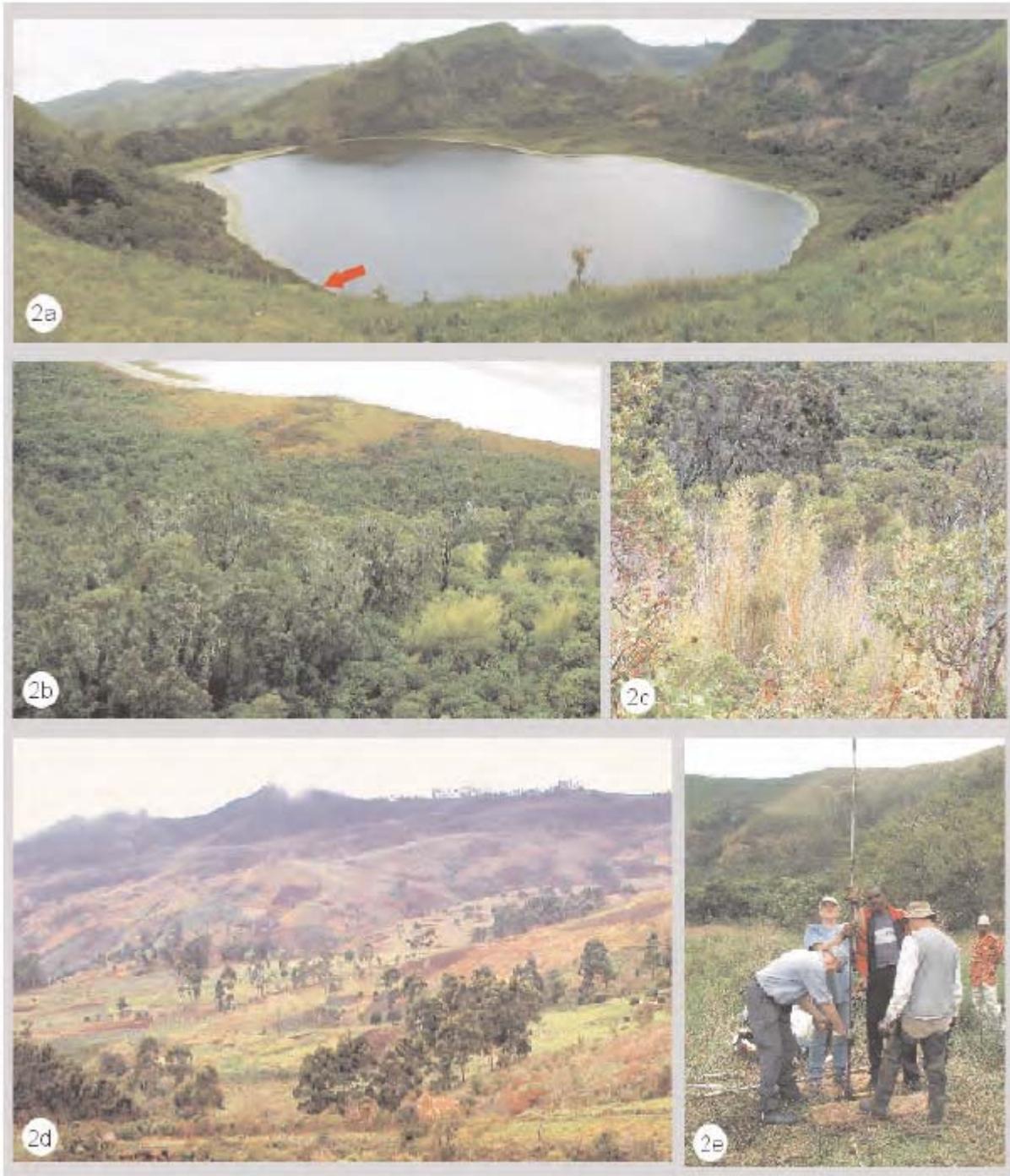


Figure 2: différents paysages autour du site d'étude

- 2a: vue générale du site  Emplacement du sondage
 2b: la forêt submontagnarde
 2c: la forêt de transition
 2d: intensité de l'anthropisation sur les plateaux de Bambili
 2e: le carottage manuel

La forêt de montagne surmonte un étage de transition constitué d'une forêt dense humide de basse altitude, l'étage submontagnard de la forêt à Ulmaceae et Sterculiaceae (LETOUZEY, R., 1968) et de la savane. La forêt à Sterculiaceae et Ulmaceae se compose, notamment, de *Sterculia sp.* (Sterculiaceae), *Strombosia grandifolia* (Olacaceae), *Celtis sp.* (Ulmaceae), *Eugenia gilgii* (Myrtaceae), *Clausena anisata* (Rutaceae), *Lannea kertingii* (Anacardiaceae) auxquelles s'ajoutent des espèces de forêt de montagne précédemment citées : *Allophylus bullatus* (Sapindaceae), *Clematis sp.* (Renonculaceae), *Hypoestes sp.* (Acanthaceae), *Bridelia speciosa* (Euphorbiaceae), *Polyscias fulva* (Araliaceae), *Ficus spp.* (Moraceae), *Macaranga occidentalis* (Euphorbiaceae). Les savanes sont principalement composées d'*Annona senegalensis* (Annonaceae), *Bridelia ferruginea* (Euphorbiaceae), *Cussonia djalonensis* (Araliaceae), *Piliostigma thonningii* (Caesalpiniaceae), *Terminalia avicennioides* (Combretaceae), *Vernonia turbinata* (Compositae), *Hymenocardia acida* (Euphorbiaceae), *Leonotis nepetifolia* (Lamiaceae), *Entada abyssinica* (Mimosaceae), *Mussaenda arcuata* (Rubiaceae), *Protea madiensis* (Proteaceae), *Vitex doniana* (Verbenaceae) ...

Aux alentours du lac Bambili, la forêt est confinée aux bords du cratère et dans des talwegs. On y retrouve les espèces suivantes : *Schefflera mannii*, *Schefflera abyssinica*, *Syzygium staudtii*, *Nuxia congesta*, *Prunus africana*, *Podocarpus latifolius*, *Rapanea melanoneura*, *Carapa grandiflora*, *Bersama abyssinica*, *Albizia gummifera*, *Croton macrostachyus*, *Bridelia speciosa*, *Arundiana alpina*. En bordure du lac, la répartition des plantes herbacées reflète l'éloignement de la zone d'eau libre permanente : après les *Nymphaea* sur l'eau libre, se trouve une ceinture de Cyperaceae puis, sur le sol sec apparaissent les Poaceae.

MATERIELS ET METHODES

Une carotte de sondage de 13,5 m a été prélevée en bordure du lac inférieur en Février 2007 (Figures 2a et 2e). Elle a été échantillonnée selon une maille de 10 cm et analysée pour son contenu palynologique entre 10 et 50 cm.

Au total, 13 datations AMS au radiocarbone (Tableau 1) ont été effectuées à un intervalle de 1 m. Elles montrent que la séquence sédimentaire couvre 17 000 ans calendaires, sans interruption. Le taux de sédimentation interpolé à partir des niveaux datés varie entre 0,036 et 0,39 cm/an.

Tableau 1 : Datations au radiocarbone et Modèle d'âge calendaire des sédiments de la carotte de Bambili. Les mesures au radiocarbone ont été converties en âge calendaire à l'aide du logiciel CALIB version 5. 0. (STUIVER, M., et al., 2005).

Numéro de laboratoire	Profondeur de l'échantillon	nature	$\delta^{13}\text{C}$	âge radiocarbone BP			Cal âge-	Cal âge+	Age Calendaire moyen
					±				
SacA 8485	199-200	tourbe	-25.90	1125	±	30	980	1037	1008,5
SacA 8486	299-300	tourbe	-26.00	1745	±	30	1615	1704	1659,5
SacA 8487	399-400	tourbe	-27.80	2170	±	30	2124	2301	2212,5
SacA 8488	499-500	tourbe	-26.90	2315	±	30	2329	2352	2340,5

SacA 8489	599-600	tourbe	-30.90	2485	±	30	2491	2707	2599
SacA 8490	699-700	tourbe	-25.80	3175	±	30	3370	3442	3406
SacA 8491	799-800	tourbe	-28.40	5515	±	30	6284	6318	6301
SacA 8492	899-900	tourbe	-24.70	7255	±	35	8014	8156	8085
SacA 8493	999-1000	tourbe	-28.90	8160	±	45	9015	9135	9075
SacA 8494	1099-1100	tourbe	-25.90	10050	±	45	11404	11705	11554,5
SacA 8495	1198-1199	tourbe	-28.90	11560	±	50	13323	13439	13381
SacA 10870	1249-1248	tourbe	-23.00	12550	±	50	14605	14946	14775,5
SacA 10872	13.49-13.48	tourbe	-21.70	14330	±	60	16950	17387	17168,5

Les échantillons ont été traités chimiquement par HCl et HF selon la méthode classique décrite par FAEGRI et IVERSEN (1975) précédée d'un tamisage à 250 μ et suivie d'une filtration à 5 μ . Des grains de pollen exotiques (*Alnus*) ont été ajoutés à chaque échantillon traité afin de pouvoir calculer les concentrations (nombre de grains de pollen par cm³ de sédiment) et l'influx (nombre de grains de pollen par cm² par an). Les grains ont été déterminés à l'aide de la collection de lames de référence du Muséum national d'Histoire naturelle à Paris et du Laboratoire de Géologie du Quaternaire du CEREGE de Aix-en-Provence, d'atlas et d'iconographies de grains de pollen de l'Afrique tropicale (APLF, 1974 ; BONNEFILLE, R., 1971a, 1971b ; BONNEFILLE, R., et RIOLLET, G., 1980 ; CERCEAU-LARRIVAL, M., T., et HIDEUX, M., 1983 ; FREDOUX, A., 1977 ; LOBREAU-CALLEN, D., 1977 ; MALEY, J., 1970 ; SALARD-CHEBOLDAEFF, M., 1980-1993 ; SOWUNMI, M., A., 1973, 1995 ; STRAKA, H. et al., 1964-1983 ; YBERT, J., P., 1979) et de la collection iconographique de la Banque Africaine de Données Polliniques (APD). Leur nomenclature suit les règles de la Banque Africaine de Données Polliniques (APD) (VINCENS, A., et al., 2007) basé sur l'inventaire des plantes à fleurs de l'Afrique tropicale de LEBRUN, J., P., et STORK, A., (1991-1997). Les comptages ont porté sur 500 à 1500 grains selon les échantillons et 151 taxons polliniques ont été identifiés. Ils ont été classés selon l'écologie, l'affinité phytogéographique (savane, forêt dense humide semi-décidue, forêt de montagne, étage afro sub-alpin) et l'altitude des plantes correspondantes (LETOUZEY, R., 1968 ; CHEEK, M., et al. 2000 ; HARVEY, H., et al., 2004). Les données sont présentées sous forme d'un diagramme établi sur base des pourcentages (calculés sur une somme excluant les Cyperaceae, les spores et les plantes aquatiques). Le logiciel CONISS, option de Tilia (GRIMM, E., 1987) a été utilisé pour la subdivision du diagramme pollinique en zones principales.

DESCRIPTION DU DIAGRAMME POLLINIQUE

Le diagramme pollinique montre des variations des pourcentages des taxons d'arbres comprises entre 14,3% (au bas de la séquence) et 93% (Zone II). Un certain nombre d'entre eux, appartenant aux forêts de montagne et forêts denses de moyenne altitude sont présents dans la quasi totalité des échantillons analysés. Il s'agit de *Podocarpus*, *Schefflera*, *Alchornea*, *Celtis*, *Embelia*, *Maesa*, *Macaranga*, *Olea*, *Rapanea* et *Syzygium*. Leurs pourcentages sont toutefois variables : entre 0,2 et 45%. Sur base de ces variations ainsi que sur celle de l'apparition et la disparition d'autres taxons caractéristiques (*Aerva*, *Alchemilla*, *Artemisia*, *Farsetia*, *Ficus*, *Hypericum*, *Ilex*, *Myrica*) six grandes zones polliniques ont pu être distinguées du bas au haut de la séquence :

Zone I : de 13,50 m (17 400 cal BP) à 11,40 m (12 311 cal BP)

Cette zone est caractérisée par des pourcentages élevés de plantes herbacées, notamment des Poaceae, qui diminuent régulièrement de la base (73%) au sommet (13%). Dans le détail, deux sous-zones ont été identifiées :

- **sous-zone Ia** (13,5 m – 17 400 cal BP à 12,40 m – 14 776 cal BP). Cet ensemble est marqué par la présence de taxons herbacés ou arbustifs de milieux ouverts de savanes ou de lisières forestières (Amaranthaceae/Chenopodiaceae, Asteraceae, Solanaceae, Combretaceae, *Clematis*...) qui apparaissent en pourcentages faibles, souvent à l'unité à l'exception d'*Aerva* (5,5%) et des Asteraceae undiff. (4,5%). Ces taxons sont associés à des taxons sub-montagnards et des taxons afro-subalpins tels qu'*Artemisia* (0,5%) et des Ericaceae (1,2%). La fin de cette sous-zone (14 776 cal BP) se caractérise par la progression de *Myrica* qui atteint 17%. Dans cette sous-zone, d'abondants charbons de taille variable entre 1 et 100 µm ont été également observés.
- **sous-zone Ib** (12,40 m – 14 776 cal BP à 11,40 m – 12 311 cal BP). Cette sous-zone enregistre l'augmentation des pourcentages d'arbres, notamment *Podocarpus* (7,3%), *Schefflera* (10,42%), *Maesa* (4,15%), *Olea* (3,03%), *Rapanea* (4,5%), *Celtis* (4,04%), *Macaranga* (3,5%) et *Ficus* (8%). De nombreux taxons des forêts montagnardes et sub-montagnardes apparaissent mais en faibles pourcentages allant de 0,3 à 3,7% ; parmi les plus significatifs, nous pouvons citer d'abord, le taxon pionnier *Myrica* qui apparaît autour de 14 080 cal BP ; ensuite, *Anthocleista*, *Bridelia*, *Ilex*, *Myrianthus*, *Myrsine*, *Prunus*, *Strombosia*, Sapindaceae undiff.. Des taxons de savanes sèches ou steppiques sont toujours présents : Solanaceae (11,9%), *Gnidia* (1,0%) et *Aerva* (1,0%),

Zone II : de 11,40 m (12 311 cal BP) à 7,40 m (4 593 cal BP).

Dans cette zone, on remarque la domination quasi totale des taxons d'arbres dont les pourcentages varient entre 50,0 et 94,9%. Les taxons herbacés qui représentaient encore 47,6% dans la zone précédente, diminuent considérablement :

- **sous-zone IIa** : (11,40 m – 12 311 cal BP à 10,50 m – 10 340 cal BP). Les taxons des arbres voient leurs pourcentages augmenter tandis que les herbacées régressent fortement (à 10 %). Le pourcentage le plus élevé des taxons d'arbres, est celui de *Schefflera* (36%). D'autres éléments de la forêt montagnarde progressent, mais plus modestement : *Podocarpus* (3,5%), *Maesa* (3,1%), *Olea* (7,0%), *Rapanea* (3,5%), *Syzygium* (10,7%) tandis que l'étage sub-montagnard de la forêt claire est surtout représenté par *Alchornea* (4,5%), *Embelia* (4,0%), *Ficus* (6,0%) et les éléments de savane, par *Cussonia* (5,0%), et *Gnidia* (2,5%). On note un pic d'Urticaceae à 8,9%.
- **sous-zone IIb** : (10,50 m – 10 340 cal BP à 8,50 m – 7 211 cal BP). Le nombre de taxons d'arbres atteint dans cette sous-zone sa meilleure représentation. *Schefflera* (35,0%) reste à son niveau de la sous-zone précédente mais on assiste à une progression sensible de *Podocarpus* (22,8% à 8,90 m) et d'*Olea* (entre 11 et 16%). *Syzygium* se maintient aux alentours de 10% et *Maytenus* de 5%. Si, globalement, l'avancée des éléments montagnards est la plus importante, des éléments submontagnards sont aussi bien représentés dans l'assemblage pollinique, notamment *Alchornea* (7,4%), *Celtis*, *Embelia* et un élément de savane, *Cussonia* s'y distingue par sa progression (11,5%).
- **sous-zone IIc** : (8,50 m – 7 211 cal BP à 7,40 m – 4 593 cal BP). Dans cette partie de la séquence, *Schefflera* atteint son maximum d'expansion (45,7%) ; celle-ci étant concomitante d'une chute sévère de *Podocarpus* (5,8%). On perçoit une progression d'*Ilex* et le maintient d'*Olea* et de *Syzygium* aux alentours des 5% tandis que des éléments de milieux plus ouverts, *Celtis* (5,5%) mais surtout *Alchornea* (9,7%) et *Cussonia* (10,2%) ont toujours une présence marquée.

Zone III : de 7,40 m (4 593 cal BP) à 6,80 m (3 253 cal BP).

Cette courte période se signale par un phénomène marquant : la chute brutale de *Schefflera* sous les 5% (4,2%) alors que *Podocarpus* passe à 32,7%. Excepté *Olea* (12,5%) et *Syzygium* (10,8%), tous les autres ligneux, montagnards, submontagnards et de savanes, ont des taux de représentation faibles. *Maesa* (3,2%), *Alchornea* (4,9%), *Embelia* (3,3%) se distinguant quelque peu de l'ensemble. A noter : une progression de *Gnidia* (3%), genre de savane sèche ou steppique, et des Poaceae à 17,2%.

Zone IV : de 6,80 m (3 253 cal BP) à 3,60 m (1 997 cal BP)

La zone IV atteste une reprise forestière soulignée principalement par la progression de *Schefflera*, mais aussi d'*Ilex* et de *Syzygium*. Par contre, on note un recul quasi continu de *Podocarpus* et une présence réduite d'*Olea*. Les submontagnards, *Alchornea*, *Celtis*, *Embelia*, *Ficus* notamment, s'affirment davantage dans un paysage plus ouvert. L'évolution du milieu s'effectue en trois phases :

-sous-zone IVa : (6,80 m – 3 253 cal BP à 6,00 m – 2 607 cal BP). Cette première phase enregistre le début du recul de *Podocarpus* (10,7%) et de la reprise de *Schefflera* (15,8%). Le milieu forestier apparaît plus hétérogène avec la présence plus marquée d'*Ilex* (7,7%), *Rapanea* (6,4%), *Syzygium* (5,5%), *Embelia* (3,7%). On note une progression sensible des Poaceae (33,5%), un pic d'Asteraceae (15,7%) et une poussée de *Gnidia* (4,1%).

-sous-zone IVb : (6,00 m – 2 607 cal BP à 4,90 m – 2 329 cal BP). Cette sous-zone voit une chute importante de *Podocarpus* à 2,5% alors que *Schefflera* repart à la hausse jusqu'à 24%. *Ilex* (10,9%) et *Syzygium* (7,6%) l'accompagnent dans sa progression. L'élément submontagnard est plus affirmé que précédemment avec *Alchornea* (6,6%), *Celtis* (4,0%), *Ficus* (3,1%) et *Polyscias* (4,2%) dans un ensemble forestier apparemment moins diversifié. *Gnidia* (6,9%), élément de milieux ouverts secs, est présent en continu dans cette partie de séquence alors que les Poaceae (34,5%) sont toujours en expansion. Globalement, les afro-alpins apparaissent comme plus présents dans l'environnement.

-sous-zone IVc : (4,90 m – 2 329 cal BP à 3,60 m – 1 997 cal BP). On enregistre ici une progression continue de *Schefflera* (jusqu'à 30%), genre très largement dominant du milieu forestier. *Ilex* poursuit également son avancée (12,2%) alors que *Podocarpus* poursuit son retrait sous les 2%. Par ailleurs, les Poaceae régressent légèrement à 27,3%.

Zone V : de 3,60 m (1 997 cal BP) à 1,10 m (533 cal BP)

Dans cette zone, le spectre pollinique révèle un milieu forestier sérieusement appauvri où les pourcentages de *Podocarpus* baissent, sauf un petit pic à 4% au milieu de la période, et où *Schefflera* connaît une régression continue de 30% jusqu'à 1%. En début de période, on note une présence non négligeable d'*Ilex* (12%), de *Celtis* (11%) et de *Ficus* (5%) alors qu'en fin de période s'y substituent *Maesa* (5%), *Nuxia* (4,3%), *Olea* (12,4%), *Embelia* (5,5%), *Gnidia* (3,8%) et des Solanaceae (5,5%) en même temps que progressent de façon significative les Poaceae (65,7%), attestant ainsi une importante d'ouverture du milieu. Au niveau de la flore locale on note cependant une progression des aquatiques (autres que les Cyperaceae).

Zone VI : de 1,10 m (533 cal BP) à 0 (subactuel)

Le diagramme suggère ici une évolution subrécente de la végétation qui se traduit par une nouvelle expansion de *Schefflera* (45,2%), élément forestier majeur (et le seul) de cette période. *Syzygium* progresse toutefois à 7,4%, *Embelia* à 11,6% et *Gnidia* reste présent à 3,2%. Les Poaceae régressent à 28,5% alors que les Cyperaceae connaissent un optimum à plus de 50% du total pollinique.

INTERPRETATION ET DISCUSSION

Le diagramme pollinique du lac Bambili suggère que les zones d'altitude de l'Afrique équatoriale atlantique ont subi une histoire végétale complexe, quelque peu différente, mais pas foncièrement, de celle des montagnes de l'Est africain (LIVINGSTONE, D., A., 1967 et HAMILTON, A., 1973).

La fin de la dernière période glaciaire

Les reconstitutions paléoenvironnementales et paléoclimatiques en Afrique tropicale atlantique ont démontré que la Période Humide Holocène (PHH) avait débuté il y a 15 500 ans avec l'augmentation des débits du fleuve Niger (LEZINE, A-M., et CAZET, J-P., 2005) et l'arrêt du transport des poussières sahariennes à l'océan (DEMENOCAL, P., et *al.*, 2000). Pendant le dernier maximum glaciaire, les données paléoclimatiques suggèrent, par rapport aux actuelles, des températures plus froides d'environ 5°C (FARRERA, I., et *al.*, 1999) ou des valeurs de CO₂ atmosphérique plus faibles entre 190 et 200 µatm, influençant la répartition altitudinale des plantes (STREET-PERROTT, A., F., et *al.*, 1997 ; WU, et *al.*, 2007). D'autre part, le développement des glaciers afro-alpins en Afrique orientale a provoqué l'abaissement de la limite supérieure des arbres de près de 1000 m (JOLLY, D., et HAXELTINE, A., 1997 ; OSMATSON, H., A., et HARRISON, S., P., 2005). La présence de plantes supra-montagnardes (*Artemisia*, *Hypericum*, *Rumex*, *Isoglossa* et Ericaceae) à Bambili aux alentours de 17 000 cal BP va dans le sens de l'abaissement de la limite supérieure des arbres mais les pourcentages qu'elles représentent sont trop bas pour pouvoir témoigner de leur proximité immédiate du lac. La forêt de montagne est par ailleurs toujours présente, bien que très réduite avec ses principaux constituants actuels : *Schefflera*, *Podocarpus*, *Olea*... L'abondance des plantes herbacées, notamment des Poaceae et des Apiaceae, et la présence d'arbustes héliophiles (*Gnidia*, *Myrica*, Solanaceae) confirment l'ouverture générale de l'environnement forestier d'altitude. Mais ce qui est plus original à Bambili est l'apparition entre 17 000 et 14 000 BP de plantes de milieux secs de savanes voire de steppes (*Aerva*, *Lanana*, *Boscia*...) remontant des altitudes inférieures. La présence de charbons de bois, témoins de feux courants, dans les échantillons de la même période renforce l'hypothèse d'un milieu ouvert et sec. Il apparaît donc que la période immédiatement postérieure au dernier maximum glaciaire à Bambili, devait être plus sèche que froide. Ce résultat vient à l'appui des hypothèses, déjà anciennes, de l'expansion pré-Holocène des savanes soudano-zambéziennes en Afrique (VAN ZINDEREN BAKKER, E., M., 1976 ; RUNGE, J., 2007) et confirme les observations de STAGER, C., J., et ANFANG-SUTTER, R., (1999) qui notent un minimum du rapport P/E (Précipitation sur l'Evaporation) au niveau du lac Bambili, à cette période. Il s'inscrit dans le contexte général des conditions climatiques, très sèches, au cours de la période correspondant à l'événement de Heinrich (H1 : 18 000 ans cal. BP (MIX,A.C. et *al.*, 2001)

L'expansion forestière au cours de la dernière transition glaciaire-interglaciaire et l'Holocène

On peut dater le début de l'expansion de la forêt de montagne à Bambili de la courte phase à *Myrica* qui se situe à 14 080 cal BP. Ce genre, résistant au feu, qui se développe dans les clairières d'altitude, marque également le début de l'expansion forestière post-glaciaire dans les montagnes est-africaines (LIVINGSTONE, D., A., 1967). L'expansion de *Myrica* est immédiatement suivie de celle de *Schefflera*, *Celtis*, *Ficus*, *Macaranga*, *Maesa* et *Podocarpus*. Le début de l'expansion forestière à Bambili est contemporain de celui observé en bordure du Golfe de Guinée (carotte KW31) par LEZINE, A-M., et CAZET, J-P., (2005) et correspond, comme le notent STAGER, C., J., et ANFANG-SUTTER, R., (1999), à l'augmentation des conditions humides en altitude. Le schéma ainsi décrit diffère de celui du lac Barmbi Mbo où la forêt est encore dégradée au cours de cette période.

La forêt régresse légèrement entre 12 311 cal BP et 11 332 cal BP, avec, principalement, le recul de *Schefflera*, *Macaranga*, *Podocarpus* tandis que *Cussonia*, *Gnidia*, les Solanaceae et les Poaceae progressent, enregistrant l'ouverture du paysage. Cette brève phase de dégradation forestière, assimilable à l'épisode du Dryas récent des hautes et moyennes latitudes (ALLEY,R.E. et *al.*, 1993 ;

SEVERINGHAUS, J.P. et *al.*, 1998 ; PISSART, A., 2002) est également enregistrée dans KW31 (LEZINE, A-M., et CAZET, J-P., 2005). Elle correspond à des conditions plus sèches qui ont abouti à l'abaissement du niveau des lacs en Afrique tropicale (LIVINGSTONE, D., A., 1967 ; SHANAHAN, T., M., et *al.*, 2006). Ensuite, entre 11 332 cal BP et 10 587 cal BP, les taxons montagnards (*Schefflera*, *Olea*, *Podocarpus Rapanea*...) augmentent peu à peu associés à des éléments submontagnards (*Alchornea*, *Celtis*, *Ficus*, *Macaranga*, *Cussonia*...), ce qui suggère l'interpénétration d'écosystèmes d'altitude au sens strict et de formations héliophiles ou pionnières d'extension altitudinale plus large constituant un ensemble hétérogène encore peu différencié.

L'optimum forestier holocène

Entre 10 339 cal BP et 4593 cal BP, le milieu forestier dans lequel *Schefflera* et, dans une moindre mesure, *Podocarpus* et *Olea* occupent une place prépondérante, est en progression constante.

Avec ces taxons, on note aussi la progression de *Rapanea* (précocement), *Maesa*, *Maytenus*, *Syzygium*, *Ilex* (tardivement) mais aussi de genres submontagnards tels *Alchornea*, *Celtis*, *Cussonia*. Ce dernier est le seul représentant significatif des savanes qui étaient développées à Bambili au cours la période antérieure.

Cette phase forestière est également remarquablement marquée à Barombi Mbo où s'étendent les éléments de forêt semi-décidue et de forêt dense humide. L'extension massive des forêts au cours de l'holocène répond à l'augmentation des flux de mousson au dessus de l'Afrique tropicale (MALEY, J., et BRENAC, P., 1998). Dans ce contexte, les conclusions de STAGER C., J., et ANFANG-SUTTER, R., (1999) qui voient à Bambili la réduction drastique du rapport P/E au cours de l'Holocène pose le problème des conditions climatiques spécifiques aux écosystèmes d'altitude qu'il conviendra d'approfondir.

Durant cette période forestière couvrant quelque 6 000 ans, deux événements particuliers sont à souligner :
- le bref recul forestier enregistré à 9,10 m (8194 cal BP) pourrait être la conséquence de la pulsation sèche due au ralentissement de la circulation thermohaline de l'évènement 8.2 dans l'Atlantique (PISSART, A. 2002).

- le retrait assez sensible de *Podocarpus* compensé par une avancée de *Schefflera* et des autres genres ligneux entre -8,50 m et -7,30 m soulignerait la phase optimale d'expansion en altitude de la forêt ombrophile se situant entre 7 032 cal BP et 4883 cal BP.

La crise climatique de ca 4000 BP

Entre 4300 cal BP et 3400 cal BP, la configuration de la flore régionale montagnarde change brutalement avec une expansion de *Podocarpus* et un recul drastique de *Schefflera*. Tous les autres éléments de cette flore sont d'ailleurs en recul, sauf *Olea* qui se maintient à une valeur élevée. La progression conjointe de *Podocarpus* et d'*Olea (capensis)* suggère l'installation au niveau du site de conditions climatiques froides et humides entretenues par des brouillards, conditions auxquelles ces deux taxons sont plus aptes à répondre que les autres composantes de la forêt afro-montagnarde (COETZEE, J.A., 1967).

La dégradation forestière enregistrée au cours de cette période est le reflet d'une phase sèche généralisée qui a marqué l'ensemble de l'Afrique ca 4000 ans BP et qui a produit les mêmes effets sur l'ensemble du domaine afromontagnard de la zone équatoriale (in MARCHANT R. et HOOGHMSTRA, H., 2004). C'est ce qu'on observe notamment sur la dorsale Congo-Nil bordière des lacs Kivu et Tanganyika (ROCHE, E. et BIKWEMU, G. 1989 ; ROCHE, E. et NTAGANDA, C., 1999) et en Afrique de l'Est (e.g., COETZEE, J.A., 1967). Cet effet climatique qui se manifeste par un abaissement généralisé des plans d'eau, a été observé en Afrique occidentale à Bosumtwi au Ghana (SHANAHAN, T.M., et *al.*, 2006) et à Sinnda au Sud du Congo (VINCENS et *al.*, 1998). Il se traduit par une expansion d'espèces héliophiles en forêt dense guinéenne comme le montre le diagramme du Lac Ossa dans le sud-ouest du Cameroun (REYNAUD-FARRERA et *al.*, 1996) ou par une extension des savanes incluses dans les forêts du Mayumbe (Congo) comme le révèle le diagramme de Kitina (ELENGA, H. et *al.*, 1996).

L'évolution du milieu, après 3000 ans BP

Après la phase climatique sèche relativement brève culminant ca 4 000 ans BP, un ensemble forestier hétérogène d'où *Podocarpus* et *Olea* finissent par disparaître reprend place, entre 3 252 cal BP et 1 996 cal BP aux environs du site. Cette progression forestière s'effectue en trois phases : dans un premier temps, de 3 252 cal BP à 2 607 cal BP, *Podocarpus* et *Schefflera* sont également représentés dans un environnement où l'élément montagnard est encore prépondérant.

Mais la situation évolue entre 2 607 cal BP et 2 328 cal BP, l'hétérogénéité forestière se renforçant avec l'intrusion, d'une part d'éléments afro-subalpins globalement mieux représentés qu'antérieurement et, d'autre part, d'éléments submontagnards attestant une ouverture du milieu soulignée par ailleurs par une progression des Poaceae.

Ce milieu plus ouvert était aussi plus sec comme semble l'indiquer l'avancée de *Gnidia* et des Cyperaceae, ces dernières représentant une zone marécageuse en expansion qui résulterait d'un atterrissement progressant au détriment de la surface d'eau libre.

La troisième phase qui se situe entre 3 253 cal BP et 1 997 cal BP, est marquée par la continuité de l'expansion de *Schefflera*, suivi d'*Ilex*, alors que les Poaceae se tassent légèrement donnant plutôt l'impression d'un milieu boisé appauvri pendant que les conditions d'humidité semblent s'améliorer avec un retrait des Cyperaceae par rapport aux aquatiques vraies.

La progression forestière, post 4000 ans BP, s'inscrit dans l'évolution générale des milieux boisés africains (ROCHE, E., 1991). Toutefois, la « péjoration climatique » que MALEY, J., (1992) perçoit entre ca 2 500 et 2 000 ans BP du Congo au Cameroun et en d'autres points de l'Afrique tropicale humide ne semble pas claire ici. Peut être correspond elle à la deuxième phase décrite ci-dessus, entre 2 607 cal BP et 2 328 cal BP où le milieu semble accuser une certaine sécheresse, le rendant plus ouvert.

A partir de ca 2 000 ans BP et jusqu'à aujourd'hui, le milieu forestier subit une dégradation qui se traduit par une chute généralisée de tous les taxons, montagnards et submontagnards. Certains résistent mieux, dans un premier temps, comme *Ilex* puis *Olea* pour finalement suivre *Schefflera* qui chute entre 1 998 cal BP et 533 cal BP de 30% à moins de 2% alors que les Poaceae passent la barre des 60%. Ceci suggère une action anthropique sur l'environnement naturel qui aurait commencé à se manifester dès avant 2 000 ans BP. A la suite de l'aridification qui a frappé le Sahara et le Sahel à la fin de la Période Humide Holocène, des populations ont pu émigrer vers le Sud et provoquer des défrichements en lisières du massif forestier comme c'est le cas au Nigeria (SOWUNMI, M., A., 1985). L'acquisition de la technologie du fer dès le 5^{ème} siècle avant J.-C. (ESSOMBA, J.M., 1989) puis, plus récemment l'installation de pasteurs bororo dans la région (BOUTRAIS, J., 1981) ont progressivement aggravé la dégradation forestière.

REMARQUES CONCLUSIVES

L'étude palynologique préliminaire de la carotte lacustre de Bambili documente pour la première fois l'histoire des paléoenvironnements montagnards d'Afrique Centrale Atlantique au cours des 17 derniers mille ans. En première analyse, les résultats révèlent que les relations entre les conditions de surface océanique et l'environnement d'altitude au Cameroun sont plus complexes que précédemment décrites par MALEY, J., (1987) ou STAGER C., J., et ANFANG-SUTTER, R. (1999). Le site de Bambili montre, au cours de la période glaciaire, une formation forestière très dégradée où dominant les éléments héliophiles, dans un environnement sec soumis aux feux. La conquête forestière, très dynamique dès le début de l'Holocène, aboutit à l'installation d'une forêt de montagne dominée par *Schefflera*, *Podocarpus* et *Olea*. Elle ne peut s'expliquer sans l'intervention de conditions climatiques favorables avec, notamment, des précipitations abondantes. Cette forêt perdure pendant une grande partie de l'Holocène tout en enregistrant des modifications dans sa composition floristique. Sa régression aux alentours de 3 000 cal BP s'inscrit dans le contexte général d'évolution des écosystèmes forestiers équatoriaux en réponse, d'une part à l'aridification de la fin de la Période Humide Holocène et, d'autre part, à l'intensification des activités anthropiques dès le début de notre ère.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement l'Agence Nationale Française de la Recherche pour avoir accordé le financement du projet de recherche IFORA (Iles FORestières Africaines : modèles d'une nouvelle approche de la dynamique de structuration de la biodiversité), S. Ivory, M. Giraldo, G. Buchet et J.-P. Cazet pour leur aide, ainsi que le LSCE pour avoir facilité l'accès au laboratoire à C. Assi-Kaudjhis., l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement), l'IRAD (Institut de Recherche Agricole pour le Développement), l'Université de Yaoundé 1 et les autorités compétentes du Cameroun pour avoir fourni les autorisations de recherche ainsi que la logistique de terrain. C. Assi-Kaudjhis remercie particulièrement M. B. Digbehi (Université de Cocody, Côte d'Ivoire), P. Gerrienne (Université de Liège, Belgique), G. Achoundong (IRAD, Cameroun) et M. Veuille (EPHE, Paris) pour leur aide et leurs conseils.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEY, R.B., MEESE, D.A., SCHUMAN, C.A., GOW, A.J., TAYLOR, K.C., GROOTES, P.M., WHITE, J.W.C., RAM, M., WADDINGTON, E.D., MAYEWSKI, P.A. & ZIELINSKI, G.A. 1993. Abrupt increase in Greenland snow accumulation at the end of the Younger Dryas event. *Nature*, 362: 527-529.
- Association des Palynologues de Langue Française (APLF), 1974. Pollen et spores d'Afrique tropicale. *CNRS, Talence. Travaux et Documents de Géographie Tropicale*, 16, 282 p.
- BONNEFILLE, R., 1971a. Atlas des pollens d'Ethiopie, principales espèces des forêts de montagne. *Pollen et Spores* 13, 1 : 15-72.
- BONNEFILLE, R. 1971b. Atlas des pollens d'Ethiopie. Pollens actuels de la basse vallée de l'Omo, récoltes botaniques 1968. *Adansonia*, (2), 11/3 : 463-518.
- BONNEFILLE, R. & RIOLLET, G., 1980. Pollens des savanes d'Afrique orientale. CNRS Editions, Paris, 140 p.
- BOUTRAIS, J., 1981. L'expansion des éleveurs peul dans les savanes humides du Cameroun. *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, XVIII, 1 : 31-45.
- BRENAC, P., 1988. Evolution de la végétation et du climat dans l'Ouest-Cameroun entre 25000 et 11000 ans BP. *Inst. Fr. Pondichéry, trav. Sec. Sci. Tech.*, XXV : 91-103. Actes Xè Symposium APLF Bordeaux, 28 sept.-2 oct. 1987.
- CARATINI, C. & GRESSE, 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.
- CERCEAU-LARRIVAL, M.-T. & HIDEUX, M., 1983. Pollens de quelques plantes médicinales du Rwanda. Agence de Coopération culturelle et technique, 75015 Paris ; 58p.
- CHEEK M., J.-M. ONANA, B. & POLLARD, J. 2000. The plants of Mount Oku and the Ijim Ridge, Cameroon, a conservation checklist. Royal Botanic Gardens, Kew; 211p.
- COETZEE, J.A. 1967 Pollen analytical studies in East and Southern Africa. *Palaeoecology of Africa*, 3 : 1-146.
- DEMENOCAL P., ORTIZ J., GUILDERTSON 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.
- ELENGA, H., SCHWARTZ, D., VINCENS, A., BERTAUX, J., de NAMUR, C., MARTIN, L., WIRRMANN, D. & SERVANT M., 1996. Diagramme pollinique holocène du lac Kitina (Congo): mise en évidence de changements paléobotaniques et paléoclimatiques dans le massif forestier du Mayombe. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 323, série II a : 403-410.
- ESSOMBA, J.M. 1989. Dix ans de recherches archéologiques au Cameroun méridional (1979-1989). *NSI*, 6 : 33-57.
- FAEGRI K. & IVERSEN, J., 1992. Textbook of Pollen Analysis. IV Edition. Printed and bound in Great Britain by Courier International Limited, East Kilbride; 328p.
- FARRERA, I., HARRISON, S., P., PRENTICE, I., C., RAMSTEIN, G., GUIOT, J., BARTLEIN, P., J., BONNEFILLE, R., BUSH, M., CRAMER, W., GRAFENSTEIN, VON, U., HOLMGREN, K., HOOGHIEMSTRA, H., HOPE, G., JOLLY, D., LAURITZEN, S.-E., ONO, Y., PINNOT, S., STUTE, M. & YU, G. 1999. Tropical climates at the last Glacial Maximum: a new synthesis of terrestrial palaeoclimate data. I. Vegetation, lake-levels and geochemistry. *Climate dynamics* 15 : 823-856.
- FREDOUX, A. 1977. Etude morphologique des pollens de 32 espèces des formations périlagunaires de basse Côte d'Ivoire (lagune Adjim). CODEN : *CNDLAR*, 32 (2); 281p.
- GASSE, F. 2000. Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum. *Quaternary Science Reviews*, 19, 1-5 : 189-211.

- GRIMM, E., 1987. CONISS: a fortran 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers and Geosciences*, 13, 1 : 13-35.
- HAMILTON A., 1973. The history of the vegetation. Reprinted from "The vegetation of East Africa" by E. M. Lind and M. E. S. Morrison, Longman ; 188-209.
- HARVEY H., POLLARD, B., J., DARBYSHIRE, I., ONANA, J.-M. & CHEEK , M. 2004. The plants of Bali Ngemba Forest Reserve, Cameroon, a Conservation Checklist. Royal Botanic Gardens, Kew; 154 p.
- JOLLY, D., & HAXELTINE, A., 1997. Effet of Glacial Atmospheric CO₂ on Tropical African Montane Vegetation.. *Science*, 276 : 786-788.
- LEBRUN, J-P. & STORK A., L., 1991-1997. Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale, Vol. I : 249 p. Vol. II : 257 p. Vol. III : 341 p. Vol. IV : 712 p. Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- LETOUZEY, R., 1968. Etude Phytogéographique du Cameroun. P. Lechevalier, Paris ; 511 p.
- 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* (in press)
- LIVINGSTONE, D. A., 1967. Postglacial vegetation of the Rwenzori Mountains in Equatorial Africa. *Ecological Monographs*, 37, 1 : 25-52.
- LOBREAU-CALLEN, D., 1977. Les pollens des Célébrales (Illustrations, commentaires). Mémoires et travaux de l'Institut de Montpellier, N°3. Ecole Pratique des Hautes Etudes (3è section) : 117.
- MALEY, J., 1970. Contributions à l'étude du bassin tchadien. Atlas de pollens du Tchad. *Bulletin du Jardin botanique national de Belgique*, 40 : 29-48.
- MALEY, J., 1984. Influence des nuages sur les paléoenvironnements : quelques exemples pris dans le Quaternaire récent. *Bothalia*, Prétoria, 14 : 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, 16-18 Sept. 1985, 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 chronologiques et biogéographiques. *Paleoecology of Africa*, 18 : 307-334.
- MALEY, J., 1992. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre ca 2 500 et 2 000 ans B.P. en Afrique tropicale humide. *Bull. Soc. géol. France*, 163, 3 : 363-365.
- MALEY, J. & LIVINGSTONE , A., D., 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*, 296, Série II : 1287-1292.
- MALEY, J. & BRENAC, P., 1998. Vegetation dynamics, palaeoenvironments and climatic changes in the forests of western Cameroon during the last 28 000 years BP. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 99 : 157-187.
- MARCHANT & HOOGHIEMSTRA, 2004 – Rapid environmental change in Africa and South American tropics around 4 000 years before present: a review. *Earth Science Reviews*, 66 ; 217-260.
- MIX, A., C., BARD E & SCHNEIDER, R., 2001. Environmental processes of the ice age: land, oceans, glaciers (EPILOG). *Quaternary Science Reviews*, 20 : 627-657.
- OSMASTON, H.A. & HARRISON, S. P. 2005. The Late Quaternary glaciation of Africa : A regional synthesis. *Quaternary International*, 138–139: 32–54
- 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.
- REYNAUD-FARRERA, I., MALEY, J. & WIRRMANN, D., 1996. Végétation et climat dans les forêts du Sud-Ouest Camerounais depuis 4 770 ans BP : analyse pollinique des sédiments du lac Ossa. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 322, série II a : 749-755.
- ROCHE E., 1991. Evolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 27 : 187-208.
- ROCHE, E. & BIKWEMU, G., 1989. Palaeoenvironmental 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; Ed: W.C.MAHANEY. York University, Toronto. A.A.Balkema /Rotterdam/Brookfield
- 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. Actes du 4^{ème} Symposium de Palynologie africaine (Sousse, Tunisie / avril 1999)
- RUNGE, J., 2007 : Des déserts et des forêts, histoire du paysage et du climat de l'Afrique Centrale au Quaternaire Supérieur. *Geo-Eco-Trop*, 2007, 31 : 1-18.
- SALARD-CHEBOLDAEFF, M., 1980-1987. Palynologie camerounaise. Congrès national des Sociétés savantes, Sciences, 105, 1 : 233-247; 106, 1 : 125-136; 108, 1 : 117-129; 109, 2 : 19-35; 110, 5 : 231-248; 111, 2 : 59-80; 112, 3 : 47-63;
- SALARD-CHEBOLDAEFF, M., 1993. Palynologie camerounaise. *Palynosciences*, 2: 189-208.
- SEVERINGHAUS, J.P., SOWERS, T., BROOK, E.J., ALLEY, R.B. & BENDER, M.L. 1998. Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractioned gases in polar ice. *Nature*, 391 : 141-146.
- 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 stands of Lake Bosumtwi, Ghana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242 : 287-312.
- STAGER C.J. & ANFANG-SUTTER, R. 1999. Preliminary evidence of environmental changes at Lake Bambili (Cameroon, West Africa) since 24 000 BP. *Journal of Paleolimnology*, 22: 319-330.
- SOWUNMI, M.A., 1973. Pollen grains of Nigerian plants. *Grana*, 13: 145-186.
- SOWUNMI, M.A. 1985. The beginnings of Agriculture in West Africa: botanical evidence. *Current Anthropology*, 26, 1 : 127-129
- SOWUNMI, M.A., 1995. Pollen of Nigerian plants. *Grana*, 34 : 120-141.
- STREET-PERROTT, F., A., HAUANG, Y., PERROTT, A., R., EGLINTON, G., BARKER, P., KHELIFA, B., L., HARKNESS, D. & OLAGO, O., D., 1997. Impact of lower atmospheric carbon dioxide on tropical mountain ecosystems. *Science*, 278: 1422-1426.
- STRAKA, H. (Editor), 1964-1983. Palynologia madagassica & mascarenica. *Pollen et Spores* 6, 1 : 239-288; 6, 1 : 289-300; 7, 1 : 27-33; 7, 2 : 303-312; 7, 2 : 491-507; 8, 2 : 241-264; 9, 1 : 59-70; 9, 3 : 427-466; 11, 2 : 299-332; 17, 1 : 11-57; 20, 1 : 157-166; 22, 1/4 : 343-353; 22, 3/4 : 355-423; 24, 1 : 65-91; 25, 1 : 49-73.
- STUIVER, M., REIMER, P.J., & REIMER, R., W., 2005. CALIB 5.0. [program and documentation]. <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- VINCENS, A., SCHWARTZ, D., BERTAUX, J., ELENGA, H. & de NAMUR, C. 1998. Late Holocene Climatic Change in Western Equatorial Africa Inferred from Pollen from lake Sinnda, Southern Congo. *Quaternary Research*, 50: 34-45.
- VINCENS, A., SCHWARTZ, D., ELENGA, H., REYNAUD-FARRERA, I., ALEXANDRE, A., BERTAUX, J., ARIOTTI, A., MARTIN, L., MEUNIER, J.-D., NGUETSOP, F., SERVANT, M., SERVANT-VILDARY, S. & WIRRMANN, D., 1999. Forest response to climate changes in Atlantic Equatorial Africa during the last 4000 years BP and inheritance on the modern landscapes. *Journal of Biogeography*, 26: 879-885.
- VINCENS, A., LEZINE, A., M., BUCHET, G., LEWDEN, D. & LE THOMAS, A., and Contributors. 2007. African pollen database inventory of tree and shrub pollen types. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 145: 135-141.
- VANDEN BOSSCHE J., P. & BERNACSEK, G., M., 1990. Source book for the inland fishery resources of Africa, volume 2, *CIFA Technical Paper*. N° 18.2. Rome, FAO. 1990. 411p.
- WU, H., GUIOT, J., BREWER, S., GUO, Z., & PENG, C, 2007. Dominant factors controlling glacial and interglacial variations in the treeline elevation in tropical Africa. *PNAS*, 104, 23 : 9721-9724.
- YBERT, J.P., 1979. Atlas des pollens de Côte d'Ivoire. ORSTOM, Paris. Initiations, Documentation. Technique N° 40 ; 40 p.

RESUME :

Pendant longtemps, les interprétations des analyses palynologiques suggéraient des conditions climatiques opposées entre les hautes et basses altitudes d'Afrique centrale atlantique. L'objectif de ce travail, a été de documenter l'histoire des forêts de montagne d'Afrique centrale atlantique, à partir des analyses de 14 m de sédiments, prélevés près du lac de cratère de Bambili, Cameroun (05°56'11''N ; 10°14'31''E ; 2273m alt.). Cette série bien datée, a fourni des données uniques couvrant les 20 derniers mille ans.

La microflore bien diversifiée, montre plusieurs changements. La couverture forestière est extrêmement réduite durant la période glaciaire, la végétation étant dominée par les plantes herbacées et caractérisée par la présence de taxons de savanes et steppes : *Aerva*-type, *Boscia*-type, Capparidaceae undiff., *Commiphora*, *Crudia*-type, *Lannea*-type.. qui témoignent de l'importance des apports éoliens de longue distance. Au fur et à mesure du réchauffement post-glaciaire, s'observe la recolonisation forestière. Elle débute à 18 400 cal BP avec l'apparition d'*Anthospermum*. A partir de 11 500 cal BP, *Schefflera* ouvre une nouvelle phase d'expansion forestière qui aboutit à la mise en place de l'optimum forestier daté entre 10 000 et 8 400 cal BP, pour s'interrompre autour de 8 200 cal BP. Par la suite, une instabilité forestière s'installe progressivement pour aboutir à la destruction brutale du massif forestier à 3300 cal BP. Cette dégradation associée à l'action de l'homme, a appauvri le milieu malgré les courtes phases forestières qui ont lieu entre 2 500 et 1 300 cal BP et au-delà de 960 cal BP.

ABSTRACT :

For many years, interpretations of palynological analysis suggested the opposite climatic conditions between high and low elevations of Atlantic Central Africa. The objective of this work was to document the history of mountain forests of central Africa Atlantic, from the analysis of 14 m of sediment collected near the crater lake Bambili, Cameroon (05 ° 56'11 "N, 10 ° 14'31"E, 2273m alt.). This series though dated, has provided unique data covering the last 20 thousand years. Microflora well diversified, shows several changes. Forest cover is extremely low during the glacial period, the vegetation is dominated by herbaceous plants and characterized by the presence of taxa of savannas and steppes: *Aerva*-type, *Boscia*-type Capparidaceae undiff., *Commiphora*, *Crudia*-type, *Lannea*-type... that demonstrate the importance of aeolian long distance. As far as global warming at post-glacial, forest recolonization's observed. It starts at 18,400 cal BP with the appearance of *Anthospermum*. From 11 500 cal BP, *Schefflera* opens a new phase of forest expansion, which led to the establishment of the optimum forest dated between 10,000 and 8400 cal BP, interrupted around 8200 cal BP. Subsequently, an instability develops gradually forest leading to the brutal destruction of the forest at 3300 cal BP. This degradation associated with human action, has depleted environment despite the short forest stages that take place between 2500 and 1300 cal BP and beyond than 960 cal BP.

Keywords: Pollen, Cameroon, Lake Bambili, Vegetation dynamics, Quaternary.