

Forêts et savanes d'Afrique centrale : une histoire Holocène mouvementée

On les croyait relativement stables depuis la fin de la dernière époque glaciaire, et, en corollaire, on pensait que la plupart des perturbations les ayant affectés ont eu une origine anthropique. En fait, les écosystèmes d'Afrique centrale, forêts denses et savanes périforestières, ont été affectés par des évolutions incessantes, dont l'intensité résulte de leur sensibilité aux changements climatiques.

Le programme ECOFIT (Ecosystèmes des Forêts Intertropicales) (voir p. 12) s'est appuyé sur une importante densité d'observations dans le sud du Cameroun et du Congo. Les sites les plus importants (Ossa et Kandara au Cameroun, Sinnda, Kitina et Songolo au Congo) ont fait l'objet d'approches pluridisciplinaires complémentaires : palynologie, spectrométrie IR des sédiments, diatomologie, détermination de macrorestes végétaux fossiles, biogéochimie isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ des matières organiques des sols, écologie végétale. La période de référence est l'Holocène, qui a succédé au dernier épisode glaciaire il y a environ 10 000 ans. Nous développons ci-dessous quelques uns des résultats les plus significatifs, mais également les points restant à approfondir dans la deuxième phase du programme ECOFIT.

Une histoire Holocène essentiellement forestière

Le premier enseignement de ces études est que la couverture forestière de l'Afrique centrale était bien plus étendue à l'Holocène moyen qu'actuellement. Les 8 sites palynologiques analysés (figure 1 et figure 2 p. 1) montrent tous des spectres purement forestiers avant 2 500-3 000 B.P. (Before Present), y compris ceux qui sont situés dans les régions de savane (Bilanko, Ngamakala, Songolo, Coraf, Sinnda). De fortes nuances régionales sont toutefois perceptibles :

- à Songolo et Coraf, le spectre est dominé avant 3 000 B.P. par des plantes de forêts hydromorphes qui témoignent de l'existence locale d'une nappe d'eau proche de la surface ;
 - à Sinnda, Bilanko et Ngamakala, une forte saisonnalité apparaît via le caractère semi-décidu de la végétation ;
 - dans les trois derniers enregistrements (Kitina, Barombi Mbo et Ossa), la végétation était peu différente de l'actuelle : des forêts sempervirentes avec une ceinture de forêt hydromorphe plus ou moins développée.
- D'autres enregistrements complètent ce tableau. Ainsi, au Congo, des podzols couverts actuellement de savane,

Forests and savannas in Central Africa : an eventful Holocene history

We thought they had been stable since the end of the last Glacial Maximum and that most perturbations that had affected them had a human origin. In reality, Central African ecosystems, dense forests and their surrounding savannas, have been affected by unceasing evolutions, the magnitude of which have reflected their sensitivity to climate changes.

The ECOFIT programme (Ecosystèmes des Forêts Intertropicales) (see p. 12) has made use of an abundant collection of data from southern Cameroon and the Congo. Over 20 sites have been thoroughly investigated, of which the most important (Ossa and Kandara in Cameroon, Sinnda, Kitina and Songolo in the Congo) have enjoyed complementary pluridisciplinary approaches. The main methods used are palynology, IR spectrometry of the sediments, diatomology, the identification of plant macrofossil remains and the measurement of the isotopic composition $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ of soil organic matter. The studied period is the Holocene, which started at the end of the last Glacial maximum, 10,000 years ago. In this paper, we will expose some of our most significant results so far, as well as future investigation points for the second phase of the ECOFIT programme.

A Holocene history dominated by forests

The first observation is that the forest cover of Central Africa, during the mid Holocene period, was much more developed than it is today. The eight palynology sites (see figure 1 and figure 2 p. 1), of which five are now located in savanna (Bilanko, Ngamakala, Songolo, CORAF, Sinnda), all display pure forest spectra up to 2,500-3,000 (Before Present). Strong regional tendencies appear nonetheless :

- at Songolo and CORAF, the spectra, dominated by species of hydromorphic forests, indicate that the water-table was close to the surface ;
 - at Sinnda, Bilanko and Ngai-nakala, marked seasonality is expressed by the presence of a semi-deciduous vegetation ;
 - in the last three records (Kitina, Barombi Mbo and Ossa), the vegetation was similar to what it is at present : evergreen forests surrounded by more-or-less developed hydromorphic forest.
- Other palaeo-ecological records complete the picture, showing that part of the forest has been replaced by

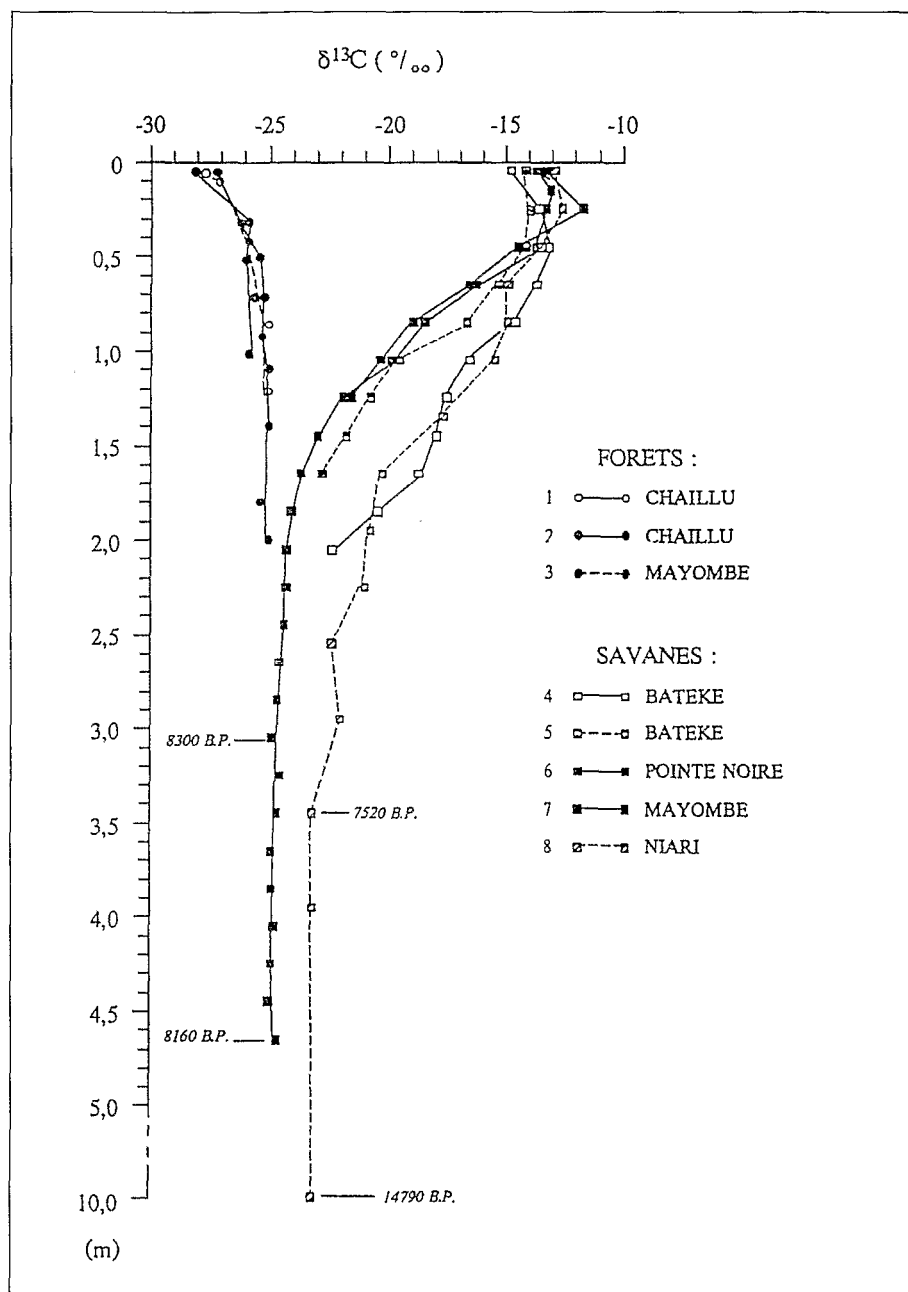


Figure 3 - Profils $\delta^{13}\text{C}$ de différents sols ferrallitiques du Congo. Les profils forestiers (à gauche) sont très homogènes, et typiques des enregistrements des forêts denses intertropicales. Les sols de savane (à droite) sont plus hétérogènes, mais présentent tous un signal forestier dans les horizons profonds. En fait, ce type de courbes témoigne du remplacement progressif d'un stock de matière organique forestière ancien par une matière savanique plus récente. Une modélisation prenant en compte le temps moyen de résidence de la matière organique dans les sols indique que l'allure des courbes est compatible avec un changement de végétation compris entre 1 500 et 4 000 ans.

Contact : Dominique Schwartz, ORSTOM/CEREG Strasbourg.

$\delta^{13}\text{C}$ profiles from ferrallitic soils of forests and savannas of the Congo. The forest profiles are very constant and characteristic of dense inter-tropical forests. Savanna profiles are slightly more heterogeneous, but all exhibit a forest-type record in the deep horizons. The graphs indicate the gradual replacement of an ancient stock of organic matter by more recent matter originating from the savanna. A model taking into account the average residence time of organic matter in the soils indicates that the configuration of the graphs is compatible with the occurrence of a vegetational change between 1,500 and 4,000 years.

Contact : Dominique Schwartz, ORSTOM/EREG, Strasbourg.



ont livré des macrorestes végétaux datant du début de l'Holocène, et appartenant à des espèces de forêts denses. Si l'on s'éloigne des stations (tourbières, lacs et podzols), où les conditions d'hydromorphie particulières ont permis la conservation de ce type d'archives, les profils $\delta^{13}\text{C}$ des sols drainés des versants savaniques témoignent également de cette histoire forestière (figure 3) : les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ des horizons profonds (environ -25 ‰) sont caractéristiques des sols forestiers (voir p. 19). Il en est de même au Cameroun des

savanna. Some podzol soils, today under savanna, have thus delivered macrofossil remains from the early Holocene period belonging to species of dense and/or hydromorphic forests. This is even supported by data collected away from the particular areas (peat bogs, lakes and podzols) where the hydromorphic conditions have favoured the accumulation of palaeontological records. In what is today the Congolese savanna, $\delta^{13}\text{C}$ soil profiles from well-drained slopes (figure 3) show that present $\delta^{13}\text{C}$ levels of the savanna (around -15 ‰) are posterior to low

enregistrements $\delta^{13}\text{C}$ dans la mosaïque forêt-savane à la limite nord de la zone forestière (Kandara). Mais les valeurs légèrement plus élevées des $\delta^{13}\text{C}$ évoquent des faciès forestiers plus secs (forêts semi-caducifoliées, forêts mésophiles, voire forêts claires), ce point devant être précisé par les études en cours. Il est toutefois clair que la forêt occupait à l'Holocène inférieur la majeure partie de l'espace actuellement occupé par les savanes intraforestières et péristorées. Rappelons que ces formations occupent actuellement 40 % de la surface du Congo.

Un assèchement progressif

Les datations au carbone 14 permettent de centrer les changements de végétation en Afrique centrale circa 3 000-2 800 B.P. (âges non calibrés). Nous avons alors interprété les écarts autour de ces valeurs comme une conséquence de la méthode de datation. La relative constance des datations nous a poussé, dans un premier temps, à formuler l'hypothèse de variations de végétation relativement brutales et synchrones, résultant d'un changement climatique abrupt. L'analyse des flux sédimentaires lacustres nous conduisent cependant à reconsidérer ce schéma. En effet, les enregistrements des lacs Kitina et Sinnda, pourtant situés dans des contextes très différents, montrent une décroissance des flux détritiques relativement synchrone depuis plus de 4 000 B.P., c'est-à-dire bien avant les changements de végétation (figure 4). Nous interprétons ce fait de la manière suivante. Dans les milieux forestiers intertropicaux, le ruissellement et l'érosion sont faibles. L'intensité du transport particulaire, notamment celui du particulaire grossier, est, dans ces milieux, une fonction quasi-directe des écoulements, c'est-à-dire du bilan hydrique. La diminution des flux détritiques indiquerait ainsi une diminution de la pluviosité en Afrique centrale depuis plus de 4 000 B.P.. Il convient de croiser cette information avec celle apportée par l'étude des diatomées. Au Cameroun, les enregistrements diatomologiques du lac Ossa ne mettent en évidence que de faibles variations du plan d'eau, et ne permettent donc pas de mettre en évidence une baisse continue de la pluviométrie. Toutefois, ce lac est situé dans une zone très arrosée (3 000 mm/an) et son alimentation par la Sanaga semble très complexe. L'étude en cours des diatomées du lac Kitina, situé dans une zone moins pluvieuse (1 500 mm/an) et tributaire d'un bassin versant de taille bien plus réduite (quelques dizaines de km²) permettra peut-être de résoudre ce problème.

Des perturbations qui sont une fonction de la sensibilité des milieux

Malgré les incertitudes, l'hypothèse d'une baisse continue des précipitations depuis 4 000 B.P. permet cependant de rendre compte de deux faits d'observation : le décalage

$\delta^{13}\text{C}$ levels characteristic of forest soils (about -25‰) (see p. 19). At present, savannas cover about 40% of the surface area of the Congo. In Cameroon, data from savanna-forest mosaic on the northern border of the forest zone (Kandara) show the same trend, although slightly higher $\delta^{13}\text{C}$ levels suggest drier forest types (semi-deciduous forests, mesophytic forests, or even woodland). This last point is currently under investigation.

A progressive drying-up

Carbon-14 datings situate the vegetation changes in Central Africa around 3,000-2,800 B.P. (uncalibrated ages). Outlying data points are either the result of inaccuracy of measurement, or linked to problems of carbon-14 age calibrations. This relative uniformity in dating estimates first suggested brutal synchronous vegetation changes in response to acute climatic modifications. The analyses of lacustrine sedimentary flows, however, have prompted reconsideration of this matter. The data recorded from Kitina and Sinnda lakes, although both in very different contexts, display a relatively synchronous decrease in detrital flows since before 4,000 B.P., long before the dated vegetation changes (figure 4). This calls for the following interpretation. In inter-tropical forest habitats, where surface runoff is minimal, detrital flows originate mostly from river bank erosion. Whether from surface runoff or from bank erosion, the amount of particle transport, and in particular that of coarse elements, are, in these habitats, almost directly function of the outflow, that is, of the hydrologic budget. The subsidence of the detrital flow thus indicates a decrease of the rainfall in Central Africa, since before 4,000 B.P.. This information, in turn, must be confronted to data from diatom studies. In Cameroon, diatom data from Lake Ossa only recorded weak water level variations and thus could not offer evidence for a continual rainfall decline. This lake, however, is located in a high rainfall area (3,000 mm/year), and its water inflow regime from the Sanaga tributary appears very complex. The current study of the diatoms of Lake Kitina, located in an area with less rainfall (1,500 mm/year) and fed by a smaller catchment area (a few tens of sq. km), will maybe help solve this problem.

Perturbations which reflect the sensitivity of the habitat

In spite of a few uncertainties, the hypothesis of a continual decrease of precipitations since 4,000 B.P. helps explain the time-lag between sites and the magnitude of the documented perturbations. In general, the most sensitive habitats, where climatic conditions are marginal, are the first to react, and react more violently than other habitats. This is indeed what has been noted in this study.

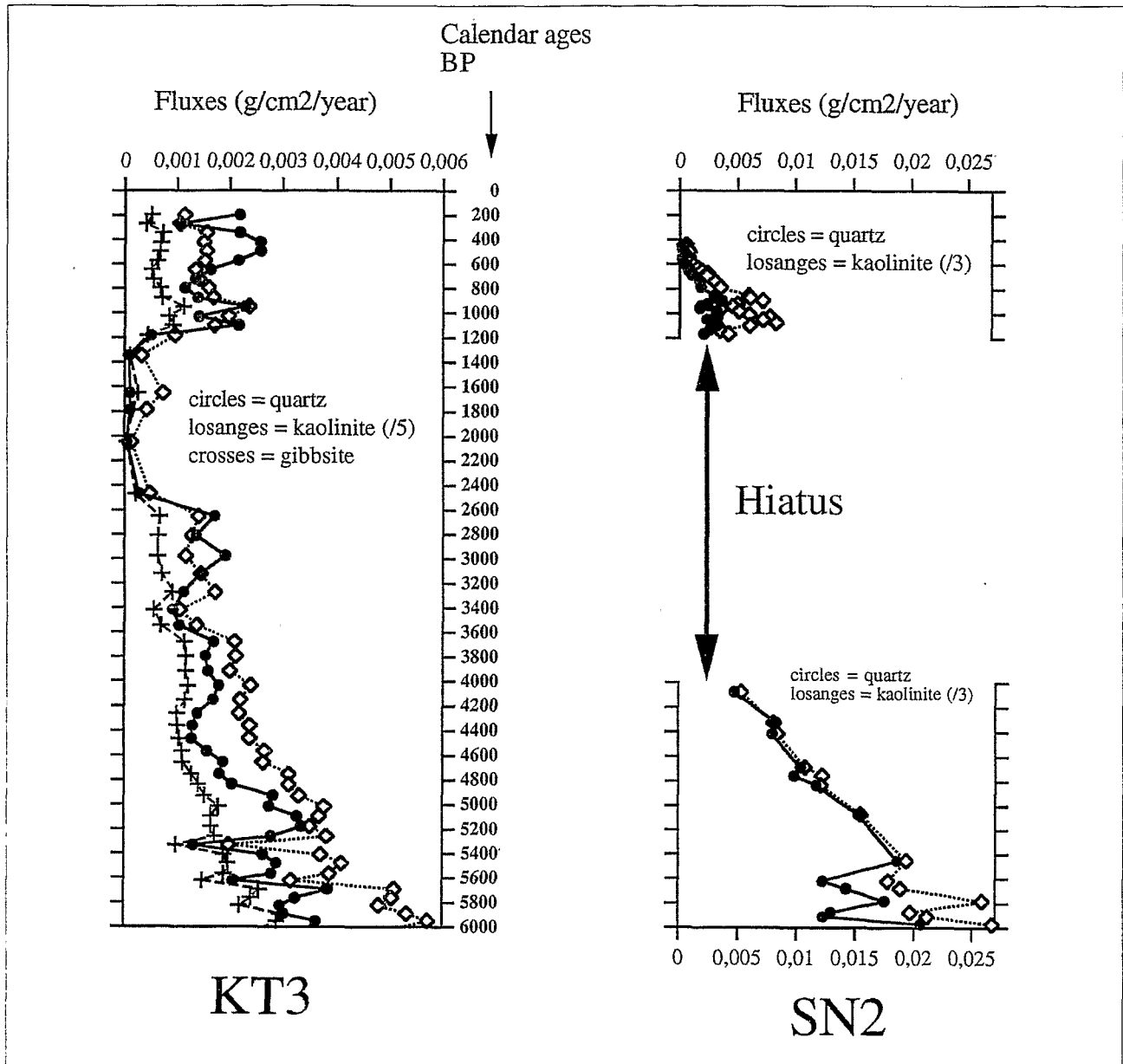


Figure 4 - Variation des flux sédimentaires détritiques dans les lacs Sinnda et Kitina. Ces lacs étaient situés dans un milieu forestier à l'Holocène moyen. Dans ce type de milieu, le ruissellement est très réduit. La charge solide des cours d'eau provient surtout de l'érosion des berges, et est directement corrélée aux crues, donc aux précipitations. La diminution des flux sédimentaires depuis plus de 4 000 ans indique une baisse continue, régulière, de la pluviosité. Selon les conditions de milieu, l'incidence sur la végétation en a été plus ou moins rapide et intense.
Contact : Jacques Bertaux, ORSTOM, Bondy.

Variations of sedimentary detrital flows in Lakes Sinnda and Kitina. Both lakes were located in a forest environment during the mid Holocene period. As surface runoff is very limited in inter-tropical forests, solid matter transported by the water courses issued mainly from the erosion of river banks and can be correlated almost directly to rainfall. The subsidence of the sedimentary flows since before 4,000 B.P. thus suggests a continual and regular decrease of the precipitations. The speed and magnitude of the vegetation response will depend on the environmental conditions.

Contact : J. Bertaux, ORSTOM, Bondy.

chronologique observé d'un site à l'autre, et l'intensité des perturbations observées. En effet, les milieux les plus sensibles, c'est-à-dire les régions où les conditions climatiques sont limitées pour la forêt, réagissent plus vite et de façon plus intense que les autres.

Sur le plan chronologique, le lac Sinnda, situé dans la zone d'Afrique centrale la plus sèche (la vallée du Niari), avec actuellement des précipitations de l'ordre de 1 050 mm/an et une saison sèche de près de 5 mois présente une lacune de sédimentation liée à un assèchement complet vers 3 500/3 900 B.P.. A l'inverse, les sites des zones forestières n'ont réagi que vers 2 800-2 500 B.P. La végétation des sites intermédiaires du littoral et du pays Teke a changé vers 3 000 B.P..

Il en est de même en ce qui concerne l'intensité des changements (figure 2 p. 1) :

- au lac Sinnda, l'assèchement climatique s'est traduit par la formation de savanes très herbacées ;
- dans les sites du littoral et pays Teke, des forêts ont subsisté à côté des savanes ;
- dans les sites forestiers comme Kitina et le Barombi Mbo, sont apparues des savanes incluses ;
- au lac Ossa, ne sont enregistrées que des perturbations légères de la forêt (abondance des essences héliophiles).

Ce principe explique également que la reconquête forestière du début de l'Holocène a été plus lente dans le Niari qu'ailleurs. Une faune de vertébrés, étudiée par W. Van Neer et R. Lanfranchi dans les années 1980, et comprenant des restes d'animaux de milieux ouverts, dont du rhinocéros noir actuellement disparu du Congo a montré que des végétations de type savane arborée ou forêt claire y ont subsisté jusque vers 7 000 B.P..

Les savanes actuelles résultent de l'action conjointe de l'homme et du climat

Les savanes actuelles du Congo sont apparues *circa* 3 000 B.P.. Elles se distinguent des formations végétales du Pléistocène supérieur (période qui précède l'Holocène et qui inclut les grandes glaciations) par la faiblesse du couvert arboré. A cette époque tous les indicateurs (palynologie, anatomie du bois, $\delta^{13}\text{C}$ des sols) soulignent, malgré leur aspect encore fragmentaire, qu'il s'agissait de savanes arborées et/ou de forêts claires.

L'aspect herbacé des savanes est lié à la pratique des feux courants par les chasseurs. Cette pratique a pour effet d'éliminer les essences non pyro-tolérantes, dont la plupart des ligneux. Elle s'est établie précocement : les enregistrements $\delta^{13}\text{C}$ de paléosols et la découverte de chaumes brûlés nous donnent une date minimale de 2 000 B.P.. En fait, la présence de savanes dans des régions climatiquement favorables à la forêt, et leur aspect herbacé, s'expliquent par la conjonction de trois facteurs :

Lake Sinnda is located in the driest area of Central Africa, the Niari valley, where precipitations amount to about 1 050 mm/year and where the dry season lasts almost 5 months. This lake features a gap in the sedimentation chronology, corresponding to a total dry-up around 3,500/3,900 B.P.. In contrast, sites in forested areas were only affected around 2,800-2,500 B.P. The vegetation of intermediary sites along the coast (carbon-dated with precision) and in the Teke territory (interpolated dating) changed around 3,000 B.P..

When considering the magnitude of the changes in the vegetation, the gradient remains (see figure 2 p. 1) :

- at Lake Sinnda, the climatic drying-up produced extensive open savannas ;
- on the coast and in the Teke territory, some forest remained alongside savannas ;
- on forested sites such as Kitina and Barombi Mbo, enclosed savannas appeared within the forest ;
- at Lake Ossa, slight perturbations of the forest cover occurred, as heliophilous species increase in the records.

Despite the small number of records and the fragmentary data, forest recovery appears to have been slower in the Niari valley than elsewhere. This is attested by the vertebrate fauna studied by W. van Neer and R. Lanfranchi in the eighties, which included remains of open habitat species such as the Black Rhinoceros, today extinct from the Congo. This study showed that savanna or woodland vegetation were present in the Niari valley until 7,000 B.P..

Present-time savannas : a result of the combined action of climatic and human factors

The present Congolese savannas appeared around 3,000 B.P.. Characteristically, this original open vegetation type exhibits a very low tree cover. In contrast, savannas appear to have been more wooded during the upper Pleistocene (the period preceding the Holocene and which included the great glaciations). This is attested by palynology, wood anatomy, and soil $\delta^{13}\text{C}$ indicators, despite the fragmentary nature of the data.

The open nature of the savannas today is linked to the use of grass fires by hunters. This practice eliminates fire-sensitive plants, most of which are woody species. It appeared at an early date : $\delta^{13}\text{C}$ data from palaeosols and the discovery of burnt stubble suggest a minimal age of 2,000 years. Present-time savanna vegetation can be explained by the combination of three factors :

- the palaeoclimatic factor: the upper Holocene drying-up, which triggers the degradation of the vegetation, around 3,000 ;
- the edaphic factor : savannas appeared and maintained themselves in the areas least favourable to forest, where seasonal water stress is the most marked: the Niari valley

La méthode du carbone 13

Le carbone 13 (^{13}C) est l'un des trois isotopes du carbone. Contrairement au ^{14}C , il s'agit d'un isotope stable. Dans l'atmosphère, les molécules $^{13}\text{CO}_2$ coexistent avec les molécules $^{12}\text{CO}_2$, à hauteur d'environ 1,1 % du total du CO_2 . Les plantes utilisent les deux types de carbone lors de la photosynthèse, mais le ^{13}C , un plus plus lourd, est un peu moins absorbé que le ^{12}C . De plus, on observe de légères différences, liées au type de photosynthèse. Les plantes à cycle en C4 (essentiellement des Graminées et Cypéracées tropicales de milieux ouverts) absorbent plus de ^{13}C que les plantes en C3 (pratiquement toutes les autres plantes, dont toutes les essences forestières). Cette discrimination est faible : on l'exprime en unités δ , qui représente, schématiquement, la différence relative avec un standard, exprimé en ‰. L'information $\delta^{13}\text{C}$ de la végétation se transmet, sans grand changement, aux matières organiques des sols. A titre d'exemple :

- le $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques des sols de forêts ombrophiles congolaises (composées exclusivement de plantes C3) varie de -26 à -28 ‰ ;
- celui des savanes (composées essentiellement de graminées C4) varie, selon le pourcentage d'arbustes, de -12 à -18 ‰.

En condition de végétation stable, il n'y a pas de valeurs intermédiaires entre ces deux pôles. On dispose ainsi d'un excellent marquage : les valeurs intermédiaires caractérisent systématiquement les changements de végétation. On peut ainsi mettre en évidence le remplacement d'une forêt par une savane, ou l'inverse, à des échelles de temps qui sont fonction de la vitesse de renouvellement des matières organiques dans les sols. Cette vitesse dépend elle-même de la profondeur et du type de sol analysé (matière organique humifiée des sols ferrallitiques, tourbe, humus enfoui de paléosol, accumulation organique des podzols...).

- un facteur paléoclimatique : l'assèchement de l'Holocène supérieur, qui est le moteur premier de la dégradation de la végétation, circa 3 000 B.P. ;
- un facteur édaphique : les savanes sont essentiellement apparues, et se sont maintenues dans les zones les moins favorables à la forêt, c'est-à-dire celles où les déficits hydriques saisonniers sont les plus importants : vallée du Niari, où faibles précipitations et faible disponibilité de l'eau dans les sols très argileux conjuguent leurs effets ; pays Bateke et littoral, où des pluviosités plus fortes sont compensées par le drainage excessif des sols sableux ;
- un facteur anthropique : les brûlis, pratiqués par les populations de chasseurs et peut-être d'agriculteurs itinérants, qui ont imprimé précocement une marque définitive au paysage que nous connaissons et ralentissent la progression forestière.

Ces trois conditions sont simultanément indispensables. Qu'une seule manque, et le paysage demeure forestier :

- en absence du déclencheur paléoclimatique, les actions

The carbon-13 method

Carbon-13 (^{13}C) is one of the three isotopes of carbon. Unlike ^{14}C , it is a stable isotope. In the atmosphere, $^{13}\text{CO}_2$ molecules exist alongside $^{12}\text{CO}_2$ molecules, to a proportion of about 1.1% of the total CO_2 . Plants make use of both isotopes during photosynthesis, but ^{13}C is a little heavier and slightly less absorbed than ^{12}C . Moreover, small differences can be observed in relation to the type of photosynthesis used. Plants that use the C4 cycle (mostly Poaceae and Cyperaceae from open tropical habitats) absorb more ^{13}C than C3 plants (practically all other plants, including all forest tree species). This slight discrimination is noted in δ units, which correspond roughly to the relative difference with a standard, expressed in ‰. The $\delta^{13}\text{C}$ information contained in the vegetation is passed on with little change to the organic matter of the corresponding soils. In particular:

- the $\delta^{13}\text{C}$ of the organic matter found in the soils of Congolese rain forests (C3 plants only) ranges between -26 and -28 ‰ ;
- in savannas (mainly C4 grasses), it ranges from -12 to -18 ‰, depending on the percentage of woody plants.

In stable conditions, there are no intermediate values between these two figures. We are thus provided with an excellent marker: intermediate values are always characteristic of vegetation changes. In this way, it is possible to detect the replacement of forest by savanna, or the reverse, at time scales which depend on the rate of renewal of organic matter in soils. This rate itself depends on the depth and type of soils analysed (humified organic matter from ferrallitic soils, peat, buried humus of paleosols, organic accumulation of podzols...).

Contact : André Mariotti
Laboratoire Biogéochimie des Isotopes Stables
Université P. et M. Curie - 4, place Jussieu 75005 Paris

(with both low precipitations and low water disponibility in very clayey soils), the Bateke territory and the coast (where higher rainfall is counteracted by excessive drainage through sandy soils) ;

- the human factor : grass fires ignited by hunters, and maybe slash-and-burn agricultural practices, have given its permanent outlook to the landscape.

The above conditions must be met together for savanna to be present. The area would remain forested were one of them not satisfied :

- in the absence of the climatic factor, human activities would have resulted, as can be seen today, in secondary forests and pioneer forest vegetation ;
- in the absence of fire, all savanna expanses would have already been reconquered by the forest, as indicated by the quick progression of forest cover in protected zones ;
- in the absence of favourable edaphic conditions, the land would have probably already been reconquered by the forest, whether burn-beaten or not, as is suggested by the greater extension of enclosed savannas in the past.

anthropiques passées auraient abouti, par le passé comme actuellement, à la constitution de reclus forestiers et de forêts pionnières ;

- en absence de brûlis, toutes les zones de savane auraient déjà été reconquises par la forêt, comme le montre la rapidité de la progression forestière dans les zones mises en défens ;
- en absence de conditions favorables, l'espace aurait également déjà été reconquis par la forêt, malgré les brûlis, comme le suggère la plus grande extension passée des savanes incluses.

Plusieurs conclusions importantes en découlent. Il est clair que les savanes actuelles du Congo ne sont pas des formations qui ont subsisté depuis le dernier glaciaire. D'un autre point de vue, il apparaît qu'il est vain d'opposer, comme cela a été fait dans le passé, les hypothèses paléoclimatiques et anthropiques pour expliquer la présence de savanes dans le contexte précis de l'Afrique centrale. Celles-ci sont réellement la conséquence d'une conjonction de facteurs, même si le forçage paléoclimatique en est nécessairement le facteur initiateur.

Une reprise de l'humidité depuis quelques siècles

Divers indicateurs témoignent d'une reprise de la forêt durant la période la plus récente. Nous relient cette reprise forestière à un retour à des conditions climatiques plus humides. La date de cette réhumidification demeure toutefois imprécise.

La remise en eau du lac Sinnda a eu lieu vers 1 300 B.P., mais un petit épisode sec est enregistré vers 700 B.P.. A Kitina, les mêmes tendances sont perçues aux mêmes dates par le biais des flux sédimentaires (figure 4) ; les savanes incluses y disparaissent vers 500-600 B.P.. Aux mêmes époques, on note dans tout le sud du Congo une reprise de l'érosion qui pourrait être liée à la recrudescence des pluies : abondance d'enfouissement de paléosols depuis 1 500 ans B.P. dans le Mayombe, reprise d'activité des cirques d'érosion de la façade maritime vers 500-600 B.P.. Sur le littoral, une brève oscillation humide est enregistrée sur le site de la Coraf vers 1 500 B.P.. En fait, il semble que l'épisode *circa* 1 500 B.P. ait été une simple oscillation, et que les conditions climatiques actuelles se soient mises en place vers 500-600 B.P.. Ce point reste toutefois à préciser.

La mesure de la progression actuelle de la forêt

La mesure du $\delta^{13}\text{C}$ des matières organiques des sols (voir encart) dans des transects forêt-savane à l'échelle hectométrique a montré que les lisières forestières progressent sur les savanes. Les vitesses de progression actuelle des lisières congolaises ont été évaluées en croisant ces données avec la mesure du temps moyen de résidence de ces matières organiques par le ^{14}C , avec des comparaisons d'archives photographiques et avec

Several important conclusions can be drawn from this. On one hand, Congolese grassland savannas are not relictual savannas which have subsisted since the last Glacial Maximum. They differ in particular in respect to tree cover. On another hand, it appears unhelpful to oppose palaeoclimatic and anthropogenic hypotheses, as it has been done in the past, in order to explain the presence of savanna in the particular context of Central Africa. Central African savannas are the result of a combination of factors, even if the palaeoclimatic curb is necessarily the triggering factor.

A restoration of humid conditions in the last few centuries

Pollen records from Sinnda, Kitina, Ossa and Barombi lakes indicate a recovery of the forest cover during the most recent period. This evolution is confirmed by ^{13}C soil profiles along forest-savanna transects. We link this forest recovery to the restoration of more humid conditions, although the date of this climatic shift is difficult to precise.

Water reappeared in Lake Sinnda around 1,300 B.P., but a brief dry spell occurred again around 700 B.P.. At Kitina, slight changes are recorded around 1,500 B.P., later followed by the resorption of the enclosed savannas around 500-600 B.P.. In the entire southern part of the Congo, more palaeosoil burials have been noted since 1,500 B.P., and in particular during the last thousand years. Along the coast, a brief humid spell occurred on the CORAF site around 1,500 B.P., followed by a regain of activity of erosion cirques around 500-600 B.P. as a result of higher rainfall. The moist episode around 1,500 B.P. thus appears to have been a short-lived oscillation, while present-day climatic conditions began around 500-600 B.P.. This point, however, needs further examination.

The speed of the present progression of the forest

Measures of $\delta^{13}\text{C}$ in the organic matter of soils along forest-savanna transects, on the hundred-metre scale, have showed that forest borders are gaining on savannas. It has been possible to estimate the speed of progression of the Congolese forest borders from the $\delta^{13}\text{C}$ profiles, with ^{14}C measurements of the average residence time of organic matter. These estimates were completed by comparisons of photographic archives and dendrochronologic measurements on African okume trees. Ecological observations (abundance and distribution of heliophilous pioneer species in particular) and measures of $\delta^{13}\text{C}$ variations in soils were remarkably consistent. Estimates range from the rare occurrence of forest borders which have remained stable for more than a century, to the fast progression of some African okume forests at over one hundred metres per century. Between these extremes, rates of a few tens of metres per century are commonplace. These rates seem moderate but, considering the yearly incidence of grass fires, they are

des mesures dendrochronologiques sur des Okoumés. La cohérence entre les estimations de la vitesse et les observations écologiques (abondance et répartition des espèces pionnières héliophiles, en particulier) est frappante. Les situations observées vont de l'existence de rares lisières stables depuis plus d'un siècle, à la progression des forêts à Okoumés à des vitesses dépassant la centaine de mètre par siècle. Entre ces extrêmes, des progressions de quelques dizaines de mètre par siècle sont courantes. Lentes dans l'absolu, ces vitesses sont remarquables quand on considère que les savanes brûlent annuellement. En extrapolant, on peut estimer que, toutes choses égales par ailleurs, la plupart des savanes incluses auront disparu dans un laps de temps de 3-5 siècles. Au Cameroun, des envahissements plus rapides ont été observés sur les 30 dernières années par la comparaison de prises de vue aériennes. Ce processus semble combiner progression des lisières et envahissement généralisé par la forêt de zones complètes de savanes à partir de bosquets ou de fourrés.

De telles vitesses sont-elles compatibles avec la rapidité observée (quelques siècles à quelques millénaires) de la reconquête forestière lors des améliorations climatiques ? Une simple extrapolation (100 m/siècle, donc 10 km en 10 000 ans...) conclurait que non. Mais il est évident qu'on ne peut opposer, en une lecture simpliste de la théorie des refuges, des grands massifs demeurés forestiers distants les uns des autres de plusieurs centaines de kilomètres, à des zones intermédiaires devenues purement savanicoles. Il est certain qu'entre ces massifs ont subsisté des microrefuges, constitués par des galeries forestières, ou des boqueteaux liés à des conditions édaphiques locales. Ce sont ces microrefuges qui ont été le point de départ de la reconquête forestière, et qui ont permis, par coalescence, la reconstitution rapide du manteau forestier. On soulignera également que les vitesses de progression forestière enregistrées actuellement peuvent difficilement être comparées à celles qui ont prévalu aux époques postglaciaires, périodes où la reconquête forestière n'était pas entravée par la pratique des brûlis.

Des changements inscrits durablement dans les écosystèmes

Les perturbations climatiques peuvent s'inscrire durablement dans les paysages. Ainsi, nous avons vu que les savanes du Congo ont un âge d'environ 3 000 ans. Malgré un climat redevenu favorable à la forêt depuis plusieurs siècles, elles n'ont pas disparu, en raison de la pratique généralisée des feux courants. C'est ici un facteur anthropique qui explique la survivance de ces formations "écologiquement aberrantes", pour reprendre une expression d'Aubréville. De même, des types particuliers de forêt constituent des témoins précieux des changements climatiques, à différentes échelles de temps. Les forêts clairsemées à Marantacées, fréquentes en Afrique centrale en lisière de savanes incluses, semblent être liées à une reconquête

remarkable. At this rate, all other things equal, most enclosed savannas will have disappeared within 300-500 years. In Cameroon, faster progressions were noted during the last 30 years by comparing aerial photographs. The process appears to combine the progression of forest borders and the widespread regrowth in the open savanna of tall woody vegetation around thicket clumps.

Are these rates consistent with the speed of forest recovery observed, over a few hundred to a few thousand years, during climatic improvements ? A simple extrapolation (100 m per 100 years implying 10 Km in 10,000 years) would lead to the negative conclusion. It is obvious, however, that one must go beyond a rigid interpretation of the refuge theory. One cannot oppose, on one hand, the large stable forest blocks separated by hundreds of kilometres and, on the other hand, the interlying areas globally attributed to pure savanna. Micro-refuges such as gallery forests or forest clumps determined by local edaphic conditions must have subsisted in-between great forest blocks. It is from such micro-refuges that the recovery of the forest originated, as they expanded and merged to quickly reconstitute the forest cover. It must be also noted that it is difficult to compare present recovery rates of the forest to post-glacial records, as anthropogenic fires did not hamper woody regrowth at that time.

Changes deeply engraved in the ecosystems

Climatic perturbations can leave long-lasting impressions on landscapes. As seen above, the Congolese savannas are about 3,000 years old. Although climatic improvements have taken place a few centuries ago, these savannas have not disappeared, thanks to the widespread use of grass fires. In this case, a human factor is the key to the persistence of this "ecologically aberrant" formation-type, a phrase coined by d'Aubréville. Similarly, some particular forest types offer useful evidence of climatic modifications, on different time scales. A particular type of woodland, associated with Marantaceae herbs and common in Central Africa around enclosed savannas, seem involved in the slow reconstitution of the forest cover. They would characterize areas occupied by savanna a few centuries before. This facies is linked to the obstruction of the woody regeneration by the Marantaceae herbs. Pure African okume stands from Gabon and southern Congo correspond to a faster progression rate, on the 50-100 year scale. *Lophira alata* forests from Cameroon could behave in the same way, as this species displays similar ecological traits to the African okume. The occurrence of Marantaceae woodlands or African okume stands in entirely forested regions thus attests the presence, at one time or another, of enclosed savannas which have been resorbed since. This was clearly demonstrated in the case of the African okume stands of the Congolese Chaillu, using natural ¹³C marking. Other vegetation types

lente de l'espace ; elles caractériseraient des zones qui étaient occupées par des savanes il y a plusieurs siècles. Ce faciès est lié au blocage de la régénération ligneuse par les Marantacées. Les forêts à Okoumés du Gabon et du Congo constituent, quant à elles, un faciès de reconquête à l'échelle de 50-100 ans. Il pourrait en être de même des forêts à *Lophira alata* du Cameroun, cette essence ayant le même comportement écologique que l'Okoumé. La présence de forêts clairsemées à Marantacées ou de forêts à Okoumés dans des régions purement forestières est donc un indice de la présence plus ou moins récente de savanes incluses, aujourd'hui disparues, au sein des massifs forestiers. Ce fait a été formellement démontré pour les forêts à Okoumés du Chaillu congolais en utilisant le marquage naturel en ^{13}C . Les autres formations seront étudiées dans la seconde phase d'ECOFIT.

Des chronologies et des paléoclimats mieux connus ?

Les études menées dans le cadre d'ECOFIT ont donc permis d'affiner la chronologie des paléoenvironnements holocènes d'Afrique Centrale. D'ores et déjà trois périodes apparaissent : un début de l'Holocène humide et forestier, un Holocène supérieur plus sec à mosaïque forêt-savane, et, depuis 5-6 siècles la période actuelle à nouveau plus humide. Cependant, cette chronologie repose plus sur des marqueurs écologiques que sur des enregistrements climatiques directs. Or nous avons montré que les écosystèmes réagissaient plus ou moins vite, et plus ou moins intensément, aux forçages climatiques, selon le niveau de contraintes qui s'exercent sur eux. Il est certain qu'une brève oscillation sèche aura plus de chances d'être répercutée par la végétation qui borde le lac Sinnda (1 050 mm/an) que par celle du lac Ossa (3 000 mm), où elle passera peut-être entièrement inaperçue.

La reconstitution d'une chronologie climatique précise nécessite donc de s'affranchir autant que possible de ce facteur végétation. Les diatomées, algues siliceuses vivants dans les lacs, sont l'un de ces moyens. Elles sont très sensibles aux variations de conditions hydriques, qui est un facteur intégrateur du climat. Les variations dans les flux sédimentaires constituent également un autre moyen d'approcher le bilan hydrique. Les études en cours sur les lacs Ossa, Kitina et Sinnda devraient donc permettre d'affiner la chronologie paléoclimatique de l'Afrique centrale.

Il est également nécessaire de préciser les intensités des changements climatiques entre Holocène inférieur et Holocène supérieur. En effet, celles-ci sont pour l'heure inconnues, et ne peuvent être déduites directement des changements de végétation. Elles n'ont pas été forcément très importantes : un seuil bioclimatique peut être franchi avec une diminution de seulement quelques centaines de mm de pluie par an, ou par l'allongement de quelques semaines de la saison sèche. Cependant l'amplitude et l'extension des perturbations climatiques observées, même dans des sites comme le lac Barombi Mbo ou le lac Ossa, suggèrent qu'elles ont été plus fortes que ce que l'on supposait jusqu'à présent.

will be studied in the course of the second phase of the ECOFIT programme.

Better known time sequences and palaeoclimates?

The different studies undertaken within the framework of ECOFIT have thus helped better understand the evolution of Holocene palaeo-environments in Central Africa. Three main periods can be distinguished: a moist and forested environment in the beginning of the Holocene, a drier upper Holocene with forest-savanna mosaic, and, since 500-600 years, the present period with the restoration of humid conditions. However, this time sequence is based on ecological markers rather than on direct climatic records. We have already seen that ecosystems react differently, in speed and magnitude, to climatic curbs, in relation to the level of constraints they experience. The vegetation of the banks of Lake Sinnda (1,050 mm/year) is undoubtedly more likely to record a brief dry oscillation than the vegetation around Lake Ossa (3,000 mm/year), where such an episode may pass unnoticed.

In order to reconstruct the accurate time sequence of the climatic events, it is important not to depend on vegetation factors. Diatoms, siliceous algae found in lakes, constitute an alternative. They are very sensitive to the variations of hydrologic conditions, which integrate climatic factors. The variations of sedimentary flows are yet another means to apprehend the hydrologic budget. Current studies on Ossa, Kitina and Sinnda lakes should thus help precise the palaeoclimatic chronology of Central Africa.

It is also necessary to precise the magnitude of the climatic alterations between the lower and upper Holocene periods. To this date, they remain unknown and cannot be directly deduced from changes in the vegetation. They need not have been important : a few hundred mm less of rainfall per year or a few weeks added to the dry season may suffice to cross over a bioclimatic threshold. However, the magnitude and extent of the observed climatic perturbations, even on sites such as Lake Barombi Mbo or Lake Ossa, suggest that they may have been stronger than previously believed.

● Contact : Dominique Schwartz
ORSTOM/CEREG - URA CNRS 95
3, rue de l'Argonne
F 67083 Strasbourg cedex

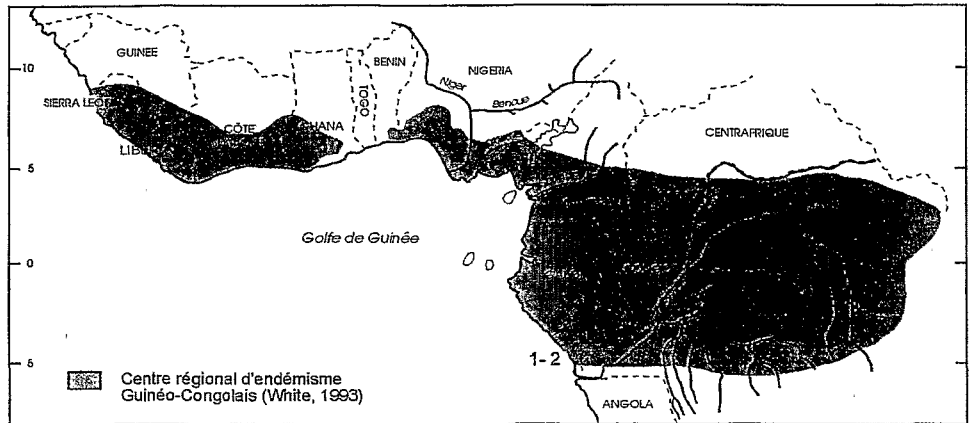
Forêts et savanes d'Afrique centrale : une histoire Holocène mouvementée

Forests and savannas of Central Africa : an eventful Holocene history

Figure 1

Localisation des principaux sites étudiés :

• 1 : CORAF ; 2: Songolo ; 3 : lac Kitina ; 4 : lac Sinnda ; 5 : mare de Ngamakala ; 6 : bois de Bilanko ; 7 : lac Ossa ; 8 : lac Barombi Mbo ; 9 : transects ^{13}C de Kandara. Les analyses du carbone 13 dans les sols du Congo sont réparties dans la zone comprise entre les sites 1 et 6.



Location of the main sites:

• 1: CORAF; 2: Songolo; 3: Kitina lake; 4: Sinnda lake; 5: Ngamakala pond; 6: Bilanko wood; 7: Ossa lake; 8: Barombi Mbo lake; 9: Kandara ^{13}C transects. The ^{13}C analyses of the Congo soils are localised between sites 1 and 6.

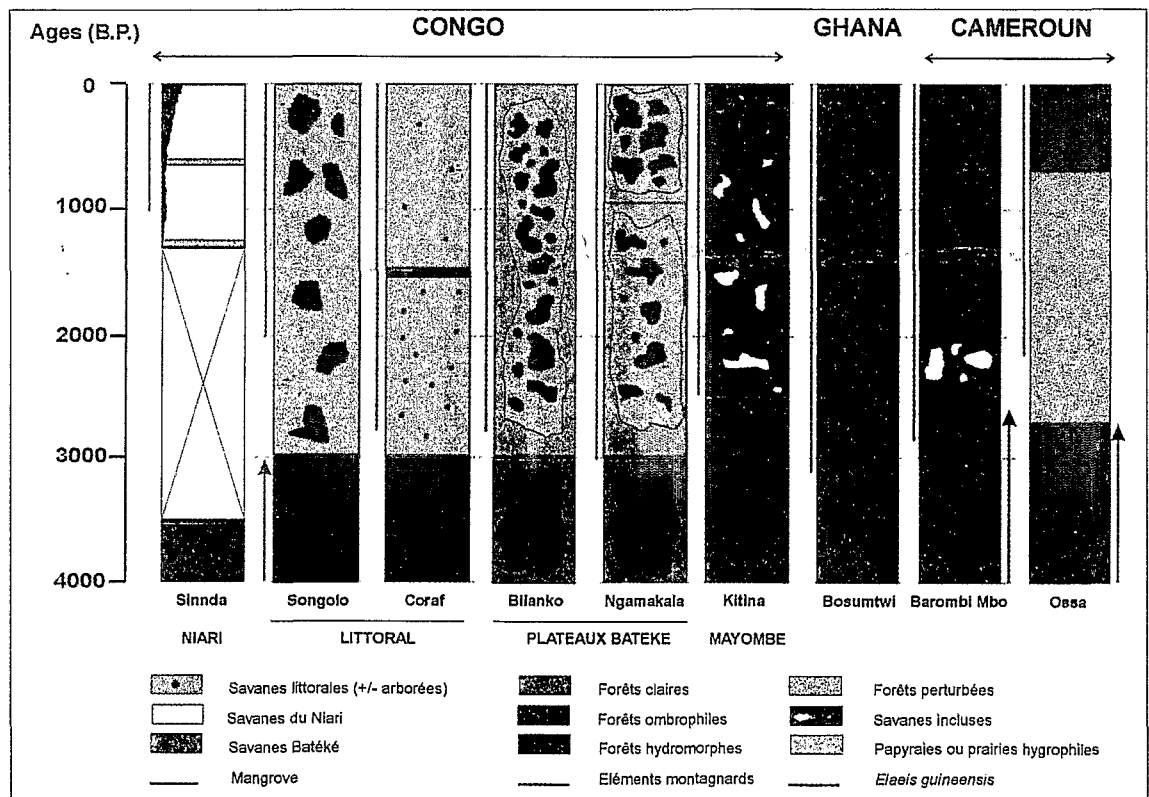


Figure 2

Enregistrements palynologiques dans les principaux sites d'Afrique centrale atlantique (+ Bosumtwi au Ghana). Sur cette figure les sites sont représentés en fonction de la pluviosité actuelle, du plus sec à gauche (lac Sinnda au Congo, 1 050 mm/an), au plus humide (lac Ossa au Cameroun, 3 000 mm/an). Il y a une relation nette entre la pluviosité actuelle et l'intensité et l'âge des changements de végétation : les milieux qui sont actuellement les plus fragiles l'ont également été tout au long de l'Holocène. Synthèse établie par A. Vincens, (LGQ/Cerege, Aix-en-Provence) à partir des données palynologiques collectées par P. Brenac, H. Elenga ; J. Maley ; A. Reynaud-Farrera et A. Vincent.

Pollen records from the main sites of Atlantic Central Africa (also from Bosumtwi in Ghana). Sites are presented in order of their respective annual rainfall, from the driest site (Lake Sinnda in the Congo, 1,050 mm/year) on the left, to the most humid (Lake Ossa in Cameroon, 3,000 mm/year) on the right. There is a clear relationship between annual rainfall and dates of changes in the vegetation: the most sensitive habitats today are the same which have remained the most sensitive throughout the Holocene. Synthetic document established by A. Vincens from palynological data collected by P. Brenac, H. Elenga, J. Maley, A. Reynaud-Farrera and A. Vincent.

Lettre pigb-pmrc-france



Changement global

PROGRAMME INTERNATIONAL GÉOSPHERE BIOSPHERE (PIGB)
PROGRAMME MONDIAL DE RECHERCHES SUR LE CLIMAT (PMRC)

INTERNATIONAL GEOSPHERE BIOSPHERE PROGRAMME (IGBP)
WORLD CLIMATE RESEARCH PROGRAMME (WCRP)

French IGBP-WCRP Letter

mai 1997

n° 6

Edito

Marie-Lise Channin

Service d'Aéronomie - CNRS, Verrières-Le-Buisson

Sommaire

Editorial1

Le programme IMAGES et la
variabilité rapide du climat et
de la circulation océanique
*The IMAGES programme and the
rapid variability of climate and
ocean circulation*4

Le Programme ECOFIT
The ECOFIT Programme12

Forêts et savanes d'Afrique
centrale : une histoire
Holocène mouvementée
*Forests and savannas in Central
Africa : an eventful Holocene
history*14

La forêt en Amazonie : une
histoire Holocène également
mouvementée
*Forest in Amazonia : an equally
eventful Holocene history*23

La biodiversité tropicale :
mémoire des changements
passés
*Tropical biodiversity : memory of
past changes*30

L'opération JGOFS-
Modélisation
JGOFS-Modélisation39

La campagne SEMAPHORE
*The SEMAPHORE
experiment*49

Annonces61

Comprendre, prévoir, évaluer les incidences : objectif du Comité national français sur les Changements Globaux

Le Comité français du PIGB a été créé en 1988, suivant ainsi le souhait du Programme International Géosphère-Biosphère (PIGB) d'établir des Comités Nationaux dans chaque pays participant au Programme. Jean-Claude Duplessy en a été nommé Président et a assuré cette responsabilité pendant 7 années. Dès l'origine il a pris l'initiative tout à fait justifiée et souhaitable de regrouper sous l'égide de ce Comité l'ensemble des recherches relevant tant du PIGB que du PMRC, qui à l'époque étaient les deux programmes internationaux étudiant le changement global. Le troisième programme incluant les aspects socio-économiques du changement global a nécessité plusieurs années pour se définir, tout d'abord sous la forme du projet de Programme sur la Dimension Humaine (HDP). Mais ce n'est qu'en 1996 que le Programme International sur la Dimension Humaine du changement global (PIDH), a été accepté sous le double parrainage du Conseil International des Sciences Sociales et du Conseil International des Unions Scientifiques.

Understand, forecast, evaluate the incidences Objective of the French National Committee for Global Change (FNCGC)

The French IGBP Committee has been created in 1988, fulfilling the wish of IGBP to establish in each participating country a National IGBP Committee. Jean-Claude Duplessy was named President and kept this position for the last 7 years. Since the beginning he took the justified and wise initiative to include under the aegis of the Committee all the research relevant of both IGBP and WCRP, which at that time were the 2 established international programmes within the Global Change issue. The third programme dealing with the socio-economic aspects took more time to be defined and after a preliminary HDP project, it is only in 1996 that the International Human Dimension Programme (IHDP) was accepted under the auspices of the International Council of Social Sciences and the International Council of Scientific Unions.

Recently named president of the French IGBP Committee, it falls under my responsibility to take into account the existence of this new programme and to welcome in the committee representatives of the social sciences. This new structure exists already in most countries. The new name of French National Committee for Global Change (FNCGC), reflects this new situation and corresponds to the coordinating role of the Committee for the national components of the three international programmes WCRP, IGBP and IHDP.