DYNAMIQUE À LONG TERME DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS INTERTROPICAUX

Paris, France 20 - 21 - 22 Mars, 1996

symposium

CNRS — ORSTOM

DYNAMIQUE À LONG TERME DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS INTERTROPICAUX

Paris, France 20 - 21 - 22 Mars, 1996

symposium

résumés

Symposium organisé par le programme ECOFIT avec l'appui des institutions suivantes

CNRS-Programme Environnement - Vie et Sociétés
ORSTOM - Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
Ministère des Affaires Étrangères

Programme CNRS-ORSTOM "Écosystèmes et Paléoécosystèmes des Forêts Intertropicales"
ECOFIT
Centre de Recherche d'Ile de France 32, avenue Henri Varagnat, 93141 Bondy cedex - France
☎ 48 02 55 00 - fax 48 47 30 88

Conception maquette, réalisation N. Zerbib - ORSTOM Bondy

SOMMAIRE

Thème I - Le cadre climatique actuel 11

• ***Poster***

13 Stabilité de la variabilité pluviométrique de l'Afrique tropicale entre 1951 et 1988
S. Bigot, P. Camberlin, V. Moron, Y. Richard et P. Roucou

17 La variabilité interannuelle des précipitations en Bolivie
J. Ronchail

• ***Conférence***

21 Observation et simulation de la variabilité inter annuelle des précipitations en Afrique et en Amérique tropicale
P. Roucou, S. Bigot, P. Camberlin, B. Fontaine, V. Moron, Y. Richard, J. Ronchail, A. Santiago, S. Trzaska

• ***Poster***

27 L'influence des formations végétales sur la convection dans la zone de contact forêt-savane au Cameroun. Traitement et analyse d'images
A. Santiago-Jegaden

31 Approche diagnostique et numérique de l'influence du gradient thermique atlantique en situation ENSO sur la variabilité de la circulation de mousson boréale
S. Trzaska, V. Moron, B. Fontaine

Thème II - Indicateurs écologiques, géochimiques et sédimentologiques des écosystèmes 35

• ***Poster***

37 Les phytolithes, marqueurs paléogéographiques.
A. Alexandre, J.D. Meunier, A. Vincens , F. Soubiès, J. Pironon

39 Dendrochronologie et Okoumé (Congo).
Ch. Belingard, L. Tessier, Ch. de Namur, D. Schwartz

43 Application de la minéralogie quantitative à des reconstructions paléoenvironnementales : l'exemple du lac de la "Lagoa Campestre", Salitre, Minas Gerais, Brésil.
J. Bertaux, M.P. Ledru, F. Soubiès, F. Sondag

• ***Conférence***

47 Critères biologiques et histoire des massifs forestiers. Indicateurs des changements climatiques passés dans les écosystèmes forestiers vivants
P. Blanc, F. Kahn

• ***Poster***

53 Histogramme des peuplements en forêts tropicales à partir d'images prises au sol.
M.A. Dubois, B. Riera

55 Les andosols noirs d'altitude : matériaux bioformes traceurs des végétations passées.
D. Dubroeucq, M.P. Ledru

57 Apport des études morphostructurales à la connaissance des mosaïques forestières des grandes plaines alluviales (Ucayali inférieur, Pérou).
J.F. Dumont, M. Fournier

• Poster

59 Etude des relations pollen-végétation dans le Mayombe Congolais d'après les analyses statistiques.
H. Elenga, Ch. de Namur, M. Roux

63 Le contenu pollinique de l'atmosphère dans les forêts sud camerounaises près de Yaoundé.
A Fredoux, J. Maley

• Conférence

65 Les isotopes stables du carbone, marqueurs biologiques de la dynamique des paléoenvironnements continentaux
A. Mariotti

• Poster

71 The carbon isotopes in soils of Rondonia-Amazon region and relations with the ecosystem forest/cerrado.
L.C.R. Pessenda , M.B.M. Gomes, R. Aravena, A.S. Ribeiro, R. Boulet

73 Etude statistique de la sédimentation pollinique actuelle dans le Sud Cameroun : application aux dépôts holocènes du lac Ossa.
I. Reynaud-Farrera

• Conférence

75 Relations statistiques pluie pollinique - végétation en forêt tropicale africaine.
M. Roux, G. Achoundong , H. Elenga Ch. de Namur, I. Reynaud-Farrera , A. Vincens

• Poster

77 Analyses factorielles des correspondances sur la végétation dans quelques stations forestières (Mayombe congolais).
M. Roux , C. de Namur

83 Opal phytoliths in plants from humid and semi-arid East of Africa and their significance as a tool in paleoecological research.
F. Runge

85 Les cycles de retombées foliaires en forêt dense, une réponse adaptative au type de saison sèche
D. Schwartz

89 Le $\delta^{13}C$ des principales graminées et cypéracées du Congo. Conséquences pour les études isotopiques des savanes et forêts d'Afrique Centrale.
D. Schwartz, A. Mariotti

• Conférence

93 Relations statistiques diatomées/milieux aquatiques et application à l'estimation des paleo-niveaux lacustres
S. Servant-Vildary, F. Nguetsop, M. Roux, I. Reynaud-Farrera, M. Servant, D. Wirmann

• Poster

95 Marqueurs pédologiques, sédimentologiques et géochimiques de paléo-environnement à Salitre (Minas Gerais, Brésil).
F. Soubiès, J. Bertaux, F. Sondag

• Conférence

101 Feux, sols et écosystèmes forestiers tropicaux.
Ch. Tardy, M.E. Solari, J.L. Vernet, L. Wengler, R. Scheel

• ***Poster***

105 Etudes Phytolitariennes : introduction générale.
L. Vrydaghs, F. Runge , H. Doutrelepont, H. Beeckman, E. Roche, J.P. Sutra, S. Aravajy, S. Prasad

Thème III - Dynamique de la limite forêt-savane durant les dernières décennies, les derniers siècles et les derniers millénaires **109**

• ***Poster***

111 Palynological records of Holocene in the Northern amazon basin.
M.L. Absy, M. Servant, A.C. Marques-Souza, I.P. Miranda, I. Miranda, U.S. Orlando,

115 Formation et évolution des recrus sur savanes.
G. Achoundong, J. Youta-Happi , J. Bonvallot, B. Guillet

121 Etude de cas : L'avifaune de la région Tikar (Cameroun).
F. Baillon

123 Indices botaniques et anthracologiques en contextes archéologiques sur le contact forêt/savane au Cameroun (Pays Tikar).
M. Delneuf

125 Dynamique de la limite forêt/savane dans le Nord de l'Amazonie brésilienne au cours de l'Holocène, mise en évidence par l'étude de l'abondance naturelle en ^{13}C de la matière organique du sol.
Th. Desjardins, A. Carneiro Filho , A. Chauvel, A. Mariotti, C. Girardin

129 *Chromolaena odorata*, transgression forêt/savane et système agraire des Tikar dans le haut Mbam (Cameroun Central).
E. Dounias (ORSTOM, Yaoundé)

133 Recherche archéologique dans la limite forêt-savane. Prospection et inventaire des sites (pays Tikar et voute).
M. Elouga

139 Une problématique de sciences humaines dans le programme ECOFIT-Cameroun dans la région de Ndiitam (200 km au Nord de Yaoundé).
A. Froment , M. Delneuf, E. Dounias, F. Baillon, S.C. Wang Sonne, Abega S.C., L. Mebenga Tamba

• ***Conférence***

145 Les limites forêt-savane en Afrique centrale occidentale : structure et dynamique récente de la forêt
B. Guillet, G. Achoundong, J. Bonvallot, T. Desjardins, Y. Happi, V. Kamgang-Beyala, A. Mariotti, C. de Namur, D. Schwartz

• ***Poster***

149 Preuves pédologiques de l'avancée de la forêt sur la savane au Cameroun : contribution de la géochimie organique et isotopique.
B. Guillet, O. Maman , A. Mariotti, C. Girardin, D. Schwartz

155 Essai d'interprétation de la dynamique de la mosaïque forestière dans la zone de contact forêt/savane du Sud-Est Cameroun.
V. Kamgang Beyala , G.E. Ekodeck, G. Achoundong

157 Influence de l'installation des prairies d'âge croissant sur la dynamique matières organiques et l'agrégation des sols d'Amazonie orientale.
L.S. Koutika, F. Andreux, F. Bartoli , Th. Choné, G.Burtin, R. Philippy

• *Poster*

159 Dynamique de la végétation sur l'inselberg des Nouragues (Guyane française) à différentes échelles de temps (pluriannuelle à plurimillénaire).
D. Larpin, C. Sarthou, Ch. Tardy

163 La relation homme/milieu dans la Réserve de la Lopé (Gabon) au cours de l'Holocène; les implications sur l'environnement.
R. Oslisly, L.White

167 Apports de la télédétection à l'étude de la reconquête forestière dans quelques savanes de l'Afrique de l'Ouest.
H. Puig, A.K. Guelly

• *Conférence*

171 Landscape dynamics of the rain forest/savanna-border from 1955 to 1990 evidenced by aerial photographs and LANDSAT-TM data in northern Zaire.
J. Runge, M. Neumer

175 Les limites forêt-savane en Afrique centrale et en Amazonie brésilienne : approche aux échelles millénaires et séculaires
D. Schwartz, M.L. Absy, A. Carneiro Filho, A. Chauvel, R. Dechamps, H. Elenga, A. Fabing, C. Girardin, B. Guillet, R. Lanfranchi, J. Maley, A. Mariotti, M. Tsalefac, A. Vincens

• *Poster*

179 Les savanes d'Afrique Centrale : des écosystèmes à l'origine complexe, spécifiques de l'Holocène supérieur.
D. Schwartz, R. Dechamps, H. Elenga, A. Mariotti, A. Vincens

183 Une évaluation de la vitesse de progression des lisières forestières sur les savanes : trois études de cas au Congo.
D. Schwartz, A. Mariotti, Ch. de Namur, H. de Foresta

187 Histoire et dynamique actuelle des cirques d'érosion du littoral d'Afrique Centrale. Une étude de cas : les cirques du littoral ponténégrin (Congo).
L. Sitou, D. Schwartz, M. Mietton, J. Tchicaya

193 Originalité climatique de la zone de contact forêt/savane au Cameroun déterminée par les données conventionnelles et satellitales.
M. Tsalefac, J.P. Lahue, B. Guillot, B. Lengue Fobissie

• *Conférence*

195 L'Okoumé (Aucoumea Klaineana) : expansion et déclin d'un arbre pionnier en Afrique Centrale au cours de l'Holocène.
L. White, K. Abernethy, R. Oslisly, J. Maley

• *Poster*

199 La disparition des savanes au Centre-Cameroun entre 1950 et 1990.
J. Youta-Happi, J. Bonvallot

201 Limites climatiques et zone de contact forêt/savane du Sud-Cameroun
A. Zogning

Thème IV - Dynamique de la mosaïque forestière durant les dernières décennies, les derniers siècles et les derniers millénaires 203

• ***Poster***

205 Les Rinorea et l'étude des refuges forestiers en Afrique
G. Achoundong

209 Pollen data from Bananal (middle valley of Rio Paraiba do Sul SP/RJ, Brazil) - Pleistocene/Holocene boundary.
M.A. Barros, O.M. Barth, C.L. Mello, J.R.S. Moura

213 Enregistrement sédimentologique de la phase sèche d'Afrique équatoriale C. 3 000 BP par la spectrométrie IR dans les lacs Sinnda et Kitina (Sud-Congo).
J. Bertaux, A. Sifeddine, D. Schwartz, A. Vincens, H. Elenga

217 Syndromes de dispersion des plantes de sous-bois et âge des massifs forestiers.
P. Blanc

219 Evolution du couvert forestier ivoirien sur la période 1950-1990, en relation avec la variabilité du climat et les activités anthropiques.
T. Brou Yao, E. Servat, J.E. Paturel

• ***Conférence***

223 Incidents climatiques et modifications de l'écosystème depuis 3000 ans en Guyane française
P. Charles-Dominique, M.L. Absy, M.P. Ledru, B. Riéra, M. Servant et B. Turcq

• ***Poster***

229 Caractérisation des milieux forestiers passés, en Guyane, par l'analyse des graines et des plantes pionnières dans un carottage.
P. Charles-Dominique, S. Jouard

233 Evolution des relations spatiales entre forêt et agriculture. Vietnam, Province de Lâm-Dong 1955-1995
S. Darracq, B. Rollet

• ***Conférence***

235 Patterns of tree species diversity in view of soil and landscape differentiation and the quaternary history of NW Amazonia
J. F. Duivenvoorden, J.M. Lips

• ***Poster***

237 Phases d'ouvertures de la forêt guyanaise détectées par l'analyse palynologique au cours de l'Holocène.
M.P. Ledru

239 Estudos palinológicos na Lagoa de Cima, Rio de Janeiro, Brasil.
C.F.P. da Luz, O.M. Barth, L. Martin, B.Turcq, J.M. Flexor

243 Variations hydrologiques du lac Ossa (Ouest Cameroun) au cours des 5 000 dernières années à partir des diatomées.
F. Nguetsop, S. Servant-Vildary

245 Evolution de la végétation et du climat du Sud-Ouest Cameroun depuis 8 200 ans B.P. d'après l'analyse palynologique de sédiments lacustres (lac Ossa).
I. Reynaud-Farrera

• **Poster**

247 *Eperua falcata* : un cas de distribution spatiale en relation avec les changements climatiques récents.
B. Riera

249 Megatransect LIBCI (400 km) : modélisation en continu du gradient floristique arborescent dans les forêts de plaine du SE Libéria et SW Côte d'Ivoire.
R.S.A.R. Van Rompaey

251 Environmental and climatic history of the eastern Kivu area (Zaire) from 30 ka to present.
J. Runge

253 Evidence de deux phases de formation dans les "mega" tourbières dérivées de forêts pluviales de Bornéo.
G. Sieffermann, M. Fournier, J.O. Rieley, S.E. Page

257 10 000 ans d'histoires de la forêt amazonienne enregistrées par les indicateurs sédimentologiques : site Carajas (Brésil).
A. Sifeddine, B. Turcq, R. Cordeiro, L. Martin, J. Bertaux, F. Soubiès, K. Suguio, M.A. Courty

261 La sédimentation du lac Caracaranã (Nord de l'Amazonie Brésil) : résultats préliminaires et implications paléoenvironnementales au cours de l'Holocène.
F. Simões Filho, J. Bertaux, A. Sifeddine, B. Turcq, L. Martin, A. Carneiro-Filho, A. Chauvel, Th. Desjardins

265 Indicateurs paléoécologiques/Marqueurs d'anciennes perturbations liées au feu : les charbons de bois fossiles de la région des Nouragues - Guyane française.
Ch. Tardy

269 Identification de périodes de paléoincendies en Guyane française liés à des péjorations climatiques durant l'Holocène : 10 000 - 8 000 B.P., 6 000 - 4 000 B.P. et 2 000 - 1 500 B.P.
Ch. Tardy, S. Jeremie, S. Vacher

271 Pollen analysis of sediments from the lagoa Salgada, Rio de Janeiro, Brazil.
M.B. Toledo, M.A. Barros, O.M. Barth, R.M.T. Lemos, C.G. Silva

275 Dynamique à long terme de la forêt tropicale dans la région de Carajas, Amazonie Orientale.
B. Turcq, RC. Cordeiro, M.L. Absy, Th. Desjardins, M. Ferreira da Silva, M. de L.P. Ruivo, M.E. Sales, L. Martin, A. Sifeddine, K. Suguio

• **Conférence**

277 Évolution des forêts tropicales d'Amérique du Sud et d'Afrique centrale atlantique à l'échelle des 20 000 dernières années
B. Turcq, A. Vincens, M.L. Absy, J. Bertaux, M.P. Ledru, M. Servant, A. Sifeddine, J.P. Ybert, H. Elenga, J. Maley, D. Schwartz

• **Poster**

281 Feux, climats et végétations au Brésil central durant l'Holocène : les données d'un profil de sol à charbons de bois (Salitre, Minas Gerais).
J.L. Vernet, L. Wengler, M.E. Solari, G. Ceccantini, M. Fournier, M.P. Ledru, F. Soubiès

• **Conférence**

287 Evolution de la forêt tropicale en Afrique équatoriale atlantique durant les 4 000 dernières années et héritage sur les paysages végétaux actuels.
A. Vincens, A. Alexandre, J. Bertaux, R. Dechamps, H. Elenga, J. Maley, A. Mariotti, J.D. Meunier, F. Nguetsop, I. Reynaud-Farrera, D. Schwartz, S. Servant-Vildary

• ***Poster***

291 Histoire des écosystèmes forestiers du Sud-Congo depuis 6 000 ans.
A. Vincens, H. Elenga , D. Schwartz, Ch. de Namur, J. Bertaux, M. Fournier, R. Dechamps

295 Données préliminaires sur l'évolution paléoécologique et paléoclimatique holocène dans la région moyenne du Rio Doce (Minas Gerais, Brésil) d'après l'analyse palynologique de deux carottes du lac Dom Helvécio.
J.P. Ybert, B. Turcq, A.L.S. Albuquerque

Thème V - Changements des forêts tropicales, changements climatiques régionaux et changements globaux **299**

• ***Poster***

301 La biodiversité dans la reconquête forestière post-culturale.
Ph. Daget, A.K. Guelly

• ***Conférence***

305 Flux et paléoflux de carbone des forêts tropicales.
H. Faure , L. Faure-Denard, J. Adams

• ***Poster***

307 Source et puits du carbone au Sud-Cameroun, enregistrements lacustres et océaniques, évolution à long terme.
P. Giresse, J. Maley, S. Ngos

309 Hypothèse d'un déterminisme climatique de la transformation d'une couverture pédologique en Guyane française. Conséquences sur les relations sol-peuplement arboré.
M. Grimaldi, D. Sabatier, C. Grimaldi, M.F. Prevost

• ***Conférence***

313 Utilisation de modèles de végétation pour comprendre les changements de végétation passés
D. Jolly

• ***Poster***

317 Les effets possibles d'un changement climatique modéré sur la forêt tropicale humide à l'instar des perturbations anthropiques
F. Kahn

• ***Conférence***

321 Variations de la végétation et des paléoenvironnements en forêt dense africaine au cours de l'Holocène. Impact de la variation des températures marines de surface.
J. Maley, P. Brenac, S. Bigot, V. Moron

• ***Poster***

325 A plausible link between the 018/016 ratio recorded in the Quelccaya ice core and the Pacific and Atlantic ocean temperature anomalies.
J.L. Melice, P. Roucou

Index des Auteurs **327**

THÈME 1

Le cadre climatique actuel

STABILITÉ DE LA VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE DE L'AFRIQUE TROPICALE ENTRE 1951 ET 1988

Sylvain BIGOT, Pierre CAMBERLIN*, Vincent MORON*
Yves RICHARD* et Pascal ROUCOU**

❖ MOTS-CLÉS

Afrique intertropicale, variabilité pluviométrique, échelle inter-annuelle, cohérence spatiale, stabilité temporelle.

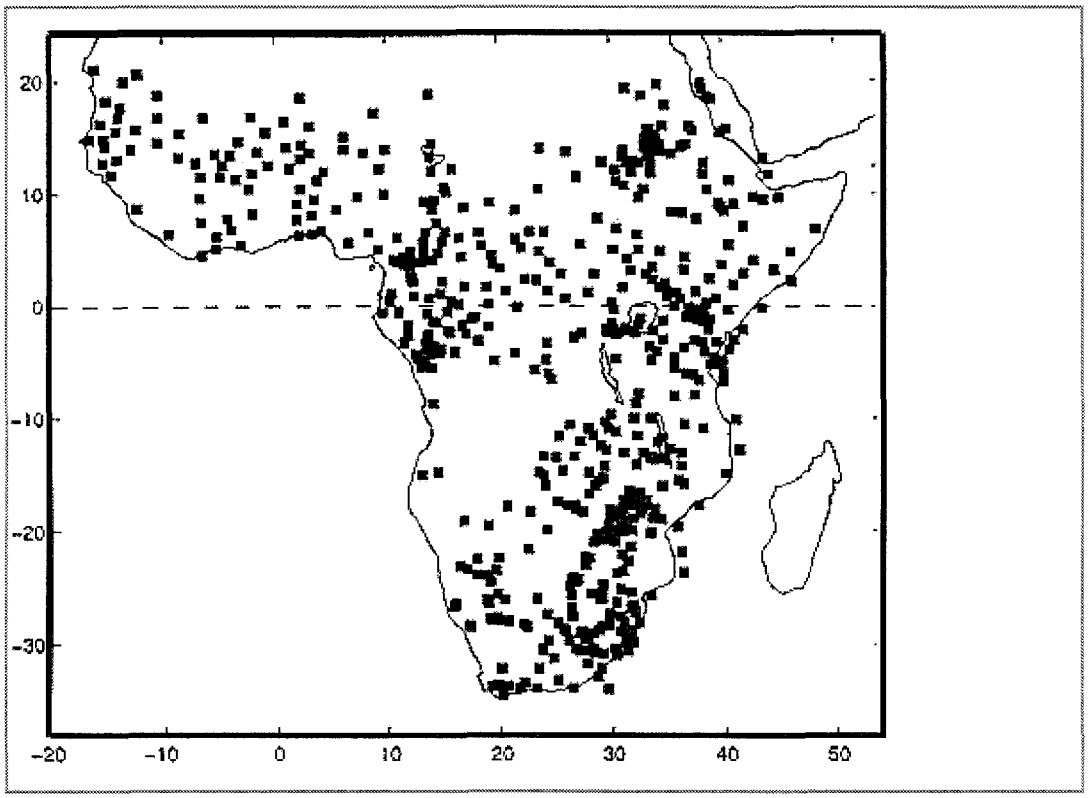
❖ RÉSUMÉ

De nombreux auteurs ont déjà mis en évidence certains modes de la variabilité pluviométrique africaine (Nicholson, 1986). Les principaux résultats indiquent une forte cohérence spatio-temporelle des variations pluviométriques de la zone sahélienne. A l'inverse, plusieurs régions restent mal analysées dans ces travaux, surtout après le milieu des années 70. Le premier but de notre étude est donc d'améliorer la documentation pluviométrique de l'Afrique intertropicale afin d'analyser sa variabilité. Un autre objectif est ensuite d'établir la stabilité dans le temps des structures spatiales des précipitations, en particulier de part et d'autre de 1968, date à laquelle s'est développée une période très sèche en zone sahélienne.

Pour réaliser ce travail, une base de données pluviométriques a été établie sur l'Afrique au sud du Sahara. Ce fichier principal compile en fait quatre fichiers stationnels régionaux respectivement réalisés sur l'Afrique de l'Ouest, l'Afrique Orientale, l'Afrique Australe et l'Afrique Centrale. Une grande partie de ces données sont originales, en particulier pour des espaces où la couverture stationnelle est généralement faible (bassin du Congo et Corne de l'Afrique) (Moron *et al.*, 1995). Après vérification des données et suppression des stations redondantes, on choisit de travailler sur la période 1951-88. A partir de ces séries sont calculés les cumuls annuels compris entre octobre année 0 et septembre année + 1 (par exemple octobre 1951 à septembre 1952). A la différence de totaux pluviométriques établis selon l'année civile, cette solution permet de ne pas couper aléatoirement la période des précipitations tropicales australes. D'autre part, afin d'harmoniser la couverture spatiale des stations, certaines d'entre elles ont été exclues des noyaux de plus forte densité. La base de données comporte finalement 466 stations, chacune ayant moins de 10% de données manquantes. Les résultats des analyses statistiques sont identiques, qu'elles soient réalisées sur le fichier stationnel ou sur une grille régulière de 3°x3°. Cela montre que l'anisotropie spatiale ne dégrade pas significativement les résultats.

* Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne, 21000 Dijon

Ensuite, grâce à une série d'analyses statistiques (Analyse en Composantes Principales), les principales structures spatiales de la période 1951-88 sont extraites. Cinq modes cohérents apparaissent, respectivement la zone soudano-sahélienne, l'Afrique de l'Est, l'Afrique Australe, le bassin du Zambèze et le golfe de Guinée. Le même type d'analyses est ensuite répété sur des sous-périodes afin d'établir la stabilité et l'homogénéité de ces cinq modes. Ainsi, les modes changent peu entre 1951-66 et 1967-88 sauf en zone soudano-sahélienne où la structure spatiale est beaucoup moins homogène. La forte cohérence spatiale observée sur cette région durant les quatre dernières décennies est donc en fait surtout due à la transition climatique intervenue en 1968-69. Des analyses réalisées à partir d'échantillons regroupant d'une part, les années El Niño Southern Oscillation (ENSO) et d'autre part, les années La Niña Southern Oscillation (LNSO) indiquent que les modes spatiaux de la variabilité pluviométrique africaine semblent relativement indépendants des anomalies des Températures de Surface Océanique de l'océan Pacifique, sauf en Afrique du Sud (Bigot *et al.*, 1995).



Réseau pluviométrique stationnel utilisé (1951-88)

❖ BIBLIOGRAPHIE

BIGOT, S., CAMBERLIN, P., MORON, V., RICHARD, Y., ET ROUCOU, P., 1995: Modes of rainfall variability in tropical Africa and their stability through time. *"21st Conference on Hurricane and Tropical Meteorology"*, 24-28 avril 1995, Miami, AMS Ed., Boston (EU), 448-449.

MORON, V., BIGOT, S., and ROUCOU, P., 1995: Improvement of the knowledge on rainfall variability in subequatorial America and Africa and relationships with the main SST modes (1951-1990). *Int. J. of Climato.*, 15, 1297-1322.

NICHOLSON, S.E., 1986: The spatial coherence of african rainfall anomalies: interhemispheric teleconnections. *J. of Climate and Applied Meteo.*, 25, 1365-1381.

LA VARIABILITE INTERANNUELLE DES PRECIPITATIONS EN BOLIVIE

*Josyane RONCHAIL**

La variabilité inter annuelle des précipitations en Bolivie prend deux aspects:

✓ D'une part, on observe dans tout le pays un mode de variation pluridécénnal, avec une sécheresse relative dans les années 1950 et 1960 et des pluies en excès dans les années 1970 et 1980 (fig. 1); ce mode, bien marqué dans la plaine (fig. 1B), est moins net dans les Andes (fig. 2A) à cause de la variabilité liée à l'ENSO.

Cette structure pluviométrique en opposition de phase avec celle observée au Sahel pourrait être liée à une variation pluridécénnale et dipolaire des températures de surface de l'océan Atlantique (Folland *et al.*, 1986; Lamb *et al.*, 1986; Roucou & al., 1995).

✓ D'autre part, une variabilité liée à l'ENSO s'ajoute à la précédente: durant une phase négative de l'ENSO, le déficit de la saison des pluies dans les Andes est confirmé (Francou *et al.*, 1985; Aceituno, 1988) tandis que les pluies restent proches de la normale dans la plaine (fig. 2A et 2B); on suppose que l'effet négatif de l'anomalie positive de subsidence qui se produit sur le nord du continent sud-américain en phase négative de l'ENSO (Aceituno, 1988, 1989; Marengo *et al.*, 1993, Moron *et al.*, 1995) pourrait être compensé dans la plaine par l'effet positif d'un renforcement de la circulation des fronts froids (Kousky *et al.*; 1984; Aceituno, 1988; Hastenrath, 1991). Ceux-ci pourraient aussi contribuer aux excédents pluviométriques d'une partie de la saison sèche suivante.

* Département de Géographie, Université Paris 7, Place Jussieu, 75005 Paris, France,
Laboratoire de Météorologie Dynamique, CNRS, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau, France

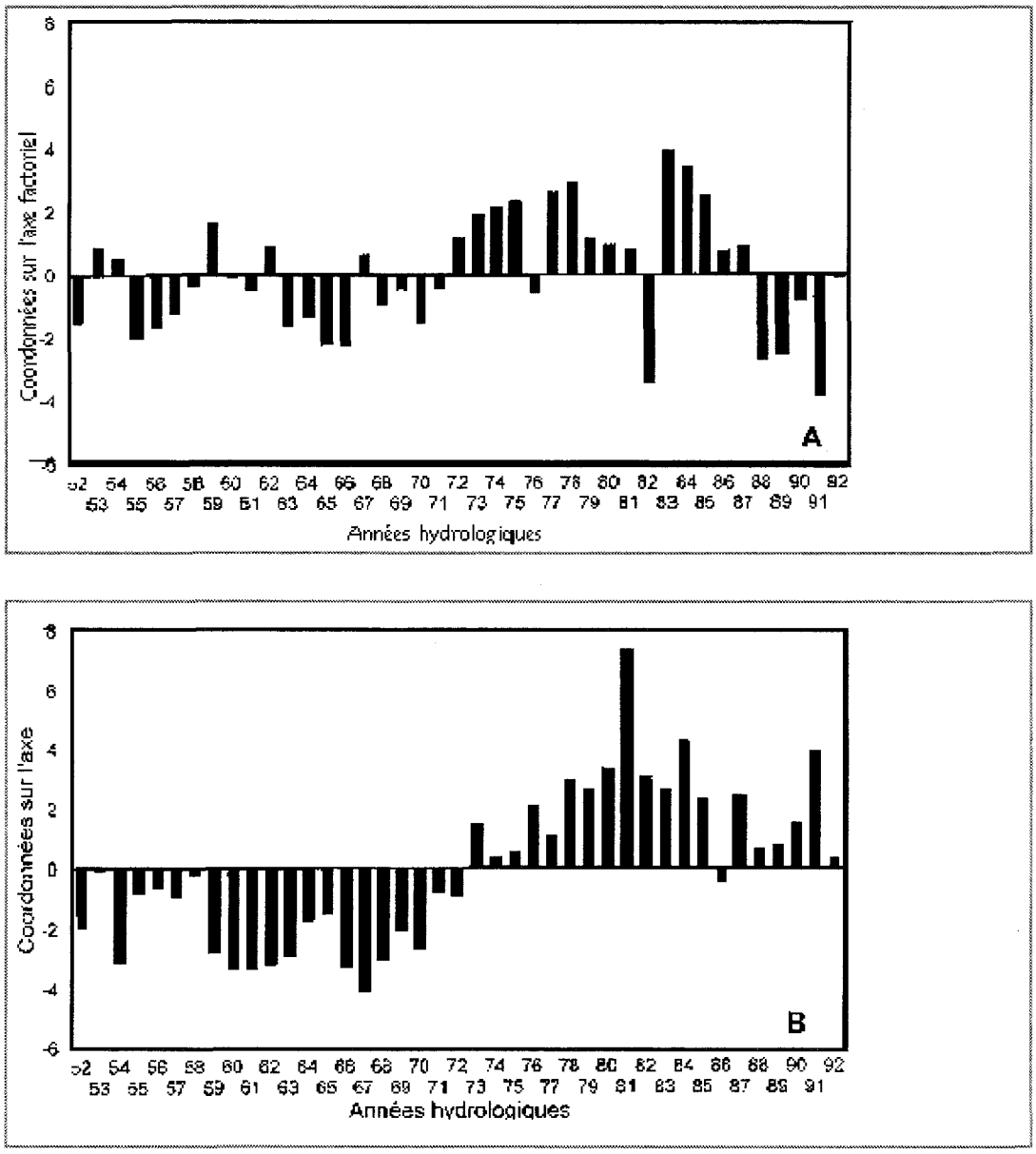


Figure I: Premiers axes temporels d' Analyses en Composantes Principales réalisées sur les totaux annuels de précipitations (octobre-septembre) de A) 6 stations andines et B) 18 stations de plaine (1952/53- 1992/1993). Ces axes résument respectivement 59 et 38% de la variance

❖ BIBLIOGRAPHIE

ACEITUNO, P., 1988. On the functionning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1: Surface climate. *Monthly Weather Review*, 116: 505-524.

ACEITUNO, P., 1989. On the functionning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part II: Upper-air circulation. *Journal of Climate*, 2: 341-355.

FOLLAND, C.K., PALMER T.N.& PARKER D.E, 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901-1985. *Nature*, 320: 602-607.

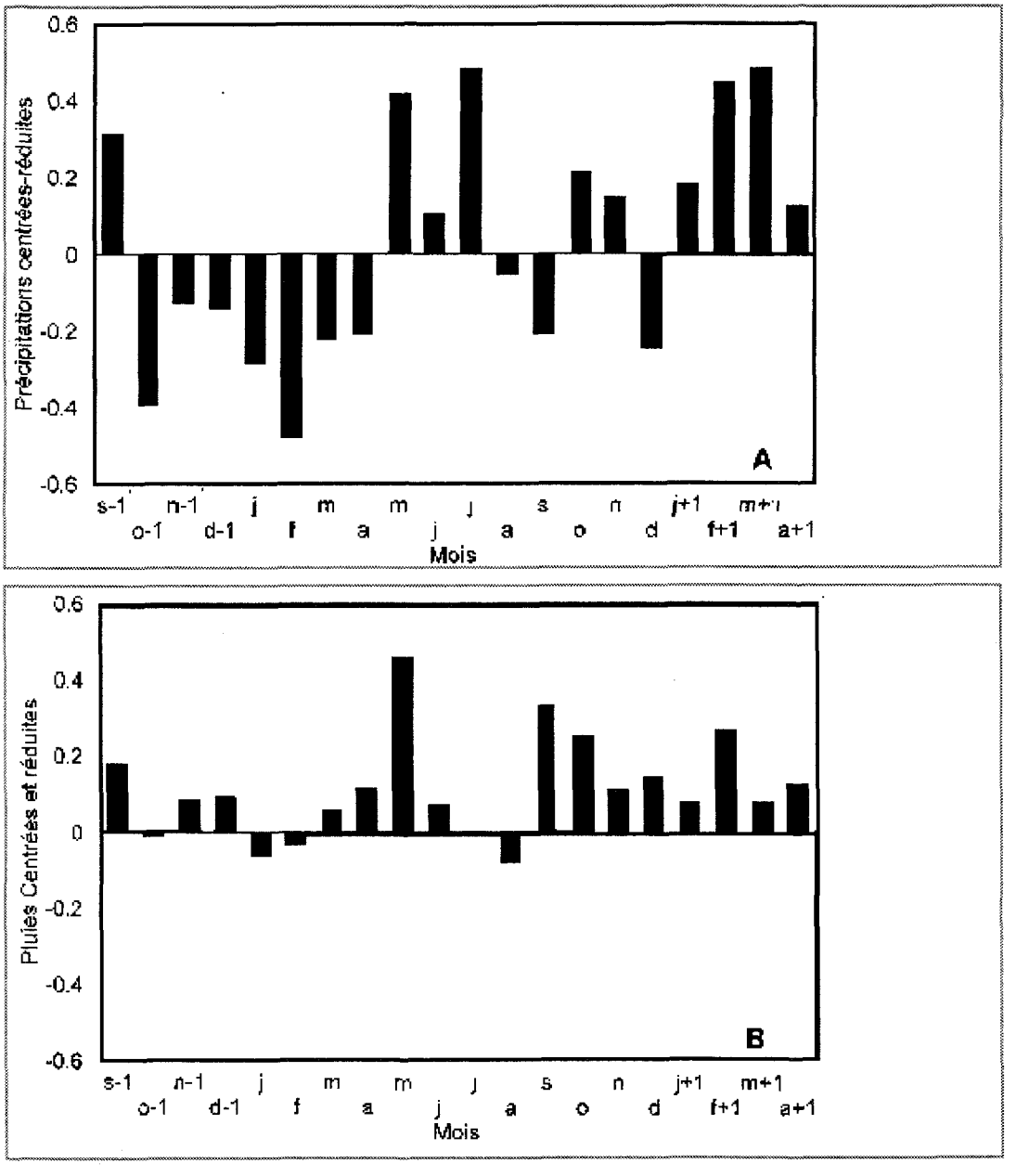


Figure 2: Précipitations mensuelles standardisées composites (de 5 à 8 évènements ENSO de 1952 à 1992) depuis le mois de septembre ENSO-1, année de commencement de l'ENSO négatif, jusqu'au mois d'avril ENSO+1, pour A) 12 stations andines, B) 15 stations de la plaine centrale

FRANCOU, B. &. PIZARRO L., 1985. El niño y la sequia en los altos Andes Centrales: Peru y Bolivia. *Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 16: 1-18.

HASTENRATH, S., 1991 - Climate anomalies in the Tropical Americas: diagnostics and predictability. *La Météorologie*, 37: 22-30.

KOUSKY, V.E., KAYANO M.T.M.& CAVALCANTI I.F.A., 1984. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus*, 36A: 490-504.

LAMB, P.J, PEPPLER R.A. & HASTENRATH S., 1986. Nature, 322: 238-239.

MARENGO J.A. & HASTENRATH S., 1993. Case studies of extremes climatic events in the Amazon Basin. Journal of Climate, 6: 617-627.

MORON, V., BIGOT S. & ROUCOU P., 1995. Rainfall variability in subequatorial America and Africa and relationships with the main SST modes (1951-1990), accepté dans Int. J. Climatol..

ROUCOU, P., MORON V & FONTAINE, B.,1995. On the time evolution of relationships between sea surface temperature and Nordeste-Sahel seasonal rainfall. (soumis à Geophisical Research Letters).

OBSERVATION ET SIMULATION DE LA VARIABILITÉ INTER ANNUELLE DES PRÉCIPITATIONS EN AFRIQUE ET EN AMÉRIQUE TROPICALE

P. ROUCOU, S. BIGOT*, P. CAMBERLIN*, B. FONTAINE*, V. MORON*, Y. RICHARD*, J. RONCHAIL**, A. SANTIAGO*, S. TRZASKA***

❖ MOTS-CLÉS

Variabilité clirnatique, Afrique, Amérique du Sud, précipitations, Modèle de Circulation Générale Atmosphérique

❖ RÉSUMÉ

Le domaine tropical peut être défini, du point de vue climatique, par l'absence d'hiver thermique (aucun mois dont la température moyenne ne tombe en-dessous de 18°C). Les précipitations constituent donc le principal élément discriminant de l'espace tropical. Outre l'importance indéniable de la pluie du point de vue de la production agricole et des ressources alimentaires, son rôle climatique est également fondamental puisque la condensation de la vapeur d'eau est associée à une libération de chaleur latente en haute et moyenne troposphère qui participe à l'entretien de la "machine" atmosphérique globale (Hastenrath 1985).

La variabilité pluviométrique inter annuelle s'organise selon des structures spatiales cohérentes appelées modes. L'échelle de ces modes spatiaux est directement reliée à celle des principaux facteurs climatiques impliqués, permettant d'appréhender la répartition spatio-temporelle des anomalies pluviométriques. Ces structures spatiales cohérentes sont en général moins vastes dans les domaines forestiers équatoriaux que sur certaines zones tropicales comme le Sahel africain (Nicholson 1979; Moron et al. 1995). Les facteurs locaux semblent ainsi garder une grande importance dans les intérieurs forestiers alors que des facteurs régionaux, voire globaux, semblent être significativement associés aux anomalies pluviométriques du Sahel Africain ou du Nordeste brésilien. Certaines anomalies climatiques de grande ampleur (ex: le Niño de 1982-83) peuvent cependant avoir un retentissement global, même sur des zones où priment généralement les facteurs locaux.

Une fois les modes spatiaux décrits, il faut tenter de les expliquer. Deux voies complémentaires sont possibles : l'observation puis la modélisation. Le paramètre d'étude privi-

* Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne 21000 Dijon
** Département de Géographie, université Paris 7, Place Jussieu, 75005 Paris
** Laboratoire de Météorologie Dynamique, CNRS, Ecole Polytechnique, 91128 Palaiseau

légié est la Température de Surface Océanique (TSO) car l'atmosphère tropicale (et donc, les pluies) est très sensible aux conditions de surface, principalement en raison de la faiblesse des gradients thermiques horizontaux. Les surfaces continentales sont également très importantes mais leur relation avec l'atmosphère est plus difficile à cerner en raison des différents paramètres impliqués (albédo, rugosité, etc.) et aussi du fait que l'équilibre végétation-climat ne se fait pas sur la même échelle temporelle d'un type de végétation à l'autre. Ceci implique des relations non linéaires. Dans le cas des domaines forestiers équatoriaux par exemple, les facteurs locaux prédominent et l'interaction entre le climat et la végétation est mal connue. Pour cette raison, il apparaît nécessaire d'évaluer l'influence de la végétation dans la répartition des pluies. Dans cette optique, des travaux réalisés à l'échelle fine sur le Cameroun associent le traitement de l'imagerie satellitaire (METEOSAT) à la cartographie des formations végétales. Une fois établies les téléconnexions entre un certain type de structures spatiale d'anomalies pluviométriques et un champ de TSO, il est possible de forcer un Modèle de Circulation Générale Atmosphérique (MCGA) afin de valider la relation statistique. Il faut ensuite analyser les processus physiques impliqués. La pluie reste cependant un paramètre très difficile à modéliser car dépendant de processus physiques multi-échelles très complexes et très sensibles à un certain nombre de paramétrisations.

❖ ANALYSE DES OBSERVATIONS : L'EXEMPLE AFRICAIN ET SUD-AMÉRICAIN

Sept régions associées à des espaces cohérents ont été déterminées sur l'Afrique au sud du Sahara. Les principales ruptures inter annuelles des tendances pluviométriques (la plus connue étant la rupture sahélienne) ont été datées et leur cohérence spatiale déterminée. Sur la période, elles interviennent en 1959-61, 1969-71, 1976-77 et 1981-82.

Les connexions entre ces principales discontinuités pluviométriques et les TSO doivent ensuite être établies. De la même façon que pour les pluies africaines, la variabilité des TSO est décomposée en quatres modes principaux. Ils permettent d'exprimer la plus grande partie de la variabilité thermique des océans Pacifique et Atlantique. Le premier de ces modes représente la variabilité océanique globale associée aux évènements chauds (El Niño) et aux évènements froids (La Nina) sur le Pacifique, chacun de ces évènements étant accompagné d'une inversion des anomalies de pressions sur le Pacifique (Oscillation Australe). L'association des deux phénomènes porte le nom d'ENSO (El-Nino / Southern Oscillation) durant une phase chaude et LNSO (La Nina / Southern Oscillation) durant une phase froide des TSO sur le Pacifique. Les autres modes océaniques décrivent respectivement la variabilité de l'Atlantique Nord, de l'Atlantique Sud et le gradient de températures opposant hémisphère nord et hémisphère sud. Les résultats montrent que les principales ruptures observées dans la pluviométrie sont associées aux coupures majeures repérées dans les TSO notamment en ce qui concerne la sécheresse sahélienne (Bigot et Moron, 1996).

Cette compréhension dans l'Actuel des téléconnexions entre l'océan mondial et les précipitations de l'espace intertropical est primordiale. Elle doit permettre d'apporter des expli-

cations aux observations paléoclimatiques qui ont recensé plusieurs ruptures des tendances pluviométriques en Afrique, à l'échelle des derniers millénaires, associées à des anomalies des champs thermiques de surface de l'océan mondial.

Les liens entre les TSO et la variabilité pluviométrique sous les latitudes tropicales ne sont pas limités à la seule variabilité inter annuelle ou aux tendances à plus long terme des précipitations. Au niveau saisonnier les connexions entre la pluviométrie et les TSO sont toutes aussi marquées. Ainsi les saisons des pluies sont globalement déficitaires sur l'Afrique et l'Amérique tropicale à l'occasion d'événements ENSO. Les modes océaniques de l'Atlantique, évoqués précedemment, présentent aussi des connexions avec les saisons pluvieuses. Entre l'Atlantique Nord et l'Atlantique Sud il s'établit un gradient thermique connu sous le nom de dipôle Atlantique qui affecte le déroulement de la saison des pluies. C'est en Amérique du Sud que l'influence des deux océans semble la plus forte (Moron et al., 1995). En Bolivie, par exemple, les séries pluviométriques font apparaître une forte tendance des pluies à la hausse à partir des années 70 concomitante de la baisse enregistrée sur le Sahel et d'une coupure enregistrée dans les TSO de l'Atlantique. Cependant, les déficits pluviométriques synchrones avec les évènements ENSO s'ajoutent à la tendance précédente.

❖ ANALYSE DE SIMULATIONS ISSUES D'UN MODÈLE DE CIRCULATION GÉNÉRALE : L'EXEMPLE DU NORDESTE (NORD-EST DU BRÉSIL)

Les connexions entre les pluies tropicales et les TSO s'observent donc à un niveau global voire régional et mettent en jeu des mécanismes atmosphériques qui sont difficiles à décrire d'après les seules données observées car, contrairement aux sorties des MCGA, elles ne possèdent pas la cohérence d'ensemble nécessaire. Des simulations du modèle du Laboratoire de Météorologie Dynamique existent sur la période 1970-88. Elles permettent d'analyser les mouvements de l'atmosphère pendant des saisons des pluies déficitaires ou excédentaires.

La variabilité pluviométrique du Nordeste est fortement liée aux TSO du Pacifique et au dipôle Atlantique qui affecte la migration de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) qui conditionne les saisons des pluies sous les tropiques.

La similitude entre les pluies observées et les pluies modélisées s'avère particulièrement bonne. Les résultats montrent que les pluies sur cette région sont associées aux mouvements verticaux de l'atmosphère et à l'organisation des anomalies des TSO. Il est intéressant de noter que dans le cas d'un ENSO, parallèlement à l'établissement de TSO plus chaudes sur le Pacifique, on observe des TSO plus chaudes sur le Nord de l'Atlantique tropical et plus froides au sud qui conduit à une situation de sécheresse sur le Nordeste (Roucou *et al.*, 1996). Ce dernier point souligne la complexité des relations entre l'océan et l'atmosphère mais aussi entre les bassins océaniques eux-mêmes.

❖ VALIDATION D'HYPOTHÈSES PAR SIMULATIONS NUMÉRIQUES : L'EXEMPLE DE L'AFRIQUE

Les exemples précédents évoquent l'idée que les anomalies propres à l'Atlantique peuvent interférer fortement avec l'ENSO sur les marges de l'Atlantique. Ceci pose la question du rôle de l'Atlantique dans la dynamique atmosphérique pendant un ENSO. L'utilisation d'un modèle de circulation générale permet de tester certaines hypothèses élaborées à partir de l'observation.

Pendant la période 1951-1990, les évènements ENSO ont été accompagnés de deux structures différentes d'anomalies de TSO sur l'océan Atlantique correspondant à une inversion du dipôle Atlantique: Atlantique Nord chaud (froid) / Atlantique Sud froid (chaud) avant (après) 1970.

Des expériences sur l'impact du dipôle atlantique lors de conditions ENSO ont été menées à l'aide du MCGA ARPEGE-Climat de Météo-France. Les différentes structures d'anomalies de TSO nécessaires au forçage du modèle ont été obtenues en combinant linéairement les quatres modes principaux de l'océan global. Chaque configuration a donné lieu à trois simulations de 50 jours au mois d'août. Les résultats préliminaires montrent que le renversement du dipôle Atlantique modifie la réponse du cycle de l'eau et de la dynamique aux forçages globaux.

❖ CONCLUSION

Les exemples présentés ici montrent la démarche scientifique adoptée en climatologie diagnostique. Après avoir analysé les données d'observations (pluie, TSO, ...), on recherche les téléconnexions du champ de précipitations avec différents paramètres climatiques (TSO, mouvements verticaux de l'atmosphère, mais aussi flux de vents en altitude, albédo, etc.). L'étape suivante consiste à proposer des scénarios de forçage d'un Modèle de Circulation Générale Atmosphérique (MCGA) avec des conditions aux limites prédéfinies. Cette démarche n'est pas la seule, mais c'est celle qui est actuellement la plus fréquemment mise en oeuvre dans l'approche diagnostique. Elle est appelée à déboucher sur la prévision des précipitations sur les régions tropicales où la relation TSO-précipitations est la plus marquée.

❖ BIBLIOGRAPHIE

BIGOT S. et MORON V., 1996, Synchronism between thermal discontinuities in African rainfall and sea surface temperatures, soumis à Climate Dynamics.

FONTAINE B. et BIGOT S., 1993, West african rainfall deficits and sea surface temperatures, Int. J. Clim., 13 271-286.

HASTENRATH S., 1985, Climate and circulation of the tropics, D. Reidel publishing company, Atmospheric sciences library, 455 p.

MORON, BIGOT, ROUCOU, 1995, Rainfall variability in subequatorial America and Africa and relationships with the main sca-surface temperature modes (1951-1990), Int. J. Clim., 15, 1297-1322.

NICHOLSON S., 1979, Revised rainfall series for the West-African subtropics, Mon. Wea. Rev., 620-623.

ROUCOU P., ARAGAO J.O.B., HARZALLAH A., FONTAINE B. ET JANICOT S., 1996, Vertical motion changes related to Northeast Brazil rainfall: AGCM simulation, Int. J. Clim., sous presse.

TRZASKA S., FONTAINE B. ET MORON V., 1995, Observationnal and numerical modelling evidence of the influence of the reversing thermal gradient over the tropical Atlantic during El-Nino conditions on the Sahel rainfall variability, American Meteorological Society, 21st conference on hurricanes and tropical meteorology, 24-28 Avril, Miami 452-453.

L'INFLUENCE DES FORMATIONS VEGÉTALES SUR LA CONVECTION DANS LA ZONE DE CONTACT FORÊT-SAVANE AU CAMEROUN TRAITEMENT ET ANALYSE D'IMAGES

*Armelle SANTIAGO-JEGADEN**

Cette étude compare les synthèses thermiques Météosat de 1990 à 1993, archivées à Lannion, avec divers documents décrivant les caractéristiques de la végétation du Cameroun. La démarche suivie s'appuie sur l'utilisation d'un logiciel de traitement d'images, "XVision", réalisé dans le cadre de ma thèse de doctorat. Outil très pratique pour l'analyse spatiotemporelle d'une interface ou de l'évolution d'un écosystème, XVision permet de "défricher" très rapidement une recherche complexe.

La problématique est ici purement climatique mais des comparaisons entre relevés d'autres origines, à une échelle que l'utilisateur définit, sont tout à fait envisageables, de même qu'une mise en corrélation des résultats avec des cartes antérieures et/ou d'autres données satellitales (NOAA, Météosat, Landsat...) ou synoptiques (un pixel représentant une station). Toute corrélation entre éléments ayant une dimension spatiale peut se réaliser avec XVision après digitalisation ou scanérisation des données si elles ne sont pas numériques.

Les résultats montrant l'impact climatique des formations végétales dans la zone de contact forêt-savane au Cameroun illustrent l'originalité de ce logiciel.

❖ "XVISION", LOGICIEL DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE D'IMAGES

« XVision » fonctionne avec quatre éléments principaux:

✓ Les bases de données, fichiers avec entête et codés sur un octet par pixel;

✓ Les palettes qui définissent des couleurs par leurs composantes en rouge, vert et bleu;

✓ Les «LUT», Look Up Table, qui définissent l'attribution d'une couleur de la palette à chaque classe et en recense le nombre de pixels. Une courbe de répartition des pixels par classe apparaît à l'écran.

✓ Les images résultants d'un calcul ou plutôt de l'attribution à chacun des pixels de la couleur correspondant à la classe à laquelle il appartient.

* Centre de Recherche en Climatologie, Université de Bourgogne, 21000 Dijon, France

Réalisé en langage C ++ (orienté objet) version 4.0 de Borland (licence CNRS programme ECOFIT), ce logiciel permet de travailler sur micro-ordinateur compatible P.C. et sous l'environnement graphique Windows de Microsoft. Il peut relire des fichiers accordant un compte numérique à chaque pixel et visualiser l'image résultante.

Grâce au concept d'objet et à la mémoire virtuelle de Windows, l'utilisateur peut ouvrir autant de bases, palettes, LUT et images que la recherche en cours le nécessite et utiliser au minimum 256 couleurs. Il a donc autant de souplesse de travail que sur une station de travail et dispose d'un outil performant fonctionnant sur un matériel plus accessible.

D'autres produits de ce genre existent déjà mais la spécificité de XVision réside dans les fonctions ajoutées à ce "noyau" de base. Ce logiciel fait l'objet de tests et d'évolutions multiples depuis plus de quatre ans dans le cadre de ma thèse de doctorat et m'a permis d'obtenir des résultats très satisfaisants.

Le but scientifique pour lequel il a été réalisé impliquait de pouvoir mettre en corrélation des données de sources et de natures différentes et de visualiser le résultat sous forme d'images. Ce qui en pratique revient à déterminer l'évolution spatio-temporelle d'un phénomène par rapport à un autre.

La méthode utilisée consiste à *"masquer"* certaines parties de l'image pour mieux en distinguer d'autres par la fonction *"superposer"*. L'élaboration des *"masques"* est simple et s'appuie sur la logique informatique de base, à savoir qu'un point de l'écran est caractérisé par son allumage ou son non allumage. La partie de l'image que l'on veut masquer est en noir (pixel éteint) et la partie de l'image à laquelle on s'intéressera est en blanc.

On peut prendre l'exemple d'un fichier "relief" où la valeur attribuée à chaque pixel est son altitude. Ce paramètre a été divisé en classes. Imaginons que le chercheur veuille savoir comment se répartissent les nuages qu'il voit sur un cliché Météosat pour la quatrième classe d'altitude. Il réalise un masque où les pixels appartenant à cette classe sont allumés et il archive l'image résultat. Il ouvre ensuite son image satellitale et par application d'un opérateur booléen demande au logiciel d'afficher les pixels communs à ces deux images en conservant la légende Météosat. Le résultat lui montre la disposition des nuages en faisant abstraction de l'altitude qui est commune aux pixels allumés. Il peut alors facilement voir le rôle des oppositions de versants, des trajectoires des flux atmosphériques dominants, etc.

En travaillant d'abord sur sa base Météosat, il crée un masque avec les pixels ayant une luminance où une température de brillance (s'il s'agit de données infrarouge) déterminée. Il obtient alors un "seuil" qu'il peut ensuite superposer à un autre masque des régions forestières pour voir si ce seuil est lié à un changement de formation végétale ou s'il en est indépendant. La méthode est intéressante pour l'infinité de combinaisons possibles et sa grande souplesse d'utilisation.

J'ajouterai qu'il est toujours intéressant de compléter ces premières analyses avec des coupes comparatives. En indiquant à XVision les axes et les fichiers concernés (fonction "coupes", il prépare les données pour qu'elles soient utilisables par un grapheur (par exemple Excel sous Windows). Les suppositions faites sur les images peuvent ainsi être confirmées et des écarts entre les différentes périodes sur un même axe peuvent être analysées.

❖ L'INFLUENCE DE LA VÉGÉTATION SUR LA DYNAMIQUE PLUVIEUSE AU CAMEROUN

Les synthèses thermiques Météosat sont archivées en deux fichiers par pentade ou décade:

✓ le premier comptabilise le nombre de fois où chaque pixel a enregistré une température inférieure ou égale à - 40°C, seuil considéré comme caractéristique des nuages à sommet froid de type cumuliforme, supposés pluviogènes. Ce sont des fréquences qui, rapportées au nombre de réceptions utilisables (des pannes diverses peuvent enrayer la réception ou les calculs) pendant la période considérée, deviennent des "occurrences de nuages à sommet froid" en pourcentages.

✓ le deuxième conserve la température radiative maximale (Tmax) enregistrée pour chaque pixel au cours de la période.

Coupler ces deux informations complémentaires présente un grand intérêt climatique. En particulier, ces fichiers sont tout à fait appropriés au suivi thermodynamique de la zone de contact forêt-savane. En effet, l'activité physiologique des différents faciès influe sur la température des basses couches de l'atmosphère par l'intermédiaire de l'évapotranspiration (flux de chaleur latente). En prenant la température la plus élevée enregistrée sur cinq ou dix jours, il suffit d'avoir une réception sans nuage pendant la période pour obtenir la température radiative de la formation végétale. D'autre part, les occurrences de nuages à sommet froids font nettement apparaître les amas de nuages convectifs. La réserve d'humidité que constitue la biomasse forestière équatoriale est souvent évoquée dans l'explication de la répartition des pluies. Une corrélation de ces données satellitales avec la végétation du Cameroun digitalisée permettra de distinguer l'influence des forêts de l'impact des savanes.

Sous XVision, une simple visualisation successive des bases Météosat permet de repérer les éléments intéressants. Les images résultant de l'application de masques et de seuils nous informent ensuite sur la zone de contact dans son ensemble et permettent de vérifier les hypothèses. La limite nord du secteur forestier apparaît nettement sur les images Tmax en saison sèche et pendant la transition avec la saison humide. Le contraste avec les savanes est beaucoup plus marqué en janvier-février et les écarts peuvent atteindre sept à douze degré celsius dans l'ouest-Cameroun et l'est. La région centrale est beaucoup plus difficile à étudier car le contact est plus flou. Toutefois, une chute des occurrences de nuages à sommet froid se généralise en juillet sur ce secteur. Les pourcentages sont très souvent nuls sur la forêt alors qu'ils avoisinent les 10% plus au nord sur les faciès de transition ou les savanes. Ceci met en évidence l'action stabilisatrice de la

masse d'air anticyclonique australe, responsable du phénomène de "petite saison sèche" défini par J.B. Suchel dans sa thèse.

La zone de contact est une véritable mosaïque recouvrant de nombreux évènements: la résolution du satellite permet de les analyser avec précision. Nous verrons que la forêt du Mbam située en secteur de savanes ne réagit jamais comme la masse forestière du sud, que les contacts dans l'ouest-Cameroun et à l'est n'ont rien de commun quant à leur influence climatique, que le relief n'est pas étranger à cette distinction...

Tous ces résultats ont été vérifiés à l'aide de courbes comparatives dont l'analyse a parfois soulevé de nouvelles questions ou apporté de nouvelles indications. Les vues en coupes de l'évolution des nuages et/ou des températures suivant les faciès, les années, et divers axes de recherche seront également présentes.

Il est cependant clair que l'influence de la végétation reste secondaire d'un point de vue climatique car elle est rarement directe. D'autres états de surface continentaux tels que la topographie ou l'hydrographie sont primordiaux et peuvent perturber les observations. L'analyse statistique multivariée est un bon moyen de pallier ce problème, l'Analyse Fréquentielle de Correspondances étant parfaitement fiable pour les données qualitatives. D'autres documents montreront que les calculs réalisés sur tous les fichiers de données corroborent les observations effectuées précédemment.

APPROCHE DIAGNOSTIQUE ET NUMÉRIQUE DE L'INFLUENCE DU GRADIENT THERMIQUE ATLANTIQUE EN SITUATION ENSO SUR LA VARIABILITÉ DE LA CIRCULATION DE MOUSSON BORÉALE

Sylwia TRZASKA, Vincent MORON*, Bernard FONTAINE**

Afin de déterminer l'impact du dipôle atlantique sous conditions El-Nino/Southern Oscillation des simulations numériques ont été effectuées à l'aide du Modèle Global de Circulation Atmosphérique ARPEGE-Climat en version 1.1, troncature T42 (64lat x 128lOng) et comportant un schéma de végétation réaliste, développé par Météo-France. Les différentes structures d'anomalies de Températures de Surface Océanique ont été obtenues en combinant linéairement les 4 modes propres de variabilité des TSO déterminés au préalable par Analyse en Composantes Principales (fig.1). Trois champs globaux d'anomalies idéalisés ont ainsi été définis et ajoutés aux champs de température moyens utilisés comme conditions aux limites par le modèle :

ENSO = 2GTm-GEm

ENATLO + /- = ENSO + ATL + /-

ENATLO-/ + = ENSO + ATL-/ +

Trois expériences de forçage de 50 jours, dont les 30 derniers utiles correspondant au mois d'août, ont été effectuées pour chaque combinaison avec des conditions aux limites différentes.

L'impact de ces configurations type sera présenté sous forme de cartes globales d'anomalies pour le mois d'août. Trois paramètres clés ont été retenus: la circulation en haute troposphère (vent zonal à 200 hPa) pour illustrer les signaux dynamiques grande échelle, le flux infrarouge sortant et les précipitations pour apprécier l'impact sur le cycle de l'eau.

POSTER

* Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne Dijon, France

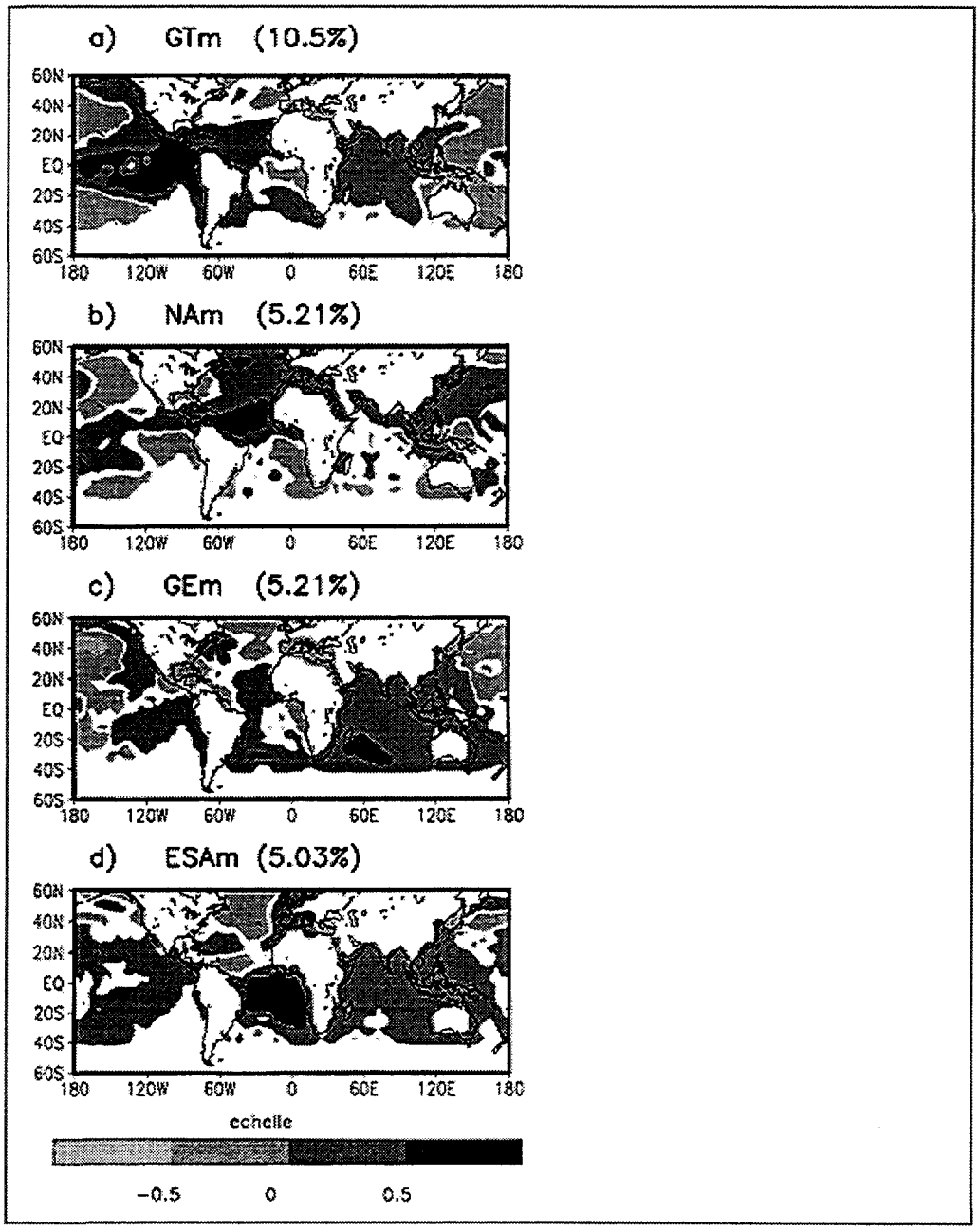


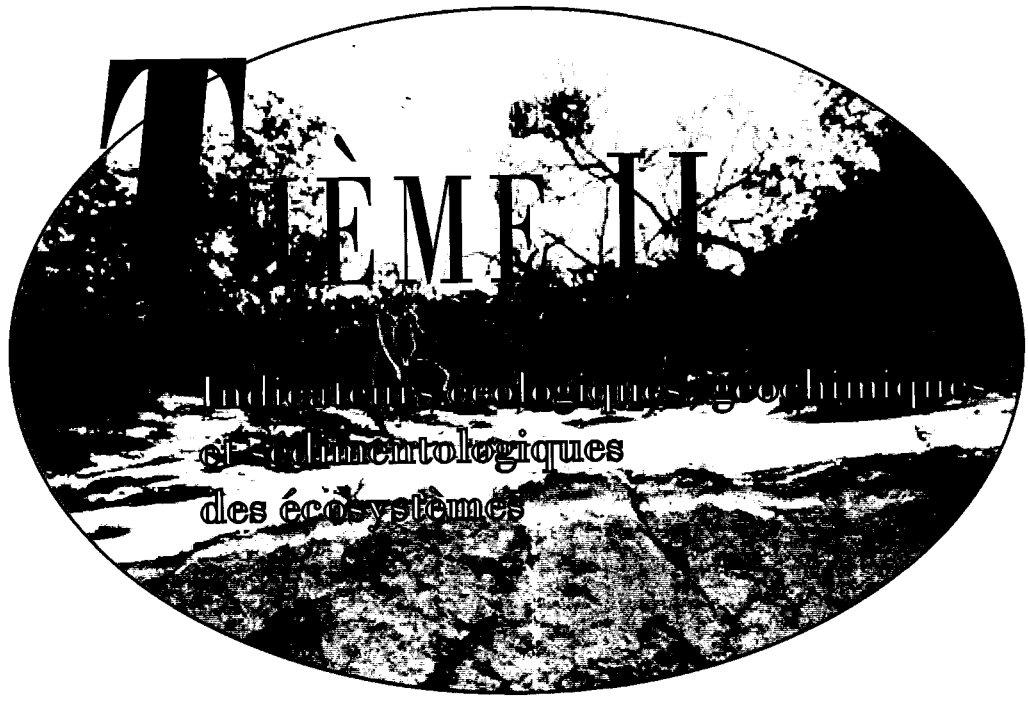
Figure 1 : Les 4 premiers modes propres de variabilité des SSt avec la part de variance expliquée

❖ BIBLIOGRAPHIE

TRZASKA S., ROUCOU P., BIGOT S., FONTAINE B., 1994, Sensibilité du modèle ARPEGE-Climat aux modes propres de variabilité des températures de surface marine: l'exemple de mars. *Atelier de modélisation de l'atmosphère, CNRM, Météo-France, Toulouse*, 329-336.

FONTAINE B., TRZASKA S., MORON V., CAMBERLIN P., 1994, Variabilité du cycle de l'eau tropical en août en Afrique de l'Ouest en réponse aux modes propres de variabilité des SST dans le modèle ARPEGE-Climat. *Atelier de modélisation de l'atmosphère, CNRM, Météo-France, Toulouse,* 337-344.

TRZASKA S., FONTAINE B., MORON V., 1995, Observational and numerical evidence of the influence of the reversing thermal gradient over the tropical Atlantic during El-Nino conditions on the sahel rainfall variability. *21st Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology.*


TÈME II
Indicateurs écologiques, géochimiques
et sédimentologiques
des écosystèmes

LES PHYTOLITHES, MARQUEURS PALÉOGÉOGRAPHIQUES

A.ALEXANDRE, J.D. MEUNIER**
*A. VINCENS**, F. SOUBIES***, J. PIRONON*****

Les phytolithes sont des particules d'opale micrométriques qui précipitent dans les cellules en sénescence des tissus végétaux (Alexandre *et al.*, 1994). Les résultats présentés concernent leur utilisation comme marqueurs des formations herbacées par l'analyse morphologique, et marqueurs du feu par l'analyse Infra-Rouge.

❖ LES PHYTOLITHES, MARQUEURS DE L'HISTOIRE DES FORMATIONS HERBACÉES

Les formes qu'acquièrent les phytolithes sont caractéristiques de certains taxons végétaux et notamment des sous-familles de graminées (Twiss, 1987; Watson *et al.*, 1985). L'étude phytolithique de sédiments holocènes du lac Sinnda (Congo, programme ECOFIT) met clairement en évidence le passage d'une formation à faible représentation des graminées, et des graminées en C4 plus particulièrement, à une formation à forte représentation des graminées hautes en C4 de type savane soudanienne. Ce changement de l'environnement botanique du lac (forêt puis savane), déjà décelé par l'analyse palynologique (Vincens *et. al.*, 1994), se situe entre 3990 ± 70 ans BP et 1250 ± 50 ans BP (Mansour, 1993). Une autre étude montre par ailleurs que le passage savane soudanienne/steppe sahélienne (Lézine, 1988) est aussi parfaitement détectée par l'analyse phytolithique. Les phytolithes s'avèrent être de bon traceurs des formations forestières et herbacées et de leur histoire.

❖ LES PHYTOLITHES, MARQUEURS DU FEU

L'étude anthracologique d'un latosol sous cerrado (Brésil central, programme ECOFIT) a montré que le feu serait largement responsable de la dynamique de la végétation enregistrée après 8000 ans B.P dans la région (Vernet *et. al.*,1994). L'observation, au M.E.B., de la surface des phytolithes de ce profil révèle que les marques d'altération, et donc leur âge, augmentent régulièrement avec la profondeur. Leur distribution peut donc être interprétée en termes paléogéographiques. Leur analyse en spectroscopie Infra-Rouge montre qu'aux profondeurs d'accumulation des charbons, les phytolithes ont subi une déshydratation légère (pas de départ de silanols), mais assez significative (départ de molécules d'eau physisorbées) pour être détectée. Pour la première fois on montre ainsi qu'en plus

* LGE, URA 132, CEREGE, BP 80 F-13545, Aix en Provence
** LGQ CEREGE, BP 80 F-13545, Aix en Provence
*** ORSTOM, 32, avenue Henri Varagnat 93141 Bondy
**** CREGU, 3, rue du Bois de la Champelle, 54501 Vandoeuvre les Nancy cedex

POSTER

d'un marqueur paléobotanique utile, car complémentaire aux analyses palynologiques et géochimiques, les phytolithes peuvent aussi permettre de détecter les feux.

❖ REFERENCES

ALEXANDRE A., COLIN F. et MEUNIER J.D., 1994. Les phytolithes, indicateurs du cycle biogéochimique du silicium en forêt équatoriale, C.R. Acad. Sci., 319, II, pp. 453-458.

LEZINE A.M., 1988. New pollen data from the sahel, Senegal. Review of Paleobotany and Palynology, 55. 141-154.

MANSOUR M. ,1994. Apport de la spectrométrie infrarouge quantitative de la reconstitution des paléoenvironnements dans la vallée du Niari (Sud-Ouest du Congo). D.E.A. MNHN-Univ. Aix-Marseille II-ORSTOM, 49p.

TWISS C., 1987. Grass-opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene. Quaternary environment of Kansas, W.C. Johnson editor, Kansas Geological Survey Guidebook, 5, pp. 179-187.

VERNET J.L., WENGLER L., SOLARI M.A., CECCANTINI G., FOURNIER M., LEDRU M.P. et SOUBIES F., 1994. Feux, climats et végétations au Brésil central durant l'Holocène: les données d'un profil de sol à charbons de bois (Salitre, Minas Gerais). C.R.Acad. Sci., 319, II, pp. 1391-1397.

VINCENS A. , BUCHET G., ELENGA H., FOURNIER M., MARTIN L., de NAMUR C., SCHWARTZ D., SERVANT M. et WIRRMANN D., 1994. Changement majeur de la végétation du lac Sinnda (vallée du Niari, Sud-Congo) consécutif à l'assèchement climatique holocène supérieur: apport de la palynologie. C.R. Acad. Sci., 318, II, pp.1521-1526.

WATSON L., CLIFFORD H.T. and DALLWITZ M.J., 1985. The classification of Poaceae: Subfamilies and Supertribes. Australian Journal of Botany, 33, pp. 433-484.

DENDROCHRONOLOGIE ET OKOUME (CONGO)

Christelle BELINGARD et Lucien TESSIER,*
*Christian de NAMUR**, Dominique SCHWARTZ****

Une analyse dendrochronologique est menée sur 4 sections d'Okoumé (*Aucoumea klaineana* Pierre) provenant de la région de Kioulou (4°03' S., 11°38' E) dans l'Ouest du Congo. Cette analyse visant à déterminer précisément l'âge des individus abattus, plus ou moins profondément dans la forêt (figure 1), s'insère dans le cadre d'une étude menée par l'ORSTOM sur la dynamique des limites forêt-savane.

La présence dans la région d'une saison sèche relativement marquée (figure 5A et B) permet d'espérer une périodicité de la croissance radiale. L'interdatation des sections sous loupe binoculaire (qui a pour but d'attribuer à chaque cerne de croissance l'année de sa formation) se révèle difficile. Pour vérification, les cernes définis par l'interdatation sont mesurés et les chronologies de largeurs de cernes annuels ainsi obtenues sont comparées de manière graphique (figure 2). Les courbes ne sont pas toujours synchrones en particulier quand elles appartiennent à des arbres différents (figure 3). Il apparaît que lorsque l'arbre est jeune, la largeur du cerne annuel varie beaucoup d'un point à l'autre de la circonférence du tronc. Plusieurs hypothèses sont avancées pour expliquer l'assynchronisme des chronologies appartenant à des arbres différents mais la validité de l'interdatation est également remise en question. Afin de vérifier ce dernier point, la chronologie de l'arbre le plus vieux est confrontée à la courbe des précipitations enregistrées à Pointe Noire. Une très nette correspondance entre les courbes apparaît, lorsqu'on confronte K3 avec la somme des précipitations allant d'octobre (n-1) à septembre (n) (figure 4). Afin de préciser quel facteur pluviométrique de l'année conditionne la variation interannuelle des largeurs de cernes, cette séquence est divisée en plusieurs périodes correspondant aux saisons. C'est la somme des précipitations comprises entre octobre (n-1) et janvier (n) qui est la mieux corrélée avec K3 (figure 5C).

L'Okoumé semble être un piètre enregistreur des facteurs climatiques au début de sa vie (15-20 ans) mais la quantité de pluie (particulièrement celle s'étalant de la fin de la grande saison sèche à la fin de la petite saison sèche) devient par la suite un bon facteur limitant de la croissance radiale. Dendrochronologie et Okoumé semblent compatibles mais une vérification de l'interdatation par confrontation avec des données climatiques reste cependant indispensable.

La dendrochronologie, parce qu'elle permet de définir l'âge des arbres, serait d'un grand intérêt en écologie tropicale pour toute la recherche touchant à la dynamique forestière, aux taux de croissance et de régénération, ainsi qu'à l'analyse isotopique.

* Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme, 13397 Marseille cedex 20
** ORSTOM, affecté à l'Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie
*** Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, Université Louis Pasteur, 67083 Strasbourg

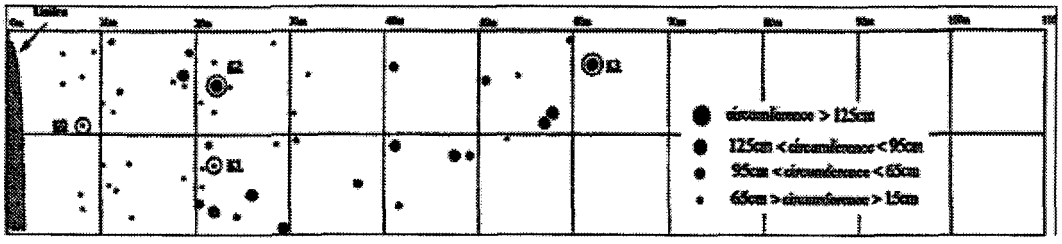


Figure 2

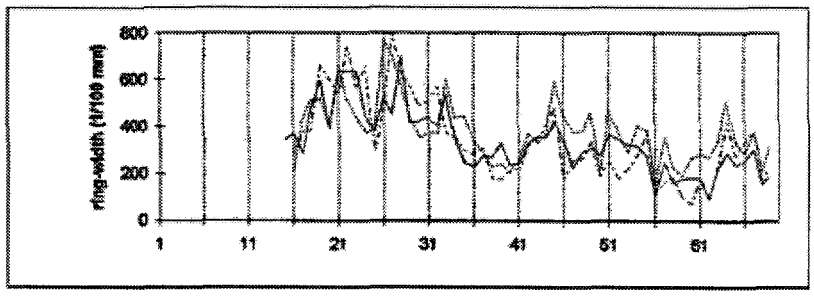


Figure 3

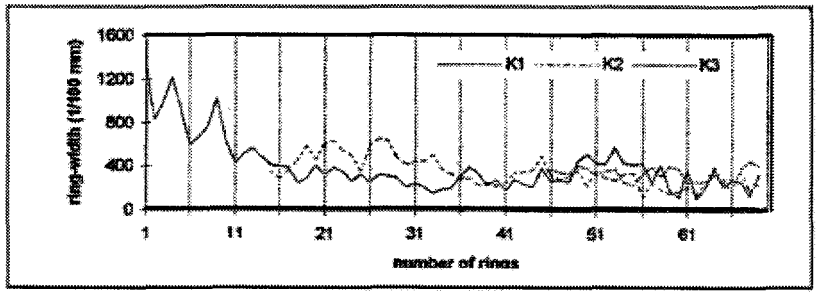
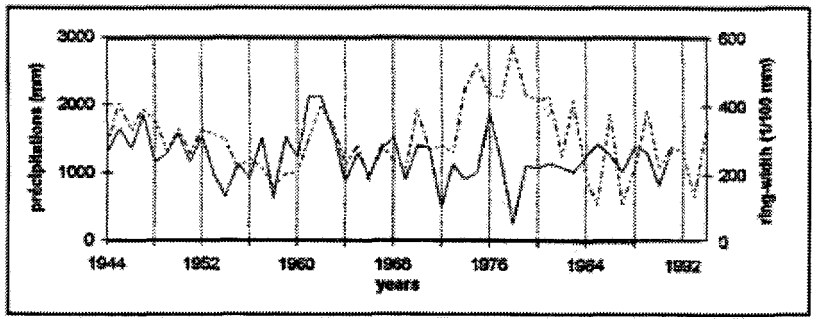


Figure 4



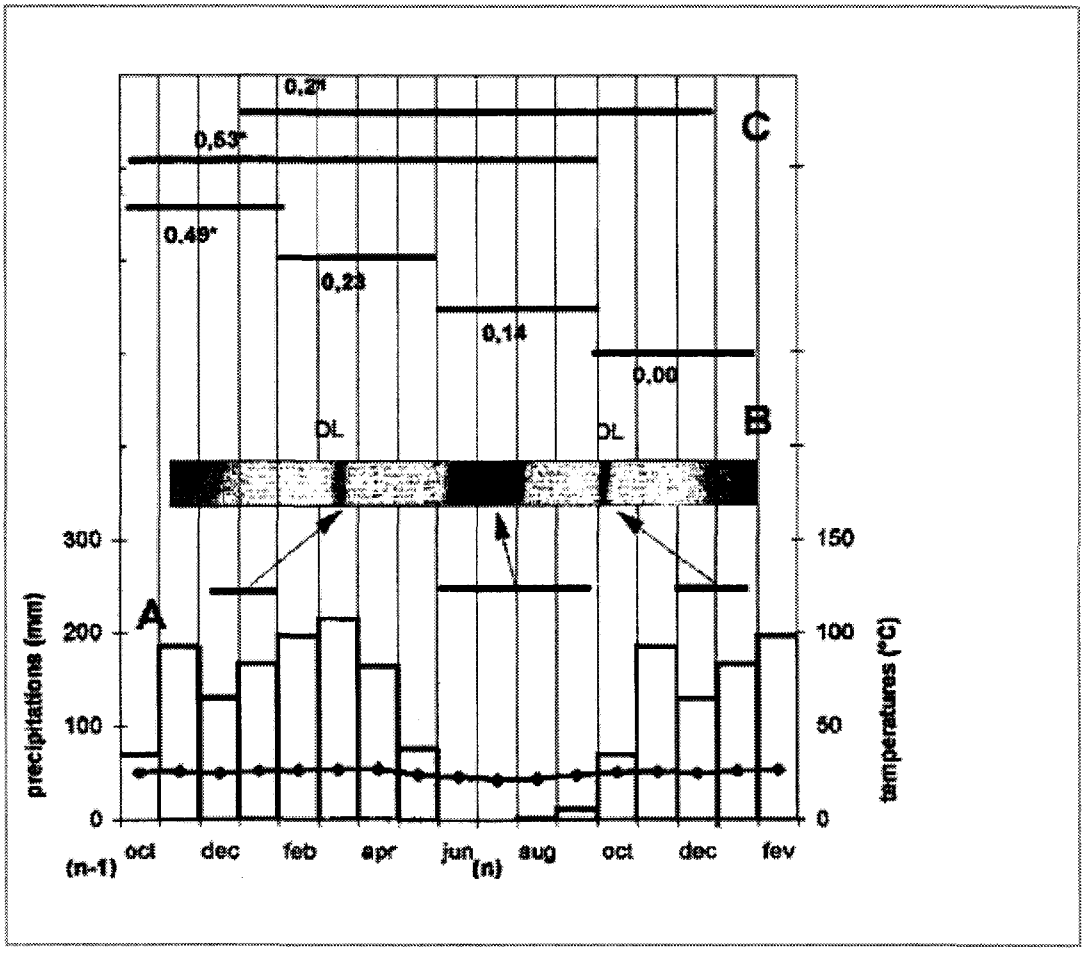

0,2*
0,53*
0,49*
0,23
0,14
0,00
C
B
A
DL
DL
300
200
100
0
150
100
50
0
precipitations (mm)
temperatures (°C)
oct
dec
feb
apr
jun
aug
oct
dec
fev
(n-1)
(n)

Figure 5

APPLICATION DE LA MINÉRALOGIE QUANTITATIVE À DES RECONSTRUCTIONS PALÉOENVIRONNEMENTALES : l'exemple du lac de la "lagoa campestre"

*Jacques BERTAUX, Marie-Pierre LEDRU**
*François SOUBIÈS**, Francis SONDAG****

L'analyse minérale quantitative par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) permet de suivre l'évolution des phases minérales, cristallisées ou non, le long d'une carotte sédimentaire. Son utilisation sur les sédiments lacustres riches en matière organique de Salitre (Brésil) représente un progrès par rapport aux méthodes d'étude traditionnelles, telles que la diffraction des rayons X ou l'analyse des propriétés magnétiques. Les signaux minéraux ainsi mis en évidence peuvent être comparés à l'analyse palynologique des mêmes sédiments.

53 échantillons ont été analysés par spectroscopie IRTF dans une carotte de 6 mètres de long. Les minéraux dosés sont le quartz, la silice amorphe, la kaolinite, la gibbsite et l'anatase. 14 âges radiocarbone sont disponibles sur la partie supérieure de la carotte allant de 3060 ans BP à 17 cm, à 32030 ans BP à 200 cm. Les analyses polliniques ont été effectuées sur des échantillons collectés tous les 2 ou 4 cm entre 15 et 575 cm.

D'une façon générale, la quantification des phases minérales montre que:

✔ qualitativement, la fraction minérale est la même tout au long de la carotte; seules varient les proportions des différentes phases.

✔ on met en évidence deux séquences sédimentaires séparées par un hiatus (figure 1), chacune avec des sédiments organo-minéraux à la base et purement organique (Ib) ou presque (IIb) au sommet

❖ LA SÉDIMENTATION DU PLEISTOCÈNE TARDIF

Toutes les phases minérales évoluent parallèlement entre 70 et 600 cm. Ces phases, minéraux détritiques (quartz, kaolinite, gibbsite et anatase) et phytolithes, sont présentes dans les sols du bassin versant.

POSTER

* ORSTOM, Département TOA, UR 12 "Géosciences de l'Environnement Tropical"- Centre de Recherche d'Ile de France, 32, Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France
**Département TOA, UR 12 "Géosciences de l'Environnement Tropical", Laboratoire de Minéralogie, UPS, 39, Allée Jules Guesde, 31000 Toulouse

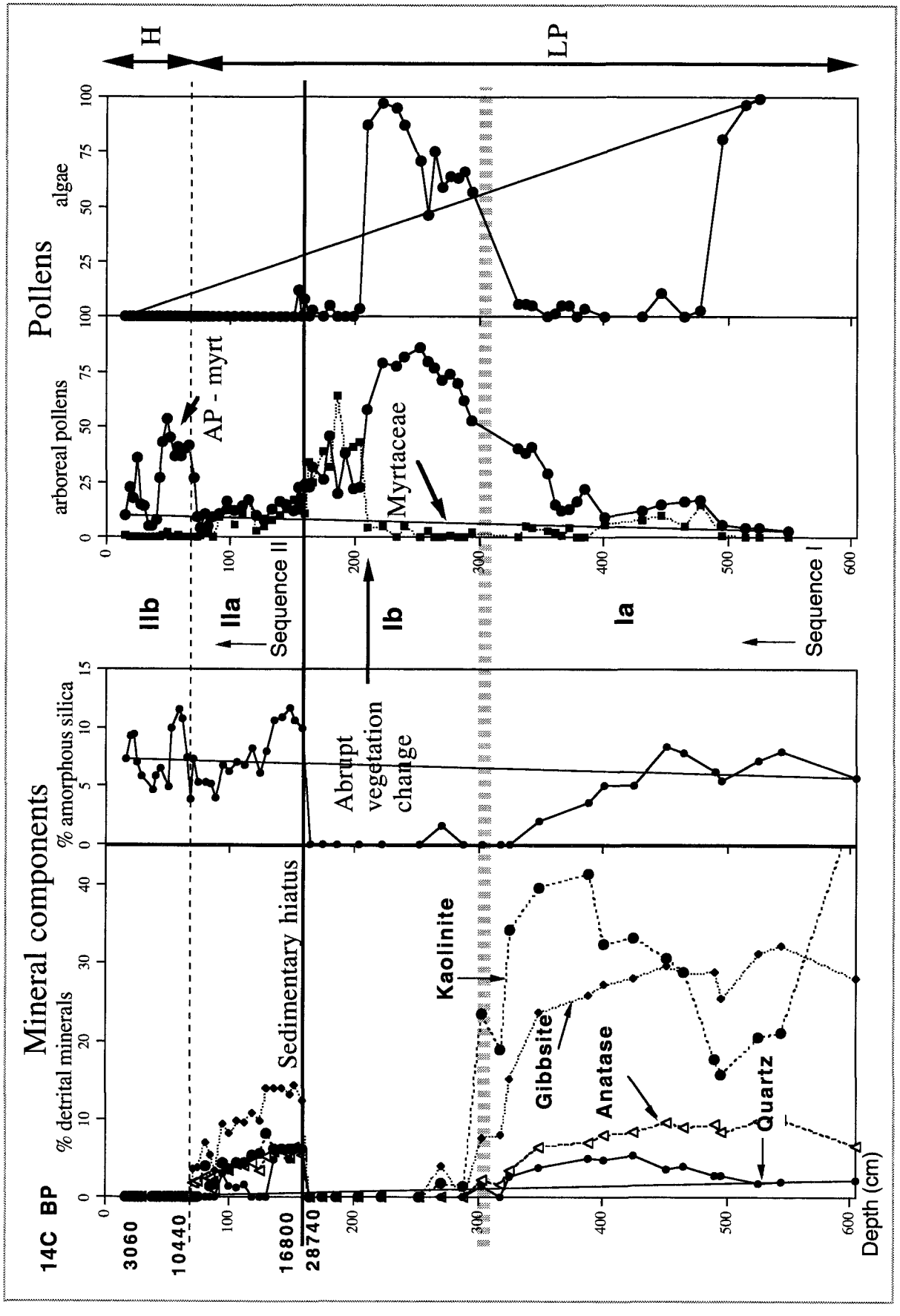


Figure 1: Variations des teneurs en minéraux et en certains pollen le long de la carotte LC3. H = Holocène; LP = Pleistocène tardif

Durant cette période, on observe deux épisodes où les algues, indicatrices de l'environnement lacustre local, sont abondantes (figure 1). Le premier, entre 550 et 480 cm, est caractérisé par une faible teneur en pollen d'arbre. Le second, entre 320 et 210 cm, se produit dans une période de fort développement de la forêt. Or, dans les deux cas, les flux détritiques évoluent à l'opposé des teneurs en pollen d'arbre. Ceci montre que la quantité des phases minérales dans le sédiment est un indicateur de l'environnement régional: quand le couvert végétal est faible, l'érosion et le transport des minéraux des sols environnants vers la dépression sont favorisés. Ceci concerne également les phytolithes, qui durant le Pleistocène tardif doivent donc être considérées comme des composants détritiques.

Un changement abrupt de végétation est mis en évidence dans la zone Ib (figure 1): les algues disparaissent et la forêt semi-décidue régresse au profit d'un développement de Myrtaceae. Sur la base des caractéristiques sédimentologiques et spectroscopiques (absence de minéraux et identité de composition des constituants organiques démontrée par leur signature spectrale IR) du sédiment en-dessous et au-dessus de ce changement, l'hypothèse d'une variation régionale de l'environnement, sans hiatus sédimentaire, est la plus plausible.

Le hiatus sédimentaire révélé par les âges C14 (28740 ans BP à 170 cm et 16800 ans BP à 157 cm), marquant la limite entre les deux séquences sédimentaires (zones Ib et IIa), est très clairement souligné par la brutale variation des teneurs en phases minérales, alors qu'il est peu lisible sur l'analyse palynologique.

❖ LA SÉDIMENTATION HOLOCÈNE

Cette période (niveau IIb) est marquée par l'absence de minéraux détritiques. Les phytolithes, seule phase minérale présente, évoluent parallèlement au pollen d'arbre (figure 1), donc à l'opposé de ce qui se passe au Pleistocène tardif. Une diminution de la fréquence du pollen d'arbre vers 5500-4500 ans BP, due à une augmentation de la saison sèche, n'est pas accompagnée d'un retour des détritiques. Ces observations suggèrent que la dépression ne fonctionne plus comme un milieu lacustre et que le milieu palustre actuel s'est mis en place au début de l'Holocène.

En conclusion, l'étude des sédiments de la carotte LC3 montre que l'analyse minéralogique quantitative par spectroscopie IRTF est un bon outil pour obtenir des informations sur les paléo-environnements à partir des sédiments lacustres. Cette méthode améliore la détection de :

✔ changements régionaux du couvert végétal conduisant à des variations dans le transport et la sédimentation des phases détritiques;

✔ hiatus sédimentaire marqué par le changement brutal du contenu minéral;

✔ changements abrupts du couvert végétal, qui ne doivent pas être confondus avec un hiatus sédimentaire en l'absence de datations.

A Salitre, l'analyse minérale quantitative indique clairement l'évolution d'un milieu lacustre vers un milieu palustre. Outre son intérêt comme outil de corrélation, la minéralogie quantitative s'avère être une méthode utile pour améliorer les interprétations paléo-environnementales bâties à partir des données palynologiques.

CRITÈRES BIOLOGIQUES ET HISTOIRE DES MASSIFS FORESTIERS
Indicateurs des changements climatiques passés dans les écosystèmes forestiers vivants

Patrick BLANC et Francis KAHN***

Les biologistes "actualistes" liés au programme ECOFIT ont l'avantage d'avoir, par les cheminements antérieurs de leurs recherches, des approches diverses et complémentaires. Ceci a permis d'apporter dans ce programme, des résultats de dimensions écologiques (dynamique des populations, effets de lisières, ...), morphologiques (structure des fruits, dynamique de croissance, ...), chronologiques (modes de dispersion, stratégies de régénération, ...), évolutives (rôles des transgressions et régressions forestières dans la spéciation, histoire des flores, ...).

Toutes ces approches ont apporté des résultats concernant des échelles de temps différentes, que nous essayons de déterminer dans cette synthèse. Dans l'état actuel des travaux, les mécanismes de spéciation, objets de réflexions des biogéographes évolutionnistes, concernent surtout les périodes s'étalant du Pléistocène à la fin du Miocène, c'est-à-dire en dehors du programme ECOFIT. En revanche, on peut attendre, dans les toutes prochaines années, des indicateurs beaucoup plus fins concernant les transgressions et régressions forestières de l'Holocène grâce à l'analyse des marqueurs génétiques (Kahn et Second, en cours), cette approche sera pertinente grâce aux réflexions préalables des biogéographes. Tous les travaux relatifs aux modes de croissance et de régénération apportent de nouveaux résultats dans les échelles de temps allant de l'année aux centaines d'années. En ce qui concerne les milliers d'années (Holocène), les résultats les plus pertinents concernent la synthèse entre les approches écologiques, dynamiques, structurales d'une part et les approches biogéographiques d'autre part. Ces critères morpho-fonctionnels seront à privilégier dans les travaux futurs d'ECOFIT.

❖ ANNEES

✓ Dynamique de croissance	→ ex. : fragmentation ou étalement d'une plante de sous bois en nappe (Blanc, 1992).
✓ Traumatismes	→ ex. : destruction de bourgeons ou de rameaux d'arbres suite à de fortes sécheresses (Blanc, 1992), chutes de litière (Schwartz, ce volume), rôle destructeur des chablis sur les plantes de sous-bois (Richards et Williamson, 1975).

* Laboratoire de Botanique Tropicale et URA 1183 CNRS Paris
** ORSTOM, Brasilia

✓ Populations	→ ex. : déficits dans les classes d'âges chez des herbes fragiles (Gonzales, en cours).
✓ Répartitions	→ ex. : pourcentage d'occupation des sites favorables par des espèces à faible vitesse de dispersion, pour plantules d'arbres (Riera, ce volume) et herbacées.

❖ DIZAINES D'ANNEES

✓ Evolution globale des lisières	→ ex. : analyse de photographies aériennes (Youta-Happi et Bonvallot, ce vol. ; Darracq et Rollet, ce vol. ; Runge et Neumer, ce vol.).
✓ Modifications de croissance	→ ex. : troncs inclinés, troncs multiples en forêt dense, témoins de milieux plus ouverts (Larpin, 1993).
✓ Dynamique de croissance	→ ex. : envahissement par voie végétative d'espèces herbacées et blocage de la régénération (De Foresta, 1990 ; White *et al.*, ce vol.).
✓ Perturbations floristiques	→ ex. : modification du cortège floristique et structural de la forêt suite à l'envahissement d'une espèce (Kahn et De Granville, 1992).
✓ Dendrochronologie	→ ex. : évaluation de l'âge de l'arbre et des perturbations climatiques qu'il a subies (Belingard *et al.*, ce vol.).
✓ Régénération	→ ex. : persistance d'arbres pionniers ou post-pion niers en forêt dense (Roux et De Namur, ce vol. ; Belingard *et al.*, ce vol.).
✓ Transgressions intra-forestières	→ ex. : classes d'âge d'arbres à faible vitesse de dispersion le long de transects (Riera, ce vol.).
✓ Dynamique forestière	→ ex. : fréquence des chablis et type en fonction de l'architecture des arbres (Riera, 1995).
✓ Cortège floristique	→ ex. : espèces pionnières ou de forêt claire en forêt dense (Achoundong *et al.*, ce vol. ; Larpin *et al.*, ce vol.).
✓ Richesse floristique	→ ex. : richesses relatives d'espèces d'arbres et d'her bacées le long de transects forestiers.
✓ Perturbations floristiques	→ ex : pénétration intra-forestière d'espèces de milieux ouverts par l'action anthropique (Kahn, ce vol. ; Dounias, ce vol.).

❖ CENTAINES D'ANNEES

✓ Structure forestière	→ ex. : hauteur des arbres, agrégats d'espèces hélio philes dans la canopée, espèces pionnières en forêt (Kamgang *et al.*, ce vol.)

✓ Blocage de la régénération → ex. : persistance des espèces herbacées envahissantes (De Foresta, 1990), des arbres pionniers longé vifs (Roux et De Namur, ce vol.) ou des lianes (Kahn, 1982).

✓ Richesse floristique → ex. : comparaison des richesses relatives de sites d'une même localité (Prévost et Sabatier, 1996).

✓ Cortèges chorologiques → ex. : comparaisons des spectres de dispersion des espèces de sites d'une même région (Blanc, en cours).

✓ Archivage de graines → ex. : graines d'espèces pionnières dans les sédiments forestier (Charles-Dominique et Jouard , ce vol.).

❖ MILLIERS D'ANNEES (HOLOCÈNE)

✓ Structure forestière → ex. : structure, dynamique et richesse de formations forestière relictuelles (Larpin, 1993 ; Larpin *et al.*, ce vol.).

✓ Richesse floristique → ex. : comparaison des richesses relatives de localités d'une même région (De Granville *et al.*, 1996 ; Kahn , 1996 ; Prévost et Sabatier, 1996).

✓ Cortèges chorologiques → ex. : comparaison des spectres de dispersion des espèces de régions ou sites d'un même continent (Blanc, ce vol.).

✓ Richesse en formes biologiques → ex. : diversité des formes globales chez les plantes de sous-bois (Blanc, 1989).

❖ DIZAINES DE MILLIERS D'ANNEES (WÜRM)

✓ Richesse floristique → ex. : richesses comparées en espèces et genres sur un même continent, suite à la dernière glaciation : cas des espèces péri-amazoniennes (De Granville, 1992 ; Blanc, 1996).

❖ CENTAINES DE MILLIERS D'ANNEES (PLÉISTOCÈNE)

✓ Cortèges chronologiques → ex. : abondance comparée des espèces à faible vitesse de dispersion sur les différents continents (Blanc, ce vol.).

✓ Spéciation → ex. : présence d'espèces ou sous-espèces jumelles en un même site (Kahn et Second, en cours).

✓ Endémisme → ex. : endémisme spécifique ou infra-spécifique (Achoundong, ce vol. ; Blanc, 1996 ; De Granville *et*

al., 1996 ; Sosef, 1991 ; Kiew, 1991 ; Sabatier, 1990 ; Jacques-Félix, 1976).

❖ MILLIONS D'ANNEES (→ MIOCÈNE)

vInnovations éco-morphologiques → ex. : structures adaptées à la sécheresse dans des groupes hygrophiles (Blanc, 1996).

✓ Endémisme → ex. : endémisme générique et spécifique.

✓ Richesse floristique → ex. : comparaisons globales entre territoires de continents différents.

❖ DIZAINES DE MILLIONS D'ANNEES (→ CRÉTACÉ)

✓ Cortèges floristiques → ex. : analyses des Empires floraux.

✓ Endémisme → ex. : niveau des familles et des ordres.

❖ BIBLIOGRAPHIE

BLANC P., 1992a - Les formes globales des plantes de sous-bois et leur signification écologique. Rev. Ecol. (Terre Vie) 47, 3-49.

BLANC P., 1992b - Comment poussent les couronnes d'arbres dans la canopée. In : F. Hallé et O. Pascal (Eds) : Biologie d'une canopée de forêt équatoriale, II, 155-172.

BLANC P., 1996 - Disjonctions et singularités dans les flores hygrophiles de sous-bois en Afrique. Mem. ORSTOM. Colloque Phytogéographie Tropicale (sous-presse).

FORESTA H. De, 1990 - Origine et évolution des savanes intramayombiennes (R. P. Congo). II, Apports de la botanique forestière. In : R. Lafranchi et D. Schwartz (Eds) : Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique. ORSTOM, 326-335.

GRANVILLE J. J. De, 1992 - Un cas de distribution particulier : les espèces forestières péri-amazoniennes. C. R. Soc. Biogeogr. 68 (1), 1-33.

GRANVILLE J. J. De, G. CREMERS et M. HOFF, 1996 - L'endémisme en Guyane française. Mem. ORSTOM. Colloque de Phytogéographie Tropicale (sous-presse).

JACQUES-FELIX H., 1976 - Le genre Cincinnobotrys (Mélastomatacées). Adansonia, 16, 355-377.

KAHN F., 1982 - La reconstitution de la forêt tropicale humide. Mem. ORSTOM, 97.

KAHN F. et J. J. De GRANVILLE, 1992 - Palms in forest ecosystems of Amazonia. Springer Verlag.

KAHN F., 1996 - Richesse en genres et en espèces de Palmiers des forêts amazoniennes : phytogéographie, diversité et évolution. Mem. ORSTOM. Colloque Phytogéographie Tropicale (sous-presse).

KIEW R. 1991 - Herbaceous plants. In : R. Kiew (Ed) : The state of nature conservation in Malaysia - Malay. Nature Soc. Kuala Lumpur, 71-77.

LARPIN D., 1993 - Les formations ligneuses sur un inselberg de Guyane française. Etude floristique, structurale et dynamique. Thèse d'Etat Université Paris 6.

PREVOST M. F. et D. SABATIER, 1996 - Variations de la richesse et de la diversité spécifique des arbres en forêt guyanaise. Mem. ORSTOM. Colloque Phytogéographie Tropicale (sous-presse).

RICHARDS P. et G.B. WILLIAMSON, 1975 - Treefalls and patterns of understory species in a wet lowland tropical forest. Ecology, 56, 1226-1229.

RIERA B., 1995 - Rôle des perturbations actuelles et passées dans la dynamique et la mosaïque forestière. Rev. Ecol. (Terre Vie), 50, 209-222.

SOSEF M. S. M., 1991 - New species of Begonia in Africa and their relevance to the study of glacial rainforest refuges. Wageningen, Agric. Unit. Papers, 91-4, 117-151.

HISTOGRAMME DES PEUPLEMENTS EN FORÊT TROPICALE À PARTIR D'IMAGES PRISES AU SOL

Marc A.DUBOIS, Bernard RIERA***

Nous présentons une méthode d'inventaire basée sur l'analyse automatique de photographies prises au sol avec un échantillonage semi-fractal: ce concept permet d'éviter de faire une hypothèse *a priori* sur la taille de maille à considérer et permet au contraire de la définir de façon cohérente. Ce travail s'inscrit dans un effort plus large d'élaboration d'un modéle autocohérent d'écosystéme tropical.

Il n'existe aucun modèle d'écosystème qui décrive la forêt tropicale de façon satisfaisante, et la difficulté du problème peut s'appréhender en le rapprochant de la prédiction climatique à long terme: celle-ci fait en effet intervenir des échelles spatiales qui vont de la centaine de mètres à la dizaine de milliers de kilomètres (soit une dynamique de 10°5), et des échelles de temps qui vont de quelques heures à la centaine de milliers d'années (soit une dynamique de 10°7). En outre, l'océan et l'atmosphère sont deux systèmes dynamiques couplés. On commence tout juste à cerner les possibilités de simuler ce système. La forêt tropicale a une dynamique spatiale et une dynamique temporelle à peine plus réduites, mais exhibe une dimension de complexité supplémentaire, à savoir la multiplicité des acteurs. En effet, au lieu d'avoir à considérer quelques fluides comme en climatologie, le modélisateur en écologie est face à une grande diversité d'espèces animales et végétales, qui ont entre elles des interactions nombreuses et essentielles. Une simplification draconnienne est nécessaire si l'on veut développer un modèle opérationnel, qui doit satisfaire les critères suivants:

✓ décrire correctement les écosystèmes réels

✓ avoir une efficacité prédictive sur l'évolution de ces écosystèmes en cas de perturbation (climatique ou anthropique directe par exemple)

✓ "last but not least", être capable de tourner avec les moyens informatiques existants.

La définition rationnelle des maillages à prendre en compte est la première étape pour cerner la faisabilité d'un modèle global. En particulier, l'obtention d'une taille "naturelle" du maillage spatial est d'importance capitale. On sait qu'une description utile de la population en arbres d'une parcelle de forêt peut être faite à l'aide d'une fonction FA de quatre variables.

Nous proposons donc de caractériser un transect avec un échantillonage semi-fractal, en

* CEA SPEC, DRECAM Centre d'Etudes de Saclay-Orme des Merisiers 91191 GIF SYR YVETTE cedex
** Laboratoire d'Ecologie, CNRS Brunoy

prenant des photographies normalisées (heure, direction, pellicule, ouverture, focale) en des points répartis sur une droite comme un fractal semi-décimal coupé en limite basse à l'échelle du décamètre.

Ces photos (qui constituent une base de données brutes pouvant faire l'objet de ré-analyses ultérieures) sont ensuite digitalisées, puis analysées: une bande horizontale voisine de la ligne horizon est extraite, et sa corrélation verticale examinée; on obtient ainsi une donnée élaborée de premier niveau (typiquement un vecteur d'environ 700 composantes). Une transformation mathématique (Fourier ou ondelettes) fournit la donnée élaborée de second niveau, typiquement un vecteur à 20 composantes. Ce second niveau est alors traité par un réseau de neurones qui identifie pour chaque point de l'échantillonage (c'est-à-dire pour chaque photo) les paramètres de la fonction de distribution FA à l'endroit considéré (soit un vecteur à quatre composantes seulement). L'hypothèse implicite d'une homogénéité relative à l'échelle de l'hectare peut être discutée à l'aide des échantillons décamétriques.

Le réseau de neurones fait son apprentissage sur des photographies prises sur des parcelles analysées par ailleurs de façon traditionnelle (quadrats comptés de façon systématique): une telle base de données a été constituée en 1995 sur le site des Nouragues, complétée en outre par des mesures de LAI faites simultanément à la prise de vues. Par ailleurs un algorithme de création de distribution de forêt, générant pour chaque quadruplet d'arguments de la fonction FA une perspective synthétique aux caractéristiques des photos normalisées, a été construit: il permet au réseau de neurones de faire un apprentissage indépendant, à comparer avec l'apprentissage "naturel". Il est à noter que le réseau est susceptible d'étendre son domaine de compétences si on lui fait poursuivre son apprentissage sur une base de données plus large: on peut ainsi aisément envisager d'utiliser notre méthode sur d'autres types de forêts.

Nous présentons les premiers résultats obtenus avec la base de données recueillie sur le site des Nouragues.

LES ANDOSOLS NOIRS D'ALTITUDE : MATERIAUX BIOFORMÉS TRACEURS DES VÉGÉTATIONS PASSÉES

Didier DUBROEUCQ et Marie-Pierre LEDRU**

Les Andosols noirs des prairies subalpines sont des sols volcaniques à teneur élevée en matière organique. Ces sols ont été l'objet d'un intérêt particulier en raison de leur rôle de fixateurs du carbone organique (analogue à celui des tourbes) et de leur composition minéralogique, essentiellement faite de carbone et de minéraux paracristallins tels que la silice amorphe et l'allophane. D'abord étudiés dans des zones froides en Alaska (Shogi *et. al.*, 1988), puis au Japon (Shogi *et. al.*, 1990), ces sols ont montré des propriétés physico-chimiques particulières vis-à-vis de l'eau et des échanges minéraux; des relations étroites avec la végétation de graminées qui les recouvre ont été mises en évidence. Ils ont été récemment étudiés (Dubroeucq *et. al.*, 1992) au Mexique, en milieu volcanique tempéré humide, entre 2 000 et 3 000 m d'altitude, sous une forêt claire de pins avec un tapis herbacé épais.

Une étude en microscopie électronique à balayage (M.E.B.) des agrégats du sol montre qu'ils sont entièrement bioformés, principalement par l'activité de micro-oligochètes (Enchytraeidae). Cette mésofaune est hébergée par la rhizosphère des graminées du tapis herbacé. *Mulhembergia macroura* paraît être la principale graminée responsable de cette bioformation de sol. Les produits organiques ainsi élaborés sont en effet très stables et non biodégradables, ils s'accumulent d'abord sous le pied, puis autour de la graminée en formant un monticule. La plante poursuit sa croissance en poussant sur ses propres résidus de décomposition. A long terme il se forme des couches successives de sol qui se superposent les unes aux autres.

L'inventaire du pollen contenu dans les diverses strates du sol et des datations par le C14 permettent une reconstitution des diverses couvertures végétales qui se sont succédées depuis 7 500 ans B.P. jusqu'à nos jours dans cette région. Un milieu forestier à chênes se manifeste dans les strates inférieures, puis laisse la place rapidement à un tapis de composées qui vient coloniser le sol déboisé. Ce tapis sert sans doute de pionnier au tapis graminéen qui suit et qui connaît alors vers 2 700 B.P. sa pleine extension. Les pins apparaissent dans les niveaux supérieurs vers 800 B.P. et leur développement ne permet plus la croissance des herbacées. La forêt de pins est alors à son apogée. A l'époque actuelle elle tend à disparaître sous la pression de l'occupation humaine.

Le faible rajeunissement des couches inférieures du sol organique au contact du maté-

* ORSTOM, - 32, Avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy cedex

riau volcanique altéré, mis en évidence par les datations, corrobore les observations de terrain. Il existe en effet à ce niveau des dépôts de produits allophaniques noirs liés aux circulations hydriques latérales dans la macroporosité du sol.

❖ RÉFÉRENCES

DUBROEUCQ D., CAMPOS A., GEISSERT D. (1992). Terra, 10 (1), p. 51-58.

SHOGI S., KUREBAYASHI T., YAMADA I. (1990). Soil Sci. Plant Nutr., 36, p. 105-120.

SHOGI S., TAKAHASHI T., ITO T., PING, C.L. (1988). Soil Sci., 145, p. 395-413.

APPORT DES ÉTUDES MORPHOSTRUCTURALES À LA CONNAISSANCE DES MOSAIQUES FORESTIÈRES DES GRANDES PLAINES ALLUVIALES (UCAYALI INFÉRIEUR, PÉROU)

Jean-François DUMONT, Marc FOURNIER***

Au niveau de Jenaro Herrera (200 km au SW de Iquitos) la plaine alluviale de l'Ucayali couvre une bande de plusieurs dizaine de kilomètres de large. Cette bande fluviale correspond à une mosaïque d'éléments d'une dizaine à une centaine de km^2, présentant des limites nettes, et identifiables sur image spatiale par l'aspect de leur couverture végétale. Un élément de mosaïque correspond au développement puis à l'abandon, suite à son recoupement, d'une boucle de méandre (1 à 5 fig. 1). Des stades successifs de végéta-

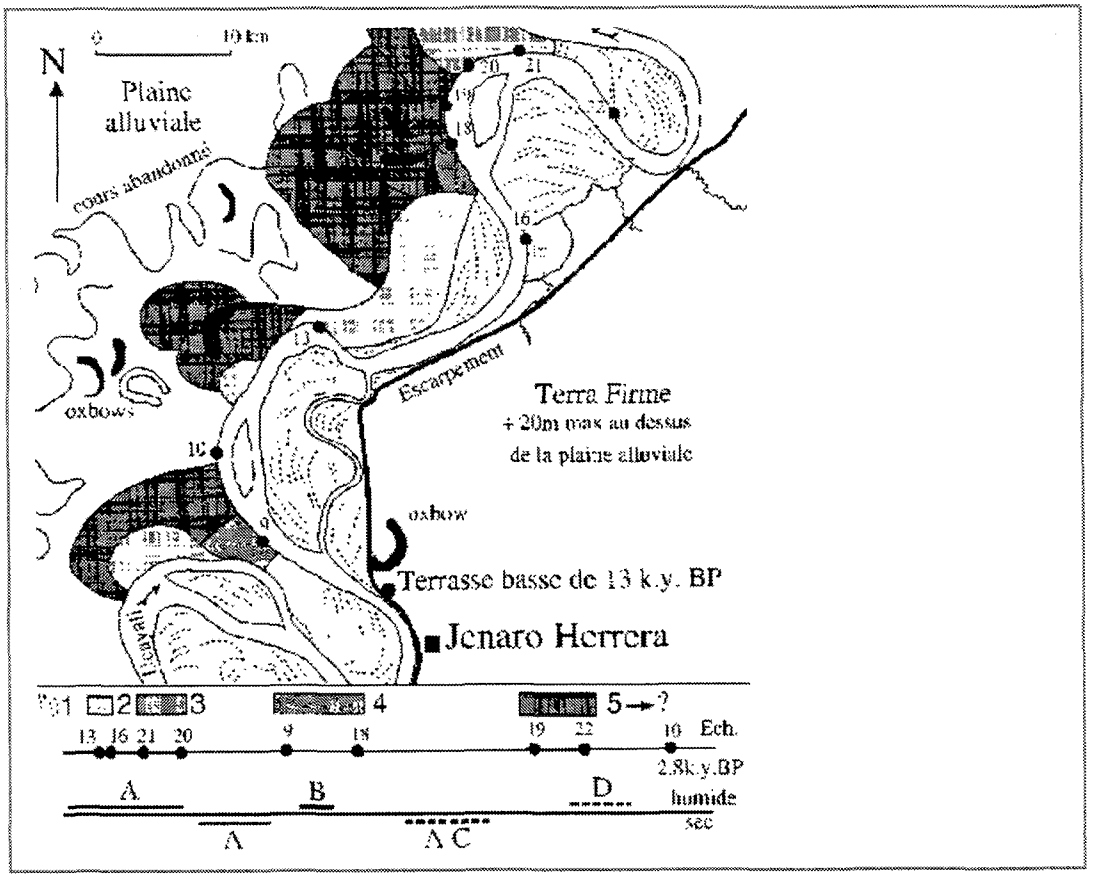


Fig. 1- Plaine alluviale de l'Ucayali inférieur (5° Sud ; 73°60' Ouest), repris partiellement de Dumont et Fournier (1994). Éléments de mosaïque : 1: période actuelle ; 2: 140-190 ans BP ; 3: 340-520 ans BP ; 4: 990-1310 ans BP ; 5: 2100-2310 ans BP. Nombres : points échantillonnés. Échelles du bas de la figure : en haut, position chronologique des échantillons et des éléments de mosaïque correspondants. En bas, principales variations paléoclimatiques enregistrées dans la région: A: donnée de Dumont *et al.*, (1992) ; B et D: données non publiées ; C: donnée de Servant *et al.*, (1981)

* ORSTOM, Laboratoire de Géodynamique sous-marine, BP 48, 06230 Villefranche sur mer
** ORSTOM, Laboratoire de Géochronologie - 32, avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex

tion pionnière colonisent progressivement ces mosaïques. En marge de la mosaïque fluviale la surface de la plaine alluviale est plus régulière, et présente des traces fluviales abandonnées qui sont de dimensions très inférieures aux traces actuelles de l'Ucayali (fig. 1, coin NW). Une étude morphostructurale de la plaine alluviale a été réalisée à partir d'une image SPOT, afin d'étudier la cinématique de la migration fluviale. Dans un premier temps les éléments de mosaïque fluviale ont été ordonnés en fonction de leur âge relatif, un élément recoupant des éléments plus anciens, et étant recoupé par les éléments plus récents. Reportée sur une carte, cette classification permet de réaliser ensuite un échantillonnage rationnel des berges afin de dater (C14 sur bois) les éléments de mosaïque (Dumont et Fournier 1994). Cinq stades de formation de mosaïque sont identifiés sur une période de près de 3 000 ans (bas de la figure, échelle horizontale du haut). Si on regroupe les stades les plus récents qui sont peu différenciés (0 à 500 ans B.P.), on retient trois grandes périodes de formation (fig.1 (1, 2, 3), 4 et 5).

Cette approche peut aussi s'appliquer directement à l'étude de la mosaïque forestière des plaines alluviales. Elle permet en premier lieu de dater l'âge maximum des différents éléments de mosaïque. Les inventaires fait par les botanistes travaillant avec F. Kahn dans ce secteur suggérent que les mosaïques les plus anciennes contiennent effectivement les arbres les plus grands et de plus fort diamètre (discussion avec K. Meija à Iquitos en 1989). Par ailleurs, des corrélations d'âge avec les données paléoclimatiques disponibles dans la région (Servant *et. al.* 1981; Dumont *et. al.* 1992) montrent que les principales périodes de construction de mosaïque correspondent à des périodes de climat plus humide (voir l'échelle du bas de la figure). Ceci suggère que durant les périodes sèches la rivière migrait peu, probablement en raison de son faible débit. On peut penser que durant ces périodes sèches la plaine alluviale était peu ou pas inondée, et que des conditions plus stables, proches de celles de la "terra firme" pouvaient y exister.

❖ BIBLIOGRAPHIE

DUMONT, J.F., GARCIA, F., FOURNIER, M. (1992). Proceeding of the International Symposium on Paleo Enso Records, L. Ortlieb and J. Machare eds, Lima, p. 87-92.

DUMONT, J.F.; FOURNIER, M. (1994). Quaternary International, 21, p. 129-142.

SERVANT, M.; FONTES, J.C.; RIEU, M.; SALIEGE, J.F. (1981). C.R. Acad. Sc. de Paris, 292, p. 1295-1297.

ÉTUDE DES RELATIONS POLLEN - VÉGÉTATION DANS LE MAYOMBE CONGOLAIS D'APRÈS LES ANALYSES STATISTIQUES

Hilaire ELENGA, Christian de NAMUR**, Maurice ROUX***

L'interprétation d'un spectre pollinique en terme de végétation suppose l'existence d'une relation entre le pourcentage de pollen de chaque plante représentée et la représentation de chaque plante dans la végétation. Mais cette relation est difficile à établir en raison de la diversité des facteurs qui influencent la production et la dispersion des pollens.

Les facteurs prépondérants susceptibles d'expliquer les distorsions entre une formation végétale donnée et son spectre pollinique sont la production pollinique, le mode de dispersion et le taux de préservation de chaque type de pollen, très variables entre les plantes.

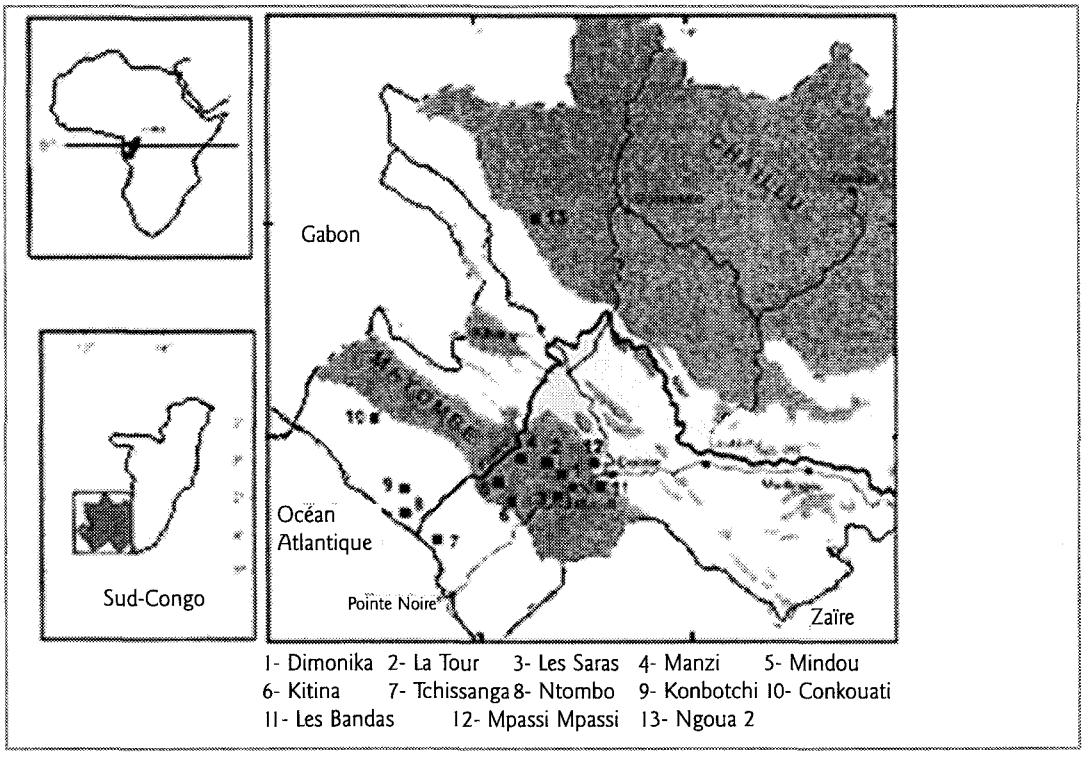


Fig. 1- Localisation des parcelles botaniques et des échantillons palynologiques actuels

* Laboratoire de Géologie du Quaternaire, CNRS CEREGE, B.P. 80, 13545 Aix en-Provence cedex 04, France
** Laboratoire de Biomathématiques, case 462, Faculté des Sciences de St Jérôme, 13397 Marseille cedex 13, France

Dans le cadre du programme ECOFIT qui a pour objectif l'étude de la dynamique à long terme des écosystèmes forestiers tropicaux, des études conjointes de botaniques et de palynologie ont été entreprises dans les forêts du sud Congo (fig. 1). Ainsi, des analyses palynologiques de sols actuels ont été réalisées sur des parcelles ayant fait l'objet d'inventaires floristiques détaillés afin de rechercher et d'établir des relations entre un spectre pollinique et la formation végétale dont il est issue et également de rechercher les taxons ou groupes de taxons que l'on pourrait considérer comme marqueurs pour chaque formation végétale. Ces relations sont recherchées par l'utilisation de méthodes statistiques (Analyse Factorielle de Correspondances et tests de permutation).

Il apparaît, au vu des résultats préliminaires, tant sur le plan botanique que palynologique:

✓ Une discrimination très nette entre les sites (fig. 2 et 3)

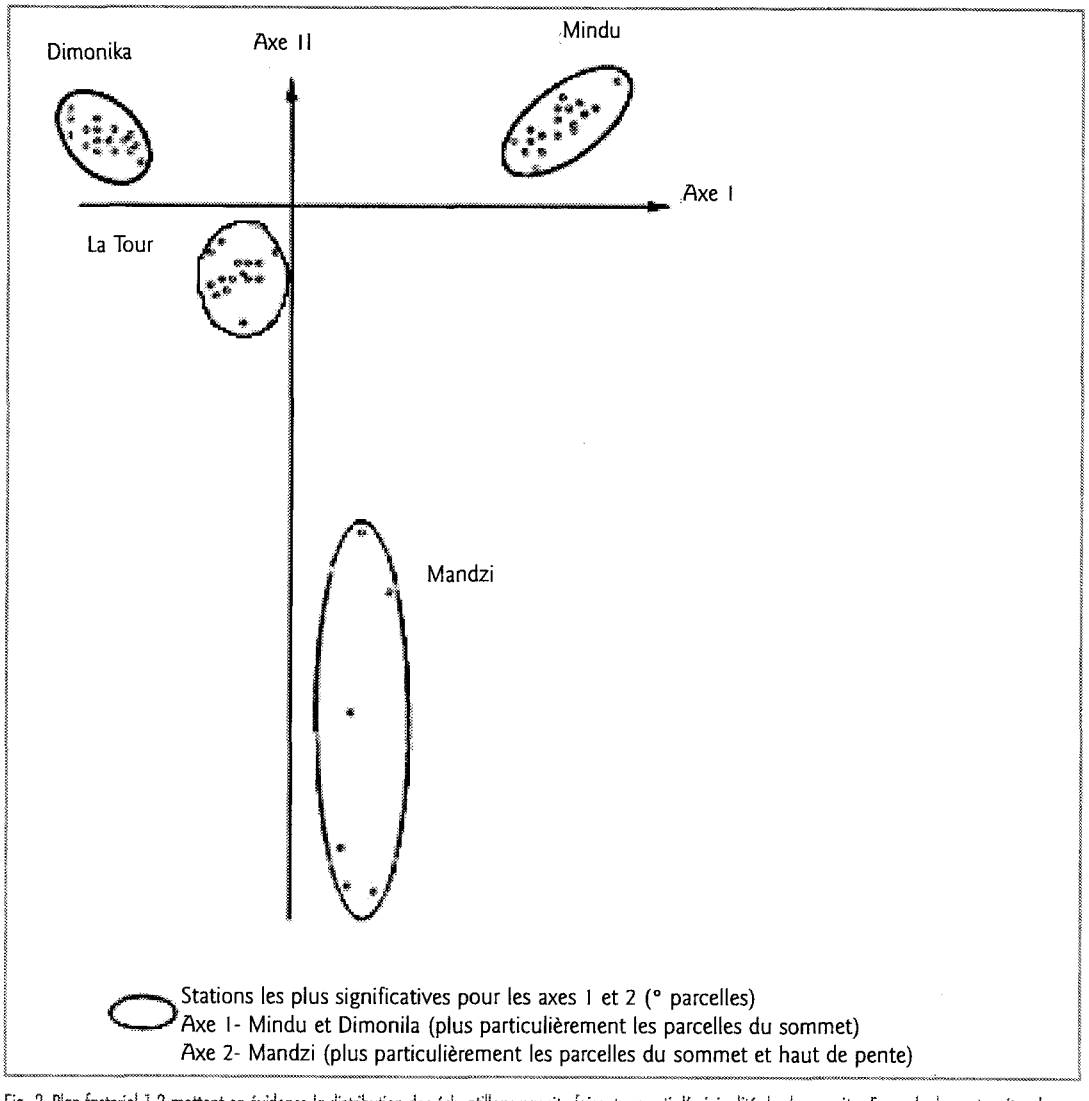


Fig. 2- Plan factoriel 1-2 mettent en évidence la distribution des échantillons par site faisant ressortir l'originalité de chaque site. Exemple de quatre sites du Mayombe central

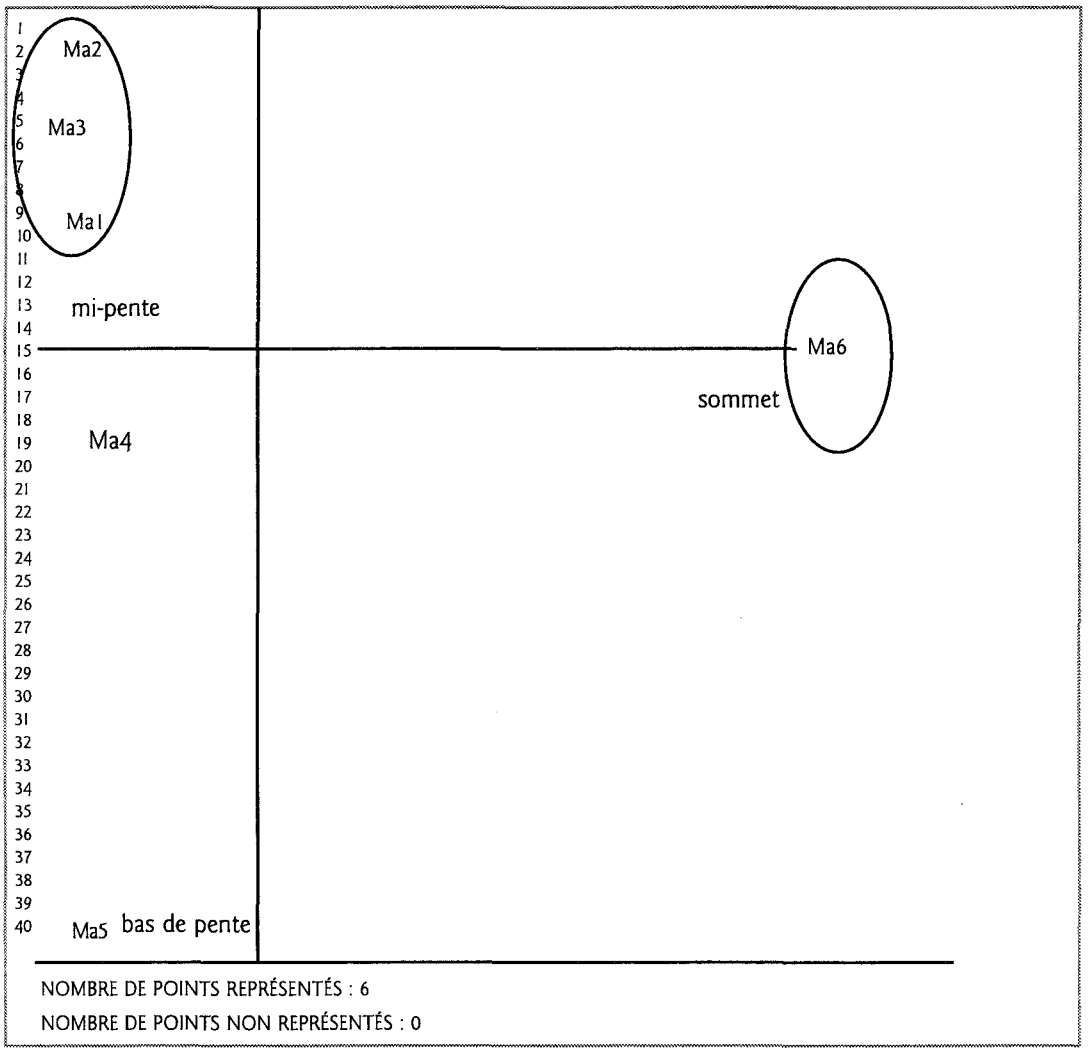


Fig. 3- Plan factoriel 1-2 sur la station de Mandzi. On passe du pôle positif au pôle négatif des échantillons de bas de pente, de plateau et de sommet

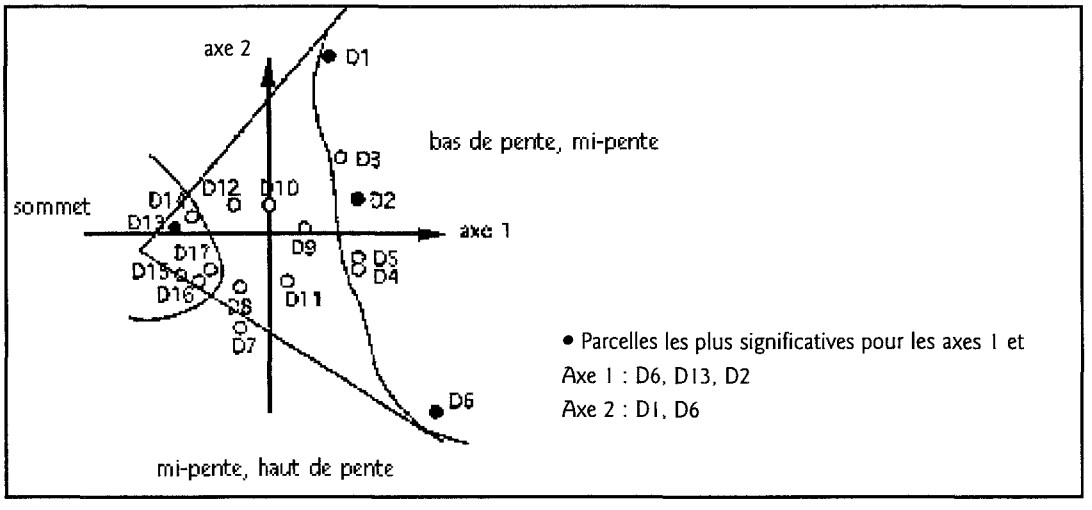
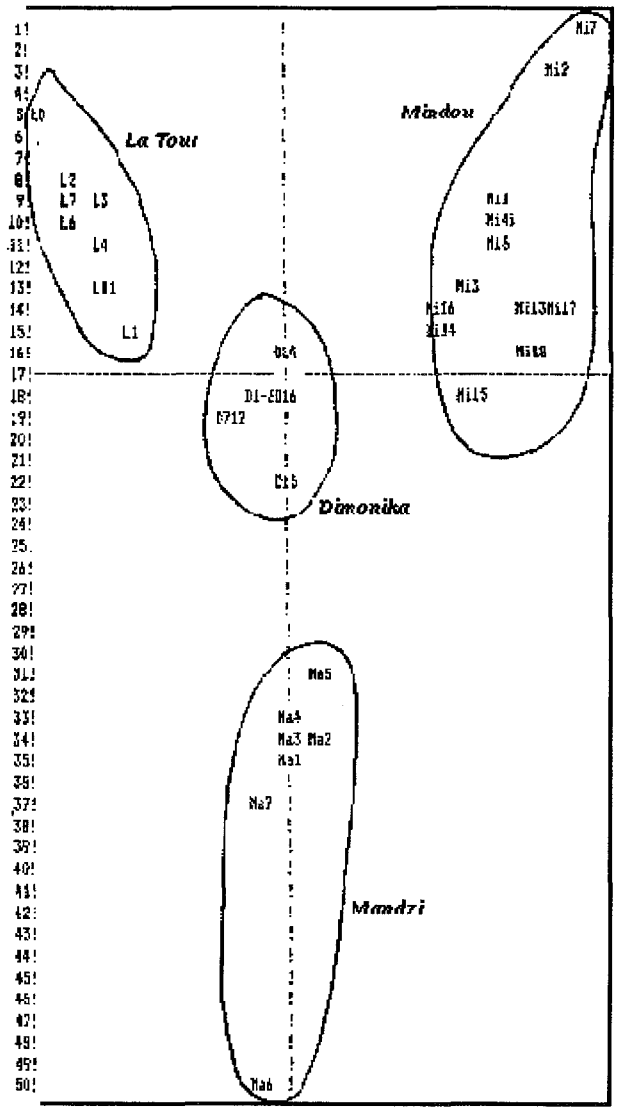


Fig. 4- Plan factoriel 1-2. L'axe met en évidence trois groupes d'échantillons correspondants, du pôle positif au pôle négatif, aux relevés de bas-fonds, à ceux de la mi-pente puis à ceux du sommet

Représentation de 37 points sur 1 page Axe horizontal : 1 - Axe vertical : 2
Pollens Taxons rassemblés en 78 groupes



Nombre de points représentés : 32
Nombre de points non représentés : 5
Liste des points superposés

LÉ	&	L5	en	8	L7	&	L9	en	9	Mi1	&	Mi8	en	9
Ma2	&	Ma8	en	34	Ma3	&	Ma9	en	34					

Fig. 5- Plan factoriel 1-2 sur quatre stations du Mayombe central faisant ressortir l'originalité de chaque site

✓ A l'intérieur d'un même site, une discrimination des échantillons selon la topographie (fig. 4 et 5).

✓ les taxons marqueurs botaniques ne sont pas toujours, à quelques exceptions, les mêmes que les marqueurs palynologiques. Cette observation est plus nette lorsque l'on se situe à l'échelle d'une parcelle, donc d'un échantillon palynologique, en revanche, à l'échelle du site, l'ensemble des spectres polliniques fait ressortir globalement le fond botanique de chaque site.

LE CONTENU POLLINIQUE DE L'ATMOSPHÈRE DANS LES FORÊTS SUD-CAMEROUNAISES PRÈS DE YAOUNDÉ

Ariane FREDOUX, Jean MALEY***

La station de Mengang à 50 km à l'est de Yaoundé, où a été posée la girouette (d'après P. Cour, 1974), se trouve en forêt dense humide semi-caducifoliée de la zone Guinéo-Congolaise.

Ces inventaires, portant sur les deux-tiers de l'année 1987, permettent la mise en évidence, parmi les 150 taxons représentant 58 familles, d'une majorité de AP avec des pollens d'Ulmacées (*Celtis, Trema*) de Sterculiacées et de Moracées particulièrement de Musanga, espèce colonisatrice en milieu forestier.

Ces premiers résultats exprimés en valeurs relatives mensuelles, concernent les taxons ayant les plus fortes fréquences et les ensembles de taxons (établis d'après la phytogéographie et l'écologie - White, 1983, Letouzey, 1985) dont 5 de taxons forestiers, 2 de savane, 2 de milieux anthropisés et 1 pour les seules Graminées. Ils reflètent le milieu des forêts semi-caducifoliées à Sterculiacées et Ulmacées définies par Letouzey (1985). Cette recherche permet de renforcer les études sur les périodes actuelles et de compléter les recherches précédentes sur le contenu pollinique de l'atmosphère en Afrique de l'Ouest (Ybert, 1980, Caratini, Tissot, Frédoux, 1988).

* CEGET - Lab. de Palynologie - Domaine Universitaire de Bordeaux - 33405 Talence cedex
** ORSTOM, Univ. des Sciences et Techniques du Languedoc - Place Eugène Bataillon - 34060 Montpellier

LES ISOTOPES STABLES DU CARBONE, MARQUEURS BIOLOGIQUES DE LA DYNAMIQUE DES PALÉOENVIRONNEMENTS CONTINENTAUX

*André MARIOTTI**

On sait depuis les années 70 que l'abondance naturelle en ^{13}C des végétaux supérieurs est principalement déterminée par leur type photosynthétique (Bender, 1968; Smith et Epstein, 1971). Les espèces herbacées des régions tempérées et froides, tous les arbres, utilisent le cycle de Calvin, dit en C_3 et incorporent beaucoup moins de ^{13}C que ne le font les plantes utilisant le cycle photosynthétique en C_4, dit de Hatch et Slack: ces plantes en C_4 sont principalement des Chenopodiacées et des Graminées de régions tropicales (savanes notamment). Ainsi, dans la classique notation "δ" des géochimistes, la composition isotopique en ^{13}C ($\delta^{13}C$) des plantes C_3 est de l'ordre de -26‰, celle des plantes C_4 de l'ordre de -12‰. Des variations autour de ces moyennes existent mais, lorsque l'on compare des plantes qui présentent ces deux types de photosynthèse et qui croissent dans le même environnement, on constate qu'elles présentent des différences systématiques très stables, de l'ordre de 12 à 14‰.

La minéralisation des litières, celle des matières organiques du sol (MOS) plus ou moins humifiées, les processus liés à cette humification, n'introduisent que de faibles variations en ^{13}C des MOS : seul un léger enrichissement isotopique de 2 à 3‰ s'observe avec la profondeur. Il s'explique par des fractionnements isotopiques qui peuvent intervenir lors de la respiration microbienne et de la dégradation des MOS : le CO_2 qui quitte alors le sol est appauvri en ^{13}C et la matière organique s'enrichit en ^{13}C . D'autre part, au cours du dernier siècle, accompagnant l'effet Suess observé sur le ^{14}C, on a mesuré un appauvrissement (de -6,4 vers -7,8‰) du $\delta^{13}C$ du CO_2 atmosphérique (Friedli *et al.*, 1986; Marino et Mc Elroy, 1991), appauvrissement expliqué par l'injection dans l'atmosphère du CO_2 provenant de la combustion des gaz, charbons et pétroles et du CO_2 provenant de l'oxydation des MOS et de la destruction des végétations accompagnant la déforestation et la mise en culture de surfaces sans cesse plus importantes à l'échelle globale : le carbone de ce CO_2 est très pauvre en ^{13}C (vers -25‰) et ainsi le $\delta\ ^{13}C$ du CO_2 il y a un siècle ou plus présentait (cela a été notamment mesuré dans les glaces polaires), un enrichissement en ^{13}C de l'ordre de 1,5‰ par rapport à l'actuel : cet enrichissement doit se retrouver dans les MOS anciennes, concentrées dans les parties profondes des profils. D'autres raisons de cet enrichissement avec la profondeur peuvent être proposées (synthèse in Mariotti, 1995). En tout état de cause, l'altération du signal isotopique (2 à 3‰) lors de la transformation des matières organiques fraîches en MOS humifiées est du deuxième ordre par rapport à la différence de composition isotopique qui peut être enregistrée dans ces MOS à partir de végétations de type C_3 ou C_4 (12 à 14‰).

* Biogéochimie isotopique, UMR n° 162, université Pierre et Marie Curie - INRA -CNRS case courrier 120, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05

Ainsi, les MOS gardent-elles, avec une bonne fidélité, la mémoire de la végétation qui leur a donné naissance et cette mémoire nous permet de mettre en évidence dans le sol des changements de végétation du type C_3 vers le type C_4 ou le contraire. Dans les zones tropicales et intertropicales, par exemple en Afrique, Amérique du sud et Asie, on trouve fréquemment des situations de coexistence des deux types de végétation : savane avec dominance d'espèces herbacées C_4, forêt, exclusivement C_3. Dans ces situations, l'analyse de la composition isotopique de la matière organique nous permet d'identifier le type de végétation-source et d'envisager l'étude spatiale ou temporelle de la dynamique du contact des deux biomes savane et forêt.

De nombreuses applications ont trouvé place dans le programme ECOFIT.

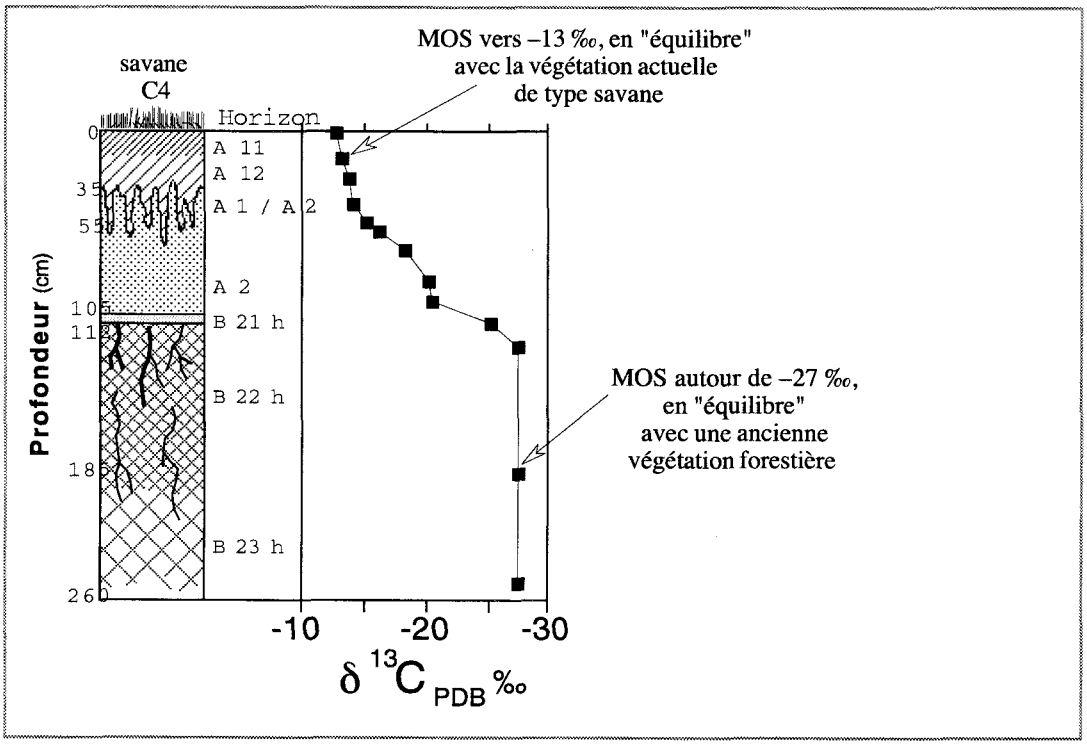


Figure 1- Profil pédologique et isotopique des MOS d'un podzol géant situé près de Brazzaville (Congo)

Par exemple, le profil de sol de la figure 1, étudié par D. Schwartz (Schwartz *et al.*, 1986; Mariotti et Balesdent, 1990), podzol géant sur les sables Batéké du Congo, couvert actuellement par une végétation graminéenne en C_4 (*Loudetia simplex* et *Monocymbium ceresiiforme*), montre en surface des MOS en "équilibre" avec cette végétation (vers -12‰). Mais des $\delta^{13}C$ décroissants en profondeur jusqu'à -27‰ dans l'humus de l'horizon B_h révèlent que les parties profondes de ce sol ont conservé l'héritage d'une période où la végétation était de type C_3, c'est-à-dire dans cette zone, une forêt : les alios sont des niveaux reliques et se sont formés alors qu'une végétation forestière couvrait le sol. Ce profil isotopique est la mémoire enregistrée d'un changement majeur de végétation, la savane ayant remplacé la forêt après que le profil de sol ait été mis en place.

Une application fructueuse, très utilisée dans le cadre du programme ECOFIT et qui sera illustrée dans ce Colloque, concerne l'étude de la dynamique des contacts forêt-savane, témoin de l'évolution climatique et/ou de la pression anthropique.

Sur la figure 2, nous présentons sommairement les résultats de l'étude de profils pédologiques situés de part et d'autre de la limite entre ces deux types de végétation, étude qui se propose de préciser la dynamique de l'écotone forêt-savane en Inde dans la région des Ghâts occidentaux, à Kattinkar (Mariotti et Peterschmitt, 1994).

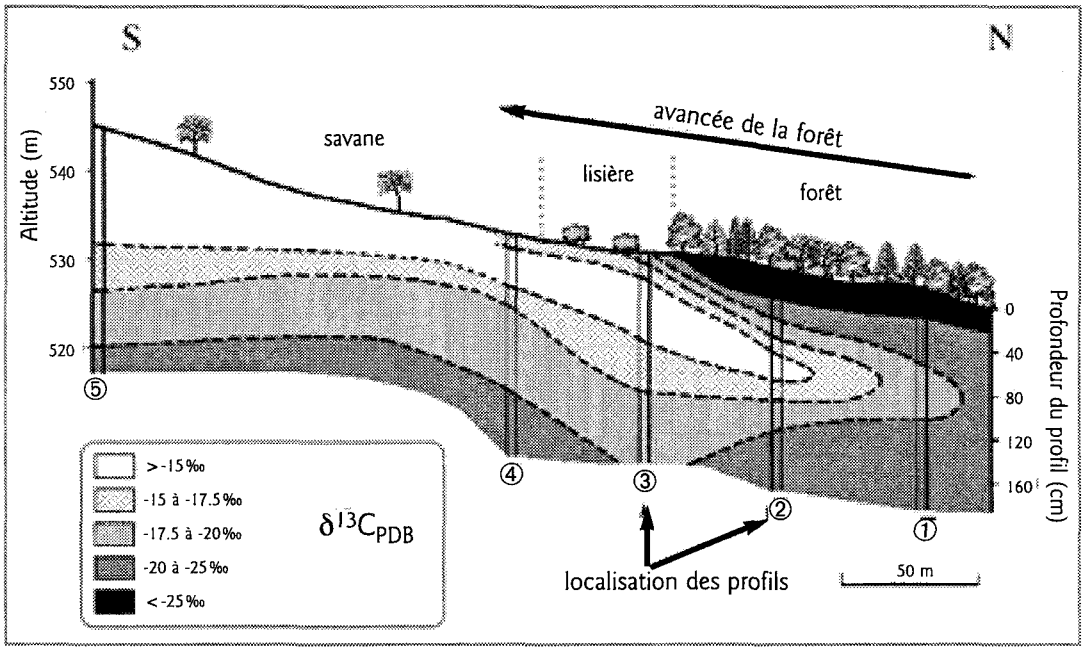


Figure 2- Variation du signal isotopique $\delta^{13}C$ le long d'une toposéquence forêt-savane à Kittinkar, Ghâts occidentaux, Inde (redessiné d'après Mariotti et Peterschmitt, 1994)

La dynamique de cette interface est un problème fondamental dans un pays où la pression anthropique est très forte. Le système est-il réversible? Après une savane, le retour à l'écosystème forestier est-il encore possible en dépit de la dégradation des paramètres de fertilité des sols?

La figure 2 répond clairement à cette question: sous la savane, les MOS des horizons de surface ont un $\delta^{13}C$ compris entre -12 et -15‰ : elles sont bien en "équilibre" avec les graminées de type C_4 couvrant actuellement ces sols. Sous la forêt, la même observation peut être faite : les MOS en surface ont un $\delta^{13}C$ compris entre -25 et -27‰. Par contre, on observe dans la forêt, à proximité du contact forêt-savane, sous les horizons forestiers à $\delta^{13}C$ proche de -25‰, l'existence d'humus enrichis en ^{13}C ($\delta^{13}C > -15$‰), témoignage d'un passé récent où, à la place de la forêt actuelle, était installée une savane. La forêt est donc en train de gagner du terrain sur la savane dans cette zone. Ainsi la savanisation, probablement d'origine anthropique dans cette situation, n'est pas un processus irréversible, en dépit de la dégradation et de l'appauvrissement des sols après destruc-

tion de la forêt (pertes d'argile, baisse du taux de matières organiques). On remarquera sur la figure 2 que les profils sous savane ont conservé en profondeur l'empreinte isotopique de la forêt qui préexistait dans la zone.

Ce traceur ^{13}C, appliqué à l'étude des MOS est puissant. Il permet et permettra de significatives avancées dans notre capacité de mettre en évidence avec précision des variations, récentes ou anciennes, de composantes des paléo-végétations et par là même de documenter des changements dans la paléoécologie et les paléo-environnements continentaux eux-mêmes sous déterrninisme paléoclimatique et/ou paléohydrologique.

On saisira sur les quelques exemples présentés l'étendue des champs de recherche ouverts par l'emploi de ces méthodes, déjà largement utilisées (Hendy *et al.*, 1972 ; Ambrose et Sikes, 1991 ; Birdet Chivas, 1991 ; Delaune, 1986 ; Dzurec *et al.*, 1985; Guillet *et al.*, 1988 ; Krishnamurthy et De Niro, 1982 ; Krishnamurthy et Bhattacharya, 1989 ; Schwartz *et al.*, 1995).

Il reste que le champ d'application de cette méthode est restreint dans le temps par la durée de conservation de l'empreinte isotopique qui est une fonction stricte du taux de renouvellement des MOS dans le sol étudié. On peut espérer contourner partiellement cette limitation en recherchant dans le sol des fractions, des molécules biorésistantes à long temps moyen de résidence ayant conservé leur mémoire isotopique en dépit de l'effacement quasi total de cette mémoire sur le carbone organique total. Les techniques récentes d'analyse du ^{13}C au niveau moléculaire par couplage chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse isotopique, ouvrent notamment d'intéressantes perspectives dans ce domaine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMBROSE S.H. et SIKES N.E. (1991) - Soil carbon isotope evidence for Holocene habitat change in the Kenya Rift Valley. Science, 253, 1402-1405.

BENDER M.M. (1968) - Mass spectrometric studies of carbon 13 variations in corn and other grasses. *Amer. J. Sci. Radiocarbon (Suppl.)*, 10; 468-472.

BIRD M.I. et CHIVAS A.R. (1991)- Carbon ratios in the Amazon. *Nature*, 354; 271-272.

DELAUNE R.D. (1986) -The use of $\delta^{13}C$ signature of C_3 and C_4 plants in determining past depositional environments in rapidly accreting marshes of the Mississippi river deltaic plain, Louisiana, USA. *Chem. Geol, (Isot. Geosc. Sect)*, 59; 315-320.

DESJARDINS T., VOLKOFF B, ANDREUX F. ET CERRI C.C. (1991) - Distribution du carbone total et de l'isotope ^{13}C dans des sols ferrallitiques du Brésil. *Science du Sol*, 29: 175-187.

DZUREC R.S., BOUTTON T.W., CALDWELL M.M. ET SMITH B.N. (1985) - Carbon isotope ratios of soil organic matter and their use in assessing community composition change in Curlew Valley, Utah. *Oecologia*, 66 ; 17-24.

FRIEDLI H., LOTSCHER H., OESCHGE H., SIEGENTHALER U. ET STAUFFER B. (1986) - Ice core record of the $^{13}C/^{12}C$ ratios of atmospheric CO_2 in the past two centuries. *Nature*, 324 ; 237-238

GUILLET B., FAIVRE P., MARIOTTI A. et KHOBZI J. (1988) - The evidence of open landscapesin valleys adjacent to the "Sabana de Bogota" during Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 65 ; 51-58.

HENDY C.H., RAFLER T.A. et MACINTOSH N.W.G. (1972) - The formation of carbonate nodules in the soûls of the Darling Dons, Queensland, Australie, and the dataient of the Talai craniu. In: Rafler et Grant-Taylor (Eds), "Proc. of the 8th Intern. Radiocarbon Dating Conference", Lower Hutt, New-Zealand, Royal Society of New-Zealand, pp. D106-D126.

KRISHNAMURTHY R.V. et DE NIRO M.J. (1982) - Isotope evidence for Pleistocene climatic changes in Kashmir, India. Nature, 298 ; 640-644.

KRISHNAMURTHY R.V. et BHATTACHARYA S.K. (1989) - Paleovegetationalhistory in the Kashmir basin, India, derived from I 3c/1 2c in paleosols. Earth and Planet. Sci. Let, 95; 291-296.

MARINO B. D. et McELROY M.B. (1991) - Isotopic composition of atmospheric CO2 inferredfrom carbon in C4 plant cellulose. *Nature*, 349; 127-131

MARIOTTI A. (1995) - Les isotopes stables du carbone, traceurs de l'évolution des écosystèmes continentaux et de la dynamique des matières organiques du sol. In: "La révolution technologique de l'Écologie", Legay & Barbault (Eds), Masson pp. 37-61.

MARIOTTI A. et BALESDENT J. (1990) ^{13}C natural abundance as a tracerof soil organic matter turnover and paleoenvironment dynamics. *Chem. Geol.*, 84 ; 317-319.

MARIOTTI A. et PETERSCHMITT E. (1994) - Forest savanna ecotone dynamics in India as revealed by carbon isotope ratios of soil organic matter. *Oecologia*, 97: 475-480.

SCHWARTZ D., MARIOTTI A., LANFRANCHI R. et GUILLET B. (1986) $^{13}C/^{12}C$ ratios of soil organicmatter as indicators of ecosystem changes in tropical regions. *Geoderma*, 39 ; 97-103.

SCHWARTZ D., DE FORESTA H., MARIOTTI A., BALESDENT J., MASSIMBA J.P. et GIRARDIN C. (1996) - Present dynamics of the savanna-forest boundary in the Congolese Mayombe : a pedological, botanical and isotopic (^{13}C & ^{14}C) study. *Oecologia*, en cours de parution.

SMITH B.N. et EPSTEIN S. (1971)- Two categories of $^{13}C/^{12}C$ ratios of higher plants. *Plant Physiology*, 47 ; 380-384.

THE CARBON ISOTOPES IN SOILS OF RONDONIA-AMAZON REGION AND RELATIONS WITH THE ECOSYSTEM FOREST/CERRADO

L.C.R. PESSENDA, M.B.M. GOMES**, R. ARAVENA***, A.S. RIBEIRO**, R. BOULET*****

Soil organic matter (SOM) is a complex mixture of different pools; from very labile compounds with very fast cycling times to refractory components which accumulate over the years (TRUMBORE, 1992). These attributes are susceptible to climate change, which will cause alterations in organic matter inputs and rates of decomposition (JENKINSON *et. al.*, 1991). The cumulative response of SOM behaviour to past and future changes is a significant factor in the global carbon cycle (JENKINSON *at al.*, 1991).

The Amazon region is one of the key ecosystems that has significant influences on the climate of the southern hemisphere. Significant research efforts have being spent to understand the link between climate changes and past vegetation in the Amazon region during the Quaternary. Several approaches have involved the use of biological, botanical and geomorphologic tools (ABSY *et. al.*, 1991; LEDRU, 1993). Our approach involves the use of ^{13}C analyses in SOM to infer past vegetation (and climatic) changes based on distinct isotopic composition that characterize C_3 and C_4 plants and ^{14}C was used as dating tool. This approach is being applied to soils in the south, central and north (Amazon) regions of Brazil (PESSENDA *et. al.*, in press a, PESSENDA, *et. al.*, in press b).

This paper presents data collected in the natural ecosystem forest-transition-cerrado located in Rondonia state, northwest of Amazon region. The soil type at the forest site, located in the northern part of Rondonia state, is Podzolico Vermelho Amarelo according to the Brazilian soil classification and Tropudults in American classification. The vegetation is a Tropical Rain Forest. The soils collected along a transect that include other three distinct vegetation communities, are Latossolo Vermelho Amarelo according to Brazilian classification and Oxisol in American classification. The transition vegetation (Tropical Forest and Cerradao) sites are located near of city of Pimenta Bueno, central-south and about 350 km from the forest site and the Cerrado at southern part of Rondonia, about 350 km from Pimenta Bueno. Soil sampling was done at 10 cm intervals to a maximun depth of 2m.

The forest and forest transition sites are characterized by typical $\delta^{13}C$ profiles (-29‰ to 24‰), indicating the predominance of C_3 plants during the past in this region. The soil under Cerradao, shows a significant change in $\delta^{13}C$ from -27,5 ‰ at the surface to -

* 14C Laboratory - CENA/USP, 13400-970 Piracicaba, SP, Brazil
** University of Rondonia, Campus of Ji-Parana and Porto Velho Rondonia, Brazil
*** Waterloo Center for Groundwater Research, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
****ORSTOM/Institute of Geoscience-USP/NUPEGEL, Brazil

18.6 ‰ at 50 cm. This value changed toward more depleted $\delta^{13}C$ values, reaching a value of -30‰ at 200 cm. This trend indicates the predominance of forest type vegetation in the interval between 200 cm to 130 cm, changing to a vegetation community with a mayor influence of C_4 plants, recorded in the interval between 120 cm to 20 cm depth.

The $\delta^{13}C$ values at the Cerrado site are the more enriched compared to the other sites. The more depleted value (-21.7 ‰) was observed at the surface layer (0-10 cm). This reflects the predominance of C_4 plants in this type of vegetation communities. This site also shows a similar ^{13}C trend than the Cerradao site, suggesting a drier period during the range covered by the sampling interval 130-20 cm data. The ^{13}C data clearly indicated that there was a change in the past in the geographical position of the vegetation communities that exist in Rondonia today. The period for these changes obtained in ^{14}C data of total soil organic matter, humid fraction and charcoal, indicate that the organic matter in these soils is at least holocene in age.

❖ REFERENCES

ABSY, M.L., CLEEF, A., FOURNIER, M., SERVANT, M., SIFFEDINE, A., SILVA, M.F.F., SUGUIO, K., TURCQ, B., VAN der HAMMEN, T., 1991. Mise évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 6000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. C.R. Acad. Sc. Paris, t.312, Serie II, 673-678.

JENKINSON, D.S., ADAMS, D.E., WILD, A., 1991. Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming. Nature 351: 304-306

LEDRU, M.P., 1993 Late Quaternary environmental and climatic Changes in Central Brazil. Quaternary Research 39:90-98

PESSENDA, L.C.R., ARAVENA, R., MELFI, A.J., TELLES, E.C.C., BOULET, R., VALENCIA, E.P.E., TOMAZELLO, M., in press a. The use of carbon isotopes (^{13}C ^{14}C) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in Central Brazil. Radiocarbon.

PESSENDA, L.C.R., VALENCIA, E.P.E., CAMARGO, P.B., TELLES, E.C.C., MARTINELLI, L.A., CERRI, C.C., ARAVENA, R., ROZANSKI, K., in press b. Radiocarbon measurements in Brazilian soils developed on basic rocks. Radiocarbon.

TRUMBORE, S. 1993. Comparison of carbon dynamics in tropical and temperate soils using radiocarbon measurements. Global Biogeochem. Cycles 7:275-290.

ETUDE STATISTIQUE DE LA SÉDIMENTATION POLLINIQUE ACTUELLE DANS LE SUD CAMEROUN: APPLICATION AUX DÉPÔTS HOLOCÈNES DU LAC OSSA

*Isabelle REYNAUD-FARRERA**

L'étude palynologique de 50 échantillons de sol prélevés au sein de diverses végétations du sud Cameroun, associée à des relevés botaniques quantifiés, a permis l'obtention d'une banque de données originale.

Afin de mettre en évidence des marqueurs de la relation pollen - végétation pour les formations végétales étudiées, tous les taxons polliniques et botaniques, quels que soient leurs pourcentages, ont été examinés à l'aide de méthodes statistiques. L'Analyse Factorielle des Correspondances, analyse multivariée déjà testée en milieu tropical et très bien adaptée au traitement des données polliniques, a permis de caractériser les associations végétales actuelles par leur composition pollinique. De plus, l'emploi d'un test nouveau pour le traitement de telles données, le test de permutation, a fourni des résultats préliminaires quant à la mise en place d'une relation quantitative entre pollen et végétation au niveau régional.

Au vu de ces résultats, une caractérisation des spectres fossiles issus de l'étude de trois sondages prélevés dans un lac du sud-ouest Cameroun, le lac Ossa, a été tentée. Malgré les limites de ces méthodes statistiques, une confirmation des zonations palynologiques définies de manière classique et des précisions dans l'interprétation des phases majeures d'évolution des paléoenvironnements de cette région d'Afrique Occidentale ont été obtenues.

* Paléoenvironnements et Palynologie. Université Montpellier 2, Montpellier - 34095

RELATIONS STATISTIQUES PLUIE POLLINIQUE - VÉGÉTATION EN FORÊT TROPICALE AFRICAINE

Maurice ROUX, Gaston ACHOUNDONG**
Hilaire ELENGA***, Christian de NAMUR*,
Isabelle REYNAUD-FARRERA****, Annie VINCENS****

L'analyse palynologique des sédiments dont l'objectif est la reconstitution des écosystèmes végétaux passés, implique que l'ensemble des pollens et des spores déposés en un même site représente le plus fidèlement possible la végétation ou, du moins, qu'il existe une relation étroite entre la pluie pollinique et la végétation. La connaissance de cette relation est la base même de toute interprétation des spectres polliniques anciens; mais il est certain que celle-ci est complexe car elle est sous la dépendance de nombreux facteurs: écologiques, climatiques mais est également liée à la production pollinique des végétaux, au mode de dispersion des pollens.

En Afrique, afin d'essayer de comprendre une telle relation, de nombreux travaux concernant l'étude du contenu pollinique d'échantillons actuels de sol, ont été effectués. Cependant, et à une exception près (Gabon), les résultats obtenus n'ont jamais pu être comparés directement à des données botaniques précises et quantifiées au site d'échantillonnage. De ce fait,les interprétations fournies sur la relation pollen-végétation restent largement intuitives et empiriques.

Dans le cadre du programme ECOFIT, un atelier "calibration pollen-végétation" a été créé, qui a permis d'établir, pour la première fois, une collaboration étroite entre palynologues, botanistes et mathématiciens. Les travaux menés dans le cadre de cet atelier, concernent deux régions forestières africaines, le Cameroun et le Sud-Congo, pour lesquelles, sur les mêmes sites (respectivement 53 et 64), des données botaniques et des données palynologiques quantifiées ont été recueillies. Ainsi, à chaque échantillon pollinique est associé un relevé phytosociologique du couvert végétal de la parcelle (20 x 20 m) sur laquelle il a été prélevé.

L'étude de la relation pollen-végétation a été abordée suivant différentes méthodes statistiques. La méthode classique de l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été dans un premier temps appliquée indépendamment sur les données polliniques puis sur les données botaniques.

Au Cameroun, les AFC, pour des deux types de données, ont permis de différencier deux groupes de relevés: la forêt montagnarde d'une part et les forêts de moyenne et basse altitudes d'autre part, et de montrer une opposition entre milieu ouvert et milieu fores-

* Biomathématiques,case 462, Faculté des Sciences de St Jérôme, 13397 Marseille cedex 13
** - Herbier National, BP 1601, Yaoundé, Cameroun
*** - Géologie du Quaternaire CNRS, CEREGE, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04
**** - Paléoenvironnements et Palynologie, case 61, Université de Montpellier 2, 34095 Montpellier cedex 5

tier. Au Congo, le principal résultat obtenu est que les variations interstationnelles sont beaucoup plus marquées que les fluctuations intrastationnelles, pour les pollens comme pour la botanique.

A cette méthode, des procédures de tests statistiques moins connues, et peu répandues dans la communauté des biologistes, ont été mises en oeuvre spécialement pour traiter les données actuelles ECOFIT.

Il s'agit tout d'abord du test de coefficient de corrélation par la méthode des permutations aléatoires, qui permet de déterminer si, pour un taxon donné, la corrélation entre les pourcentages polliniques et l'abondance de la plante dans les divers sites est significativement différente de zéro. Ce test s'est avéré d'une grande aide à l'AFC pour discriminer, comme au Cameroun, des sous-groupes à l'intérieur des relevés forestiers de basse et moyenne altitudes, ce qui n'avait pas été possible antérieurement. Au Congo, cette méthode a permis de confirmer la prépondérance de l'effet "station" sur les facteurs topographiques locaux.

La comparaison détaillée des relevés de végétation et de la composition de la pluie pollinique sur un même site a cependant montré que les pollens présentaient parfois des fluctuations qui n'avaient que peu de relation avec l'abondance des espèces végétales correspondantes (problèmes de sur ou sous-représentation). Afin d'essayer d'éliminer ces distorsions, l'utilisation de données basées sur la seule présence ou absence des taxons polliniques comme des espèces botaniques sur chaque site a été testée. L'analyse factorielle d'un tableau "croisant" les deux types de données fait, en effet, clairement apparaître (à l'aide des contributions aux axes) des taxons marqueurs et permet, selon toute vraisemblance, de déterminer les principaux faciès forestiers à partir des taxons polliniques.

Ce travail est en cours de dépouillement. Mais l'on peut, à heure actuelle, être raisonnablement optimiste quand à l'utilisation de ces résultats pour aboutir à des reconstitutions plus précises des paléovégétations d'Afrique centrale atlantique que celles établies actuellement.

ANALYSES FACTORIELLES DES CORRESPONDANCES SUR QUELQUES STATIONS FORESTIÈRES (MAYOMBE CONGOLAIS)

Maurice ROUX, Christian de NAMUR

❖ LES MÉTHODES

Ces méthodes, maintenant classiques, consistent à extraire, par ordre d'importance décroissante, les gradients successifs, non corrélés entre eux, qui sous-tendent la dispersion des vecteurs lignes et des vecteurs colonnes du tableau analysé. Les deux principales méthodes de ce type, sont l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle des correspondances (AFC) deux applications voisines d'un même principe mathématique.

Les options spécifiques de chacune de ces méthodes font que l' ACP est mieux adaptée au traitement des variables continues (taille, poids, pH, etc...) tandis que l'AFC permet d'analyser soit des tableaux d'effectifs (tableaux de contingence) soit des tableaux dont les colonnes représentent des variables qualitatives.

Les données botaniques se présentent généralement sous forme de comptages d'arbres ou bien sous forme de présence ou absence de ces arbres. Dans ces deux cas elles relèvent donc de l'AFC.

❖ LES STATIONS ÉTUDIÉES

Localisation

Les résultats que nous exposons ici ne représentent qu'une partie des relevés effectués dans la partie centrale du Mayombe congolais.

	Dim	La Tour	Mindu	Ma(1)	Ma(2)	T
Nb parc. "bota"	**17**	**15**	**18**	**6**	**3**	**59**

D'autres stations (regroupant 89 parcelles) sont en cours d' étude:

Mayombe central: les Saras (12 parcelles "bota"), Lac Kitina (6), Mayombe oriental: Les Bandas (4), Mpassi-Mpassi (3), Forêt sub littorale: Koubotchil (5), Koubotchi 2(6),

POSTER

Koubotchi (friche) (2), Forêt littorale: Ntombo (4), Tchissanga (9), Forêt à Okoumés (Mayombe): Conkouati: ECIK-MAR (5), ECIK- ELE (6).Toutes ces stations sont caractérisées sommairement en annexe, et localisées sur la carte jointe.

Echantillonnage botanique

La parcelle élémentaire d'étude quantitative est représentée par un carré de 20 x 20m. Pour chaque station plusieurs parcelles sont étudiées.

Tous les individus arbustifs ou arborescents sont recensés au dessus d'un diamètre supérieur ou égal à 5 cm, mesuré conventionnellement à hauteur de poitrine (1,3m) appelé DBH (Diameter- Breast-Height), ou au dessus des contreforts et des racines-échasses.

❖ ANALYSE DE LA VÉGÉTATION

Méthodologie

Chacune des parcelles et des stations se caractérise par : le nombre d'espèces, le nombre d' individus par espèce, la surface terrière (somme des surfaces des sections de tronc à 1,3m de hauteur) par espèce, par parcelle et totale, l'indice de diversité (SHANON-WIENER) et l'indice d'équirépartition, la répartition des espèces en classes de diamètre. Les AFC concernent chacune des stations, et l'ensemble des stations, en ne considérant que le nombre d'individus par taxon dans chaque parcelle élémentaire.

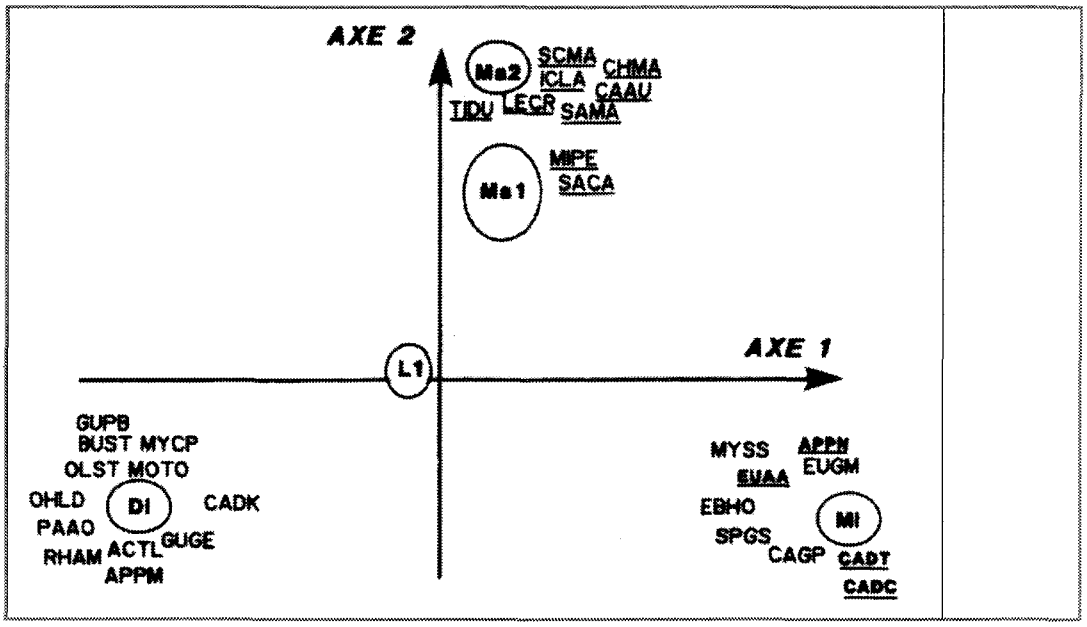
Nous avons été amené en plus à regrouper certaines parcelles botaniques, pour avoir des parcelles homologues aux prélèvements polliniques, en regroupant certains taxons, là où la détermination spécifique est impossible en palynologie, en éliminant les taxons représentés par un seul individu, et enfin en regroupant les parcelles suivant la position topographique.

Nous avons également analysé les tableaux de corrélation entre taxons en considérant d'une part les taxons les plus fréquents, avec regroupement des parcelles, et d'autre part le regroupement suivant la position topographique. Enfin, les contributions des espèces aux stations ont été calculées (méthode ROUX).

Résultats des analyses factorielles

AFC globale (ensemble des stations) en considérant tous les taxons. La signification des codes est donnée en annexe

L'examen des deux premiers axes factoriels montre une très nette individualisation des différentes stations. Toutes les parcelles d'une même station sont bien regroupées.



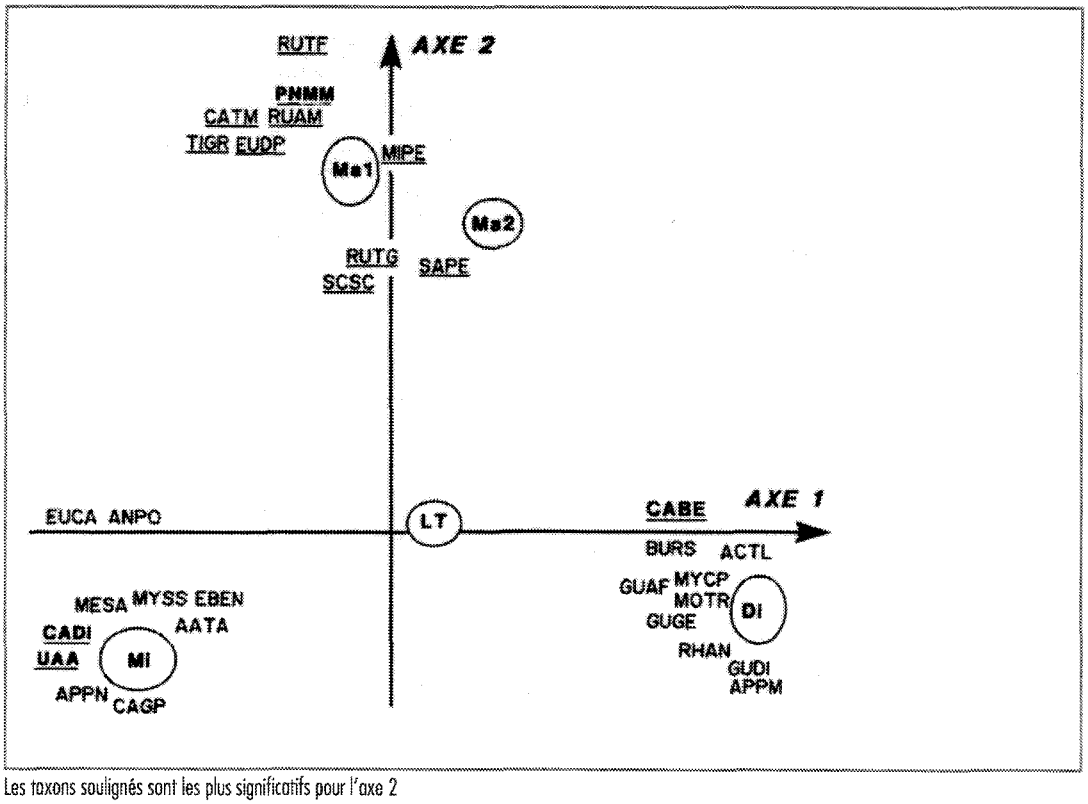
Les taxons soulignés sont les plus significatifs pour l'axe 2
Les taxons en gras participent aux deux axes

L'axe 1 met en évidence une forte opposition entre les stations de Dimonika et de Mindu, situées respectivement sur des sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés et des sols ferrallitiques appauvris, jaunes sur matériau sableux, présentant des compositions floristiques bien différenciées.

L'axe 2 dissocie très fortement Mandzi 2 et plus faiblement Mandzi 1, mais d'une façon tout aussi significative, de l'ensemble des autres stations. La station Mandzi 2 correspond à un type de forêt assez particulier, couramment appelé " forêt à Marantacées " dans laquelle le sous-bois très clairsemé est envahi par des Marantacées, ces dernières pouvant être érigées (*Megaphrnium, Thaumatococcus*) ou adopter un comportement lianescent plus ou moins accusé (*Marantochloa, Sarchophrynium, Hypselodelphys*....). Mais bien que ces herbes pérennes n'aient pas été prises en considération dans nos relevés, la composition floristique s' avère suffisamment bien individualisée, par rapport aux autres stations, mais assez voisine de celle de Mandzi 1, très proche géographiquement et présentant une structure forestière plus équilibrée.

Ce site de Mandzi se situe sur des sols ferrallitiques fortement désaturés, remaniés, jaunes, sur roches sédimentaires de la série schisto-calcaire.

AFC globale, en ne considérant que les taxons les plus fréquents, et rassemblés pour certains, dans des types définis par les limites de la détermination palynologique.



Les taxons soulignés sont les plus significatifs pour l'axe 2
Les taxons en gras participent aux deux axes

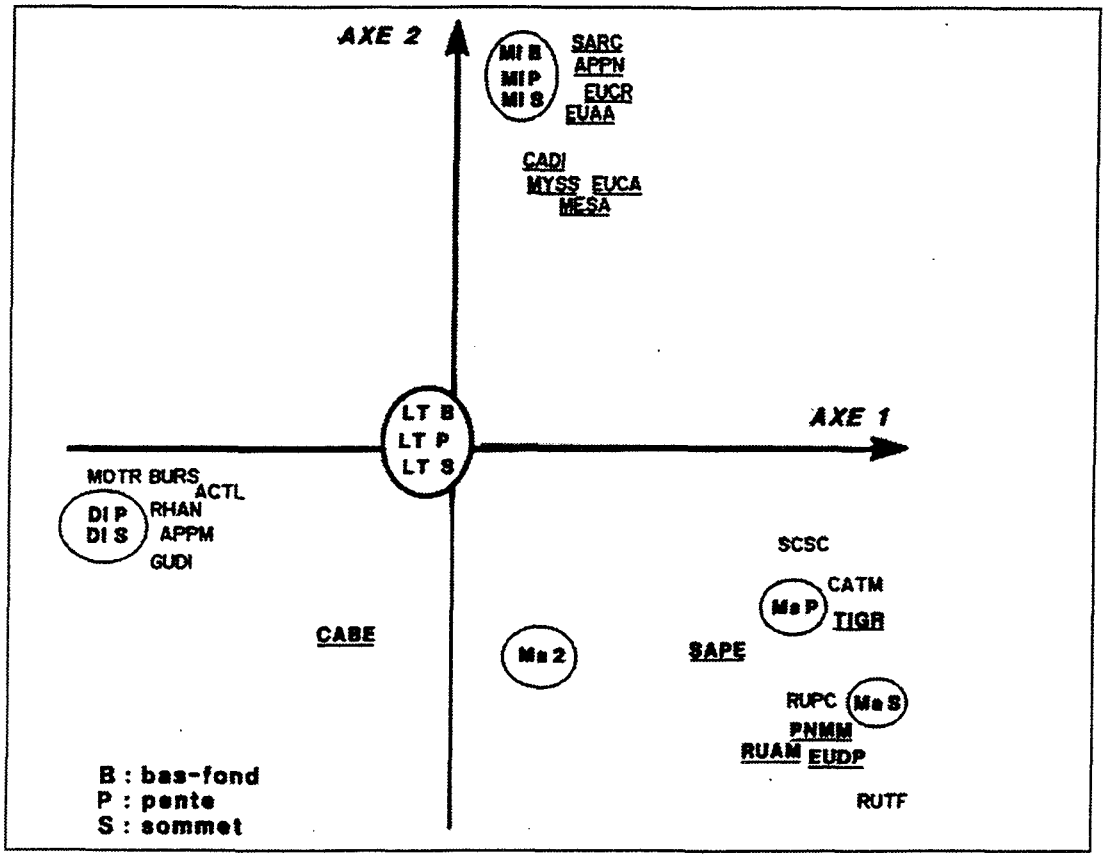
Cette analyse apparaît peu différente de la précédente; les stations sont toujours bien individualisées, et l'on retrouve les mêmes discriminants: Dimonika et Mindu pour l'axe 1, et Mandzi 1 et 2 pour le deuxième axe.

L'élimination des taxons très peu fréquents, et le regroupement pour certains d'entre eux dans des types polliniques, ne perturbe pas l'analyse globale. Ceci permettra d'alléger les prochaines analyses en limitant le nombre de taxons sans pour autant dénaturer l'ensemble des inter-relations entre les stations.

AFC des parcelles regroupées par site topographique et les taxons comme précédemment

Dans cette dernière analyse on retrouve les stations encore bien individualisées, et on n'observe aucun regroupement en fonction des sites topographiques. tout au plus nous pouvons remarquer qu'au sein de chaque station, existe un gradient bas-fond, pente, sommet, le long de l'axe 2, les sommets étant disposés toujours sous les pentes, et ces dernières sous les bas-fonds.

Le site topographique ne se révèle donc discriminant qu'au niveau de chaque station, et non pour l'ensemble. La composition floristique d'un sommet est donc toujours plus proche de celle de la station considérée que de celle des autres sommets. Il en est de



Les taxons soulignés sont les plus significatifs pour l'axe 2
Les taxons en gras participent aux deux axes

même pour les autres types de sites. L'originalité des stations se révèle plus forte que celle des sites.

OPAL PHYTOLITHS IN PLANTS FROM HUMID AND SEMI-ARID EAST OF AFRICA AND THEIR SIGNIFICANCE AS A TOOL IN PALEOECOLOGICAL RESEARCH

*Freya RUNGE**

Many plant species show deposits of solid silica (amorphous silicic acid) inside of cells and cell walls. The shapes of so called opal phytoliths can be of taxonomic value. They are more or less able to preserve in soils and sediments as fossil remnants of a former vegetation. The grasses (Poaceae and Cyperaceae) are well known as opal phytolith producers. Their short-celled, long-celled, and bulliform phytoliths are easy to recognize in an isolated situation. Therefore they are comparably well studied and classified. In order to understand fossil phytolith assemblages from soils and sediments in humid eastern Zaire/Rwanda (rainforest) and semi-arid eastern Kenya (Lowlands of Kitui, Acacia-Commiphora-dry forest and dry bushland) the opal phytoliths of the leaves of some species of dicottledonous flowering-plants of these regions were studied.

The plant material was collected by E. Fisher, Bonn (E-Zaire, Rwanda), S. Rehling, Gottingen, and the author (Kitui, Kenya) and mainly determined by E. Fischer and the East African National Herbarium, Nairobi. The leaves of 142 species were cleaned, dryed, ashed (500°C), mixed with HCl and centrifuged with distilled water. In the leaves of approximately one third of the species silicifications were found. Silica was accumulated:

✓ in the epidermis (polyhedral, "jigsaw-puzzle", comp. Bozarth 1992, and other shapes);

✓ in the palisade parenchym ("honeycomb", Bozarth 1992);

✓ in hairs (segmented, non segmented);

✓ in hair bases;

✓ in veins ("silicified terminal tracheids", Postek 1981; tracheids with rings and others);

✓ as solid particles in cells.

In the poster the different and interesting opal phytoliths and silicifications are illustrated by light microscope photos. Silicified tissues are one of the frequent shapes. The types can be characterized by their cell shapes, sizes, and special appearances. The hairs and hairbases are often typical in appearance (species of Compositae, Gesneriaceae, Moraceae, Rosaceae) but not all hairy leaves show silicified hairs or hairbases. The opal phytoliths developed in veins and especially in tracheids are frequently solid and therefore well preservable. They originate usually from arboreal plants (trees, shrubs, lignified

POSTER

* RUNGE, Freya, FB 1: Physical Geography, University of Päderborn, D - 33095 Paderborn

herbs) and do not occur in grasses. They represent a forest or shrub vegetation esp. together with Piperno` s silicified sclereids (rods with facetes). In *Annonidium mannii* (Annonaceae, rainforest tree up to 1100 m a.s.l.) spherical to eggshaped grains, some brownish, with facetes were found in high amounts (ca. 30000 per leaf). They are also described from other Annonaceae species (PIPERNO 1988) and from Cucurbitaceae (Bozarth 1987, Piperno 1988). They survive very well and have been extracted by the author in soils and sediments from E-Zaire. The leaves of *Kigelia africana* (Bignoniaceae, "sausage-tree" growing in warm and more wet savannas or in galery forests in dryer areas) have very strong silicified epidermis cell walls. In contrast to silicified tissues of other species the epidermis of *K.africana* is very stable. Nevertheless the ability of silicified tissue to preserve depends from the conditions during sedimentation. In general it is good in bogs and lake sediments and not the best in soils. The results up to now received from the 70 not representative species of each region do not show a clear general difference of dicot leave opal phytoliths between humid and semi-arid regions of E-Africa, but it is no question that phytolith assemblages composed of grass phytoliths and of wood phytoliths are significantly different.

❖ REFERENCES

BOZARTH, S.R. (1992), in: RAPP, G. & S.C. MULHOLLAND (eds.), Advances in Archaeological and Museum Science 1, p. 193-214.

BOZARTH, S.R. (1987), American Antiquity 52, p. 607-615.

PIPERNO, D.R. (1988), Phytolith analysis, Academic Press, London.

POSTEK, M.T. (1981), Botanical Gazette 142, 1, p. 124-134.

LES CYCLES DE RETOMBÉES FOLIAIRES EN FORÊT DENSE, UNE RÉPONSE ADAPTATIVE AU TYPE DE SAISON SÈCHE

*Dominique SCHWARTZ**

❖ INTRODUCTION.

Contrairement à une idée reçue, les retombées de litières des forêts denses équatoriales obéissent a des cycles saisonniers, tout au moins dans les régions à climat relativement contrasté. Dans les forêts monospécifiques, ou faiblement diversifiées, ces cycles coïncident avec le rythme biologique de l'espèce ou des espèces dominantes. Ces rythmes biologiques sont eux-mêmes conditionnés par des déterminismes hormonaux déclenchés par des variations de paramètres bioclimatiques (ensoleillement, température, humidité du sol,..). Cependant, la plupart des forêts équatoriales sont caractérisées par une grande richesse spécifique, chaque espèce étant représentée par un nombre d'individus relativement faible : dans ce cas général, la part des rythmes biologiques de chaque espèce est fortement pondérée par sa faible représentation, et le rythme des chutes de litière, les retombées foliaires en particulier, peut être directement comparé aux caractéristiques des saisons climatiques.

❖ RETOMBÉES DE LITIÈRE ET CYCLES CLIMATIQUES

Dans la pratique, on observe deux grands types de rythme de retombées foliaires en fonction des caractéristiques climatiques locales.

Dans la plupart des cas, on observe une relation entre le maximum de retombées foliaires et la saison sèche : le maximum de retombée coïncide, en général, avec le début de la saison sèche. C'est ce qu'ont observé, par exemple, Puig & Delobelle (1988) en Guyane, ou encore Bernhard-Reversat (1970) en Cote d'Ivoire (fig. 1). Dans ce cas très général, la saison sèche a pour caractéristique d'être chaude et ensoleillée.

Plus rarement, on observe l'inverse : un minimum de retombées foliaires en saison sèche. C'est le cas en particulier des forêts du Mayombe congolais (Schwartz, 1993) (fig. 2). Dans ce cas précis, la saison sèche a pour caractéristiques d'être fraîche et nuageuse : à titre d'exemple, l'ensoleillement annuel à Dimonika est inférieur à 1000 h/an ; il est en moyenne de 4 h/jour en saison des pluies et de 1 h/jour en saison sèche (Clairac *et. al.*, 1989).

* ORSTOM, CEREG, 3 rue de l'Argonne, F-67083, Strasbourg cedex

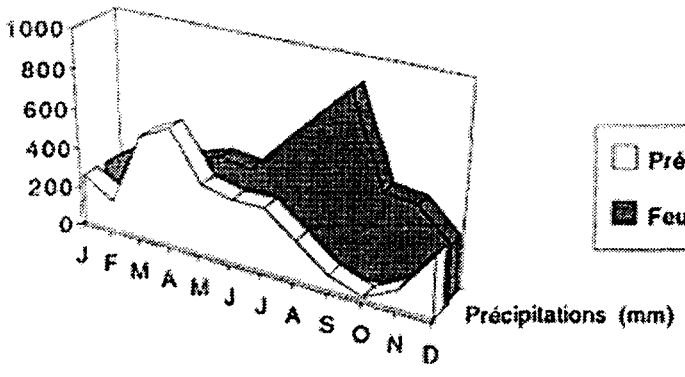


Figure 1- Piste de Sainte Elie, année 1979, d'après Puig et Delobelle (1988)

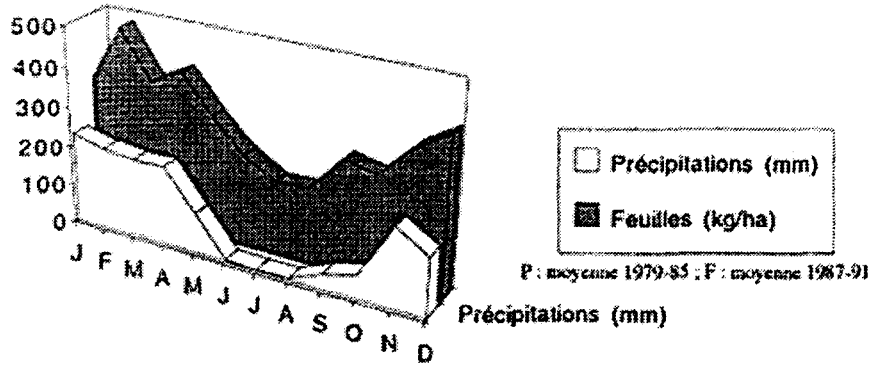


Figure 2- Dimoniko (Mayombe congolais), d'après Schwartz (1993)

❖ CONCLUSION : LE RYTHME DES RETOMBÉES EST UNE RÉPONSE AUX STRESS ENVIRONNEMENTAUX

Ces différences de rythme écologique peuvent être considérées comme des réponses adaptatives aux conditions bioclimatiques locales.

Lorsque la saison sèche est chaude et ensoleillée, l'évapotranspiration réelle est élevée. Dans ces conditions, il y a risque de stress hydrique important pour les plantes. Le fait d'avoir un maximum de retombées foliaires en début de saison sèche a pour conséquence une défoliation partielle des arbres, ce qui leur permet de diminuer la surface d'évaporation et limite ainsi la consommation d'eau.

A l'inverse, dans le Mayombe, l'humidité atmosphérique élevée, les températures relativement basses et l'ensoleillement très faible, ont pour conséquence que l'évapotranspiration réelle est réduite. Des mesures (Schwartz, inédit) montrent qu'en fin de saison sèche l'humidité du sol demeure au-dessus de l'humidité au point de flétrissement. Il n'est donc pas utile pour la forêt de limiter l'ETR par une augmentation des retombées foliaires. Au contraire, le fait d'avoir un maximum de surface foliaire sur les arbres à cette saison permet d'assurer la photosynthèse malgré la faiblesse de l'insolation.

❖ RÉFÉRENCES

BERNHARD-REVERSAT F., 1970.- Étude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire. *Oecol. Plant.*, 5, 247-266.

CLAIRAC B., CROS B. & SENECHAL J., 1989.- Le climat du Mayombe. *In:* J. Sénéchal, M. Kabala et F. Fournier (eds.), Revue des Connaissances sur le Mayombe. PNUD/UNESCO/MAB, Paris, p. 4768.

PUIG H. & DELOBELLE J.P., 1988 - Production de litière, nécromasse, apports minéraux au sol par la litière en forêt guyanaise. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 43, 3-22.

SCHWARTZ D., 1993.- Les retombées de litière en tant que source du carbone et de l'azote du sol. Quantification et périodicité des apports en relation avec les caractéristiques climatiques et édaphiques dans deux parcelles de forêt dense à Dimonika (Mayombe, Congo). *In:* B. Cros, J. Diamouangana & M. Kabala (eds.), Échanges forêt-atmosphère en milieu tropical humide. Recueil de travaux effectués dans le Mayombe. UNESCO, Paris, 141-158.

LE $\delta^{13}C$ DES PRINCIPALES GRAMINÉES ET CYPÉRACÉES DU CONGO CONSÉQUENCES POUR LES ÉTUDES ISOTOPIQUES DES SAVANES ET FORÊTS D'AFRIQUE CENTRALE

Dominique SCHWARTZ, André MARIOTTI***

❖ INTRODUCTION : PRINCIPE DE L'ÉTUDE

A l'exception des Crassulacées, les plantes terrestres appartiennent toutes à deux types de cycles photosynthétiques. Le cycle dit en C3 (cycle de Calvin) regroupe toutes les plantes à l'exception de certaines Graminées et Cypéracées des régions chaudes, qui appartiennent au cycle C4 (cycle de HatchSlack). Les plantes appartenant à ce cycle se différencient des précédentes entre autres par une teneur en ^{13}C légèrement plus importante (Deines, 1980; Mariotti, 1991), ainsi que par des différences histologiques (Brown, 1977; Livingstone & Clayton, 1980; Klink & Joly, 1989). Les graminées des domaines méditerranéens, tropicaux et équatoriaux ont donc pour particularité de se répartir dans deux groupes de photosynthèse différents. Une raison communément admise de cette répartition est que le cycle de photosynthèse en C4, moins exigeant en eau, est une adaptation aux conditions de sécheresse. C'est le cas, par exemple des graminées d'Afrique du Nord: la plupart des graminées à cycle court d'hiver (pluvieux) appartiennent au cycle C3, tandis que leurs homologues d'été (sec) sont du cycle C4. Une telle explication parait cependant insuffisante pour les milieux équatoriaux. Nous avons donc cherché à vérifier quels critères écologiques pouvaient guider la répartition des graminées C3 et C4 dans ce domaine biogéographique. A cet effet, nous avons déterminé les valeurs du $\delta^{13}C$ des principales Graminées et Cypéracées du Congo, et en avons déduit l'appartenance des espèces analysées à l'un ou l'autre des cycles photosynthétiques. Nous avons ensuite confronté ces valeurs avec leur répartition écologique.

❖ MATÉRIEL ET MÉTHODES

Environ 90 Graminées et 40 Cypéracées ont été analysées en spectrométrie de masse atomique selon le protocole décrit par Girardin et Mariotti (1991). Ce catalogue regroupe la plupart des espèces abondantes au Congo. Pour les Graminées, il représente près de 40 % des espèces recensées: le nombre de celles-ci serait compris entre 160 et 180 si l'on se réfère aux flores de Blanchon (sans date) et de Kocchlin (1962), mais dépasse sans doute dans la réalité plus de 200 espèces. En effet, les inventaires de Blanchon et de Koechlin, qui datent de plus de 30 ans, sont incomplets. Ainsi, à titre d'exemple, le nombre d'Eragrostis actuellement connu au Congo est de 18 (Kami, 1993), alors que les flores précédentes font état de 9 espèces. Pour les Cypéracées, l' absence de flore ne nous

* ORSTOM, CEREG, 3 rue de l'Argonne, F-67083, Strasbourg cedex
** Biogéochimie isotopique, Univ. P. et M. Curie, 4, place Jussieu, F-75230 Paris cedex 05

permet pas de vérifier la proportion représentée par notre échantillonnage.

❖ RÉSULTATS : LE $\delta^{13}C$ DES GRAMINÉES ET CYPÉRACÉES

Le résultat de l'analyse est donné sous forme simplifiée dans le tableau 1. La répartition des plantes C3 ou C4 est étroitement liée au milieu. On notera principalement les faits suivants:

✓ Les Graminées et Cyperacées C4 sont pratiquement toutes des plantes de milieux ouverts (savanes, jachères, marécages,..) à l'exception de trois graminées (*Setaria barbata, S. megaphylla et Sorghum arundinaceum*) qui croissent en zone forestière. Mais on remarquera que ces trois espèces sont en fait des plantes de milieux forestiers ouverts (lisières, jachères, bords de route ou de rivière). Quatre espèces vivent dans des milieux aquatiques ou semi-aquatiques.

✓ A l'inverse, les Graminées et Cypéracées C3 sont pour l'essentiel (26 espèces pour 32 analysées) des espèces forestières. Les 6 espèces de milieux ouverts sont pour 3 d'entre elles des espèces de milieux semi-aquatiques, voire aquatiques.

✓ Les espèces semi-aquatiques, voire aquatiques, se répartissent assez également dans les plantes C3 et C4. Ainsi, *Vossia cuspidata*, qui forme des prairies flottantes, *Echinochloa* spp. et le Papyrus, toutes espèces abondantes, sont des plantes en C4, tandis que *Phragmites mauritius* (le roseau africain), *Leersia hexandra* et *Fuirena umbellata* appartiennent au cycle C3.

Par ailleurs, la valeur du $\delta^{13}C$ des plantes C3 varie en fonction du couvert végétal. Dans les milieux ouverts, il est compris entre -22 et -30‰, et dans les forêts, il est systématiquement inférieur à -30‰ Ceci est une conséquence de l'absorption par les plantes du sous-bois d'un mélange de $C0_2$ atmosphérique à $\delta^{13}C$ égal à -7 ou -8‰ et de $C0_2$ provenant de la décomposition des litières, très appauvri en 13C (δ13C = -27‰), tandis que les plantes de milieux ouverts n'absorbent que du $C0_2$ atmosphérique.

❖ CONCLUSION

En Afrique Centrale, la répartition des Graminées et Cypéracées C3 ou C4 ne semble pas résulter d'une adaptation à la sécheresse, mais plutôt obéir aux conditions de luminosité, les plantes C4 étant des espèces de lumière, et les C3 d'ombre. Une telle répartition avait déjà été observée, de façon plus nuancée, aux latitudes tropicales du Brésil, par Klink et Joly (1989). Ce type de répartition serait alors lié aux caractéristiques photochimiques des deux catégories de plantes. Il est en effet connu que les plantes C4 peuvent utiliser des éclairements beaucoup plus élevés que les plantes C3 : leur saturation lumineuses est de l'ordre de 500 W/m2, alors que les plantes C3 sont saturées entre 50 et 150 W/m2. De même, leur optimum thermique est plus élevé (Lavorel et Moyse, 1989).

Une conséquence importante en découle. Il est dès lors relativement facile de différencier, sur le plan de la biogéochimie isotopique du carbone, les écosystèmes forestiers des écosystèmes de savane. Les premiers apparaissent comme des écosystèmes purement C3, tandis que les seconds sont dominés par les plantes C4, avec une proportion plus ou moins grande de plantes C3. Il en est de même des matières organiques des sols de forêts et de savanes (Schwartz, 1991; Mariotti, 1991), ce qui offre une méthode de marquage commode pour les études écologiques et paléoécologiques.

	Cyp. C3	Cyp. C4	Gram. C3	Gram. C4	Total C3	Total C4
Domaine forestier	9	0	17	3	26	3
Milieux ouverts	3	29	3	68	6	97
(dont semi-aquatiques)	1(a)	2(b)	2(c)	3(d)	3	5
Total	*12*	*29*	*20*	*71*	*32*	*100*

(a) : Fuirena umbellata
(b) : Cyperus papyrus, Cyperus articulatus
(c) : Leersia hexandra, Phragmites mauritius
(d) : Vossia cuspidata, Echinochloa colona, E. stagnina**
** non analysée en 13C ; d'après Brown, 1977*

Tableau Graminées

❖ RÉFÉRENCES

BLANCHON J.P., sans date- Flore des Graminées du Congo. ORSTOM, Brazzaville, 113 p.

BROWN W.V., 1977.- The Kranz syndrome and its subtypes in grass systematics. Memoirs of the Torrey Botanical Club, 23, 1-97.

DEINES P., 1980.- The isotopic composition of reduced organic carbon. In: P. Fritz & J.C. Fontes (eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Vol. 1, The terrestrial environment, A. Elsevier, Amsterdam, p. 329-406.

GIRARDIN C. & MARIOTTI A., 1991.- Analyse isotopique du 13C en abondance naturelle dans le carbone organique: un système automatique avec robot préparateur. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXVI, 4, 371-380.

KAMI E., 1993.- Les Eragrostis du Congo. Belg. Journ. Bot., 126, 1, 33-44.

KLINK C.A. & JOLY C.A., 1989.- Identification and distribution of C3 and C4 grasses in open and shaded habitats in Sao Paulo State, Brazil. Biotropica, 21, 1, 30-34.

KOECHLIN J., 1962.- Flore du Gabon. T.5. Graminées. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris, 292 p.

LAVOREL J. & MOYSE A., 1989.- Photosynthèse. In: Encyclopedia Universalis, t. 18, p. 213-222

LIVINGSTONE D.A. & CLAYTON W.D., 1980.- An altitudinal cline in tropical african Grass floras and its palaeoecological significance. Quat. Res., 13, 392-402.

RELATIONS STATISTIQUES DIATOMÉES/MILIEUX AQUATIQUES ET APPLICATION À L'ESTIMATION DES PALEO-NIVEAUX LACUSTRES

Simone SERVANT-VILDARY[1]; François NGUETSOP[1]; Maurice ROUX[2]; Isabelle REYNAUD-FARRERA[3]; Michel SERVANT[4], Denis WIRMANN[5]

D'importantes perturbations des écosystèmes forestiers tropicaux ont été mises en évidence durant l'Holocène supérieur en Afrique centrale atlantique (Vincens *et al.*, ce volume). La question qui se pose est de savoir si ces perturbations ont été provoquées principalement par une diminution des précipitations ou par un renforcement de la saison sèche (Reynaud-Farrera, 1995). Cette question sera abordée ici sur l'exemple du lac Ossa, dans l'ouest du Cameroun, où les études palynologiques ont dégagé deux principales conclusions :

✓ la forêt s'est maintenue durant les 5000 dernières années dans la région du lac Ossa,

✓ elle a été très fortement perturbée entre ca 2700 et 700 ans BP (les âges sont exprimés en années radiocarbone)

Notre étude a été ciblée sur la reconstitution des variations séculaires du niveau du lac Ossa. Ces variations peuvent ici être considérées comme indicatrices des variations du facteur Précipitation - Evaporation (P-E). Il faut toutefois souligner que l'élévation du plan d'eau durant les périodes humides a pu être limitée par l'existence d'un exutoire.

Les variations du niveau lacustre au cours des 5000 dernières années ont été reconstituées à partir de la flore de diatomées conservée dans les sédiments (carotte OW4). L'écologie des espèces permet, dans une première étape, d'appréhender les variations des plans d'eau (Nguetsop, ce volume), mais celles ci peuvent être quantifiées par l'utilisation de différentes méthodes statistiques. Le principe de cette quantification (fonction de transfert) consiste à dégager une relation entre les espèces de diatomées actuelles (X) et le paramètre bathymétrique mesuré (Y). La formule de régression, de type $Y = aX + b$ est ensuite appliquée aux associations fossiles (X'), une fois les constantes a et b déterminées.

Dans le cas du lac Ossa, les recherches ont été conduites de la façon suivante :

✓ Les vases superficielles du lac ont été échantillonnées à différentes profondeurs. Chaque échantillon superficiel (épaisseur inférieure à 1 cm) contient un état moyen ou une synthèse naturelle (thanatocénose récente) de la flore qui s'est développée dans l'eau durant une période de l'ordre de 10 ans. Dans la recherche des analogues actuels des associations fossiles, cette thanathocénose récente est préférée aux échantillons de diatomées pris dans l'eau. Nous savons en effet que la composition des associations se

1 ORSTOM, Laboratoire de Géologie , MNHN, 43 rue Buffon, 75005 Paris
2 Laboratoire de Biomathématiques, case 462, Faculté des Sciences de St Jerôme, 13397 Marseille Cedex 13
3 Laboratoire de Paléoenvironnements et Palynologie, case 61, Université Montpellier II, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5

modifie peu entre le sédiment superficiel et le sédiment plus profond et qu'elle peut plus directement que la composition des associations vivantes prélevées dans l'eau, être comparée aux thanathocénoses anciennes contenues dans les sédiments des carottes.

✓ Plusieurs paramètres du milieu aquatique, dont la bathymétrie, interviennent dans la composition des associations de diatomées. L'analyse factorielle des correspondances ou l'analyse canonique a été utilisée pour déterminer la contribution de la bathymétrie sur la composition des assemblages de diatomées.

✓ Différentes méthodes de régressions multiples (moyenne par classe ou moyennes pondérées) sont utilisées pour estimer la relation entre la floristique et la bathymétrie. La formule de régression déterminée ($Y = -85X + 333$). est dans un premier temps appliquée sur les échantillons actuels. Les valeurs ainsi réestimées de la bathymétrie permettent d'évaluer la qualité des estimations en comparant les valeurs mesurées et les valeurs estimées.

✓ Cette fonction est enfin appliquée aux associations fossiles, ce qui permet d'estimer le paramètre à différentes époques du passé et d'obtenir une courbe de variations au cours du temps.

Les résultats montrent que le lac Ossa ne s'est jamais asséché au cours des 5000 dernières années. Les variations du plan d'eau ont été faibles. Elles ont été néammoins bien enregistrées par les associations de diatomées. Ces variations révèlent des tendances séculaires qui ont été marquées par des épisodes de bas niveaux lacustres (ca 4300-4000, ca 3200-2600, ca 2100, ca 800 et ca 200 ans BP) et par des épisodes durant lesquels les niveaux étaient proches de leur position actuelle (ca 4800-4600, ca 3900-3500, ca 2400, ca 700 et la période sub-actuelle). Nous considérons que ces tendances séculaires s'expliquent essentiellement par des variations climatiques (P-E). En effet, le rôle de la végétation (évapotranspiration) dans l'évolution du bilan lacustre peut être négligé, car la forêt s'est maintenue dans le bassin versant. Il faut toutefois souligner que les périodes plus humides qu'actuellement peuvent ne pas être enregistrées (les eaux étaient alors évacuées par l'exutoire)

La comparaison des données palynologiques et diatomologiques ne montrent pas de fortes corrélations entre les perturbations de l'écosytème forestier et les fluctuations du lac. On peut seulement remarquer que les pics de taxons pionniers (ca 4600, 2400, 700 ans BP et la période sub-actuelle) coïncident avec des épisodes de hauts niveaux lacustres. Les perturbations dont témoignent ces taxons pionniers ne sont donc pas associées à une diminution de P-E dans la région du lac Ossa. Mais on remarque aussi que le développement maximum des Caesalpiniaceae caractéristiques de la forêt dense humide (ca 3300 ans BP) correspond aussi à de hauts niveaux lacustres. Il faut donc admettre que l'évolution de la forêt a été contrôlée moins par les variations séculaires de P-E que par un autre facteur climatique, probablement la longueur de la saison sèche.

La période de 2700 à 700 ans BP qui a été caractérisée à Ossa par une irruption massive de taxons pionniers marqueurs de perturbations semble donc pour l'essentiel s'expliquer par une saisonnalité plus marquée qu'actuellement. Il est possible que ce phénomène se soit manifesté dans les autres régions de l'Afrique centrale atlantique où d'intenses perturbations de l'écosystème forestier ont été mises en évidence à des dates proches.

MARQUEURS PÉDOLOGIQUES, SÉDIMENTOLOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES DE PALÉOENVIRONNEMENT À SALITRE (MINAS GERAIS, BRÉSIL)

François SOUBIÈS,*
*Jacques BERTAUX**, Francis SONDAG***

avec la collaboration de
R. BOULET, G. CECCANTINI, M. DELAUNE, B. DUPRÉ, A.M. FIGUEIREDO, J.P. FORTUNÉ, M. FOURNIER, M.P. LEDRU, P. MAGAT, A. MELFI, L. MARTIN, L. PESSENDA, M.E. SOLARI, B. TURCQ, J. L. VERNET, L. WENGLER

❖ INTRODUCTION

Le site de la "Lagoa Campestre" de Salitre peut se définir comme un système "collecteur - récepteur" constitué par une dépression conique, kilométrique, semi-fermée, dont le fond est partiellement comblé de sédiments et l'alimentation exclusivement pluviale, sans réseau hydrographique organisé. Son intérêt majeur ne réside pas tant dans la couverture végétale actuelle, trop largement anthropisée, que dans l'archivage remarquable par les sédiments et les sols de celles qui l'ont précédée depuis un lointain passé (50 000 ans au moins). Quatre lignes de recherche y sont suivies:

✓ Retracer l'histoire de la couverture végétale et des climats qui l'ont contrôlée dans une zone bioclimatique clé du Brésil Central actuel qui est celle d'un contact "forêt semi-décidue - cerrado" et d'une limite Nord des advections polaires. Cette reconstruction s'appuie, avant tout, sur l'utilisation de marqueurs biologiques: pollens et macrorestes végétaux des sédiments et des sols et sur celle de la géochronologie (^{14}C, U/Th).

✓ Retracer celle des transferts amont (sols) ➜ aval (sédiments) de matière ayant accompagné ces modifications de l'environnement, en s'efforçant de cerner dans la chimie et la minéralogie ou dans les matières organiques des sédiments et des sols des paramètres (marqueurs) reliables à tel ou tel état probable de l'environnement passé.

✓ Analyser le mode de fonctionnement actuel des différents compartiments paysagiques et leurs relations, en particulier au niveau des transports ou apports par les fluides, afin d'en extraire une évaluation critique des différents marqueurs paléoenvironnementaux identifiés ou utilisés.

* ORSTOM, UR12, Laboratoire de Minéralogie, Université Paul Sabatier, ORSTOM UR 12, Toulouse
** Laboratoire des Formations Superficielles, ORSTOM UR 12, Bondy

POSTER

✓ Compte tenu de la nature particulière des substrats, évaluer les potentialités d'un tel site dans le domaine de la genèse de sites d'enrichissement supergène en certains éléments en traces d'intérêt économique en particulier les Terres Rares (TR).

Ces recherches ont été menées à partir d'études pluridisciplinaires des matériaux provenant d'une carotte prélevée dans les sédiments de la "Lagoa Campestre" (LC3), de nombreux sondages et fosses pédologiques et de relevés botaniques.

❖ LA MÉMOIRE DES SOLS

MARQUEURS STRUCTURAUX

L'analyse structurale de la couverture pédologique à différentes échelles a conduit à la mise en évidence de différents états d'organisation reliables sans ambiguïté aux grandes crises climatiques passées enregistrées par les sédiments. La réalisation de profils topographiques radiaux a confirmé l'interprétation donnée à la rupture de pente courant à mi-hauteur sur le flanc Nord de la "Lagoa" que l'on peut considérer comme la cicatrice de mégaglissements de terrain.

L'étude des diverses séquences de sol a permis de découvrir un marqueur microstructural probable de ces mouvements de grande ampleur (volumes rouges compacts représentant les reliques du matériel fissuré lors des transferts de masse) et a confirmé la généralité du phénomène de fossilisation des dépôts tourbeux par des nappes colluviales à la jonction versants - tourbes. Cette fossilisation s'accompagne d'une dégradation progressive et d'un rajeunissement apparent des tourbes vers l'amont.

Des alternances de tourbes et colluvions semblent correspondre à l'alternance au cours du temps de climats "secs" (pluviosité concentrée sur une courte période ou irrégulière), raréfiant le couvert végétal et favorisant de ce fait l'érosion mécanique (ravinements locaux à l'origine du dépôt de colluvions en bas de pente) et de climats "humides" (pluviosité mieux répartie), induisant un couvert végétal plus dense favorable à l'infiltration et à l'altération chimique et autorisant la croissance des tourbes, hypothèse cohérente avec différentes datations récentes. L'analyse structurale de la couverture pédologique a donc débouché, de façon assez inattendue, sur l'identification d'un marqueur précieux, car complémentaire des marqueurs biologiques, pour la reconstitution des paléoclimats régionaux et celle de l'environnement local.

L'étude pédologique a également confirmé la généralité du phénomène d'attaque chimique latérale et verticale du plancher des dépôts tourbeux. L'inflexion systématiquement observée dans ce plancher généralement cuirassé au contact versant - tourbes ne peut en effet, guère s'expliquer que par des départs de matière (élimination du substrat par hydrolyse des silicates, complexation de Fe, Al, ..) qui conduiraient à un enfoncement progressif du fond de la "Lagoa" et à son élargissement. Une vitesse d'enfoncement

de ± 0,17 mm/an a pu être estimée, en bon accord avec des estimations effectuées par d'autres auteurs dans des situations comparables.

Paléorestes végétaux (mémoire biologique)

La datation des charbons issus d'une fosse d'étude (LCCF1) a conduit à une constatation majeure: il existe un parallélisme assez remarquable entre l'augmentation de la fréquence des feux entre 6 000 et 3 000 ans BP et la diminution des taxons arborés dans l'enregistrement palynologique en LC3. Cette diminution s'accompagne aussi de modifications du spectre pollinique tendant à montrer un assèchement relatif du climat à cette époque. Les incendies répétés ayant affecté la région à l'holocène auraient donc une origine climatique et non anthropique et seraient à mettre en relation avec la "phase sèche holocène" diagnostiquée ailleurs et par d'autres méthodes dans le Brésil Central.

Une autre constatation tirée des datations des charbons est l'extrême régularité de la courbe de variation des âges avec la profondeur. Trois mécanismes sont susceptibles d'être invoqués pour expliquer l'enfouissement des charbons: recouvrement éolien, colluvial ou faunique. Le premier est invraisemblable compte tenu des données paléoclimatiques. La discrimination entre les deux autres n'est pas évidente, quoique l'absence de discontinuités dans le profil et son homogénéité minéralogique accréditeraient plutôt l'intervention de remontées de matériel par la faune que l'épandage de colluvions occasionné par le ravinement de sols dénudés après incendie. Dans les sols, on observe par ailleurs une grande régularité de la distribution des âges en fonction de la profondeur tout au long du versant dans les profils étudiés; la courbe de variation de la susceptibilité magnétique des matériaux est en d'autre part remarquablement en phase avec la courbe de fréquence des charbons dans la partie supérieure du profil. Ces observations semblent accréditer l'hypothèse que c'est bien à l'activité de la faune du sol (mésofaune de type termites, fourmis, annélides..) qu'il faut attribuer l'enfouissement très régulier au cours du temps des débris calcinés, négligés sans doute parce qu'indigestes. La vitesse de cet épandage de matériel fossilisant (remontée et érosion) varie de 0,21 à 0,23 mm/an.

❖ LA MÉMOIRE DES SÉDIMENTS : MARQUEURS MINÉRALOGIQUES ET GÉOCHIMIQUES

Depuis un lointain passé, assez proche sans doute des 100 000 ans, bien des environnements se seront succédés sur le site de Salitre: forêt semi-décidue, forêt galerie, forêt à myrtacées, forêt à *Araucaria* y ont tour à tour occupé le paysage au gré de fluctuations climatiques gouvernées en partie par un forçage astronomique. Ces variations d'environnement ont également dû se traduire par des modifications des modes d'altération du substratum et de dispersion des produits en résultant.

Les recherches dans ce domaine ont porté sur les liens pouvant exister entre la chimie ou minéralogie des sédiments et les environnements successifs tels que l'analyse palynologique permet de les reconstituer.

MARQUEURS MINÉRALOGIQUES

L'examen des courbes de variations minéralogiques (quartz, silice amorphe, kaolinite, gibbsite et anatase) au cours du temps montre que les changements d'environnement affecte le contenu minéral du sédiment. Durant le Pleistocène tardif, toutes les phases minérales varient à l'opposé du développement de la forêt et enregistrent donc les variations régionales de l'environnement. Le hiatus sédimentaire entre 28 000 et 17 000 ans BP est très clairement marqué par la minéralogie. A l'Holocène, la silice amorphe des phytolithes est la seule phase minérale représentée; à cette période, la quantité de phytolithes varie en phase avec le développement de la forêt.

MARQUEURS GÉOCHIMIQUES

L'études des relations entre paramètres géochimiques et fluctuations de la végétation ont permis d'établir que :

✓ Deux phases d'apports détritiques fins importants se sont succédées au point de sondage LC3, phases auxquelles peuvent être reliées les distributions de nombreux éléments : Al, Si, Ti, Fe, Zn, Cr, Sr, Nb, TR dont la dispersion secondaire est donc essentiellement détritique, sans signal bio-géochimique reliable à tel ou tel type précis de végétation;

✓ Les Terres Rares, bien qu'étant globalement dispersées sous forme détritique, donnent au contraire des signaux biogéochimiques nets, en phase avec certains types de végétation. Cela implique que ce signal soit acquis (dans la rhizosphère ?) avant leur dispersion;

✓ Le cobalt apparaît comme un marqueur très précis d'un plan d'eau ± profond correspondant au développement d'algues;

✓ La distribution de quelques éléments (Cu, Ni, V,..) ne peut être expliquée ni par les phases minérales principales, ni par l'environnement bioclimatique.

❖ LES FLUIDES

La découverte d'un signal biogéochimique sédimentaire net de paléocouvertures végétales donné par les Terres Rares nous a incité à nous pencher sur la dynamique des fluides et leur minéralisation. Entre les couvertures végétales environnantes et les sédiments il fallait, en effet, un "agent de transmission" qui ne pouvait guère être que les solutions de drainage et ce qu'elles véhiculent. Cette étude, qui déborde le strict cadre "ECOFIT", revêt deux aspects, outre le calcul du bilan (exportations et stockages) du système sédimentaire de Salitre à l'échelle du millier d'années:

✓ Caractérisation globale, multiélémentaire, à différents stades de leur itinéraire (amont et aval du piège constitué par la "Lagoa") et à différentes époques du cycle climatique annuel, des solutions et suspensions actuelles. Deux faits majeurs se dégagent actuellement :

◊ Les nappes véhiculent en solution des quantités non négligeables de Terres Rares;

◊ Un fractionnement des Terres Rares s'opère entre l'amont et l'aval des nappes et entre celles-ci et l'exutoire. Son origine pourrait être multiple: propriétés spécifiques des Terres Rares lourdes ou légères et de certaines Terres Rares, fixation sélective par les tissus végétaux, hétérogénéité des substrats, etc.

✓ Etude détaillée des modalités de transport et de piégeage de certains éléments en traces d'intérêt paléoécologique ou métallogénique (TR en particulier). Cette étude est focalisée sur certaines interfaces (sols / végétation, sols / sédiments, sédiments / fluides) et est autant du ressort de l'écologie (problème de la transmission et fossilisation des signaux géochimiques d'un écosystème) que de celui de la métallogénie (genèse de sites d'enrichissement supergène). Afin de cerner le rôle de l'appareil végétatif de différentes espèces végétales dans le stockage transitoire de certains éléments en traces particulièrement abondants à Salitre (TR, Zr, Nb, Ti,..) et d'intérêt potentiel comme marqueurs des modifications du tapis végétal, une campagne de collecte et analyse (tiges, feuilles, racines) d'espèces représentatives a été lancée en 93 et poursuivie en 94. Les premiers résultats montrent :

◊ L'importance du stockage des Terres Rares et de quelques autres éléments dans les feuilles de certaines espèces;

◊ L'existence d'une modification (fractionnement) du spectre des TR par rapport aux matériaux de départ (sols) et aux solutions qu'ils drainent.

FEUX, SOLS ET ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS TROPICAUX

Christophe TARDY, Maria-Eugenia SOLARI*, Jean-Louis VERNET*, Luc WENGLER*, Rita SCHEEL**

La variabilité du climat et l'action de l'homme représentent des facteurs importants de la dynamique des écosystèmes forestiers en général. Pour l'Europe on a souligné l'impact des glaciations, de la dynamique de reconquête postglaciaire et de l'action de l'homme.

Des observations récentes montrent que les forêts tropicales ont eu aussi à connaître de cette variabilité. A l'échelle de la dernière période interglaciaire, les 10 derniers millénaires, la forêt a régressé il y a 5 ou 6000 ans en Amérique du Sud (Servant *et al.*, 1981,1989, Absy *et al.*, 1991 etc.) et le rôle du feu a été mis en évidence pour la première fois dans la région amazonienne (Soubiès, 1980).

A l'échelle des dernières décennies, les perturbations de la circulation atmosphérique locale entraînent d'intenses et courtes sécheresses favorisant la progression des incendies. Ainsi, 8 millions d'ha ont été détruits au Brésil en 1987, 4 millions à Bornéo.

Toutes ces observations sont venues nourrir la problématique ECOFIT et une dizaine de sites sont ainsi étudiés avec une approche largement pluridisciplinaire. La question qui est posée est la suivante: Le feu représente-t il un facteur important de la dynamique à long terme des forêts tropicales et quels en sont éventuellement les héritages dans les écosystèmes actuels?

Pour répondre à cette question, nous nous sommes intéressés aux charbons de bois enfouis dans les sols et témoins d'anciens incendies. J.-C. Leprun, pédologue à l'ORSTOM, a interrogé la banque de données SISSOLOS qui renferme toutes les données pédologiques brésiliennes. Parmi les réponses disponibles, 80% ont noté la présence de charbons, ce qui permet quelques enseignements: Les concentrations remarquables de profils à charbons de bois concernent le pourtour de la grande dépression inondable du Pantanal au Matto Grosso, le long de l'Amazone, les massifs forestiers dégradés de la Mata atlantica dans l'état d'Esperito Santo, qui est l'un des états qui contient la plus grande densité de sols à charbons, la végétation de cerrados dans le Roraima et enfin le district fédéral.

Dans cette communication, nous étudierons les sites de Guyane et du Brésil qui ont fait

* Laboratoire de Paléobotanique, Environnement et Archéologie, URA 1477 CNRS, Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, Institut de Botanique, 163 rue A. Broussonnet, 34000 Montpellier

l'objet de plusieurs missions sur le terrain, d'une publication préliminaire (Salitre, Brésil central, Vernet *et al.*) d'un travail de thèse en cours (R. Scheel) ou en cours d'achèvement (Guyane, C. Tardy).

❖ GUYANE

Des datations effectuées par Archéolab et le centre ORSTOM de Bondy sur des charbons provenant de paléo-incendies mais aussi sur des charbons archéologiques, montrent que l'on peut distinguer 3 périodes distinctes :

✓ 10000-8000 BP: phase de paléo-incendies observée par des niveaux datés aux Nouragues et les sites de Sinnamary

✓ 6000-4000 BP: nouvelle phase de paléo-incendies observée également dans ces deux régions.

✓ 2300-0 BP: période complexe où la présence humaine est attestée en Guyane mais qui ne semble pas exclure l'existence de paléo-incendies comme le prouvent plusieurs niveaux de charbons datés autour de 1800 BP dans la zone côtière de la région de la ville de Sinnamary.

Pour la période d'occupation humaine - les deux derniers millénaires, les charbons dispersés dans les niveaux archéologiques, qu'ils soient des sites de plein air ou d'abris sous roches, apportent une connaissance de l'environnement végétal du site. Les espèces représentées pour les sites de l'intérieur du territoire donnent jusqu'à présent une image d'une couverture forestière proche de l'actuel. Le cortège indique également parfois un milieu plus ou moins secondarisé du à l'impact anthropique local lui-même, ceci est matérialisé par la présence de taxons spécifiques de milieux plus ouverts. La proportion relative de ces taxons peut indiquer une plus ou moins grande pression de l'homme sur le milieu voire même une idée de la durée d'implantation.

Pour les deux périodes de paléo-incendies les niveaux très charbonneux stériles de tout indice anthropique, donnent un cortège floristique tout à fait différent de l'actuel avec une sur-représentation de taxons dont l'écologie actuelle est complexe puisqu'ils se situent à la fois en milieu forestier et en milieu plus ouvert. Les péjorations climatiques holocènes ont donc pu modifier localement la végétation, il est intéressant de corréler nos résultats avec les autres données paléo-environnementales de l'Amazonie.

Entre 10000 et 8000 BP, de bas niveaux lacustres sont observés au Guyana et une augmentation de la saisonnalité est décelée à partir des spectres polliniques de Salitre au Brésil. On note également 3 datations de charbons de bois de cette période dans les régions do Rio Doce et du Rio Negro au Brésil qui peuvent laisser penser que les paléo-incendies ont pu se produire dans différents points de l'Amazonie durant cette époque.

Entre 6000 et 4000 BP, de nombreuses données palynologiques et sédimentologiques viennent appuyer l'identification d'une période sèche: très forte diminution des pollens

arborescens à Salitre et à Carajas (« pic » d' incendies à Salitre) , phase d'érosion intensive dans la Mata Atlantica, bas niveaux de lacs au Guyana et en Colombie. On observe cependant un décalage dans les datations de charbons de bois pour les régions amazoniennes plus au sud et plus à l'ouest où elles se situeraient d'avantage entre 7000 et 6000 BP.

❖ SALITRE

Sur le profil de sol échantillonné à Salitre, les charbons de bois apparaissent dispersés; seule une très forte concentration occupant une grande surface, dont les limites nous sont inconnues, est présente entre 3 et 5 cm sous la litière. La présence de brindilles et de graines carbonisées, sans compter les autres fragments, témoigne d'un incendie de forêt. Le niveau en question n'est pas cendreux et ne présente pas de rubéfaction; il est fortement colonisé par les racines.

Au-dessous, la quantité de charbon diminue rapidement, et dès lors, il n'est plus possible de parler véritablement de concentration au sens où on l'emploie pour indiquer les restes provenant d'un niveau d'incendie, d'un feu localisé, d'un foyer ou d'une accumulation secondaire sous l'action des agents de transport. Seuls quelques charbons distants les uns des autres d'environ 10 cm ou plus peuvent faire penser à une concentration qui, en fait, ne dépend que de la maille d'observation et ne caractérise pas réellement une structure de combustion ou d'accumulation telle que nous les connaissons actuellement.

Compte tenu de ces observations préliminaires, des prélèvements de sol ont été réalisés systématiquement par niveaux épais de 10 cm sur une surface moyenne comprise entre 1 et 2 m2 en procédant par décapage de chaque tranche et en mesurant le volume de terre prélevé. Les charbons ont été entièrement récupérés, soit manuellement après tamisage dans les niveaux supérieurs secs, soit par flottation et entraînement à l'eau dans la partie inférieure de la séquence. Après séchage, leur poids a été rapporté au volume de sédiment.

Le diagramme présente un maximum important dans les dix premiers centimètres qui correspond en fait au niveau d'incendie récent bien identifié entre 3 et 5 cm. La valeur atteinte ne sera plus jamais retrouvée dans les décapages plus profonds. Ensuite, les fréquences chutent pour atteindre un minimum vers 50-60 cm. A partir de là, elles remontent pour atteindre un maximum dédoublé entre 120 et 150 cm puis décroissent pour devenir très basses à 230 cm où le sondage a été arrêté.

Toutes les datations obtenues situent les charbons de bois dans l'Holocène moyen et récent. Elles présentent une bonne cohérence et sont de plus en plus anciennes au fur et à mesure que la profondeur augmente. Ces phases d'incendies holocènes ont été corrélées avec les données polliniques obtenues par M.P. Ledru et des déteminations xylologiques sont en cours.

ÉTUDES PHYTOLITARIENNES : INTRODUCTION GÉNÉRALE

L. VRYDAGHS[1], F. RUNGE[2], H. DOUTRELEPONT[3]

Découverts quatre années avant le pollen et objet d'une littérature abondante, le phytolithe demeure un objet méconnu pour la majorité de la communauté scientifique. Pourtant, le champ de ses applications est d'une extension remarquable: écologie et paléoécologie, pédologie et paléopédologie, géologie, géomorphologie, ethnologie, taxonomie et recherches archéobotaniques pour ne citer que quelques unes des disciplines pour lesquelles nous avons entrepris des analyses.

La démarche phytolitarienne comporte plusieurs aspects: établissement d'une collection de référence par la collecte de matériel botanique parfaitement identifié, l'étude de l'anatomie végétale, la compréhension de la taphonomie de ces corps minéraux. Les posters que nous présentons s'efforcent de souligner quelques aspects de ces recherches.

1 Laboratoire d'Anatomie du Bois, MRAC. ch. de Louvain, 13 3080 Tervuren. Belgique.
2 Universitat Paderborn, FB1: Physische Geographie. D-33095 Paderborn.
3 Section d'Archéologie, MRAC. ch. de Louvain, 13 3080 Tervuren. Belgique.
4 Département d'Écologie, IFP, PB 33 Pondichery, 605 00 Inde.

UNE COLLECTION PHYTOLITARIENNE: ÉTAT DES LIEUX

L. VRYDAGHS[1], F. RUNGE[2], H. DOUTRELEPONT[3], H. BEECKMAN[3] et E. ROCHE[1]

Voici près de dix ans que, dans le laboratoire du Pr. Dr. E. Roche, Mr. H. Doutrelepont entama l'élaboration d'une collection de phytolithes. L'établissement d'une telle collection diffère, dans son objet et sa méthode, de l'établissement d'une collection de pollens par exemple. La raison tient à la morphogenèse de ce corps minéral. Le phytolithe résulte d'un dépôt minéral issu de la physiologie cellulaire dans les espaces intra et/ou extra cellulaires. Dans la majorité des cas, ce phénomène aboutit à une minéralisation de tissus aux caractères micro morphologiques génétiquement déterminés lui conférant ainsi une valeur spécifique. A la mort de l'individu porteur, ces artéfacts de la physiologie cellulaire sont restitués au substrat où, dans des conditions physico-chimiques précises, ils peuvent se remobiliser. Précédant cette possible remobilisation, le tissu végétal se décompose et laisse subsister un test minéral, qui, selon le degré de minéralisation des tissus, demeure en connection anatomique ou pas. Le travail d'identification des morphologies subsistantes doit, dès lors, reconstituer un puzzle. Cet état des choses explique pourquoi l'établissement d'une collection phytolitarienne de référence comporte deux démarches. D'une part, l'extraction des phytolithes d'un matériel végétal botaniquement identifié et, d'autre part, l'étude d'échantillons de sols superficiels prélevés sous différentes couvertures végétales. Dans ce poster, nous nous proposons de présenter le travail accompli en ce sens en collaboration avec l'Université de Paderborn.

ANALYSE PALYNOLOGIQUE ET PHYTOLITARIENNE D'ÉCHANTILLONS DE TOURBIÈRE

L. VRYDAGHS[1], H. DOUTRELEPONT[3], J.P. SUTRA[4], S. ARAVAJY[4] et S. PRASAD[4]

L'étude de l'histoire végétale et climatique, pendant l'holocène des niveaux élevés des étages montagnards des Hauts Plateaux du sud de l'Inde (Nilgiris, Wendlock Downs) est confrontée à un phénomène d'anthropomorphisation déjà ancien qui s'exprime, à ce jour, par une mosaïque complexe de savanes et de petits massifs forestiers ("sholas" à dominance de *Lauraceae*). Retracer cette histoire implique une discrimination des différentes formations herbeuses (savanes à *Chrysopogon zeylanicus* et *Arundinella fuscata*, *Arundinella fuscata* et *Themeda triandra* et *Heteropogon contartus* et *Arundinella mesophylla*), certaines s'expliquant par une intervention humaine, d'autres par des accidents climatiques. Les phytolithes de *Poaceae* étant à ce jour, les plus étudiés, le recours à unpalynomorphe permettra peut-être de trancher les différentes questions qui demeurent en suspens. Afin de le savoir, un test en aveugle a été organisé. Sur cinq échantillons prélevés en tourbière, les analyses palynologiques et phytolitariennes ont été entreprises séparément. Ce poster présente les résultats de ces analyses.

INDICATEURS PHYTOLITARIENS DE FORMATIONS VÉGÉTALES SECONDARISÉES AFRICAINES

L. VRYDAGHS[1], H. DOUTRELEPONT[3] et F. RUNGE[2]

L'objet de ce poster présente des descriptions morphologiques et des illustrations de phytolithe provenant de différentes formations végétales secondarisées. Notre choix s'est porté sur les *Zingiberaceae* et *Marantaceae*. Les documents présentés ont été obtenus par extraction des phytolithes d'un matériel végétal identifié par des botanistes. A chaque fois différentes espèces seront présentées.

INDICATEURS PHYTOLITARIENS DE PLANTES ALIMENTAIRES ET UTILITAIRES AFRICAINES

H. DOUTRELEPONT[3] et L. VRYDAGHS[1]

Ce poster est consacré à l'étude des phytolithes de *Musa, Elaïs* et d'une Burseraceaee, *Canarium*

La mise en évidence de microrestes identifiables de Muscaceae s'avère de la première importance, dans la mesure où ni pollen ni graine ne sont connus. Le phytolithe de *Musa*, à la morphologie très caractéristique, compose donc l'unique objet d'étude pour des paléorecherches. Un des thèmes possible de travail est la reconstitution de la pénétration africaine de cette plante, entreprise inséparable de fouilles archéologiques. Ce poster présentera les résultats obtenus lors de l'étude d'échantillons de sols superficiels prélevés dans des bananeraies et sur du matériel archéologique Nous relèverons l'adhérence du phytolithe de banane sur la face intérieure d'un tesson de céramique archéologique dégagé lors d'une fouille entreprise par Mr. Ch. Mbida dans la région de Yaoundé. Ce matériel se situe dans une tranche temporelle comprise entre le Xe siècle et le 1er siècle avant notre ère.

La présence d'*Elaïs* s'attestent pour la plupart des fouilles archéologiques entreprises sur le continent africain. A ce jour, ces résultats sont obtenus par l'étude de macrorestes. Mais est-ce là, outre le pollen, le seul vestige d'*Elaïs* qui nous parvienne? Existe-il un phytolithe de cette plante alimentaire et utilitaire? L'étude d'un sol superficiel prélevé dans la palmeraie de Dizangé, ouest Cameroun, atteste de la présence d'un phytolithe sphérique à pointes, caractéristique des *Palmae*. A nouveau, ce phytolithe s'atteste dans du matériel archéologique prélevé par les soins de Mr. Ch. Mbida dans la région de Yaoundé.

Comme troisième point, et selon un même schéma, nous présenterons le phytolithe de *Canarium*.

HÈME III

Dynamique de la limite forêt-savane
durant les derniers centaines
les derniers siècles et
les derniers millénaires

PALYNOLOGICAL RECORDS OF HOLOCENE SEDIMENTS IN THE NORTHERN AMAZON BASIN

Maria Luisa ABSY, Michel SERVANT**, Antonio Carlos MARQUES-SOUZA*, Ires Paula de Andrade MIRANDA*, Ugo Souto ORLANDO****

❖ INTRODUCTION

The vegetation of Roraima is predominantly open savanna with isolated trees. The most common trees in the terra firme are : *Curatella americana, Byrsonima crassifolia and Byrsonima coccolobifolia*. The palm *Mauritia flexuosa occurs* in swampy patches which are very common in the region. The most frequent herbs are grasses and Cyperaceae.

In order to discuss the history of the vegetation of this area sediment samples from two localities in Roraima were collected for palynological study.

❖ METHODS

Material was collected from Roraima from two lakes : Lago Redondo and Lago da Fazenda São Joaquim, both situated 30 km frim Boa Vista.

The sediment samples were taken from each 2 cm of a 40 cm - long core from Lago Redondo and a 22 cm core from Lago da Fazenda São Joaquim.

All samples were boiled for 10 minutes in a 10 percent KOH aqueous solution (Faegri & Iversen, 1966), followed by acetolysis (Erdtman, 1960) and a specific-gravity separation using a bromoform-alcohol mixture (Kummel & Raup, 1965).

Most of the pollen grains were identified by comparison with the collection of recent pollen in the Palynology Laboratory of the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

In the diagrams the total of both herb and arboreal pollen was used for calculating the percentage ocurrence of pollen for each taxon.

* CPBO/INPA, Alameda Cosme Ferreira, 1756, CP 478, 69083-000 Manaus, Amazonas, Brésil
** ORSTOM, 32 Avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy, France
*** FUCAPI, Rua Governador Danil Areosa, 381, 69075-350, Manaus, Amazonas, Brésil

The two diagrams have been divided into local, provisional pollen zones, according to the fluctuations of pollen frequencies thought to be significant. These zones are indicated by the following letters : A, B, C, D.

To the left of the pollen diagrams is a stratigraphic column showing sediment types and 14C dates of the core samples. All 14C datings were carried out by Beta Analytic Inc., Miami, USA.

❖ RESULTS

Lago Redondo

The area surrounding Lago Redondo is covered with savanna, mainly with grasses, and the savanna trees : *Curatella americana* and *Byrsonima crassifolia.*

The diagram for Lago Redondo (Fig. 1) shows in the lowermost part, zone A, an increase of arboreal pollen. This phase is indicated between 30 and 40 cm of depth, representing approximately 2090 ± 60 years BP.

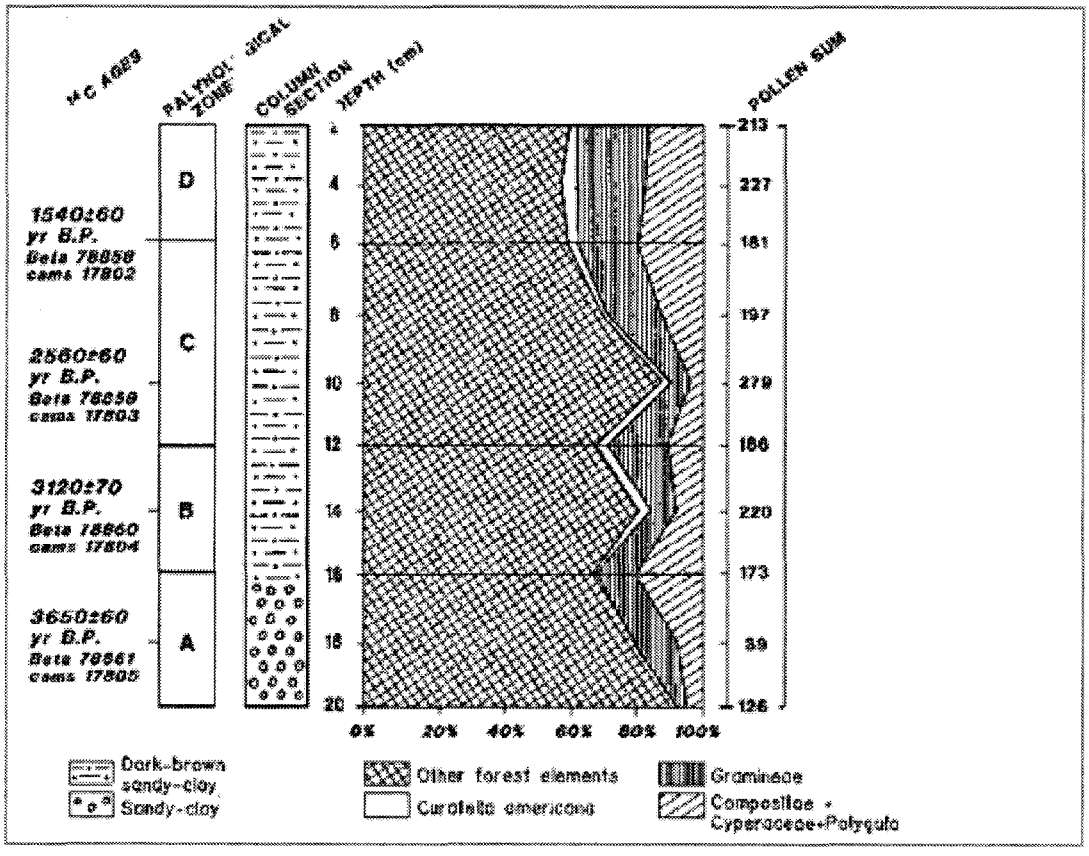


Figure 1- Redondo Lake (Boa Vista-RR)

In the upper part of the diagram, both zones B and C show a complete dominance of grass combined with herbs included in the group Compositae + Borreria + Cyperaceae.

At the beginning of zone C, at 18 cm, a sample was ^{14}C dated as 1590 ± 60 years BP.

Lago da Fazenda São Joaquim

Lago da Fazenda São Joaquim is at present surrounded partly by secondary forest and savanna.

Lago da Fazenda São Joaquim (Fig. 2) shows a dominance of arboreal pollen for the whole diagram.

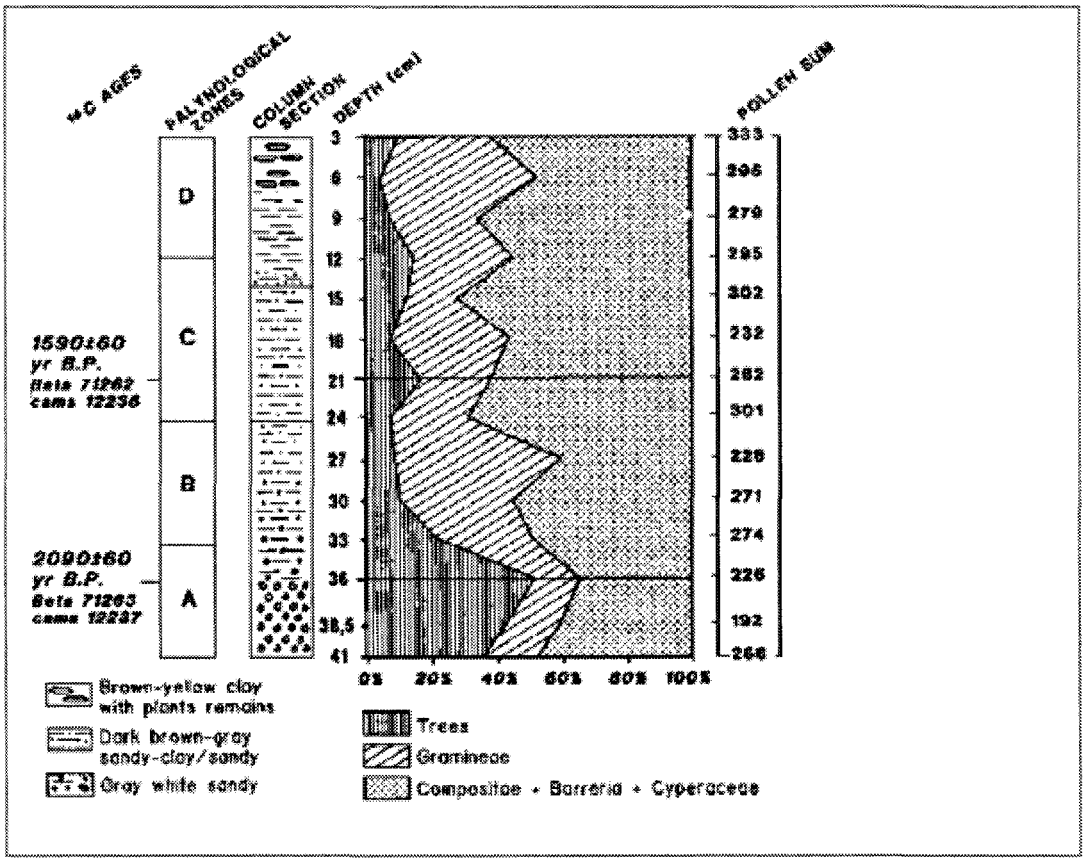


Figure 2- Sao Joaquim lake (Boa Vista-Roraima)

In the lowermost part, represented by zone A, the percentages of arboreal pollen are high. This interval, between 20 and 16 cm, was ^{14}C dated as 3650 ± 60 years BP.

In the beginning of zone B there is a decrease in the percentages of arboreal pollen and an increase in the percentages of Gramineae and the group Compositae + Cyperaceae + Polygala.

The curve for arboreal pollen rises again in zone B around 3120 ± 70 years BP.

Zone C begins with a relatively high percentage of arboreal pollen. This interval was 14C dated as 2560 ± 60 years BP. The percentage of arboreal pollen decreases at the end of this zone, while the percentage of Gramineae and the group Compositae + Cyperaceae + Polygala increases at 1540 ± 60 years BP.

The last pollen zone D shows an extension of savanna with grasses, mainly Gramineae and the savanna tree Curatella americana.

Very little vegetational changes were found in the savannas of Boa Vista, Roraima, at least during the last 3650 years BP.

The diagram for Lago Redondo shows a dominance of open savanna like the previous palynological investigation by Absy (1979, 1985). This is in agreement with the present vegetation in the area. The dominance of forest vegetation reflected in the pollen diagram of Lago da Fazenda São Joaquim is partly, caused by secondary elements, like Cecropia and Piper.

❖ REFERENCES

Absy, M.L. (1979). A palynological study of holocene sediment in the Amazon basin. Ph.D Thesis. University of Amsterdam, 86 p..

Absy, M.L. (1985). The palynology of Amazonia : The history of the forests as revealed by the palynological record. In : Prance, G.T. & Lovejoy, T.E. (eds) - Key Environments Amazonia, Oxford, Pergamon Press, p. 72-82.

Erdtman, G. (1960). The acetolysis method in a revised description. Sv. Bot. Tdsk Lund, 54 (4), p. 561-564.

Faegri, K. & Iversen, J. (1966). Textbook of pollen analysis. 2nd ed. Copenhagen, Munksgaard, 228 p., 8 pl., 23 fig., 8 tabl..

Kummel, B. & Raup, D. (1965). Handbook of Paleontological techniques. San Francisco, Freeman, xiii + 852 p., ill..

FORMATION ET ÉVOLUTION DES RECRUS SUR SAVANES

Gaston ACHOUNDONG, J.YOUTA-HAPPI**, Jacques BONVALLOT***, Bernard GUILLET*****

En Afrique la forêt semi-décidue transgresse la savane. Cette transgression s'observe en Côte d'Ivoire Miège [(1966), Dugerdil (1970), Guillaumet et Adjanohoun (1971) Spichiger (1975)] au Ghana [Swaine *et al.* (1976)] au Nigeria [Keay (1959 b)], au Cameroun [Letouzey (1968,1985)] en Centrafrique [Sillans (1958), Boulvert (1990)] en Ouganda (Eggeling 1947), au Zaïre Lebrun (1936), au Congo Koechlin (1961), Schwartz *et al.* (1990), De Foresta (1990).

Après de longues controverses sur les causes de cette avancée les chercheurs admettent aujourd'hui, comme Aubréville (1962 b) qu'elle est une adaptation de la végétation aux modifications climatiques. De Foresta (1990). Certaines savanes ne sont plus en équilibre avec le climat actuel et elles tendent à retrouver cet équilibre par la voie de la reforestation. L'adaptation de la végétation aux changements mésologiques peut être lente car il y a une inertie des formations végétations (Letouzey, 1968).

Exécutés pour la plupart en lisière certains travaux botaniques présentent cette progression comme une très lente avancée de la forêt sur les savanes par effet de rive. Le rythme de progression ainsi mis en évidence (quelques m/siècle) n'est pas compatible avec celui déduit des observations en photographie aérienne. Celle-ci montrent en effet des vastes étendues que les forêts ont pu reconquérir (Letouzey, 1968) en un temps relativement court.

Le but de cette communication est de montrer:

✓ qu'une analyse des différents stades de l'évolution des recrus derrière les lisières (cas des forêts à Marantacées au Congo) peut mieux montrer l'ampleur du phénomène.

✓ qu'au Cameroun la progression, sans doute favorisée par un climat plus humide semble plus rapide que dans les autres régions où elle est décrite.

Pour ce faire, nous avons choisi à Kandara au sud de Bertoua, à l'Est du Cameroun, un recru inséré entre une savane incluse et une forêt plus âgée.

* Herbier national, BP 1601 Yaoundé;
** Département de géographie, Université de Yaoundé I;
*** ORSTOM; Paris
**** Université d'Orléans.

POSTER

Le long de deux layons partant de la forêt âgée à la savane, nous avons délimité des parcelles rectangulaires contiguës de 30 m x 10 m disposées comme suit: 30 m le long du layon et 10 m. perpendiculaire au layon. A l'intérieur de chaque parcelle ainsi délimitée, tous les arbres de plus de 10 cm de circonférences ont été déterminés et leur circonférence relevée au niveau de la poitrine. Les surfaces terrières totales par parcelle sont calculées.

Nous avons aussi effectué des relevés dans deux parcelles de 15 000 m2 chacune. L'une est choisie dans le recru l'autre en forêt âgée. Les IVIr (Importance Value Index réduit) des espèces recensées sont calculées. IVIr. = densité relative + surface terrière relative.

❖ RÉSULTAT

LE TRANSECT

La surface terrière par parcelle décroît de la forêt âgée à la lisière. Cette variation permet de distinguer nettement trois secteurs: la lisière, le recru et la forêt âgée (fig. 1).

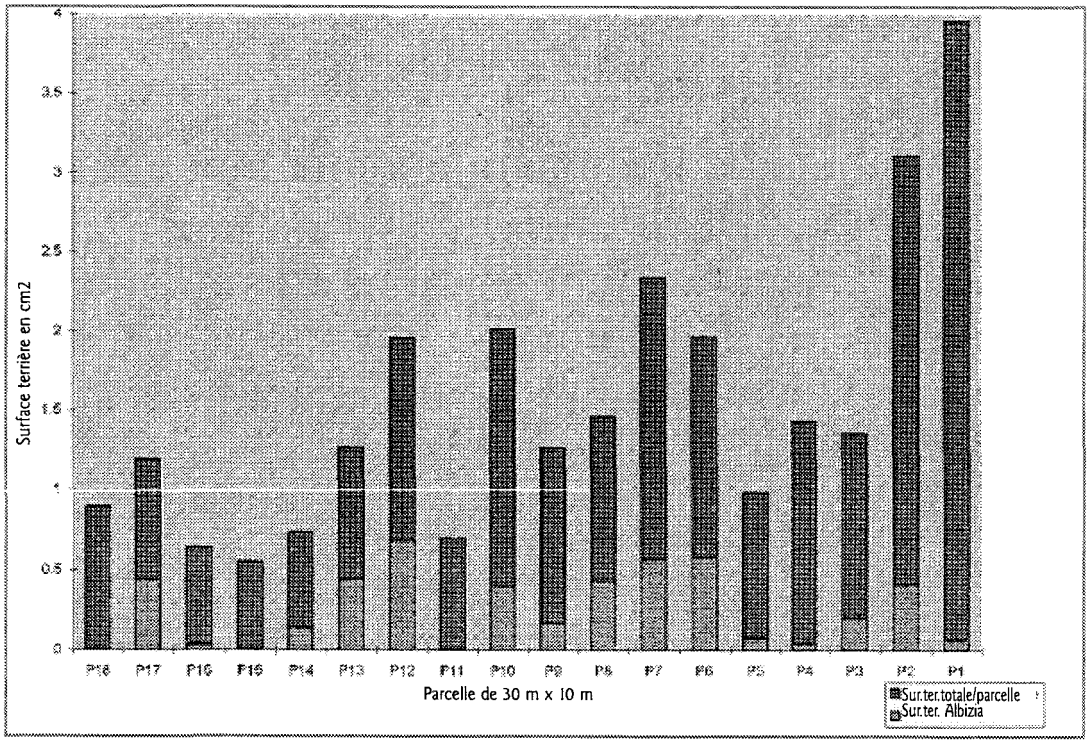


Figure 1- Variation de la surface basale dans les parcelles, de la forêt âgée à la lisière

La lisière

Elle correspond à une zone de faible surface terrière car elle est constituée de petits arbres haut d'environ 5-7 m. Elle couvre une petite bande de près de 30 m de profondeur.

Le recru

Derrière la lisière, un recru se développe sur plus de 400 m de profondeur. montrant dans toutes les directions une physionomie très homogène attestée par la faible variation de la surface terrière d'un point à l'autre. On constate que toutes les parcelles où la surface terrière des arbres relevés dépasse 10.000. cm2 portent des arbres à croissance rapide. Ce sont des pionniers appartenant à l'un des genres suivants: *Albizia, Cordia, Rauvolfia, Canthium.* A ces gros arbres s'associent des nombreuses tiges d'arbres moyens appartenant aux genres suivants: *Markhamia, Chaetacme et Myrianthus.* Ces pionniers qui peuvent naître en savane sont plus abondants sur les anciennes termitières.

La forêt âgée

La forêt âgée qui s'étend sur environ 60 à 100 m le long de la rivière se caractérise par une plus grande valeur de la surface terrière par parcelle car elle renferme une plus grande proportion de grands arbres.

❖ Les relevés de 15 000 m^2

Le principal résultat de l'analyse de relevés dans les parcelles de 15 000 m2 est la mise en évidence de la différence des végétations occupant les deux faciès.

Le recru est dominé par les arbres pionniers, ayant participé les premiers à la constitution du couvert forestier qui a remplacé la savane. Germant dans les conditions de lumière forte et doués d'une grande capacité de croissance, ces arbres ne peuvent pourtant pas assurer la stabilité du couvert qu'ils ont formé, car ils ont une durée de vie brève. Sous leur ombre poussent les arbres d'avenir. La forêt âgée est dominée par les gros arbres de forêt semi-décidue.

Le calcul des IVIr (Importance Value Index réduit) des espèces rencontrées montre que les LD. (Leading Dominant) ne sont pas les mêmes dans les deux faciès. Si l'on considère les 15 premières espèces de chaque faciès, on obtient deux lots floristiquement différents, avec seulement deux espèces communes. *Tabernaemontana crassa* et *Trichilia rubescens* présents et importants dans les deux faciès, sont les espèces de sous-bois qui se mettent très tôt en place aux premiers stades du recru. Contrairement aux pionniers de la voûte elles vont se maintenir en sous-bois. A ces pionniers de sous-bois se joindront, à un stade de forêt plus mature, les *Rinorea, Neosloesotiopsis, Diospyros.* (Figure 2 et 3)

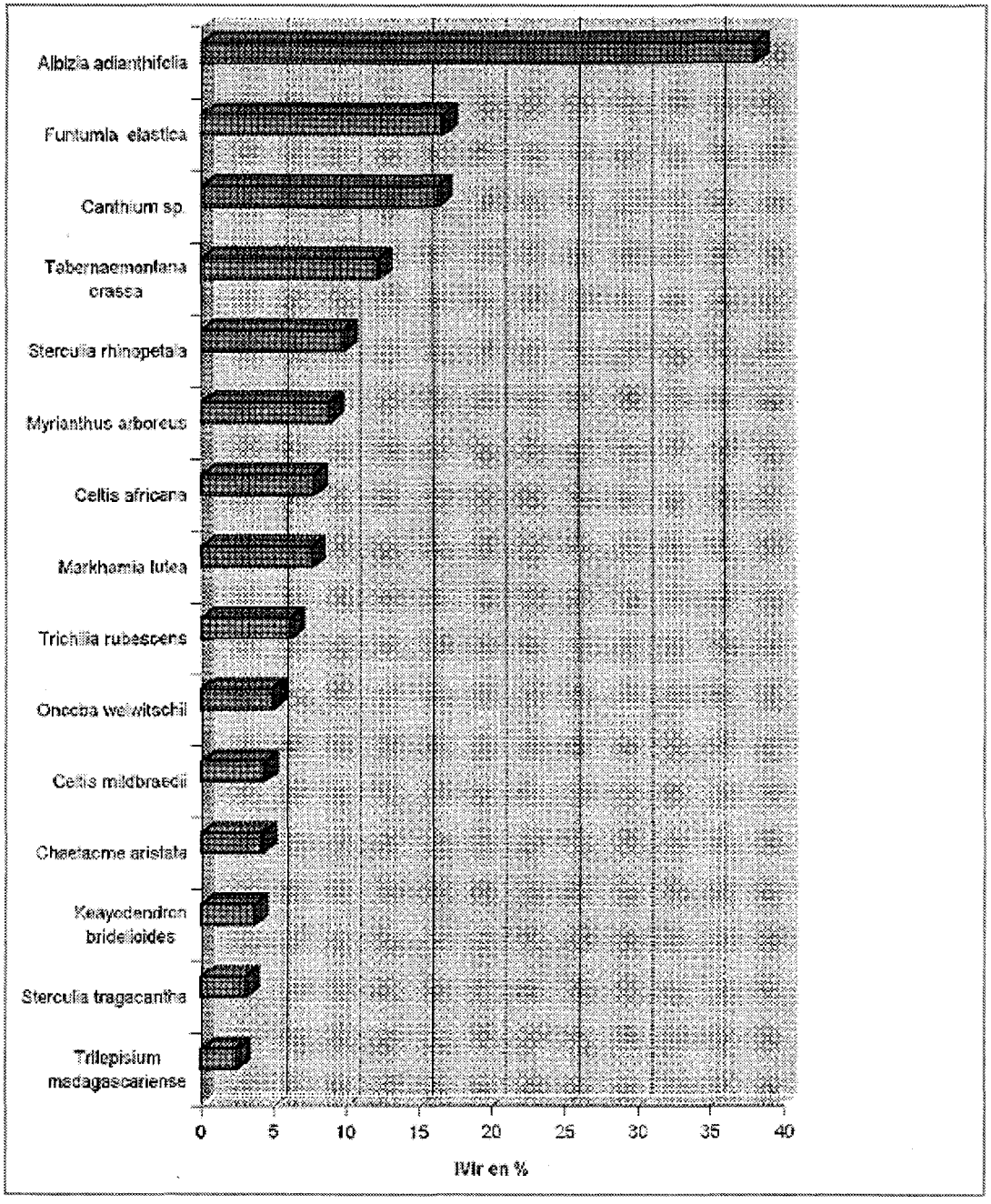


Figure 30- Variation des IVIr des 15 principales espèces en recru

❖ CONCLUSION

Le recru s'étend sur plus de 400 m en profondeur. Les points plus proches de la forêt âgée ne présentent pas de signe de plus grande maturité. La forêt n'a pas pu s'étendre par simple effet de rive.

On note par contre des îlots de concentrations de gros arbres autour des anciennes

termitières. Ces dernières seraient les pôles de recolonisation qui forment en savane des îlots boisés. Les îlots se coalisent ensuite par effet de rive. Ce mode d'aforestation peut induire l'embroussaillement très rapide des vastes espaces en l'absence des feux et en présence des porte-graines. C'est ce que nous observons actuellement en lisière nord de la forêt semi-décidue où le phénomène peut concerner des centaines de milliers d'hectares voir 1000 000 d'hectares.

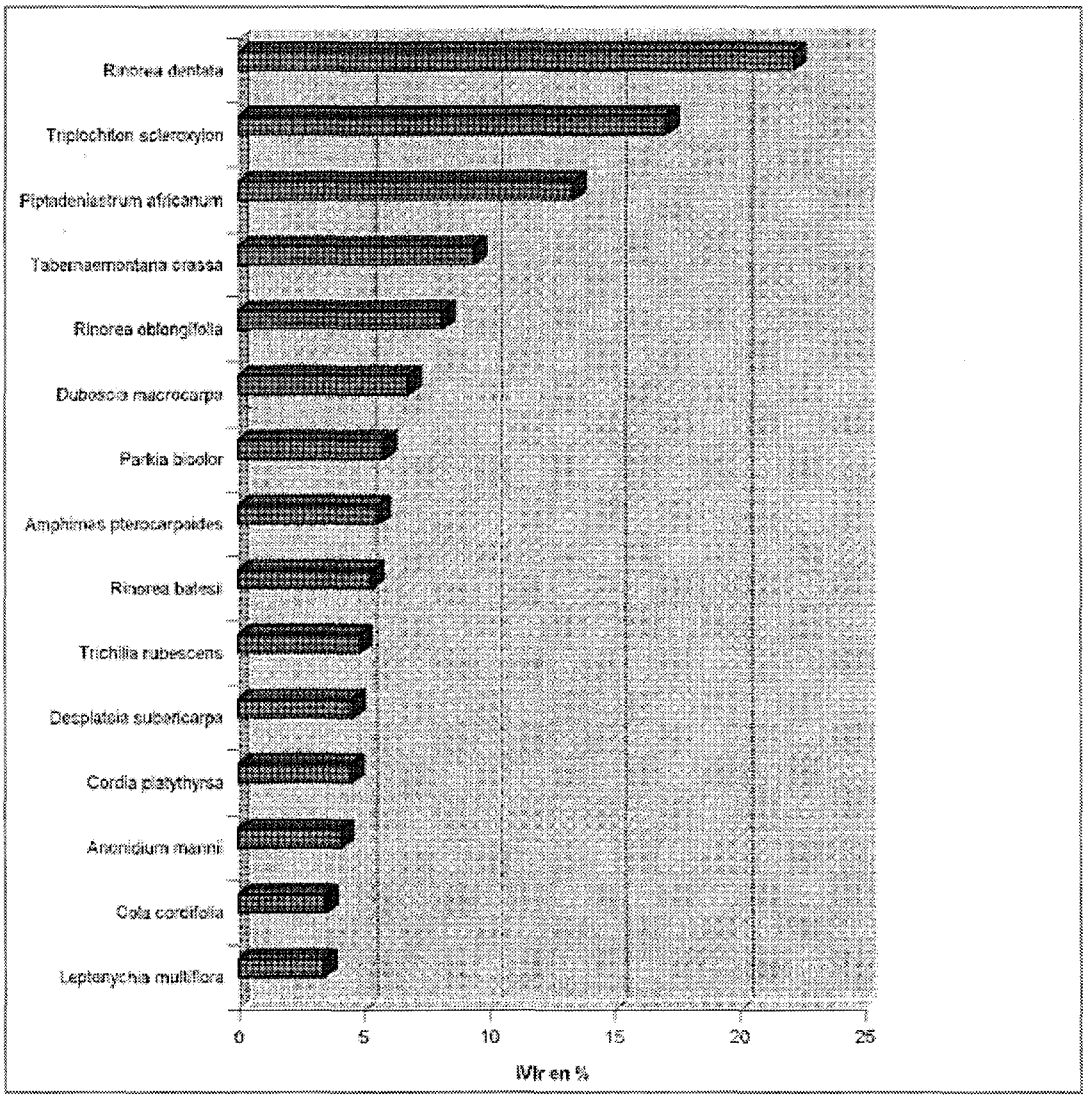


Figure 3b- Variation des IVIr des 15 principales espèces en forêt âgée

ÉTUDE DE CAS : L'AVIFAUNE DE LA RÉGION TIKAR (CAMEROUN)

*François BAILLON**

Notre proposition de contribution au Symposium International sur la "Dynamique à long terme des écosystèmes forestiers intertropicaux" sera centrée sur la présentation de l'avifaune inféodée aux écosystèmes de la mosaïque périforestière du pays Tikar (Cameroun). Ces travaux peuvent donc s'intégrer dans le thème 2 proposé "Indicateurs écologiques, géochimiques et sédimentologiques des écosystèmes".

Nous nous proposons de présenter, sous forme de poster (2) les résultats des évaluations des ressources fauniques sauvages, leurs exigences écologiques et trophiques et les principales espèces identifiées comme disséminatrices de graines et fruits sur l'écotone forêt-savane.

Le continent africain abrite près de 1 850 espèces d'oiseaux. Le Cameroun compte environ 850 espèces d'oiseaux sur l'ensemble de son territoire. La richesse avifaunistique augmente à mesure que l'on va du Nord vers le Sud : près de 199 espèces résidentes dans l'extrême nord (steppe à épineux, 11°N), puis 259 résidents en zone soudano-sahélienne (9°N, latitude de la Bénoué), 377 résidents en milieu guinéo-soudanien (6°N, Adamaoua) et enfin près de 437 espèces sédentaires présentes dans le bloc forestier guinéo-congolais (3°N, forêt sempervirente, latitude du Dja).

En pays Tikar 334 espèces réparties en 49 familles ont été à ce jour, recensées, sur l'écotone forêt-savane.

La biodiversité aviaire augmente à l'approche de l'équateur. Les écosystèmes deviennent peu à peu plus complexes, mais si qualitativement l'avifaune augmente, le nombre d'individus par espèces diminue et leur observation devient de plus en plus difficile. Les habitats apparaissent également plus stabilisés mais la compétition inter et intraspécifique s'accroît. L'endémicité est alors plus fréquente. Les stratégies de reproduction tendent à se complexifier et le nombre d'individus à la naissance se réduit.

Les espèces "nordiques" montrent une plus grande tolérance vis à vis des milieux déstabilisés; ce sont des espèces plus généralistes dans leur écologie. En revanche, les espèces

* ORSTOM-Yaoundé, BP 1857, Yaoundé Cameroun

"sudistes", plus nombreuses mais moins abondamment représentées, se spécialisent nettement dans leur comportement, leur habitat et leur régime alimentaire.

✓ Parmi les 334 espèces inventoriées sur nos secteurs d'étude, 6% sont des espèces migratrices d'origine paléarctique, 78% sont des résidentes sédentaires, 14% sont des migrateurs intertropicaux, 1% sont principalement erratiques et 1% ont un statut incertain.

Pour chaque espèce, les différents types de milieux exploités (9 types), leur indice d'abondance (4 niveaux) et la localisation géographique (7 secteurs) sont précisés.

✓ Les oiseaux, présents dans tous les types de milieux sont d'intéressants marqueurs pour caractériser ou contrôler l'évolution de ces derniers. Dans un paysage modifié, un écosystème déstabilisé, d'origine anthropique ou non, les oiseaux sont souvent les premiers êtres vivants, avant l'homme, à réagir à ces changements. Il importe donc de connaître les exigences spécifiques à chaque espèce et d'identifier leur optimum écologique. Dans cet esprit, nous avons sélectionné une cinquantaine d'espèces indicatrices des types de milieux communément rencontrés en pays Tikar.

✓ Le troisième volet de notre contribution porte sur le rôle potentiel de l'avifaune dans la transgression de la forêt sur la savane. Ce travail, qui ne saurait prétendre à l'exhaustivité, tente de sélectionner une trentaine d'espèces, en s'appuyant sur des observations directes de terrain, qui nous paraissent occuper une fonction importante dans la dispersion ou la dissémination des graines et fruits au sein de la mosaïque périforestière.

❖ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BROSSET, A., ERARD, C. (1986). Les oiseaux des régions forestières du nord-est du Gabon, Vol. 1, SNPN.

URBAN, E., FRY, Ch., KEITH, S. (1986). The birds of Africa, Vol. II, Academic Press.

DECOUX, J.P., FOTSO, R.C., NJOYA, I.S. (1986). Pour la sauvegarde des oiseaux forestiers du Cameroun. Lab. de Zool., Fac. des Sciences de l'Université de Yaoundé.

INDICES BOTANIQUES ET ANTHRACOLOGIQUES EN CONTEXTES ARCHEOLOGIQUES SUR LE CONTACT FORÊT-SAVANE AU CAMEROUN (PAYS TIKAR)

*Michèle DELNEUF**

Dans le cadre géographique stricte de l'Afrique centrale intertropicale à l'Holocène récent, les analyses relatives à la dynamique du contact forêt savane ou à la mobilité de la mosaïque forestière se sont appuyées sur des indicateurs fossiles qu'il n'est pas aisé de mettre en relation avec l'occupation humaine.

L'impact de cette occupation sur ces écosystèmes, en terme de répartition, de densité et d'activités recherchant et réorganisant les éléments ligneux du paysage, est encore difficile à estimer. Pourtant, la compréhension de la dispersion du peuplement, principalement durant les trois derniers millénaires, tient étroitement compte de la nature des milieux, de leur accessibilité et de leur viabilité pour l'homme holocène (Eggert, 1993).

Les travaux les plus récents sur cette relation homme holocène/paléoenvironnements ont apporté des éléments significatifs sur des portions particulières de cette zone intertropicale forestière ou de contact forêt-savane : l'Afrique centrale atlantique, le Gabon, le Congo (Lanfranchi, Schwartz, 1992). Depuis peu, par l'archéologie et par l'étude des paléoenvironnements, la couverture de cette zone se complète sur ses limites méridionales et septentrionales : les premières au Zaïre (parmi les travaux récents citons ceux des équipes allemandes autour de M.K.H. Eggert et J. Preuss), les secondes au Cameroun par la reprise d'études archéologiques systématiques et la contribution de celles d'ordre paléo-environnemental très ciblées sur le contact forêt-savane au Nord de Yaoundé. Si, pour ce dernier pays, aujourd'hui c'est la limite de cette couverture forestière, ce 5° de latitude nord est aussi la marge des populations anciennes qui en ont vécu.

Relevant de ces thèmes, les toutes récentes recherches archéologiques en pays Tikar (plus précisément entre les localités de Nditam et de Ngambé Tikar), intégrées au programme ORSTOM : Ecologie humaine et équilibre des écosystèmes au contact forêt-savane animé par Alain Froment, ont permis de cartographier un peu plus d'une quarantaine de sites, datables entre 2 000-2 500 BP et l'actuel. Les premiers sondages effectués dans un échantillon de gisements, représentant plusieurs étapes de cette période, permettent de commencer à évaluer:

✓ des indices botaniques et anthracologiques datés aidant non seulement à restituer les composantes du paysage mais aussi leur rôle dans les activités humaines (espèces préfé-

* ORSTOM, B.P. 1857 Yaoundé - Cameroun

rentielles pour la consommation domestique ou artisanale);

✓ La variation de l'extension de la savane dont témoignent les établissements humains récents (postérieurs à 700 BP);

✓ Plus anciennement, autour de 2 000 - 2 500 BP, des indices autorisant d'une part la comparaison d'ordre culturelle significative avec les gisements du Gabon (vallée de l'Ogooué et Estuaire), du Zaïre et de RCA (bassin du Zaïre central et occidental et confluence avec l'Ubangui), et, d'autre part une estimation mieux argumentée des stratégies de peuplement en fonction de ces écosystèmes;

Enfin, la compréhension de ces stratégies et la part qu'y ont pris les milieux traversés au Cameroun en particulier. Il devient désormais possible de suivre l'extension d'aires culturelles depuis cette marge septentrionale du contact forêt-savane vers celles, plus forestières, dans la région de Yaoundé représentées par les résultats antérieurs obtenus sur des gisements contemporains (Obobogo, Okolo, Ndindan...).

Ce sont là des indices liminaires, et fortement positifs. Ils nous conduisent à requérir une connexion, toute aussi fructueuse qu'elle l'a été pour l'Afrique centrale atlantique, entre les différents analystes des indicateurs recueillis sur les paléoenvironnements, qu'ils soient en contextes anthropiques ou non anthropiques.

❖ RÉFÉRENCES

EGGERT M.K.H. (1993). Central Africa and the archaeology of the equatorial rainforest: reflections of some major topics. *In : Th. Shaw, B. Andah, et al. ed. The archaeology of Africa : Food, metal and towns. London. Routledge*, p. 289-329.

LANFRANCHI, R.; SCHWARTZ, D. (1990). Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique, Paris, ORSTOM *(Coll. Didactiques)*.

De MARET P. (1990). Le "Néolithique" et l'Age du Fer ancien dans le Sud-Ouest de l'Afrique centrale. *In : R. Lanfranchi, D. Schwartz ed. Paysages quaternaires de l'Afrique centrale, Paris*, ORSTOM, p. 447-457 (Coll. Didactiques).

DYNAMIQUE DE LA LIMITE FORÊT-SAVANE DANS LE NORD DE L'AMAZONIE BRÉSILIENNE AU COURS DE L'HOLOCÈNE, MISE EN ÉVIDENCE PAR L'ÉTUDE DE L'ABONDANCE NATURELLE EN ^{13}C DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DU SOL

Th. DESJARDINS, A. CARNEIRO FILHO*, A. CHAUVEL**, A. MARIOTTI***, C. GIRARDIN****

❖ INTRODUCTION

Dans la zone tropicale de l'Amérique du Sud, des études, notamment palynologiques, ont montré des modifications de végétation durant le Quaternaire récent. L'extension des savanes et des forêts tropicales a considérablement varié au cours de cette période, principalement sous l'influence de variations paléoclimatiques. Actuellement une partie de l'Etat de Roraima, au Nord de l'Amazonie brésilienne, est recouverte par une mosaïque de forêts et de savanes. La distribution de cette végétation n'est que partiellement liée aux facteurs géomorphologiques, hydrologiques et édaphiques. Comme dans d'autres régions du bassin amazonien, l'hypothèse avancée pour expliquer l'origine et la distribution de cette végétation met en jeu des changements paléoclimatiques. L'objectif de ce travail est de fournir, par des mesures de l'abondance naturelle du carbone 13 de la matière organique des sols (MOS) et par des datations au carbone 14 de charbons de bois, des informations sur l'évolution de la limite forêt-savane au cours de l'Holocène.

❖ MATÉRIELS ET MÉTHODES

Site d'étude et échantillonnage

Les sols étudiés sont situés dans une pénéplaine à quelques kilomètres au nord de Boa Vista (2°52'N-60°32'W), à la limite nord de la forêt amazonienne brésilienne. Le climat est tropical humide mais avec une saison sèche marquée de 4 à 5 mois. La végétation dominante est une savane arbustive en marge d'une forêt semi-décidue. Cette forêt est considérée comme une forêt de transition avec la forêt dense humide. Les sols, développés sur des sédiments continentaux du Cenozoïque sont des sols ferrallitiques profonds de textures moyennes. Sous les deux types de végétation, les sols présentent les mêmes caractéristiques, sauf dans les 40 cm superficiels où les teneurs en argiles et en carbone sont plus élevées sous forêt que sous savane. Ces différences paraissent liées à la végétation actuelle.

* ORSTOM/INPA, CP 478, 69011-970, Manaus, AM, Brésil
** ORSTOM- LEST, 32 Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex
*** Univ. Pierre et Marie Curie - CNRS, INRA, UMR 162, Lab. de Biogéochimie Isotopique, 4 Place Jussieu, 72252 Paris cedex 05

Le long de trois transects de 140 m, perpendiculaires à la limite forêt-savane étudiée, 6 sondages à la tarière ont été réalisés : 3 en forêt et 3 en savane, dans les deux cas à 3, 15 et 70 m de la limite. La profondeur des sondages varie entre 120 et 460 cm. Des charbons de bois ont été échantillonnés sur les parois de trois tranchées profondes de 120 cm, deux en savane et une en forêt.

Méthodes d'analyses

Les rapports isotopiques de la matière organique du sol ont été mesurés sur un spectromètre de masse Fisons SIRA 10 couplé à un analyseur élémentaire de type CHN. L'abondance naturelle en carbone 13 est exprimée en unités en référence au standard international PDB. Les datations ^{14}C ont été effectuées par scintillation liquide ou sur accélérateur de particules.

❖ RÉSULTATS

Distribution de l'isotope ^{13}C

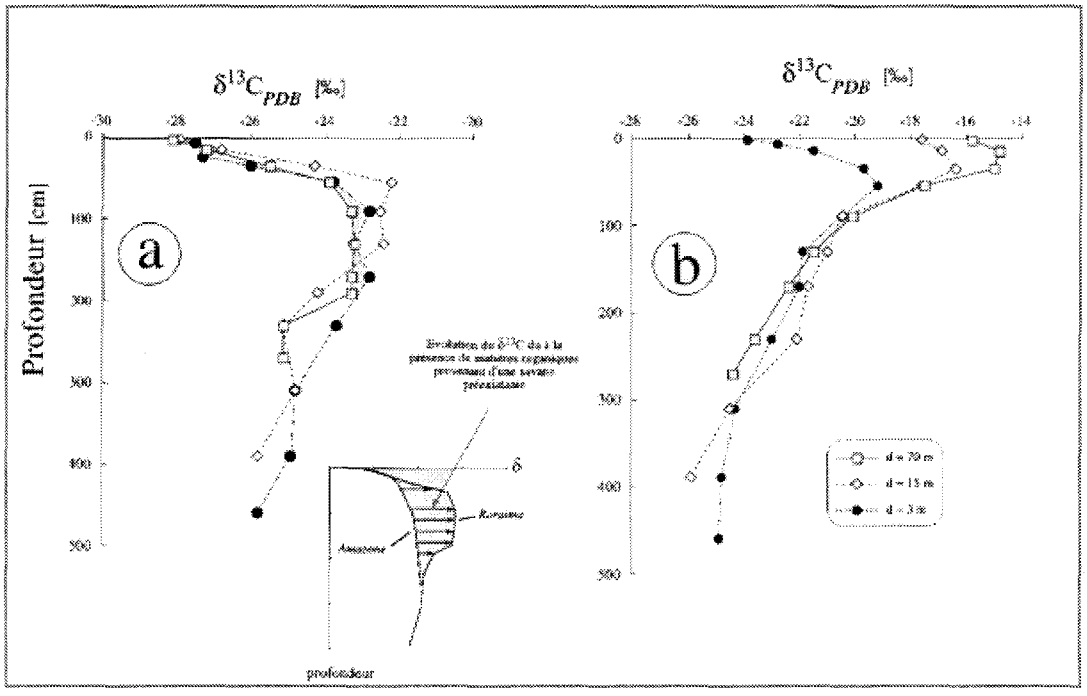
Dans le sol sous forêt, tous les profils de distribution du ^{13}C, quelque soit leur distance à la lisière, sont semblables (fig. 1.a). En surface, les valeurs sont comprises entre -28,5‰ et -27,5‰, elles augmentent de 5 à 6‰ jusqu'à une profondeur variant entre 60 et 90 cm, selon les profils. Les valeurs maximales de ^{13}C varient entre -23,2‰ et -22,2‰. Jusqu'à 2 m de profondeur, ces valeurs restent relativement constantes, puis diminuent entre 2 et 4 m de profondeur de -23,7‰ et -25,8‰. Sous savane, dans les horizons superficiels, les valeurs de ^{13}C en surface varient entre -17,6‰ et -14,8‰ et sont typiques de savanes arbustives (fig. 1.b). Ces valeurs augmentent légèrement jusque vers 20-40 cm puis diminuent fortement entre 40 et 130 cm de profondeur. Elles continuent ensuite à diminuer faiblement jusqu'à des valeurs comprises entre -25‰ et -23‰. Près de la lisière, la distribution du ^{13}C est différente en surface : dans les premiers centimètres, le ^{13}C est de -23,9‰ puis augmente nettement jusqu'à 60 cm où il atteint -18,8‰. En dessous, la distribution du ^{13}C est similaire à celle des autres profils de savane.

Datations ^{14}C

Les charbons prélevés dans les tranchées sont rares en forêt et fréquents en savane. Parmi ceux qui ont été datés, on peut distinguer deux groupes : l'un avec des âges compris entre 1 790 et 3 230 BP, l'autre avec des âges de 6 540 et 7 630 BP. Les charbons présents sous savane sont pour la plupart originaires d'espèces forestières.

❖ DISCUSSION

Sous forêt, le type de distribution ^{13}C en fonction de la profondeur est différent de celui observé généralement en forêt amazonienne (fig. 1.a). Dans ces sols, les valeurs ^{13}C



augmentent régulièrement de 2,1 à 3,2‰ avec la profondeur. Les sols du Roraima étudiés ici montrent une forte augmentation du ^{13}C avec la profondeur de l'ordre de 4,9 à 5,7‰. En dessous de 200 cm de profondeur, le ^{13}C diminue de nouveau et les valeurs redeviennent voisines de celles habituellement observées dans les sols ferralitiques forestiers amazoniens. L'hypothèse la plus probable pouvant expliquer ces profils de ^{13}C est celle d'une extension plus grande des savanes dans le passé. Les ^{13}C observées entre 50 et 200 cm étant alors dues à la présence d'une petite quantité de matière organique d'origine savanicole résistante à la dégradation. Sous forêt, les ^{13}C des horizons superficiels sont typiques d'une végétation en C3, que l'on soit éloigné ou proche de la lisière, ce qui indique qu'actuellement la forêt n'envahit pas la savane. Dans le cas contraire, près de la lisière sous forêt, les ^{13}C seraient intermédiaires entre ceux d'une végétation C3 et ceux d'une végétation C4 en raison de la présence d'une matière organique d'origine C4, encore non minéralisée. Il est possible que les feux d'origine anthropique, fréquents dans la région, aient induit cette stabilité au cours de la période actuelle.

En savane, les valeurs ^{13}C des horizons superficiels sont typiques d'un écosystème dominé par des plantes C4. Alors que dans la plupart des sols sous savane, on observe une légère décroissance du ^{13}C en profondeur, dans le sol sous savane étudié cette décroissance est très marquée et en profondeur les valeur de ^{13}C sont similaires à celles observées sous forêt. Ces faibles ^{13}C traduisent la conservation, dans les couches profondes du sol de savane, d'une matière organique d'origine forestière. La plupart des charbons présents dans ces sols de savane proviennent d'espèces forestières, ce qui renforce l'hypothèse du développement dans le passé d'une végétation forestière sur ces sols actuellement sous savane.

En Amérique du Sud, selon les connaissances actuelles, le développement maximum de la forêt est intervenu entre 10 000-9 500 et 8 000 ans BP. Dans les sols de savane, les valeurs ^{13}C des horizons profonds constitueraient la marque de cette extension maximale de la forêt. Les données palynologiques et paléolimnologiques obtenues dans le Brésil Central et en Amazonie orientale indiquent l'apparition d'un climat plus sec et d'une végétation de savane vers 8 000 ans BP, ce climat atteignant son maximum vers 6000-5000 ans BP. Il est probable que les savanes actuelles sont apparues durant cette période. La présence dans les sols de savane de charbons de bois âgés de 6500 à 7500 ans BP renforce cette hypothèse. Il semble aussi possible que durant cet épisode sec, la savane ait occupé une étendue plus grande qu'aujourd'hui. Ceci pourrait expliquer les valeurs de ^{13}C observées dans le sol sous forêt entre 50 et 200 cm. Entre l'Holocène moyen et l'époque actuelle, le climat est redevenu plus humide, mais l'existence de feux en Amérique du Sud durant cette période reflète une plus grande variabilité climatique. Dans les sols étudiés, la présence de charbons d'âges compris entre 3230 à 1790 ans BP, confirme le rôle des feux dans la dynamique de la végétation à la fin de l'Holocène.

Les données présentées, cohérentes avec celles obtenues dans d'autres régions du bassin amazonien, mettent en évidence des fluctuations de la limite forêt-savane au cours de l'Holocène, dans le Nord de l'Amazonie brésilienne. Des études associant les démarches isotopiques, palynologiques, sédimentologiques et la télédétection, sur d'autres limites forêt-savane de cette région, complèteront ces résultats.

CHROMOLAENA ODORATA, TRANSGRESSION FORÊT/SAVANE ET SYSTÈME AGRAIRE DES TIKAR DANS LE HAUT MBAM (CAMEROUN CENTRAL)

*Edmond DOUNIAS**

La problématique abordée par le programme ECOFIT au Cameroun concernant l'interprétation du phénomène de transgression de la forêt sur la savane, peut certes n'être considérée que sous l'angle des sciences de la nature, et se satisfaire d'une explication climatique relevant d'un global change planétaire. Toutefois, il convient simultanément de s'assurer que des phénomènes d'ordre anthropique plus immédiats ne sont pas en cause. A ce titre, les systèmes de représentation traditionnels et les modes ancestraux et actuels d'exploitation des ressources peuvent s'avérer des sources précieuses d'informations.

Afin d'analyser cette intervention humaine dans l'évolution de l'écotone forêt/savane, des anthropologues et des biologistes de l'UMR "Anthropologie et Ecologie de l'Alimentation" (CNRS-MNHN-Paris 7), ainsi que des naturalistes et des archéologues de l'ORSTOM et du Cameroun, ont entrepris un vaste programme d'écologie humaine dans le haut Mbam, à proximité d'un des sites d'étude sélectionné par le programme ECOFIT (Froment *et al.*, à paraître).

Une partie du faible peuplement de la plaine Tikar (2 habitants par Km2) est remarquable par la présence d'un isolât de moins de 350 chasseurs-collecteurs, les Medjan, qui forment la plus septentrionale des populations pygmées. Pour l'instant, son origine n'est pas rattachable à celle des autres ethnies pygmées du Cameroun (les Kola de forêt littoral, et les Baka de l'est du pays). A vol d'oiseau, plus de 250 km séparent les Medjan des deux autres communautés. Notre ignorance sur l'origine des Medjan ne nous permet pas pour l'instant de dire si la forêt dense a régressé à une époque où ils étaient autochtones de la région, ou s'ils ont choisi un mode de vie en milieu ouvert au terme de leur migration. En tous les cas, de nombreux indices dans la conduite des activités cynégétiques actuelles attestent que les Medjan chassent aujourd'hui aussi bien en forêt qu'en savane.

Les Pygmées Medjan cohabitent avec les Tikar, une société fortement structurée reposant sur des chefferies importantes et historiquement attestées. Il ne fait plus aucun doute que les Tikar sont originaires d'une zone de savane. Mais leur foyer originel reste à identifier, de même que leur parenté exacte avec les Mboum de l'Adamawa (Mohammadou, 1986) qui appartiennent à un autre groupe linguistique (Breton *et al.*, 1991). Les questions qui se posent sont de savoir, d'un point de vue historique, quelles motivations ont

* UMR 9935, ORSTOM, B.P. 1857, Yaoundé, Cameroun

conduit les Tikar à migrer vers la forêt, et, d'un point de vue écologique, quelle attitude cette société a adopté vis à vis d'un environnement forestier qui ne lui était pas familier.

C'est à cette seconde interrogation que nous proposons de fournir des éléments préliminaires de réponse, les enquêtes de terrain étant actuellement en cours. Plusieurs indices dans la perception du milieu et dans la conduite des activités de production convergent pour démontrer que les Tikar ont préservé une attitude de "gens de savane" vis à vis de l'écotone qu'ils occupent. Pour paraphraser Rousseau (1992), ils agissent comme s'ils avaient "apporté leur écologie avec eux". Nous n'avons relevé aucun signe d'adoption d'un mode de vie "forestier". Les Tikar semblent plus s'accomoder de ce voisinage sylvestre que de véritablement s'y adapter. Les différents indices que nous évoquerons sont ceux de (i) l'implantation de l'habitat, (ii) la nomenclature des végétaux et la typologie de l'espace, (iii) la méconnaissance flagrante de ressources forestières-clés et en corollaire, (iv) le type de relation entretenu avec les Medjan. Ce dernier point est abordé en comparant le système de représentation du milieu entre des Tikar ayant des échanges avec les Medjan, et des Tikar n'ayant aucun contact avec les Pygmées. Il résulte de ces relations inter-ethniques qu'il n'y a pas eu à proprement parler "apprentissage" de la forêt aux Tikar par les Pygmées. Nous sommes plutôt confrontés à une "diffusion de proximité" se traduisant plus par une perte de savoir forestier des Medjan que par une connaissance améliorée de la sylve par les Tikar. Il y a donc valorisation de l'écologie du groupe dominateur et perte induite du savoir sylvestre par le groupe vassalisé. Les relations inter-ethniques de type féodal entre Mejan et Tikar ont eu pour effet a priori paradoxal d'affermir l'organisation hiérarchisée de la société tikar, au point que les chefferies les plus puissantes apparaissent dans la région où les Tikar ont des échanges avec la société de type acéphale des Medjan.

Le dernier indice sur lequel nous nous étendrons est celui de la tenure agricole, et plus précisément du rôle de *Chromolaena odorata*, apparue dans la région tikar il y a moins de 15 ans, dans la conduite de l'agrosystème. *C. odorata*, longtemps décriée, est aujourd'hui encensée. Après avoir colonisé les jachères, cette composée - par l'entremise de ses ennemis et ses adeptes indéfectibles - est en passe de coloniser la scène politique... A la différence des véritables populations de forêt victimes de l'envahissement de cette plante buissonnante, les Tikar ne la perçoivent pas comme une peste absolue (Foresta, 1993), mais au contraire comme un moyen de mener à bien leur pratique agricole ancienne fondée sur la céréaliculture. Le terme employé pour nommer l'eupatoire est dépourvu de toute affectivité, à la différence des nombreux sobriquets employés en zone forestière.

Les travaux menés par le programme ECOFIT semblent pencher en faveur d'un rôle positif de l'eupatoire dans le mécanisme de transgression forêt/savane, notamment par l'effet ignifuge de la ceinture d'eupatoire située à la lisière du front pionnier. Toutefois, le phénomène de transgression a été décrit dans le bassin du Congo (Letouzey, 1950, Boulvert, 1990), bien avant l'implantation de l'eupatoire dans cette partie du continent africain. Si l'eupatoire n'entrave pas le mécanisme, rien ne prouve encore qu'elle le favorise. La mise à contribution agronomique de l'eupatoire par les céréaliculteurs tikar qui cherchent manifestement à se prémunir contre la transgression forestière, illustre parfaitement la nécessité de prendre en compte l'intervention de l'Homme dans l'analyse du processus.

❖ BIBLIOGRAPHIE

BOULVERT, Y. (1990). Avancée ou recul de la forêt centrafricaine, changements climatiques, influence de l'homme et notamment des feux. *In : Lafranchi R., Schwartz D. (eds), Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique, Paris, ORSTOM,* p. 353-366.

BRETON R.J.L.; DIEU, M.; RENAUD, P. (1983). Atlas linguistique du Cameroun, inventaire préliminaire, Yaoundé, *ACCT-CERDOTOLA-DGRST.*

FORESTA, H. de (1993). *Chromolaena odorata* : calamité ou chance pour l'Afrique tropicale. *Communication présentée au "Third International Workshop on Biological Control and Management of Chromolaena odorata", Abidjan, Côte d'Ivoire, 15-19 novembre 1993,* 10 p..

FROMENT, A.; DELNEUF, M.; DOUNIAS, E.; BAILLON, F. (à paraître). Part des sciences humaines dans le programme ECOFIT-Cameroun - application à la région de Nditam (200 km au Nord de Yaoundé), Paris, ORSTOM, *Collection "Colloques et Séminaires", Actes de l'Atelier ECOFIT, Yaoundé, 13-17 novembre 1994.*

LETOUZEY, R. (1985). Carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000°, notice SC (partie 5 documents), Toulouse, Institut de la Carte Internationale de la Végétation, p. 62-93.

MOHAMMADOU, E. (1986). Traditions d'origine des peuples du centre et de l'ouest du Cameroun. *Tokyo, Institute for the Study of Languages and Cultures (ILCAA), African Languages end Ethnography, XX.*

RECHERCHE ARCHÉOLOGIQUE DANS LA LIMITE-FORÊT-SAVANE. PROSPECTION ET INVENTAIRE DES SITES (PAYS TIKAR ET VOUTE)

*Martin ELOUGA**

❖ SITUATION DU PROBLÈME ARCHÉOLOGIQUE

La mise en évidence de la dynamique des paysages et l'identification des facteurs naturels et/ou humains du phénomène, sont des questions essentielles auxquelles des réponses doivent être trouvées. L'apport des sciences de la nature est remarquable, mais n'est pas suffisant, il doit être complété par les données des sciences de l'homme, pour une meilleure approche des problèmes.

L'implication de l'archéologie dans le programme ECOFIT, se situe dans cette perspective. L'exploitation d'un site, en même temps qu'elle éclaire sur les chrono-cultures matérielles et les phases du peuplement, contribue-t-elle à la connaissance de l'histoire des milieux tels qu'ils ont évolué dans l'espace et le temps ? Les recherches archéologiques amorcées dans la limite forêt - savane (Pays Tikar, Voute et Baveuk) visent à apporter des réponses aux questions soulevées.

❖ MÉTHODOLOGIE

Le problème posé est abordé suivant une méthodologie à deux volets complémentaires :

✓ l'approche ethnographique, consistant à la collecte, par des enquêtes quantitatives et qualitatives, des données sur les traditions historiques, technologiques et architecturales ainsi que les activités de subsistance et leur milieu d'épanouissement. Au regard de l'approche ethno-archéologique utilisée pour l'exploitation des sites, les données ethnoscientifiques collectées complètent celles de l'archéologie pour une connaissance accrue de la question de l'évolution des cultures et des paysages naturels.

✓ l'approche archéologique, qui met en pratique toutes les méthodes et les techniques classiques propres à la discipline: la prospection, la reconnaissance et la cartographie des sites; la fouille d'un échantillon représentatif de sites archéologiques, l'étude des vestiges matériels et les analyses diverses, nécessaires à toute interprétation. Certaines.de ces analyses sont faites par des spécialistes des sciences de la nature paléo-botaniste anthracologiste, chimiste, physicien, zoologue ... Ce qui donne un caractère pluridisciplinaire à notre approche de terrain.

* Université de Yaoundé I, Département Arts et Archéologie, Chercheur associé ORSTOM

❖ TRAVAUX EFFECTUES ET RESULTATS

Durant cette première phase du programme, les travaux ont été consacrés à la prospection et l'inventaire des sites archéologiques. Une fouille de sauvetage a été réalisée dans le site à fosses de Mbourong. Ces travaux ont été effectués au cours de 07 missions interdisciplinaires, composées, suivant les cas, de botanistes ou d'anthropologues, et de durée respective de 02 - 10 - 04 -10 - 15 -10 et 10 jours.

Les résultats des prospections et inventaire sont présentés sur une carte archéologique de la limite forêt - savane qui met en évidence trois types de sites archéologiques classés selon les structures trouvées in situ :

- ✓ les sites à fosses,
- ✓ les habitats subactuels de plein air,
- ✓ les habitats sous-abri.

Ces sites se localisent au sommet des talwegs non loin des cours d'eau, et dans un contexte forestier pour la plupart..

Les collectes de surface et le matériel produit par la fouille de Mbourong sont représentés par :

- ✓ du lithique (meule, molette, éclat et herminette)
- ✓ de la céramique (pipes, tuyères, tessons de poterie)
- ✓ des restes fauniques (ossements, coquillage)
- ✓ de restes végétaux (amandes brûlées. charbon de bois)
- ✓ du métal (scorie de réduction du minerai de fer).

Une étude morpho-technologique comparée de ces témoins d'occupation et du matériel ethnographique trouvé chez les Tikar, Voute ou Baveuk est en cours.

❖ PREMIÈRES OBSERVATIONS

Les données orales sur les traditions paléo-métallurgiques, agricoles et architecturales, ainsi que les évidences archéologiques-fortifications en ruine, fonds de case circulaires, soufflets en argile permettent d'affirmer que la forêt transgresse sur la savane. Les villages de l'Age du fer actuellement recouverts de forêt, ont été aménagés en milieu ouvert de savane. Ce dynamisme des paysages phytogéographiques est un phénomène dû, suivant les climatologues, à une amélioration de la pluviométrie, mais probablement accéléré par une anthropisation des savanes entraînant l'installation des espèces à forte multiplication et chorologie: Harungana madagascariensis (Hypéracées), *Alchornea cordifolia* (Euphorbiacées) et *Chromoleana odorata* (Composées), récemment acclimatées dans la région.

Des premières observations de la poterie, se dégagent trois traditions céramiques:

✓ la tradition de NDITAM, marquée par une production importante de pipes et par des styles décoratifs couvrants, dominés par des motifs cordés et cannelés;

✓ la tradition de BIDI individualisée par un décor de cannelures en cercles concentriques;

✓ la tradition de MBOURONG, caractérisée par des vases à bord épaissi, et un style décoratif associant des structures annelées aux structures rayonnant du fond du vase à l'épaulement. Cette céramique est très proche de celles des sites à fosses de la rive gauche de la Sanaga (AVOH, NKANG, OKOLO, OBOBOGO, NDINDAN).

Ces traditions céramiques font penser à trois phases de peuplement dans la région, mais des travaux approfondis sont nécessaires pour la confirmation de cette hypothèse.

❖ PERSPECTIVES

L'approche archéologique suivie est d'un apport certain dans la mise en évidence des changements intervenus dans le milieu. Il importe cependant de situer ces transformations dans une échelle de temps précise, et d'en évaluer l'impact des actions anthropiques. Les résultats de prospection ne suffisent cependant pas pour répondre aux questions ainsi soulevées. D'où la nécessité de recourir à d'autres disciplines comme la paléobotanique, l'anthracologie, la palynologie, la physique et la chimie pour compléter les données archéologiques. Les sites à fosses doivent bénéficier de plus de sollicitude, car leur exploitation permettrait de lire les changements intervenus dans les paysages depuis l'holocène moyen, ceux-ci datant de 6000 BP à 1000 BP. Pour les évolutions récentes, de l'ordre de la décennie ou du siècle, le travail pourrait être focalisé sur les sites de l'Age du fer représentés par les habitats de plein air sub-actuels.

❖ BIBLIOGRAPHIE

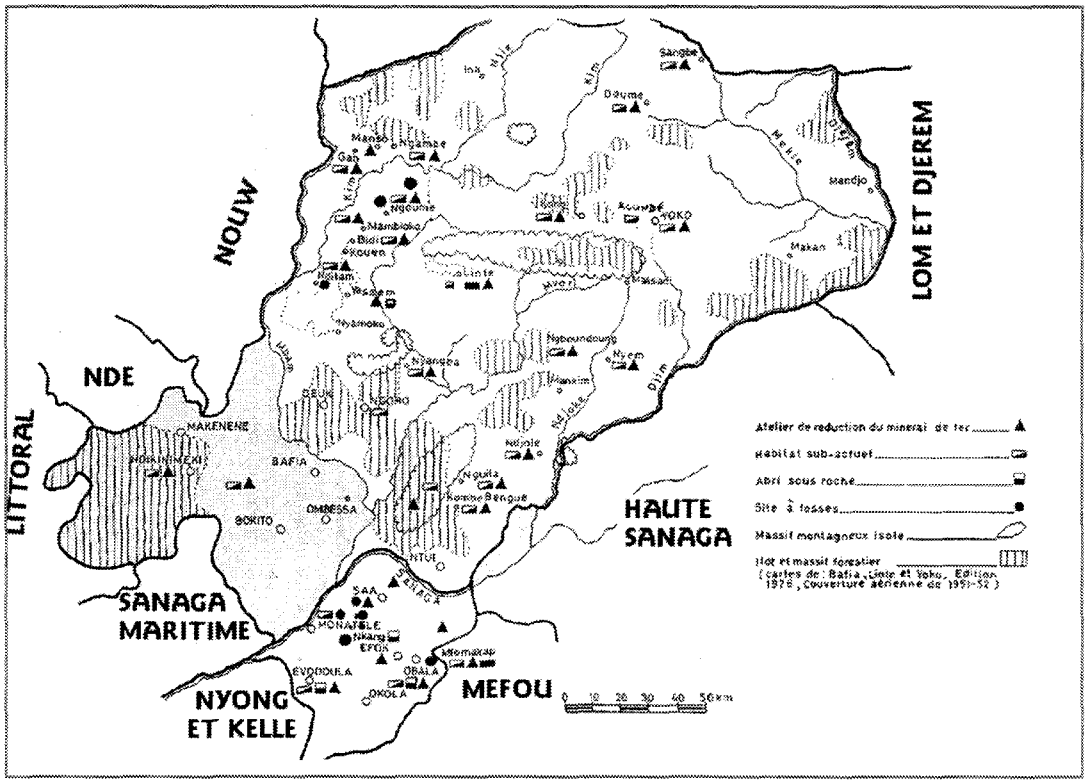
ADALA et BOUTRAIS, J. 1993. *Peuples et cultures de l'Adamaoua (Cameroun)*, Actes du Colloque de Ngaoundéré du 14 au 16 janvier 1992,

Dictionnaire des villages du Mbam, Centre ORSTOM de Yaoundé, 2e édition, SH N° 52, juin 1968.

ELOUGA, M. 1991. "Archéologie du Cameroun méridional. Prospection de sites et premières données sur la métallurgie du fer", Yaoundé, MRST -ORSTOM, Rapport scientifique multigraphié.

ELOUGA, M. 1993. "La métallurgie ancienne du fer en pays Voute. Recherches archéologiques dans le Cameroun méridional", *Chroniques du Sud*, N° 11, PP 60 - 66.

ELOUGA, M. 1994. Problématique de la conservation des technologies anciennes au Cameroun: le cas de la céramique et la métallurgie du fer", Communication au VIe Colloque de l'AOAA, Cotonou- 28 mars au 02 avril 1994.



Les sites archéologiques

ELOUGA, M. 1994. "Prospection archéologique et identification des zones de dynamisme dans les départements du Mbam et Kim, Mbam et Inoubou", Communication au Séminaire-Atelier ECOFIT, Yaoundé, 14 - 18 novembre 1994, (soumis).

ELOUGA, M. 1994. "Recherches archéologiques au Cameroun méridional. Résultats des prospections et hypothèses sur les phases de peuplement", Communication au Séminaire-Atelier sur l'Etat de la Recherche Archéologique au Cameroun, Yaoundé, 24 - 25 novembre 1994. (Soumis).

ELOUGA, M. Et WIRRMANN D. 1994. "Recherches paléo-environnementales et découverte d'un site archéologique", Séminaire Atelier. Yaoundé, 24-25 novembre 1994. (Soumis).

ELOUGA, M. 1995. " L'habitat et l'économie protohistoriques au Cameroun méridional"* Communication au 10th Congress of Panafrican Prehistory an related studies. Harare, june 18 23. (Soumis).

ESSOMBA, J. M. Ed. 1992, *L'Archéologie au Cameroun*, Actes du premier Colloque International de Yaoundé (6 - 9 janvier 1986), Paris. Karthala.

JEFFREYS, M. D. W. 1964. "Who are the Tikar ?" *African Studies*, 23, 3 - 4, PP 141 - 153.

LETOUZEY, R. 1968. *Étude phytogéographie du Cameroun*, Paris, Le chevalier.

LANFRANCHI, R. et SCHWARTZ, D. éds, 1990. *Paysage quaternaire de l'Afrique Centrale atlantique*, Paris, ORSTOM.

LANFRANCHI, R. et CLIST, B. éds., 1992. *Aux origines de l'Afrique Centrale*, CCF d'Afrique Centrale / CICIBA, SEPIA.

MOHAMADOU, E. 1986. *Traditions d'origine des peuples du Centre et de l'Ouest du Cameroun*, ILCA, Morimichi Tomikawa.

MORGEN, Kurt Von, 1982. *A travers le Cameroun du Sud au Nord*, Paris, Serge Fleuryj Edition Sorbonne.

TARDITS, Cl. éd. 1981. *Contribution de la recherche ethnologique à l'histoire des civilisations du Cameroun*, Colloque du CNRS, Paris, 1973, éd. du CNRS, 02 volumes.

UNE PROBLÉMATIQUE DE SCIENCES HUMAINES DANS LE PROGRAMME ECOFIT-CAMEROUN DANS LA RÉGION DE NDITAM (200 KM AU NORD DE YAOUNDÉ)

A. FROMENT, M. DELNEUF*, F. BAILLON**
*Sonne WANG**, S.C. ABEGA**, Tamba MEBENGA***

Fin 1993, dans le cadre d'un nouveau programme du Département SUD de l'ORSTOM "Exploitation des écosystèmes et équilibres du milieu dans les sociétés à économie d'autosubsistance en Afrique Centrale" qui a pour objectif l'étude de la perception et de la gestion de l'environnement par les sociétés traditionnelles, la région de Nditam, sur le contact forêt/savane, a été retenue, notamment à cause de la présence d'un groupe de Pygmées (les plus septentrionaux de toute l'Afrique). Cette région est aussi l'une des trois stations d'observation que le programme ECOFIT avait choisi d'implanter au Cameroun. Cette coïncidence géographique nous a amenés à une réflexion portant sur une véritable complémentarité des sciences humaines par rapport aux sciences de l'environnement.

❖ ÉLABORATION D'UNE PROBLÉMATIQUE INTERDISCIPLINAIRE GLOBALE

La question posée par le programme ECOFIT, concernant l'interprétation du phénomène de transgression de la forêt sur la savane, peut certes être adressée aux seules sciences de la nature, et relever d'une explication climatique générale relevant d'un *global change* planétaire. Des événements locaux, tels que l'invasion récente de *Chromolaena odorata* favorisant la repousse des espèces végétales forestières sur les marges arborées, peuvent aussi intervenir (bien que la transgression soit bien plus ancienne et déjà signalée par Letouzey il y plus de trente ans, et au Zaïre dès les années 50 (Boulvert 1990). Toutefois, il convient d'abord de s'assurer que des phénomènes anthropiques plus immédiats, d'ordre historique, ne sont pas en cause. Ceux-ci peuvent être liés à trois types d'activités principales, la pratique des feux de brousse, la déforestation agricole avec jachères, et les coupes forestières anciennes à usage combustible, pour la métallurgie.

Il ne s'agit pas de prétendre que la présence de savanes incluses dans les marges forestières soit d'origine autre que climatique, mais seulement de considérer en quoi leur persistance peut être due aux activités humaines. Une diminution de la pression de ces activités sur le milieu, qu'elle soit liée à un changement technologique (cessation de l'usage des bas-fourneaux de production locale du fer), ou à une régression de l'effectif démographique (pour des raisons médicales notamment), et à la baisse subséquente des besoins agricoles, constitue une alternative explicative relevant des sciences humaines. Plus généralement, l'appréhension de la représentation du milieu et des stratégies de

* ORSTOM- Cameroun
** Univ. Yaoundé

production des sociétés d'autosubsistance, est un élément clé pour comprendre de quelle façon les communautés vivent, et éventuellement influencent, les changements écologiques qui se déroulent sous leurs yeux.

❖ L'ARCHÉOLOGIE

Un abandon de la métallurgie traditionnelle (au profit d'achat de produits manufacturés) est généralisé à l'époque sub-actuelle. Cette métallurgie était omniprésente au Sud-Cameroun depuis les environs de 800 B.C. (Essomba 1991). Dans la région de Nditam, nous avons découvert des scories qui attestent la présence ancienne de cette technologie, sans que le volume de cette activité soit mesurable pour le moment, mais dans la province du North West, Warnier (1984) a décrit une véritable production industrielle du fer avec des déchets considérables. Dans le bassin de la mare d'Oursi, au Sahel, la disparition du couvert végétal lui a été attribuée (Grouzis *in* Claude et *al.* 1991). Pinçon (1990) relativise ce prélèvement dans les zones périforestières moins fragiles, et on peut admettre qu'une telle exploitation, incapable de générer par elle-même de grandes savanes, peut cependant empêcher le recru forestier.

Le repérage des bouquets d'Elaeis ou des "fromagers" *(Ceiba pentandra)* poussant en pleine forêt, et l'interrogatoire systématique des prospecteurs forestiers, devraient aider à la reconnaissance des habitats abandonnés. Des connaissances sur la dendrochronologie des fruitiers permettraient d'estimer l'âge de ces implantations. Outre la localisation et la datation de ces habitats anciens, permettant d'évaluer la trame du peuplement, l'archéologie s'emploie, par l'identification osseuse des restes culinaires, à situer l'origine (forêt ou savane) des espèces animales chassées. La découverte in situ à Nditam, dans une couche sub-actuelle, d'un fémur d'éléphant complet, animal disparu actuellement des environs proches, est un indice prometteur.

❖ LA DÉMOGRAPHIE HISTORIQUE

La densité humaine actuelle sur la rive gauche du cours moyen du Mbam, en fort contraste avec sa rive droite occupée par l'actif royaume Bamoun, est seulement de l'ordre de 2 hab/km2 (notre programme a effectué le recensement de l'axe Nditam-Ngambé Tikar). Les vestiges archéologiques d'une part, les traditions orales et les sources écrites des premiers voyageurs allemands d'autre part, suggèrent pourtant que cette zone était beaucoup plus peuplée autrefois. Si cela est vrai, plusieurs explications sont à considérer.

LES MIGRATIONS

Cette région constitue le foyer d'expansion des populations Bëti, avant leur traversée mythique de la Sanaga. Au village de Yassem, on parle une langue proche du Fang, il s'agit là de la présence la plus septentrionale de locuteurs bantou. De plus, de nombreux soldats Tikar ont été enrôlés dans l'armée allemande et ont pu s'établir ailleurs après la

guerre de 14. Enfin, l'enclavement actuel de la plaine du Mbam est un facteur d'émigration vers des zones rurales plus attractives, et vers les villes.

Les disparitions

La *trypanosomiase* (répandue par l'ouverture des routes et le portage) a été un facteur majeur de dépeuplement de l'Afrique Centrale au début du XXème siècle, et n'a été jugulée qu'avec l'intervention des équipes Jamot à partir de 1925. Bafia, à 75 km au sud de notre site d'étude, constitue encore aujourd'hui un des derniers foyers actifs de maladie du sommeil. Il appartient à l'historien de vérifier dans les archives médicales l'incidence démographique que cette endémie a pu avoir dans le passé. Par ailleurs, cette région a été le théâtre de nombreux épisodes guerriers dévastateurs : Yassem avait ainsi perdu la moitié des hommes adultes à l'arrivée de Thorbecke en 1912 (Barbier 1985). Dans l'est de la République Centrafricaine, où la forêt est actuellement en expansion (Boulvert 1990, p. 362), les travaux d'Anne Retel-Laurentin (1979) ont montré que le vide humain actuel pouvait être lié d'une part aux séquelles de la traite esclavagiste, d'autre part à l'expansion des maladies sexuellement transmissibles génératrices d'infécondité. Sur ce dernier plan, la situation n'est pas très différente au Cameroun (Evina Akam 1990).

❖ L'ANTHROPOLOGIE

On sait à présent que les systèmes de représentation traditionnels et les modes ancestraux d'exploitation des ressources peuvent être mis à contribution dans l'élaboration de politiques de gestion des milieux tropicaux dans une perspective à long terme. Mais les logiques paysannes de la vaste zone forestière du bassin congolais sont totalement méconnues, et un savoir séculaire tend à disparaître. La démarche scientifique adoptée, l'ethnoscience, complète l'approche traditionnelle de l'anthropologie sociale, en prenant pour point de départ les sciences naturelles (botanique, zoologie), et en recourant à la quantification numérique. Les notions-clés à considérer sont l'ancienneté de l'occupation, les représentations du milieu, le foncier (l'homme et l'arbre, l'homme et le sol), la territorialité (mobilité, itinérance, domaines cynégétiques), la pseudo-domestication des ressources naturelles (abrogation de la classique dichotomie sauvage/cultivé; manipulation, appropriation et gestion de plantes sauvages un peu à la manière d'un cultigène; mimétisme de zones anthropisées avec la forêt comme les jardins-vergers et les agroforêts). En RCA par exemple, les Gbaya distinguent ainsi très bien les phases de reboisement (Roulon citée par Boulvert 1990).

Dans la zone de Nditam, on assiste à la confrontation de deux sociétés fortement contrastées. On a évoqué l'existence remarquable d'un isolat de Pygmées, les Dzan (327 personnes en 61 familles, 67 hommes adultes) dont l'origine n'est actuellement pas rattachable aux autres groupes connus au Cameroun (Baka et Bakola), distants de plus de 250 km. On ignore s'ils ont migré depuis le sud, ou s'ils sont autochtones. Par conséquent, il est difficile de savoir si la forêt dense a régressé autour d'eux, ou s'ils ont choisi un mode de vie en milieu ouvert et ils chassent aussi bien en forêt qu'en savane. Par ailleurs, une société féodale et guerrière, les Tikar, originaires d'une zone beaucoup plus septentrionale, qui se situerait dans les contreforts méridionaux de l'Adamawa, a entrepris la

conquête de la région au XVIIIème siècle. La question posée est de savoir quel degré d'adaptation (linguistique, technologique, biologique) ce groupe a développé en migrant de la savane vers un écosystème forestier. Cela implique l'élargissement du terrain à la région nord-est du Mbam, vers Kong.

❖ L'ANTHROPOBIOLOGIE

L'approche biomédicale a pour fonction d'apprécier la réussite biologique d'une population, en posant comme hypothèse que la maladie est une maladaptation à l'environnement. Les paramètres recueillis concernent la dynamique démographique, la croissance des enfants, la santé et l'état nutritionnel de la communauté, les performances physiques de ces membres ainsi que leur consommation alimentaire. Leur évaluation s'interprète en tenant compte du fait que cette adaptabilité au milieu est autant culturelle que biologique.

En matière de maladies infectieuses, l'hypothèse fondamentale est la suivante : la biodiversité accrue, en faune et en flore, de l'écotone forêt-savane, implique t-elle une "biodiversité" accrue de la pathologie, à un double niveau : augmentation globale du nombre de maladies rencontrées, et enrichissement de leur expression clinique. On sait en effet que certaines maladies transmissibles, repérées dans la région, tréponématose et onchocercose notamment, s'expriment différemment selon le contexte écologique. A ce titre, la pertinence du concept de pathocénose (ensemble des maladies en interaction dans un milieu et une population donnés) pourra être testée. Cette démarche implique une étude micro-épidémiologique fine des différents groupements familiaux, en fonction de leurs activités et de la nature plus ou moins ouverte de leur environnement.

Sur le plan nutritionnel, la détermination de la quantité d'isotopes stables du carbone (^{13}C) et de l'azote (^{15}N) présents dans les cheveux de diverses populations de savane et de forêt, nous a montré une corrélation étroite entre leur distribution et la nature du régime alimentaire. Ce travail a en fait permis d'étalonner, sur des populations dont le régime était connu avec précision, l'interprétation de tels dosages sur des matériaux fossiles. De plus, la quantité de ^{13}C présente dans les cheveux de ces groupes est presque identique à celle que l'on obtient dans les dosages pédologiques, respectivement dans les horizons de biotope humide et sec. Dans la région de Nditam, on peut observer une transition alimentaire, qui pousse à l'abandon du mil pour le maïs, et des ignames pour le manioc ; il est à noter que ces plantes en expansion ne sont pas dans la tradition africaine mais sont d'origine américaine.

❖ CONCLUSION

Compte-tenu des lignes directrices énoncées plus haut, il apparaît clairement qu'une collaboration avec les sciences humaines et apparentées (archéologie, histoire, démographie, agro-écologie, géographie, anthropo-sociologie, épidémiologie) apportera non

seulement une dimension supplémentaire au programme ECOFIT, mais surtout une composante explicative indispensable à la discussion des hypothèses de base du projet.

Les phénomènes anthropiques, dans leur temporalité et dans leur spatialité, n'ont peut-être qu'un rôle mineur par rapport à une évolution climatique mondiale, encore faudra-t-il le démontrer. L'examen de la répartition des îlots forestiers jalonnant la zone comprise entre le 5ème et le 6è parallèle laisse penser qu'il s'agit du démembrement d'un ensemble forestier continu, évoquant davantage un défrichement qu'un phénomène naturel.

LES LIMITES FORÊT-SAVANE EN AFRIQUE CENTRALE OCCIDENTALE : STRUCTURE ET DYNAMIQUE RÉCENTE DE LA FORÊT

Bernard GUILLET[1], Gaston ACHOUNDONG[2], Jacques BONVALLOT[3], Thierry DESJARDINS[4], Joseph YOUTA-HAPPI[3], Véronique KAMGANG-BEYALA[5], André MARIOTTI[6], Christian de NAMUR[7], Dominique SCHWARTZ[8]

❖ OBJECTIFS

Des observations botaniques et phytosociologiques faites en maints endroits de l'Afrique Centrale Occidentale, à l'interface entre la forêt humide et les grandes savanes suggérent une progression de la forêt. Ainsi, au Cameroun, à la suite des travaux de Letouzey (1985) qui font état d'une progression très sensible dans la frange latitudinale comprise entre 4°30' et 5°30' Nord, et au Congo, où fut récemment mis en évidence une progression forestière sur les savanes édaphiques et incluses (cf. Schwartz *et al.*, ce colloque), une des orientations du programme ECOFIT fut d'étudier la dynamique des contacts forêt-savane .

La démarche collective et pluridisciplinaire a consisté

✓ à vérifier en quelques sites pertinents du Cameroun et au Congo, l'hypothèse d'une progression de la forêt, perceptible dans la structure du peuplement à l'interface forêt mère-savane et identifiable dans les sols,

✓ à évaluer les vitesses de la progression forestière. La stratégie opérationnelle mise en application, tant en Afrique, au Cameroun et au Congo, qu'en Amazonie (cf. Desjardins *et al.*, ce colloque) a consisté à procéder à une analyse floristique et pédologique le long de transects établis entre la forêt, supposée forêt-mère, primitive et âgée, et la savane. Le choix des sites s'est naturellement précisé en croisant l'analyse issue de l'examen des photographies aériennes avec les observations, voire les minutes cartographiques des botanistes forestiers. Trois transects pluri-hectométriques au Cameroun et cinq au Congo ont été établis, reliant un point des savanes, pour la plupart incluses, aux peuplements forestiers primitifs, en tout cas plus âgés que les recrûs forestiers qui les relient à la savane.

❖ MÉTHODES

Au dela des fourrés de la lisière, épais d'une dizaine de mètres, comportant une forte contribution de Marantacées et de *Chromolaena odorata*, les peuplements forestiers ont été caractérisés, à partir de placettes de superficie connue, par :

✓ l'inventaire des espèces et le dénombrement des tiges de chacune d'elles,

✓ la mesure de leur surface terrière, 3) l'affectation d'un "indice d'importance" combi-

1. URA 724-CNRS, Université d'Orléans, Laboratoire de Géochimie organique, BP 6759, 45067- Orléans 02 - 2. Herbier National, BP 1601, Yaoundé, Cameroun .- 3. ORSTOM Yaoundé, BP 1857, Yaoundé, Cameroun.- 4. ORSTOM/INPA, CP 478, 69011-970, Manaus, AM, Brésil. - 5. IRGM, BP 8127, Yaoundé, Cameroun. -6. Université de Paris VI, Laboratoire de Biogéochimie Isotopique, Case 120, 4 place Jussieu, 75252 Paris 05. -7. ORSTOM Pointe Noire, actuel. Biomathém., Fac. saint Jérôme, Av. Normandie-Niémen, 13397 Marseille 13. -8 ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083, Strasbourg cedex

nant pour chaque espèce, leur densité, leur fréquence et leur surface terrière (cf. Achoundong *et al.*, ce colloque).

On sait que les sols des recrûs forestiers ont pu conservr la mémoire de leur passé savanicole dans certaines caractéristiques de leur matières organiques. Rechercher le long du transect forêt-savane ces caractéristiques permet donc de valider l'hypothèse de la progresion des forêts sur la savane. Il s'est alors agi de suivre :

✓ l'évolution de la composition isotopique du carbone organique ($\delta^{13}C$) en différents points du transect et dans la profondeur du sol (cf. Mariotti *et al.*, ce colloque),

✓ l'évolution de constituants organiques tels que les résidus de la lignine, biopolymère réputé stable dans les sols et dont la composition varie selon qu'il s'agit de graminées ou d'arbres (cf. Guillet *et al.*, ce colloque).

L'imagerie aérienne est venue utilement supporter la recherche, notamment au Cameroun (cf. Youta Happi *et al.*, ce colloque).Toutefois limitées à l'analyse de photographies aériennes datant, au plus tôt, de 1951, seules les mouvances de lisières survenues depuis ces quarante dernières années, autorisent une évaluation de leur cinétique. Au Congo, une tentative d'interprétation du temps moyen de résidence des matières organiques des sols a été faite pour caler une échelle chronologique sur le développement du recrû (cf. Schwartz *et al.*, ce colloque).

❖ PREUVES DE LA PROGRESSION DES LISIÈRES FORESTIÈRES

A l'exception d'un cas au Congo indiquant une stabilité des lisières à l'échelle historique comme, d'ailleurs, en Amazonie (cf. Desjardins *et al.*, ce colloque), tous les autres transects mettent en évidence une expansion forestière généralisée? C'est notamment vérifié au Cameroun où les transects de Nditam et de Bertoua sont situés dans la biozone de transition formée d'une mosaïque de forêts semi-décidues et de savanes incluses. A Bertoua notamment (transect de Kandara-Bertoua), les traceurs isotopiques et moléculaires (cf. Guillet *et al.*, ce colloque) s'accordent avec les caractéristiques physionomiques et floristiques (cf. Achoundong *et al.*, ce colloque) pour reconnaître l'existence d'importants recrûs forestiers parfois profonds de plusieurs centaines de mètres.

Les recrûs de la savane incluse de Kandara-Bertoua révèlent une physionomie assez homogène attestée par une faible variation des surfaces terrières d'un point à l'autre. Des arbres à croissance rapide (Albizia, Cordia, Canthium) parfois nés en savane et souvent localisés sur d'anciennes termitières effondrées, sont associés à des tiges nombreuses d'arbres de plus faible surface terrière. Le recrû s'oppose à la forêt âgée par :

✓ ses plus faibles surfaces terrières témoignant de la moindre densité des gros arbres,

✓ un sous-bois arbustif plus pauvre. Mais en fait, le plus fort contraste réside dans la composition floristique : aucune des quinze espéces dominantes (à plus forts "indice d'importance") du recrû et de la forêt mature, n'est commune à l'un et à l'autre type de peuplement forestier. Enfin, ce contraste floristique et physionomique entre le recrû et la

forêt mature est visiblement brutal et non progressif comme on pourrait s'y attendre. Il souligne le fait que la forêt n'a pas pu s'accroître par la seule extension linéaire provoquée par la progression continue de la forêt-mère.

Cette dernière assertion trouve une justification dans l'examen des photographies aériennes des quarante dernières années. La progression des lisières peut en certains points correspondre à une croissance linéaire des marges forestières mais, alors, elle s'effectue à faible vitesse. Celle-ci varie de 5 à 12 mètres par décennie, ce qui correspond, au Congo, à une progression lente et moyenne des forêts incluses du Mayombe ou des forêts littorales dont la vitesse a été évaluée à partir du temps de résidence des matières organiques des sols (cf. Schwartz *et al.*, ce colloque). En d'autres endroits de la savane de Kandara-Bertoua, au Cameroun, la progression se révèle importante, de l'ordre de 40 mètres par décennie, parce qu'elle résulte d'une croissance "polynucléaire" d'ilôts forestiers nés en savane, qui s'agrégent pour aboutir à la "prise en masse" d'un peuplement forestier.

❖ GENÈSE ET DÉVELOPPEMENT DES RECRÛS FORESTIERS

Les arguments floristiques et pédologiques valident l'hypothèse de la progression des lisières forestières. Il s'agit d'une dynamique actuelle, comme l'atteste les photographies aériennes, mais cette dynamique s'inscrit dans le prolongement d'une mouvance expansionniste, sans doute séculaire, marquée par des à-coups probables (cf. Schwartz *et al.*, *ce colloque*).

Les recrûs de large extension spatiale, comme ceux du Cameroun, se sont vraisemblablement développés à partir d'ilôts boisés, formés en savane, peut-être à partir de termitières. C'est la croissance de ces noyaux forestiers, dans un contexte pédologique favorable excluant la présence de cuirasse subaffleurante (cf. Kamgang *et al.*, ce colloque), et leur coalescence qui autorisent une progression rapide du domaine forestier, allant même jusqu'à la fermeture soudaine de savanes incluses.

Quel en est le moteur? Sans nier l'importance du facteur climatique, qui reste à évaluer, il est probable que les changements dans les pratiques d'utilisation des savanes (fréquence des brûlis - pâturage) sont à considérer en priorité. Y-a-t-il eu dans le passé des moments durant lesquels les sociétés humaines ont modifié leurs pratiques? Comment dater ces moments pendant lesquels tout a pu changer ou s'accèlerer? Il est clair qu'un calage chronologique s'impose, sans doute par le recours à des procédés de datation d'objets naturels (arbres significatifs des recrûs tels que ceux nés en savane ou dans les lisières, matières organiques des sols) et par une meilleure connaissance de l'histoire des sociétés humaines.

PREUVES PÉDOLOGIQUES DE L'AVANCEE DE LA FORÊT SUR LA SAVANE AU CAMEROUN : CONTRIBUTION DE LA GÉOCHIMIE ORGANIQUE ET ISOTOPIQUE

Bernard GUILLET, Ousmane MAMAN*, André MARIOTTI**, Cyril GIRARDIN**, Dominique SCHWARTZ****

❖ L'OBJECTIF ET LES SITES

Au Cameroun, dans la zone de transition comprise entre la forêt humide au Sud et les grandes savanes septentrionales la végétation est formée d'une mosaïque de forêts semi-décidues et de savanes. Sur la base d'observations botaniques et phytosociologiques, Letouzey (1985) considère que, dans cette frange latitudinale comprise entre 4°30' et 5°30' Nord, les peuplements forestiers gagnent du terrain sur les savanes voisines. Une des orientations du programme ECOFIT vise à vérifier cette hypothèse en abordant l'étude de la dynamique des contacts forêt-savane.

Deux sites situés dans cette zone de transition, dans la région de Nditam à l'Est de Massangam et celle de Kandara au Sud de Bertoua, ont été choisis pour y rechercher les signatures botaniques et pédologiques de la dynamique spatiale et historique du contact entre forêt et savane. Au plan pédologique, des sols ont été prélevés selon des niveaux différents (0-5 cm, 15-20 cm, 45-50 cm et 75-85 cm) et en de nombreux endroits le long de transects allant d'un point situé en savane jusqu'à un point considéré comme représentatif d'une forêt mature. Dans les deux sites, il s'avère que les transects traversent une zone forestière présentant les caractéristiques physionomiques et floristiques des peuplements que les botanistes forestiers qualifient de recrûs (Achoundong, ce colloque).

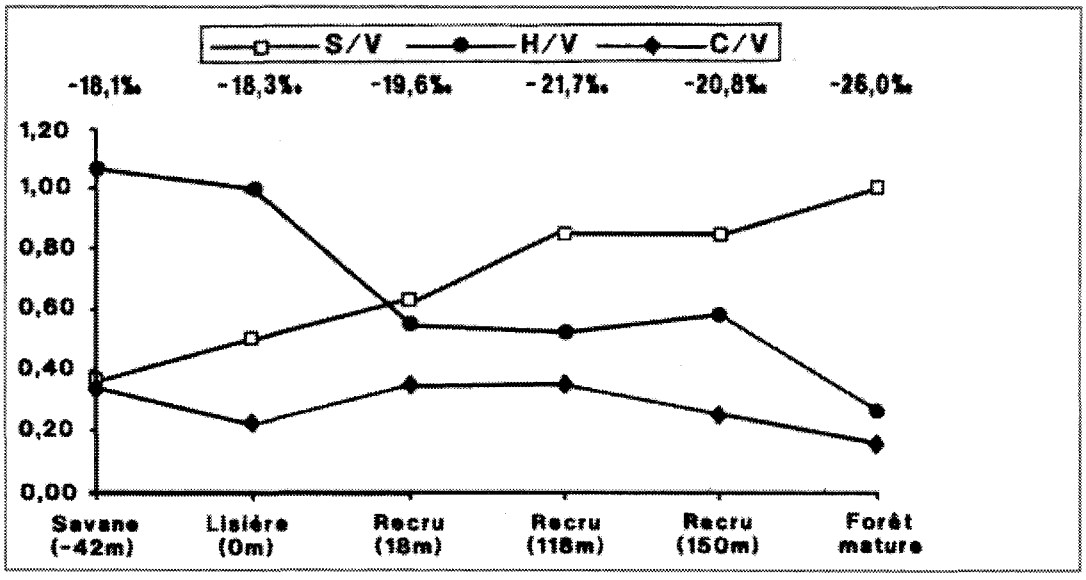
❖ LES MÉTHODES

Les sols ont été étudiés du point de vue de leur composition organique car certains constituants tels que les dérivés de la lignine, où certaines propriétés comme la composition isotopique sont des marqueurs des types de végétation.

Abondance naturelle des isotopes stables du carbone

La composition isotopique du carbone des plantes se distribue selon deux modes résultant de leur cycle de photosynthèse (cycle en C3 et cycle en C4). Les plantes en C4 parmi lesquelles on trouve les graminées des savanes sont enrichies en isotopes ^{13}C par rapport aux plante en C3, comportant notamment les arbres. Comme la composition

* Laboratoire de Géochimie organique, URA 724, CNRS BP 6759, 45067 Orléans cedex 2
** Laboratoire de Biogéochimie Isotopique, Univ. Paris VI, Case 120, 4 place Jussieu, 75252 Paris 05
*** ORSTOM/CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg



isotopique des matières organiques des sols est le reflet de celle des plantes (Mariotti et Balesdent, 1990), alors les matières organiques d'un sol forestier et celles d'un sol de savane n'ont pas la même composition isotopique. Si un écosystème forestier succède à une savane, avec le temps la composition isotopique passera progressivement de la caractéristique "savane" à la caractéristique "forêt".

Dérivés de la lignine

La lignine est un polymère formé de l'agencement de quatre unités phénoliques élémentaires : les unités syringiques (S), vaniliques (V), coumariques (C) et phydroxybenzoïques (H) dont les proportions relatives varient selon les types de tissus (feuilles ou bois) et les grandes divisions végétales (gymnospermes, angiospermes mono- ou dicotylédones). La distribution de ces unités et la recherche de paramètres caractérisant leur variation ont constitué une démarche originale visant à utiliser des composés supposés stables dans les sols comme des marqueurs d'écosystèmes révolus.

❖ L'évidence isotopique de la progression de la forêt

Tant dans la région Nditam que dans celle de Bertoua, nous avons montré que la forêt a progressé sur la savane (Guillet *et al.*, 1994).

En région de Nditam

Le Site de Massangam-Nditam (5°19'20"N et 11°12'20E; altitude 750 m) est localisé au coeur du massif forestier du Mbam qui est une forêt ancienne dont la haute canopée (35-40 m) est presque continue. Coexistent des savanes incluses à *Hyparrhenia sp.* ou *Imperata sp.* et *Terminalia glaucescens* parsemées de nombreuses termitières non

fonctionnelles. Le long du transect, la structure floristique du peuplement forestier révèle quelques espèces typiques de forêt dense et des arbres de diamètre supérieur à 50 cm témoignant d'un recrû ancien (Achoundong, ce colloque).

La teneur en carbone organique des sols ne varie que très légèrement dans les horizons de surface (0-5 cm) : elle est en moyenne de 18,5 mg C/g de sol dans la zone la plus âgée du recrû (105-220) contre environ 15,5 mg C/g de sol, en savane et dans la zone de lisière.

Les caractéristiques isotopiques de la matière organique de l'horizon de surface (0-5 cm) révèlent un appauvrissement en ^{13}C, très significatif depuis la savane (^{13}C de - 14,4‰) jusqu'au recrû le plus ancien et à la forêt mature (^{13}C de - 27‰ environ). Il est probable que le turnover de cet horizon est rapide, sans doute de l'ordre d'une dizaine d'années. C'est avec les horizons médians (15-20 cm) et plus profonds (45-50 cm) des sols situés au coeur du recrû que l'on trouve les preuves isotopiques de la progression récente, mais encore impossible à dater, de la forêt. L'allure des profils isotopiques rappelle celle présentée dans la figure relative aux résultats obtenus à Bertoua.

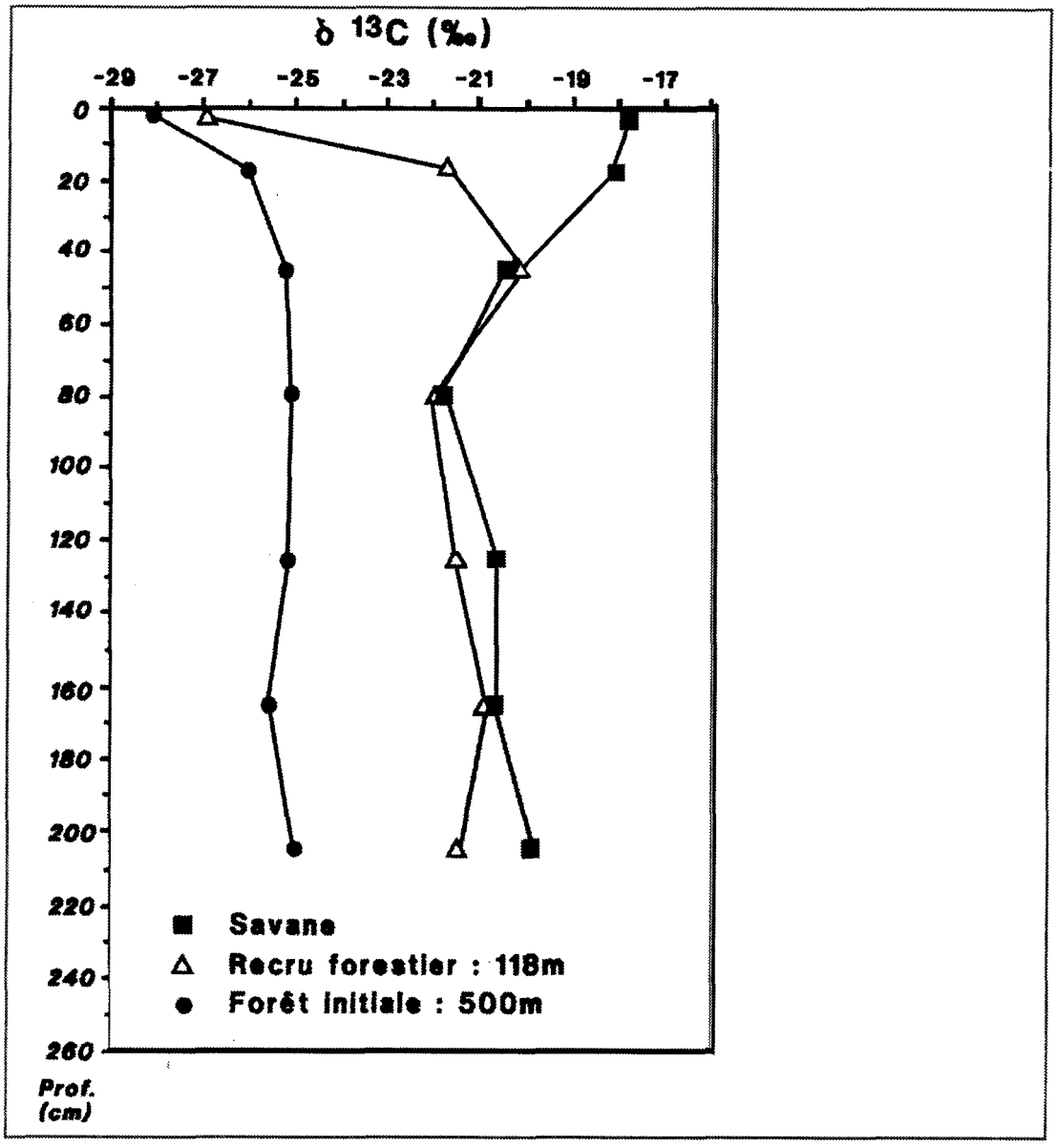
En région de Bertoua

Le site de Bertoua-Kandara (4°20'50"N et 13°43'15"E) se présente comme une imbrication de forêts denses et de savanes herbeuses qui sont souvent établies sur des interfluves. Près de la localité de Kandara, à 25 km au Sud de Bertoua, deux transects longs de 160 m et 500 m ont été établis à cheval entre la forêt dense à Sterculiacées et Ulmacées et la savane à *Imperata cylindrica*. La teneur en matière organique est nettement plus élevée que dans le transect de Massangam et varie peu de la savane à la forêt (de 30 à 40 mg C/g de sol pour l'horizon 0-5 cm).

La composition isotopique du carbone donne les mêmes informations qu'à Nditam. Ainsi l'horizon de surface de la lisière à *Chromolaena odorata* et à Marantacées a des caractéristiques isotopiques des plantes en C3 ($\delta^{13}C$ de -24,8 à -25,8‰). La figure ci-après donne les profils isotopiques i) présentant sous la forêt initiale mature des valeurs classiques de -25 ‰ en profondeur et -28 ‰ en surface, ii) fortement superposées dans les horizons profonds du sol du recrû et de la savane, suggérant une histoire ancienne identifique, iii) divergeant dans les horizons superficiels (prof. < 40 cm) parce que, dans le recrû, depuis qu'une forêt s'est installée, la matière organique qui en est issue a totalement (dans horizon 0-5 cm) ou partiellement (dans l'horizon 15-20 cm) remplacé la matière organique primitive savanicole. On retrouve le fait bien connu d'une vitesse de renouvellement décroissant avec la profondeur.

❖ L'ARGUMENT GÉOCHIMIQUE

L'analyse qualitative et quantitative des monomères de la lignine a été effectée en un



Bertoua Kondara sud

point de la savane et de la forêt mature, sur la lisière et en trois points du recrû, comme indiqué sur la figure ci-après relative à l'horizon 15-20 cm. Celle-ci montre que la distribution des monomères de la lignine est différente selon que l'on se situe en savane ou en forêt, bien que les unités vaniliques y apparaissent invariantes. La savane est plus riche en unités phydroxybenzoïque (rapport H/V élevé), alors qu'en forêt les unités syringiques sont prépondérantes (rapport S/V élevé). Il faut y voir la contribution, différente selon les milieux, de la lignine provenant des organes foliaires et racinaires tendres, de celle héritée des organes ligneux (rameaux, bois). Sur la lisière et dans les recrûs, les caractéristiques héritées de la savane s'accordant relativement bien avec les valeurs du ^{13}C des matières organiques de l'horizon, témoignent elles aussi de la progression de la forêt.

❖ CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La composition isotopique du carbone organique des sols et le marquage par la lignine, joints aux arguments floristiques (Achoundong, ce colloque), apportent la preuve que dans les régions en marge des grands peuplements forestiers camerounais, la forêt progresse sur la savane. La vitesse de progression n'est pas encore connue, sauf pour les quatre dernières décennies grâce à l'analyse des photos aériennes (Youta Happi, ce colloque). Bien qu'il soit clair que la progression forestière s'effectue par coalescence d'îlots forestiers nés en savane, la datation du processus passe par celle d'arbres significatifs et par le recours à l'analyse du temps de résidence des matières organiques des sols.

ESSAI D'INTERPRÉTATION DE LA DYNAMIQUE DE LA MOSAÏQUE FORESTIÈRE DANS LA ZONE DE CONTACT FORÊT/SAVANE DU SUD-EST CAMEROUN

Beyala V. KAMGANG, G.E. EKODECK*, G. ACHOUNDONG***

L'étude de l'interaction sol/dynamique forestière à Kandara (Sud-Est du Cameroun) permet de dégager une certaine variabilité dans la couverture végétale. Il s'agit en particulier, sur ce plateau de 640 m d'altitude moyenne, d'une variabilité floristique du point de vue dimensionnel et spécifique. On observe aussi des associations telles que savane/haut de plateau, lisière forêt-savane/zone de rupture de pente, recrû/mi-versant, forêt ancienne/partie avale du versant, végétation marécageuse/vallée. Il s'agit, d'après les relevés botaniques réalisés sur des parcelles de 15 000 m2 chacune, d'une forêt dense humide semi-décidue, très diversifiée en espèces et en familles, allant des herbacées aux ligneux. En plus des *Combretaceae, Zingiberaceae, Marantaceae* et autres familles maigrement représentées, le recrû est composé essentiellement des *Euphorbiaceae, Apocynaceae, Sterculiaceae, Annonaceae, Ulmaceae, Mimosaceae et Rubiaceae.* Ces familles sont représentées pour la plupart, par les espèces typiques des formations forestières jeunes ou secondaires. Un sous-bois impénétrable, une strate arborescente riche en arbustes et arbres moyens, caractérisent ce recrû. Les circonférences des espèces sont, pour la majorité, comprises entre 10 et 60 cm. Le passage à la vieille forêt est marqué par la disparition des espèces typiques de recrû, la réduction du nombre d'*Albizia* dont ceux subsistant ont d'importantes circonférences. Ce passage s'identifie également par l'accroissement considérable de dimensions des arbres, du nombre de familles, d'espèces et d'individus. La forêt ancienne est caractérisée par un sous-bois aéré riche en *Violaceae,* en particulier les *Rinorea.* La strate arborescente est riche en espèces de dimensions importantes. Les familles les plus représentées sont les mêmes que dans le recrû, auxquelles s'ajoutent les *Caesalpiniaceae, Irvingiaceae, Ebenaceae, Meliaceae, Sapotaceae, Tiliaceae,* et autres familles diverses. A l'avant des marécages, cette forêt âgée est formée d'une série de massifs de 50 à 200 m de diamètre qui s'organisent à partir, soit d'une tête de vallée, soit d'une zone de démantèlement ou d'enfouissement de la cuirasse, soit d'une vieille termitière. Par endroits, les ensembles ainsi observés s'associent et forment une bande de forêt dense tendant à engloutir le recrû. Sur le plan pédologique, le recrû correspondant à la zone par excellence de démantèlement de la cuirasse démantelée apparaît en profondeur. A la forêt ancienne, s'associent des sols ferrallitiques très épais non cuirassés. Ceci laisse percevoir un vieillissement de la végétation lorsqu'on part de la lisière forêt-savane vers les marécages. Des comparaisons diverses peuvent être ainsi faites entre le recrû forestier et la forêt ancienne, en rapport avec les sols et le mode de colonisation.

* Institut de Recherches Géologiques et Minières (IRGM), B.P. 4110, Yaoundé, Cameroun
** Herbier National, Yaoundé, Cameroun

INFLUENCE DE L'INSTALLATION DES PRAIRIES D'ÂGE CROISSANT SUR LA DYNAMIQUE DES MATIÈRES ORGANIQUES ET L'AGRÉGATION DES SOLS D'AMAZONIE ORIENTALE

L.S. KOUTIKA, F. ANDREUX**, F. BARTOLI*, Th.CHONÉ**, G. BURTIN*, R.PHILIPPY***

Dans les sols ferralitiques très riches en kaolinite d'Amazonie orientale, les modifications des équilibres biogéochimiques dues à la déforestation et à l'installation des prairies de 7, 12 et 17 ans respectivement, sont lisibles dans la morphologie et les caractéristiques physiques et chimiques des sols.

Dans le premier mètre, la quantité de carbone (C) n'est pas fortement modifiée, elle est de 116 T. ha-1. sous forêt, de 123 T. ha^{-1}. sous prairie de 7 ans, à nouveau de 126 T. ha^{-1}. sous prairie de 12 ans et de 126 T. ha^{-1}. sous prairie de 17 ans. Les différences entre les valeurs extrêmes ne sont pas accusées (8,6 %). Cependant en surface (0 - 0,10 m), l'allure des profils est modifiée en fonction de l'âge des prairies, avec une augmentation de 28,1 T. ha^{-1}. sous forêt, de 29,6 T. ha^{-1}. sous prairie de 7 ans, de 32,1 T. ha^{-1}. sous prairie de 12 ans et de 37,8 T. ha^{-1}. sous prairie de 17 ans.

La contribution des graminées au profil de C sous prairies est bien entendu maximale en surface. Elle n'est détectée que jusqu'à 0,30 m sous prairie de 7 ans, et jusqu'à 0,70 m sous les deux autres prairies, dans la couche 0 - 0,10 m, les pourcentages de carbone provenant de la prairie (Cpp) passent de 12,5% sous prairie de 7 ans à 34,6 % sous prairie de 12 ans et 37,8% sous prairie de 17 ans. Ces résultats incitent à considérer que le carbone provenant de la forêt (Cpf) diminue au cours des premières années d'installation de la prairie, puis tend à se stabiliser. Après 12 ans, il est pratiquement constant et ses pertes antérieures seraient compensées par des apports d'origine prairiale.

En surface, la porosité totale des sols sous prairies tend à diminuer avec l'âge croissant de ces dernières. Il en est de même pour la porosité des agrégats ou microporosité, mesurée par porosimètre au mercure (rayon des pores 10,3 à 10m) et la macroporosité (porosité de transfert de l'eau > 100m, calculée par différence). En profondeur, cette distribution est beaucoup moins générale et on remarque que dans les couches intermédiaires de la prairie de 12 ans, la proportion microporosité/macroporosité est nettement plus élevée que dans les autres cas.

La porosité totale et la macroporosité tendant généralement à décroître avec la profondeur, leurs variations sont nettement corrélées avec les teneurs en C au long des profils.

* Centre de Pédologie biologique - CNRS - BP 5 - 17, rue N-D des Pauvres - Vandoeuvre-les-Nancy cedex
** Université de Bourgogne - Centre des Sciences de la Terre - 6, Boulevard Gabriel - 21000 Dijon

A l'opposé, la microporosité est peu dépendante de la teneur en C sous forêt, et décroît même de la profondeur vers la surface dans les sols sous prairies.

Le taux des agrégats stables à l'eau est compris entre 65 et 80% en surface, et décroît avec la profondeur, jusqu'à 30 - 50%. En raison de la décroissance générale du sommet vers la profondeur, le taux d'agrégats stables est corrélé positivement avec la teneur en C organique des couches successives du sol (R2 = 0,83).

Le rapport argiles dispersables à l'eau/pH montre une augmentation des groupements fonctionnels chargés négativement dans les couches organiques (0 - 0,40 m) des sols sous prairies en fonction de l'âge croissant de ces dernières. Cependant dans les horizons minéraux (0,40 - 1,0 m), l'état floculé des argiles est attribuable aux teneurs élevées de ces derniers en gibbsite (près de 25%) expliquant également les stabilités élevées des agrégats.

DYNAMIQUE DE LA VÉGÉTATION SUR L'INSELBERG DES NOURAGUES (GUYANE FRANCAISE) À DIFFÉRENTES ÉCHELLES DE TEMPS (PLURIANNUELLE À PLURIMILLÉNAIRE)

Denis LARPIN, Corinne SARTHOU*, Christophe TARDY***

En Guyane française, les inselbergs constituent des reliefs très particuliers surmontant le niveau topographique local, véritables montagnes-îles dans le paysage forestier. Constitués de roches cristallines très anciennes (2,25-1,9 Ga) appartenant aux granites caraïbes, ils sont colonisés par une couverture végétale originale à tendance xérique, contrastant avec la forêt dense humide environnante.

La prise en compte de la dynamique de la végétation sur les inselbergs se doit d'intégrer plusieurs échelles de temps. Des études écologiques et paléoclimatiques ont été menées dans ce but sur l'inselberg des Nouragues.

La "savane-roche", terme utilisé localement, désigne la végétation discontinue, basse et xérique sur roche. Une étude approfondie a montré que ce faciès végétal très particulier est associé à des conditions climatiques sévères et contrastées : variations de température et d'humidité relative de très forte intensité, très rapides et très fréquentes au cours du cycle journalier. Dans ces conditions extrêmes où alternent dessication et engorgement, se maintiennent près de 200 espèces végétales parmi lesquelles une centaine est typique de ce milieu.

La "forêt basse", formation ligneuse originale, s'étend entre la savane-roche et la haute forêt dense, et sous forme d'enclaves au sein deux écosystèmes. Sa physionomie est marquée notamment par des arbres et arbustes à port buissonnant, des troncs inclinés, une prolifération d'épiphytes... La composition floristique est aussi originale : plus de 200 espèces sont propres à ce milieu. Les Myrtacées et les Rubiacées dominent; d'autres familles sont très bien représentées (Nyctaginacées, Bombacacées, Erythroxylacées ...).

Les analyses de sol mettent en évidence un déficit hydrique important pour les végétaux en saison sèche. Cette contrainte édaphique explique en partie la composition et la structure de cette formation ligneuse.

A une courte échelle de temps, une étude de la dynamique de la végétation de la savane-roche a permis de décrire un schéma global de fonctionnement de ce faciès, depuis les premières phases de colonisation de la roche nue. Ce fonctionnement se caractérise à la

* Museum National d'Histoire Naturelle, Labo. Biologie Végétale, 61, rue Buffon, 75005 PARIS
** Laboratoire de Paléobotanique, Université Montpellier I, 163, rue A. Broussonet, 34000 Montpellier

base par une triade granite-eau-cyanobactéries, conduisant à la formation de sols qui permettent la germination de certains végétaux, notamment les espèces se répandant par clônage (*Pitcainia geyskesii*-Broméliacée, *Clusia minor*-Clusiacée...).Plusieurs groupements, herbacés et arbustifs, se mettent alors en place et s'insèrent dans deux successions végétales linéaires aboutissant à un même stade, le fourré de *Clusia*. L'organisation systémique particulière de ce faciès permet de considérer la savane-roche comme un écosystème à part entière, caractérisé par son cadre physique, sa composition et ses propres règles de fonctionnement, et donc relativement stable dans le temps. L'expansion de la forêt se trouve bloquée par certains mécanismes physiques qui semblent assurer le maintien du faciès (érosion et ruissellement des eaux accentuant le modelé et provoquant le lessivage des sols ...).

La dynamique de la végétation en forêt basse est principalement déterminée par la continuité spatiale de cet écosystème avec la haute forêt dense. Elle est liée notamment à l'activité des animaux disséminateurs de graines. La multiplication végétative intervient aussi comme stratégie d'occupation de l'espace par ces plantes (importance des rejets basaux, axes multiples). Des indices structuraux supplémentaires suggèrent une tendance à la transgression forestière dans la phase climatique humide actuelle. Cependant, au niveau du contact savane-roche/forêt basse, lieu d'échanges actifs entre ces deux entités systémiques, la transgression forestière est contrebalancée par d'autres mécanismes dynamiques plus favorables à l'expansion, ou du moins au maintien de la végétation qui compose la savane-roche. La forêt basse semble donc présenter aussi une relative stabilité dans le temps.

En ce qui concerne les échelles de temps beaucoup plus grandes, pluriséculaire et millénaire, la présence de charbons de bois dans le sol d'une enclave de forêt basse au sommet de l'inselberg prouve que cette végétation a connu des modifications, voire des bouleversements dans le passé. Les recherches anthracologiques montrent notamment que des paléoincendies se sont produits à différentes époques durant l'Holocène. Par ailleurs, une étude anatomique des charbons de bois fossiles de cette forêt sommitale a permis d'observer que certains taxons présents actuellement, l'étaient aussi à cet endroit lors des passages du feu.

❖ HYPOTHÈSES SUR LES REFUGES SECS ET LE RÔLE DES PALÉOFEUX

Ces premiers résultats renforcent l'hypothèse de l'existence de refuges secs (parallèlement aux refuges forestiers humides) et amènent à s'interroger sur le rôle des feux dans le maintien éventuel de ces formations, limitant les possibilités de reprise forestière.

Ainsi, la composition floristique des savanes-roche donne probablement l'image de refuges actuels pour des milieux ouverts qui pourraient avoir occupé une plus grande partie du territoire aux cours de phases climatiques plus sèches. De même, la forêt basse aurait pu être plus étendue pendant ces périodes.

On sait en outre que la végétation xérique qui colonise ce type de milieu a une forte propension à brûler. L'inselberg aurait pu alors jouer un rôle de "détonateur", favorable à la propagation du feu, qui serait déclenché par la foudre ou par l'allumage volontaire de l'homme. A ce sujet, la région de l'inselberg des Nouragues a connu des périodes d'occupation humaine ancienne, et des feux d'origine anthropique ont pu perturber la végétation.

LA RELATION HOMME/MILIEU DANS LA RÉSERVE DE LA LOPÉ (GABON) AU COURS DE L'HOLOCÈNE ; LES IMPLICATIONS SUR L'ENVIRONNEMENT

Richard OSLISLY, Lee WHITE***

Les travaux de recherches pluridisciplinaires menés sur les paléoenvironnements et l'archéologie dans la Réserve de la Lopé (Gabon central) permettent à l'heure actuelle de construire le cadre chronologique de l'Holocène avec l'histoire des peuplements mais aussi de mieux appréhender la mouvance très particulière des paysages végétaux d'une mosaïque forêt/savane.

La Réserve de la Lopé qui couvre près de 5000 km^2 se situe dans la moyenne vallée de l'Ogooué (Fig. I). Elle est délimitée au nord par le fleuve Ogooué (0° 4' S), à l'est par son affluent l'Offoué (11° 54' E), à l'ouest par la rivière Mingoué (11° 17' E) et au sud par une ligne droite qui rejoint les sources de la Mingoué à la confluence Offoué/Mighakou (1° 10' S).

Cette région est marquée par des caractères constants dans les formes du relief, tels qu'un extrême morcellement du paysage, apparaissant comme un moutonnement de collines, une densité du chevelu hydrographique et une prédominance des versants convexo-concaves formant des lignes de crêtes très étroites, généralement disposées selon un axe nord/sud.

Sa position géographique, en arrière des Monts de Cristal et de la partie nord-occidentale du Massif du Chaillu lui confère une situation à l'abri des vents humides de secteur ouest; ainsi la cuvette de la Lopé est l'une des régions des plus sèches du pays avec une pluviosité moyenne de 1540 mm. Nous sommes en présence d'une anomalie climatique dans un contexte général à forte pluviosité.

La réserve de la Lopé fait partie du contexte régional du cours moyen de l'Ogooué et se caractérise par des paysages ouverts de savanes (1000 km2) et de galeries forestières alors que la superficie restant est entièrement recouverte par la forêt sempervirente qui se développe suivant cinq types majeurs de forêt. (White, à paraître)

Différents facteurs concourent à une explication climatique sur la présence de ces savanes juste sur et sous l'équateur dans un climat forestier. C'est au travers des nombreuses données archéologiques, isotopiques, palynologiques, botaniques et faunis-

* Institut de Paléontologie Humaine Muséum National d'Histoire Naturelle. 1 rue René Panhard 75013 Paris ECOFAC (Gabon: Programme de Conservation et d'Utilisation Rationnelle des ECOsystèmes Forestiers d'Afrique Centrale (U.E. DG VIII)
** The Wildlife Conservation Society, New York 10460-1099, USA

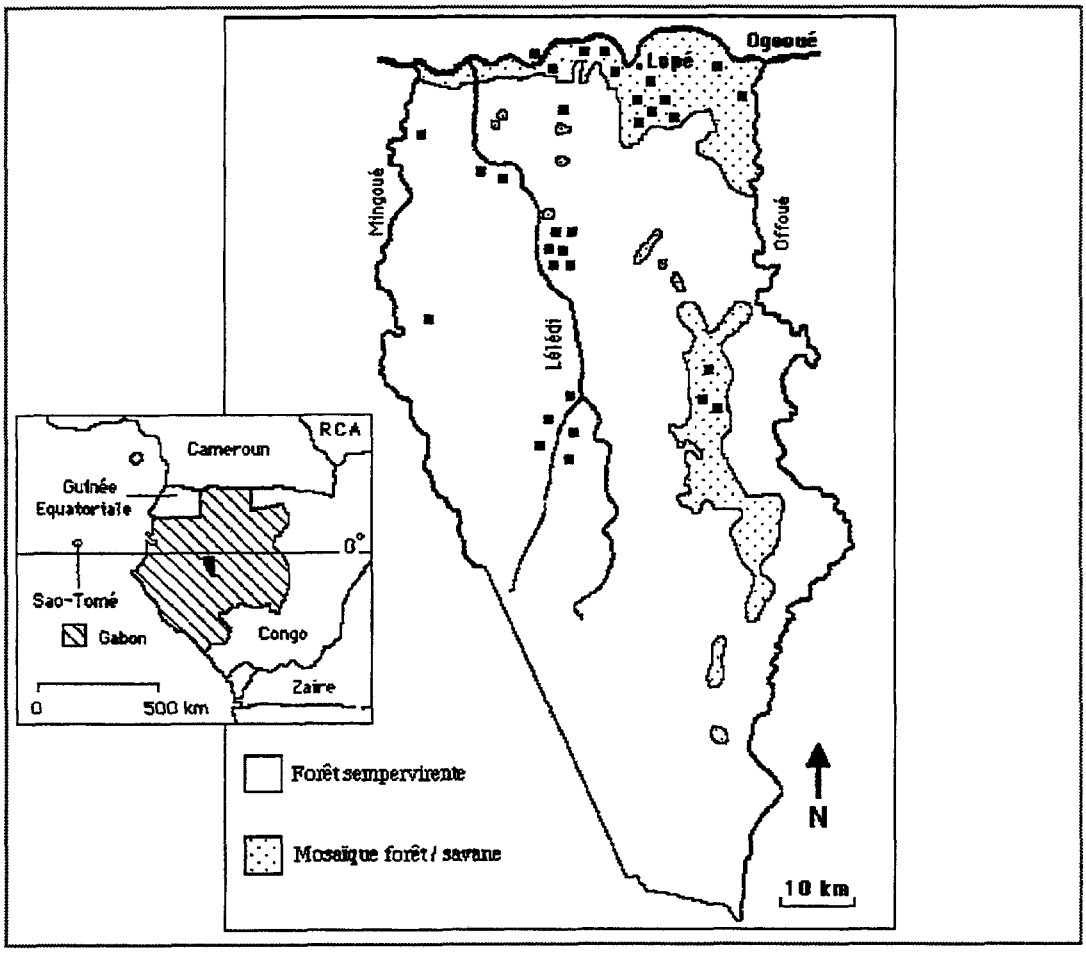


Figure 1- Localisation des sites de l'Age du Fer depuis 2500 BP dans les paysages végétaux de la Réserve de la Lopé au Gabon

tiques que l'on va étayer l'hypothèse climatique et s'attacher à suivre sur le plan spatio-temporel les fluctuations du front de contact entre la forêt et la savane.

Depuis 3000 BP, la dynamique de ce front est sujette à la présence ou à l'absence de l'homme car ce sont les feux anthropiques allumés lors de la grande saison sèche qui maintiennent cette limite. Ces feux sont allumés pour dégager l'espace environnant mais surtout pour mieux gérer dans une stratégie de chasse la présence des animaux sauvages (Oslisly, à paraître) attirés par les jeunes pousses d'herbes riches en protéines qui croissent après les feux .

Les mesures radiométriques montrent qu'entre 2500 - 1400BP d'importants groupes de métallurgistes ont occupé la réserve de la Lopé mais également que la période 1400 - 700 BP semble n'avoir pas connu de peuplements humains (Oslisly, 1993). Ce hiatus, qui n'est pas spécifique à la seule région de la moyenne vallée car on le retrouve sur l'ensemble du Gabon (Oslisly, 1995), a dû contribuer à une importante recolonisation forestière sur les savanes (White, 1995) jusqu'a l'arrivée de nouvelles populations de métallurgistes vers 700 BP.

La relation Homme/Milieu apparaît donc dans ce contexte, fondamentale pour comprendre, au cours de l'Holocène, les différentes étapes de la dynamique de la limite forêt/savane .

❖ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

OSLISLY, R., 1993, *Travaux et Documents Microédités* n°96, Editions de l'ORSTOM.

OSLISLY, R., 1995, *Azania*. (sous presse)

OSLISLY, R., (à paraître) in *Ecology and Conservation of the African Rain Forest*. in Weber, W., Vedder, A., Morland, H., White, L., & Hart, T. (Eds), Yale University Press.

WHITE, L.J.T. 1995, Rapport ECOFAC Gabon, Publ. AGRECO, Bruxelles.

WHITE, L.J.T., (à paraître) in *Ecology and Conservation of the African Rain Forest*. in Weber, W., Vedder, A., Morland, H., White, L., & Hart, T. (Eds), Yale University Press.

APPORTS DE LA TÉLÉDÉTECTION À L'ÉTUDE DE LA RECONQUÊTE FORESTIÈRE DANS QUELQUES SAVANES DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

H. PUIG, A.K. GUELLY**

Dans le monde tropical, on assiste depuis environ une cinquantaine d'années à une dégradation rapide, voire à la disparition des formations forestières. Pourtant, plus récemment, en Afrique de l'Ouest, un phénomène inverse qui semble contrebalancer cette disparition de la forêt s'observe : la progression de la forêt dans les savane humides. L'objectif de cette étude est de localiser les secteurs où la probabilité d'évolution est élevée et d'établir, dans la mesure du possible, des cartes des zones potentielles de progression de forêt sur la savane à partir des outils de télédétection à différentes échelles (images satellites et photographies aériennes).

En nous appuyant sur des fonds topographiques, sur la bibliographie et sur l'expérience de terrain, nous avons eu recours à l'interprétation d'images satellitaires obtenues par divers capteurs. Les résultats obtenus dans cette première phase nous ont amené, dans un deuxième temps, à utiliser les photographies aériennes classiques.

❖ DONNÉES AVHRR/NOAA

Notre analyse des images NOAA/AVHRR pour les régions de Toumodi (Côte d'Ivoire), de Hohoè (Ghana), de Palimé (Togo), d'Abomey (Bénin) ne nous a pas permis de discriminer les stades évolutifs de la dynamique progressive des forêts sur les savanes, non perceptibles à cette échelle. Leur résolution est trop grossière, confirmant en cela les résultats acquis par d'autres auteurs.

❖ IMAGES LANDSAT/TM

Le suivi de la dynamique des savanes du Togo a été tenté en se fondant sur l'analyse visuelle des images LANDSAT/TM par restitutions photographiques de différents types (bandes 1,5 et 7 ou bandes 3,4 et 5 ou encore bandes 2,3 et 5) à l'échelle du 1/200 000ème. Les restitutions photographiques en couleur des bandes 3 (rouge), 4 (proche infrarouge) et 5 (moyen infrarouge) ont été utilisées pour cette étude et ont à peine permis de distinguer les zones forestières de celles qui ne le sont pas. Nous pouvons seulement observer que le degré de résolution de cette image n'autorise qu'une distinc-

* * Lab. d'Ecologie Terrestre - 13, avenue du Colonnel Roche, B.P. 4403 - 31405 Toulouse cedex

tion dichotomique "Forêt-Non Forêt". Cette résolution, bien qu'elle soit supérieure à celle de NOAA, est insuffisante pour nous permettre de cartographier la dynamique de reconstitution de la forêt à partir des savanes.

❖ IMAGES SPOT

Théoriquement la scène SPOT utilisée aurait dû donner de meilleurs résultats que ceux obtenus grâce aux images NOAA et LANDSAT. En effet, le degré de résolution des images SPOT est actuellement le plus élevé (20x20 m) des images satellites. La seule image SPOT dont nous avons pu disposer et que nous avons analysé, concerne la région du V-Baoulé en Côte d'Ivoire et a été prise en août 1986. Malgré la résolution relativement bonne de SPOT, la dynamique des savanes observable sur le terrain (de l'ordre de la dizaine de mètres) n'est pas discriminable à l'échelle de l'image satellitaire SPOT.

Les données satellitaires actuellement disponibles, même à haute résolution, semblent peu adaptées à l'étude de la reconquête forestière. De nombreux travaux ont bien montré l'utilité des images satellites pour le suivi de la déforestation des régions tropicales car l'échelle à laquelle s'observe cette déforestation permet un suivi avec une certaine précision, en tout cas suffisante pour alerter l'opinion. Dans le cadre de ce travail, les travaux et l'expérience de terrain dans les régions tropicales, et notamment en Afrique de l'Ouest, montrent que la progression de la forêt est très localisée et n'affecte pas toujours à la fois de grandes surfaces comme c'est le cas de la déforestation, mais au contraire, ne concerne que des superficies trop restreintes pour un suivi par télédétection spatiale.

Nous avons donc eu recours aux photographies aériennes et aussi aux travaux effectués dans les savanes guinéennes au contact forêt-savane de Côte d'Ivoire où la plupart des expériences sur le dynamisme des savanes ont été réalisées.

❖ ETUDE DE CAS PAR PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES

Nous disposons de photographies aériennes anciennes de Côte d'Ivoire (région du V-Baoulé) et du Togo HIERNAUX (1975) dans son étude phyto-écologique des savanes du pays Baoulé méridional, a montré par l'analyse de photographies aériennes (1952-1959 et 1952-1969), la progression du recouvrement ligneux de certaines savanes et leur retour à l'état forestier. Dans ce terroir, selon notre synthèse simplifiée, l'avancée de la forêt sur la savane est d'environ 29% entre 1952 et 1959. GAUTIER (1990) a fait une étude analogue dans la réserve de Lamto. A partir de photographies aériennes de 1988 et de la carte établie à l'aide de photos plus anciennes, il a montré que le pourcentage du recouvrement ligneux en savane a considérablement augmenté. Dans le cadre de ce travail, afin de mettre en évidence la progression éventuelle de la savane sur la forêt, nous avons réalisé une synthèse simplifiée de la carte de Gautier en combinant certaines classes. Ce regroupement montre de façon plus nette la progression des formations ligneuses au détriment des formations où les herbacées dominent.

Au Togo l'étude de la dynamique des formations végétales a été effectuée dans le secteur est du plateau Akposso où ce processus est aujourd'hui très spectaculaire. Ce secteur est couvert par trois missions de photographies aériennes échelonnées dans le temps de 1949 à 1979. L'interprétation des photos de chacune des missions révèle nettement une mosaïque de savanes et de forêts. On remarque un début de processus de transformation de ces savanes en forêts. Le recouvrement ligneux de certaines savanes s'est identifié, et se manifeste par le passage de la savane arbustive à la savane boisée. L'évolution des savanes en forêt est un phénomène très récent, de l'ordre d'une vingtaine d'années seulement. Dans cette région du plateau Akposso, la progression de la forêt sur la savane est de faible amplitude. Malgré leur surface restreinte et leur dispersion liée aux activités anthropiques, cette évolution n'est pas négligeable.

L'évolution des savanes vers la forêt sous l'influence des divers facteurs est plus active au contact des forêts, notamment dans les savanes préforestières, entre 6° et 8° degrés de latitude N, plus rarement en zone soudanaise. Dans le cadre de cette étude, nous avons été limité en temps et en moyens. Pour l'avenir, nous pensons que des images SPOT diachroniques et prises à des périodes favorables où la phénologie est contrastée, appuyées par des photographies aériennes anciennes et très récentes, permettraient de mieux définir et de mieux localiser les nouvelles superficies gagnées par la forêt. Une telle étude ne pourrait pas non plus s'effectuer sans des travaux de terrains nécessaires d'une part, à la reconnaissance des espèces secondaires responsables de ce processus ainsi qu'à l'analyse de ces processus eux-mêmes, et d'autre part, à la vérification des interprétations manuelles ou automatiques des documents de télédétection.

LANDSCAPE DYNAMICS OF THE RAIN FOREST/SAVANNA-BORDER FROM 1955 TO 1990 EVIDENCED BY AERIAL PHOTOGRAPHS AND LANDSA T-TM DATA IN NORTHERN ZAIRE

Jürgen RUNGE, Marion NEUMER**

In the framework of the project "Paläoklima Afrika", funded by the *German Research Foundation (DFG)* at Paderborn University, recent environmental and climatic changes on the northern margins of the tropical rainforest in Zaire (4°-5°N, 24°-25°E) were investigated. A comparison of historical panchromatic aerial photographs with todays remote sensing data rendered possible the documentation and reconstruction of landscape and vegetation dynamics in the transitional zone from humid tropical rainforest to semi-humid savanna areas within a period of 35 years. The study was carried out by interpretation and mapping of a set of rectified former belgian aerial photographs (scale 1:100000) showing the rainforest/savanna border in 1955 and of a LANDSAT-TM subscene (177-57, processed in RGB, bands 4,5,7) from 1990 of the same area in the same scale.

First by the help of the aerial photographs the distribution of closed rainforests, riverine forests, grass covered low-lying dambos and open savanna was mapped. The influence of humans on the recent environmental changes in landsurface cover was considered by mapping burned areas which are mostly related to hunting. Furtheron, the unfrequently used areas in this region were mapped.

By a second step a comparative mapping of historial air photos and modern remote sensing data was undertaken. The comparative map clearly illustrates regional differences in the increase/decrease of savannas as well as of rainforests and gallery forests. As the population density and the influence of land use activities is generally low in that area it can be neglected for these modifications in vegetation. Therefore the observed changes in land surface cover and the interconnected morphodynamic processes that may play a major role in the phenomenon of desertification and savannization must be regarded as natural climatic trends to drier or wetter environmental conditions.

Climatic trends and evidence of changes in landscapes in the transitional zone from the rainforest to savanna and *vice versa* can be stated as follows. A clear increase in savanna vegetation (e.g. regression of rainforest) could be established:

✓ at the margins of gallery forests where the forest has been forced back into the depressions, perhaps due to a lowering of the groundwater layer by a process of drying out;

* FB 1: Physical Geography, University of Paderborn, D-33095 Paderborn

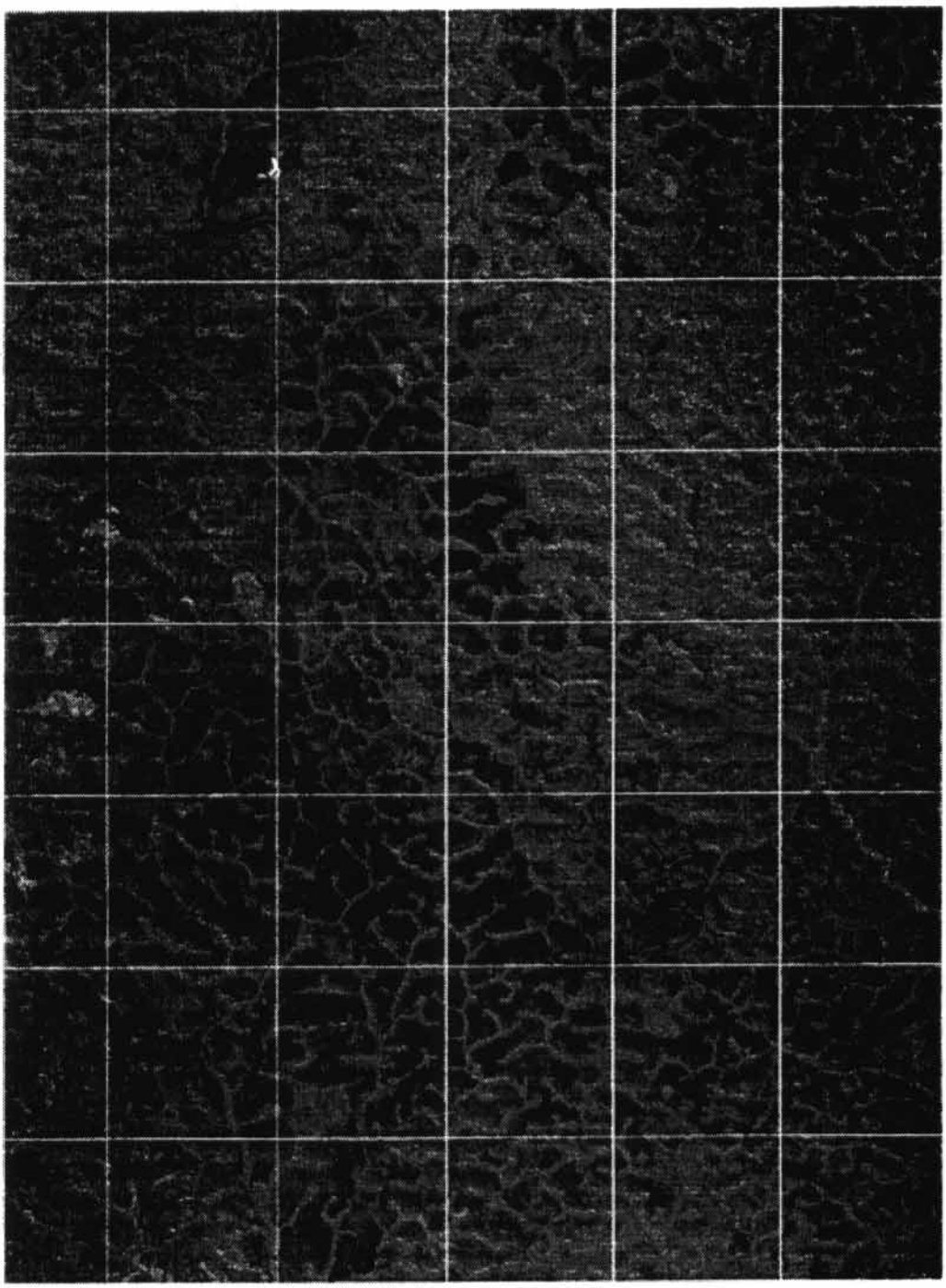


Figure 1- Landscape mosaïc of rainforest and savanna vegetation in northern Zaire 1990 (distance between gridlines is 5 km)

✓ in locations where existing continuous systems of gallery forest were separated into island-like spots of riverine forest;

✓ within an existing almost closed forest vegetation where in 1990 round to oval spots of savanna vegetation occur within the rainforest.

✓ in areas burned in 1955, which where ground patterns are still recognizable in 1990, and which obviously are now covered by savanna, illustrating the long lasting influence of fire on the vegetation.

A striking decrease of savanna by the expansion of rainforest within 35 years was evidenced by the following locations:

✓ smaller areas of savanna within an existing rainforest tend to become overgrown by forest;

✓ larger rainforest islands (20-30 km in diameter) do expand at their margins into the savanna still existing in 1955;

✓ separated systems of gallery forests in 1955 expanded into the savanna forming new areas of closed rainforest in 1990 (e.g. an upcoming of the groundwater layer allows higher vegetation (trees) to grow on the formerly drier interflow sections (increase of rainfall).

Concerning the burned surface in 1955 and in 1990 the mapping reveals:

✓ a decrease in their number and extension;

✓ a change in location that is not necessarily related to settlement activities (disperse hunting fires).

✓ that in 1955 as well as in 1990 fire was restricted to certain areas within the savanna.

✓ settlement and land use that obviously had not taken place in 1955 have increased up to 1990 as evidenced by TM data. The geographical distribution of settlements is restricted to two small areas showing cultivated land extending on both sides of a road.

These observations draw attention to the fact that environmental changes in this particular case cannot be attributed to the influence of humans. Making out a balance sheet of the comparative observations, there is a striking positive dynamic concerning the extension, in 1990, of forests that already existed in 1955, if one excludes the formerly burned areas. This contradicts to the commonly accepted ideas of a general desertification trend and a continous process of drying out in the southern Sahara savanna areas. If these new observations from northern Zaire can be clearly interpreted in the framework of global climatic changes by the increase of atmospheric Co_2, supporting forest development must be proved by further investigations.

LES LIMITES FORÊT-SAVANE EN AFRIQUE CENTRALE ET EN AMAZONIE BRÉSILIENNE : APPROCHE AUX ÉCHELLES MILLÉNAIRES ET SÉCULAIRES

D. SCHWARTZ[1], M.-L. ABSY[2], A. CARNEIRO FILHO[2], A. CHAUVEL[3], R. DECHAMPS[4†], T. DESJARDINS[5], H. ELENGA[6], A. FABING[7], C. GIRARDIN[8], B. GUILLET[9], R. LANFRANCHI[10], J. MALEY[11], A. MARIOTTI[8], M. TSALEFAC[12] & A. VINCENS[13]

❖ OBJETS ET METHODES

Le terme de savane, trop souvent utilisé pour désigner l'ensemble des formations ouvertes, qualifie ici les formations terrestres dominées par les Graminées. De fait, les forêts sèches et forêts claires, dans lesquelles le recouvrement ligneux atteint 80 %, sont exclues de cette définition.

Dans le temps et dans l'espace, les limites forêts-savanes ont considérablement fluctué, au rythme de différents forçages extérieurs. Les méthodes d'étude de ces limites et de leurs fluctuations sont diverses. En premier lieu, on citera l'étude du signal isotopique ^{13}C des matières organiques du sol, (voir communication de A. Mariotti), ainsi que les analyses palynologiques (voir communication de A. Vincens *et al.*) et le signal isotopique ^{13}C des sédiments.

La signature isotopique ^{13}C des matières organiques des sols constitue un marquage local de la végétation. Cependant, les sols étant des milieux ouverts, bioturbés, l'enregistrement est moyenné par le mélange de matières organiques d'âges différents. De plus, l'âge moyen des matières organiques tendant à augmenter avec la profondeur du sol, la finesse de l'enregistrement dépendra grandement de l'âge de l'événement : les épisodes courts, séculaires ou pluridécennaux ne seront enregistrés que s'ils sont récents, en surface du sol (voir comm. de B. Guillet) ; les horizons profonds du sol n'enregistreront que les tendances générales à l'échelle des millénaires.

A l'inverse, la palynologie permet d'enregistrer des réponses brèves de la végétation à un forçage, même si les épisodes sont anciens. Toutefois,l'enregistrement est ici moyenné par le fait que les pollens proviennent d'un champ spatial plus ou moins important. Le signal isotopique ^{13}C des sédiments varie grossièrement dans le même sens que les pollens, mais avec des nuances qui pourraient refléter les différences d'échelles spatiales des deux types d'enregistrement, le signal ^{13}C étant plus local que le signal palynologique (Fabing, 1996).

1 : ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083, Strasbourg cedex, France - 2 : INPA-Ecologia, CP 478, 69011-970, Manaus, AM, Brésil - 3 : ORSTOM, Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, France - 4 : Anatomie des Bois Tropicaux, Musée Royal de l'Afrique Centrale, B-3080 Tervuren, Belgique. - 5 : ORSTOM/INPA, CP 478, 69011-970, Manaus, AM, Brésil - 6 : ORSTOM Pointe Noire, actuellement LGQ-CEREGE/CNRS, B.P. 80, 13545 Aix-en-Provence, cedex 4, France - 7 : CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083, Strasbourg cedex, France - 8 : Biogéochimie isotopique, Univ. P. et M. Curie, 4, place Jussieu, F-75252 Paris cedex 05, France - 9 : Laboratoire de Géochimie organique, B.P. 6759, 45067 Orléans cedex 2, France - 10 : c/o Mission française de coopération, B.P. 934, Bangui, RCA - 11 : Laboratoire de Palynologie, USTL, Place E. Bataillon, 34060 Montpellier cedex, France - 12 : Département de Géographie, B.P. 755, Yaoundé, Cameroun - 13 : LGQ-CEREGE/CNRS, B.P. 80, 13545 Aix-en-Provence, cedex 4, France

Les enregistrements pédologiques et sédimentologiques s'avèrent donc très complémentaires, et il importe donc, dans la mesure du possible, de pouvoir les comparer.

De telles comparaisons ont été faites, selon un maillage relativement serré, au Congo (Schwartz *et al.*, 1995 et poster présenté à ce symposium),et ce sont ces observations qui serviront de point de départ à la suite de notre propos.

❖ L'EXEMPLE DES SAVANES DU CONGO

Nous rappellerons brièvement les conclusions de l'étude Schwartz *et al.* (1995).

A l'échelle millénaire, l'histoire des savanes du Congo peut être reconstituée de la manière suivante :

✓ A l'Holocène inférieur, les zones du Congo actuellement savanicoles étaient occupées par de la forêt, essentiellement dense, localement mésophile.

✓ Ce manteau forestier quasi-continu s'est partiellement fragmenté ca. 3000 BP, et les formations ouvertes étaient plus étendues c. 3000-2000 BP qu'actuellement

✓ Malgré l'aspect encore partiel des données recueillies, il semble bien que les végétations ouvertes de la fin du Pléistocène, période pourtant connue pour avoir été sèche, en particulier entre 18000 et 15000 BP, ont été plus arborées que les savanes actuelles.

✓ L'aspect herbacé des savanes actuelles s'est établi depuis au moins 2000 BP en raison de brûlis répétés.

A l'échelle séculaire, on retiendra les points suivants :

✓ La forêt reconquiert l'espace sur les savanes depuis au moins 5-6 siècles, peut-être un millénaire. Différents faciès forestiers semblent témoigner de cette reconquête : forêts à Marantacées, forêts à Okoumés du Congo et du Gabon, forêts à Lophira du Cameroun.

✓ Cette reconquête semble s'effectuer essentiellement à partir des lisières.

✓ Cette reconquête ne se fait pas en continu, mais avec des phases d'accélération et des phases d'arrêt.

Ces faits conduisent aux conclusions suivantes :

✓ Les savanes actuelles du Congo, caractérisées par l'indigence de la végétation arborée et arbustive, sont des formations originales, sans équivalent dans le passé. Elles ne sont pas des reliques de formations végétales analogues directement héritées du Pléistocène, mais elles ont succédé à de la forêt et étaient plus étendues vers 2000 BP qu'actuellement.

✓ Leur origine et leur morphologie actuelle résultent de la combinaison de trois facteurs :

◊ un facteur paléoclimatique : l'assèchement de l'Holocène supérieur, c. 3000 B.P, qui est le moteur premier de la dégradation de la végétation.

◊ 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.

◊ un facteur anthropique : les brûlis, qui ont imprimé précocement une marque définitive au paysage que nous connaissons (savanes peu arbustives).

Ces trois conditions sont simultanément indispensables pour que la savane soit présente. Qu'une seule manque, et le paysage demeure forestier :

◊ en absence du déclencheur paléoclimatique, les actions anthropiques passées (brûlis) auraient abouti, comme dans les conditions actuelles, à la constitution de recrus 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 édaphiques favorables au maintien des savanes, tout l'espace aurait également déjà été reconquis par la forêt, malgré les brûlis. La plus grande extension passée des savanes montre en effet que la reconquête forestière peut être rapide lorsque les conditions s'y prêtent.

❖ PEUT-ON GÉNÉRALISER L'EXEMPLE CONGOLAIS AUX SAVANES DU DOMAINE FORESTIER D'AFRIQUE EQUATORIALE ET D'AMAZONIE ?

Les résultats exposés ici sont sans aucun doute transposables aux savanes limitrophes des pays voisins, Gabon et Zaïre. En dehors de ces formations, la discussion montre que différentes nuances régionales doivent être apportées à ce schéma.

En Afrique équatoriale

En dehors du cas des savanes de la Lopé au Gabon, qui seraient d'après White et Oslisly (comm. à ce symposium) les héritières directes des formations ouvertes du Pléistocène (dont ni la physionomie ni l'histoire ne sont cependant connues avec précision), les enregistrements palynologiques effectués au lac Barombi M'Bo(Giresse *et al.*, 1994), ou les transects ^{13}C de la bordure nord de la forêt (Guillet *et al.*, poster présenté à ce Symposium) confirment les principales conclusions développées précédemment : pas d'héritage direct du Pléistocène, des savanes plus étendues qu'actuellement à certaines périodes, une dynamique forestière positive actuellement, influence des brûlis sur la couverture arborée, nécessité des trois facteurs paléoclimatiques, anthropiques et édaphiques pour expliquer la présence des savanes actuelles. Les nuances régionales sont toutefois très fortes ici. Ainsi, même dans le secteur très humide du lac Barombi M'Bo, la forêt s'est partiellement fragmentée circa 3000 BP, mais l'apparition de végétations ouvertes a été plus fugace qu'ailleurs ; ainsi, les savanes actuelles sont surtout présentes dans une zone de transition climatique (Tsalefac, poster présenté à ce symposium), où la reprise forestière est moins rapide qu'ailleurs, et dont l'histoire est faite d'alternance de végétation ; enfin, dans ces régions l'influence des brûlis ne se manifeste pas de la

même manière qu'au Congo, pour des raisons à la fois climatiques et anthropiques (voir également comm. de B. Guillet à ce symposium).

En Amazonie

L'histoire paléoclimatique et paléoécologique de cette vaste région a été très différente pendant l'Holocène (voir comm. B. Turcq à ce Symposium) ce qui complique les comparaisons. Toutefois, les formations ouvertes qui sont apparues au cours du Pléistocène semblent avoir été plus arborées que celles de la phase d'ouverture Holocène circa 7000-6000 BP (Absy *et al.*, 1991), marquée par des incendies sans doute d'origine naturelle. Dans le Roraima, en bordure nord de l'Amazonie, Desjardins *et al.* (ce volume) observent une succession de végétation identique à celle de l'Afrique mais globalement forestière des sols, apparition à l'Holocène moyen de formations ouvertes, reprise forestière sans doute dès 4000 ans BP. Celle-ci a été insuffisante pour faire disparaître toutes les formations ouvertes. En dehors des périodes très récentes, marquées souvent par une utilisation intensive des savanes, il est difficile d'appréhender le rôle de l'homme dans la genèse des paysages ouverts. Mais là encore, il semble clair que les formations végétales correspondant aux périodes sèches peuvent être relativement arborées en dehors de l'influence des brûlis.

❖ BIBLIOGRAPHIE

ABSY M.L., CLEEF A., FOURNIER M., MARTIN L., SERVANT M., SIFEDDINE A.,FERREIRA DA SILVA M., SOUBIES F., SUGUIO K., TURCQ B. & VAN DER HAMMEN T.,1991.- Mise en évidence de quatre phases d'ouverture de la forêt dense dans le sud-est de l'Amazonie au cours des 60000 dernières années. Première comparaison avec d'autres régions tropicales. C.R. Acad. Sci. Paris, 312, sér. II, 673-678.

DESJARDINS T., CARNEIRO FILHO A., MARIOTTI A., CHAUVEL A. & GIRARDIN C., à paraître.- Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revaled by soil organic carbon isotope ratios.soumis à Oecologia.

FABING A., 1996.- Comparaison des enregistrements palynologiques et ^{13}C dans les lacs et tourbières d'Afrique Centrale. Mémoire DEA en cours.

GIRESSE P., MALEY J. & BRENAC P., 1994.- Late Quaternary palaeoenvironments in the Lake Barombi Mbo (West Cameroon) deduced from pollen and carbon isotopes of organic matter. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 107, 65-78.

SCHWARTZ D., DECHAMPS R., ELENGA H., LANFRANCHI R., MARIOTTI A. & VINCENS A., 1995.- Les savanes intraforestières du Congo : une végétation spécifique de l'Holocène supérieur. In : A. Le Thomas & E. Roche (éds.), Volume des communications 2° Symp. Palynol. Afric., Tervuren, 6-10 mars 1995. Publ. occas. du Ventre Intern. Formation et Echanges géologiques (CIFEG) n° 1995/31, Orléans, p. 99-108.

LES SAVANES D'AFRIQUE CENTRALE : DES ÉCOSYSTÈMES À L'ORIGINE COMPLEXE, SPÉCIFIQUES DE L'HOLOCÈNE SUPÉRIEUR

Dominique SCHWARTZ, Roger DECHAMPS***
*Hilaire ELENGA***, André MARIOTTI****, Annie VINCENS******

❖ INTRODUCTION

Au Congo, les savanes occupent près de 40 % de l'espace. Leur présence, anormale dans un contexte bioclimatique favorable à la forêt, a posé le problème de leur origine: partisants d'une origine paléoclimatique et adeptes d'une création anthropique se sont longtemps opposés. Les données que nous synthétisons ici permettent de mieux préciser l'origine et l'histoire de ces formations végétales.

❖ LES SAVANES DU CONGO : LOCALISATION ET DESCRIPTION

Les savanes sont réparties inégalement dans cinq domaines phytogéographiques. Elles ont pour constante un couvert ligneux peu dense, parfois inexistant, formé d'essences d'arbustes banales, et que le contact avec la forêt est toujours brutal.

✓ Les savanes de la façade maritime rejoignent le Mayombe par l'intermédiaire d'une mosaïque de plus en plus forestière au fur et à mesure qu'on se rapproche de ce massif montagneux. Au nord, elles se raccordent aux "plaines" gabonaises, et sont étroitement intriquées avec les forêts littorales à *Symphonia* ou à Okoumés. Au sud, elles prolongent les formations soudano-zambéziennes du bas-Zaire et de l'Angola. Ces savanes se développent sur des sols sableux très désaturés, dans une zone où la pluviométrie est comprise entre 1150 et 1300 mm/an.

✓ Les savanes sur les sols argileux du Niari occupent la région la plus sèche du Congo (1050 à 1250 mm/an, répartis sur 7 mois). Au N.O., elles se raccordent aux savanes gabonaises de la Ngounié et de la Nyanga; au sud, elles prolongent les formations soudano-zambéziennes du bas-Zaïre et de l'Angola.

✓ Les savanes du pays Bateke se développent sur des sols très sableux. Elles se prolongent à l'ouest par les savanes de Franceville au Gabon, à l'est par les formations Bateke du Zaïre. Selon la richesse des sols en argile et en matière organique, les graminées dominantes sont différentes. La pluviométrie de cette région varie de 1300 à plus de 2000 mm/an.

✓ Les savanes de la cuvette congolaise prolongent au nord les savanes du pays Bateke, sur des sols sableux hydromorphes. Elles sont du même type que les précédentes. La

* ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREG, 3 rue de l'Argonne, F-67083, Strasbourg cedex
** Anatomie des Bois Tropicaux, Musée Royal de l'Afrique Centrale, B-3080 Tervuren, Belgique
*** ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREGE/CNRS, B.P. 80, 13545 Aix-en-Provence, cedex 4
**** Biogéochimie isotopique, Univ. P. et M. Curie, 4, place Jussieu, F-75230 Paris cedex 05
***** CEREGE/CNRS, B.P. 80, 13545 Aix-en-Provence, cedex 4

POSTER

pluviométrie de cette région est comprise entre 1600 et 2000 mm/an.

✓ Les savanes incluses des massifs forestiers diffèrent des précédentes non par leur composition botanique, mais par leur taille qui ne dépasse pas quelques centaines d'hectares. Leurs contours sont très géométriques. Les types de sols sont les mêmes que ceux des forêts qui les bordent, et la pluviométrie n'en diffère pas fondamentalement.

Les savanes sont donc préférentiellement établies sur sols sableux (littoral, pays Bateke et Cuvette), ainsi que, sur sols argileux, dans la région la plus sèche du pays (Niari). Les facteurs édaphiques et climatiques n'expliquent cependant pas à eux seuls cette répartition. En effet, dans toutes ces zones, les savanes coexistent avec des forêts soumises aux mêmes conditions pédoclimatiques. Ce fait laisse donc supposer une origine et une évolution complexes de ces végétations graminéennes.

❖ MATÉRIEL ET MÉTHODES

Différentes approches ont été utilisées pour retracer l'histoire des savanes: palynologie (tourbières et lacs), identification de macrorestes de végétaux (charbons de bois, bois fossilisés dans des alluvions, tourbes et alios de podzols), biogéochimie isotopique du carbone (13C et 14C des matières organiques des sols). Les sites d'étude couvrent tout le sud du Congo.

❖ RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

Les résultats font ressortir quatre faits indiscutables.

✓ A l'Holocène inférieur, les zones du Congo actuellement savanicoles étaient grandement enforestées. Sur le littoral, la forêt occupait aussi bien les sols hydromorphes et les podzols des dépressions que les sols ferralitiques des collines, depuis au moins 8000 BP. Le Niari semblait également essentiellement forestier circa 5000 BP, mais des végétations ouvertes, plus boisées que les savanes actuelles y sont cependant encore attestées vers 7000 BP. Dans le pays Bateke, les bas-fonds podzolisés actuellement recouverts de savanes herbeuses étaient couverts de forêts denses, comme certains des versants et les plateaux. A l'inverse, certaines zones de cette région sont restées occupées par des végétations plus ouvertes, plus arborées que les savanes actuelles (savanes arborées et/ou forêts claires).

✓ Le moteur premier de l'ouverture partielle de la forêt est l'assèchement climatique circa 3000 BP, observable dans toutes ces régions. Par ailleurs, différents indices semblent indiquer que ces savanes étaient plus étendues ca 3000-2000 BP qu'actuellement, et que la forêt reconquiert une partie de l'espace depuis au moins quelques siècles.

✓ Les changements de végétation circa 3000 BP semblent plus abrupts et plus importants que ceux connus à la fin du Pléistocène, aux alentours de 11000-12000 BP, alors que cette période est pourtant connue pour avoir été relativement sèche, en particulier entre 15000 et 18000 BP. Malgré l'aspect encore partiel des données recueillies, il semble bien que les végétations ouvertes du Léopoldvillien aient été plus arborées que celles de l'Holocène supérieur.

✓ L'aspect herbacé des savanes actuelles s'est établi depuis au moins 2000 BP en raison de brûlis répétés. Il est donc nécessaire de faire intervenir, de façon précoce, l'action de l'homme pour expliquer les paysages actuels. Les découvertes archéologiques les plus récentes suggèrent d'ailleurs que l'arrivée de populations pratiquant l'agriculture et le brûlis a suivi de peu l'assèchement climatique de c.3000 BP.

Ces faits conduisent aux conclusions suivantes.

✓ Les savanes actuelles du Congo, caractérisées, qu'il s'agisse des savanes incluses, ou des "savanes édaphiques", par l'indigence de la végétation arborée et arbustive, sont des formations originales, sans équivalent dans le passé, qu'il s'agisse de l'humide Kibangien (Holocène inférieur, entre 12000 et 3000 BP), ou de "l'aride" Léopoldvillien (30000-12000 BP).

✓ Elles ne sont pas des reliques de formations végétales analogues directement héritées de cette période sèche du Léopoldvillien, mais elles ont succédé, c. 3000 BP à de la forêt dense (savanes incluses du Chaillu, savanes intra-mayombiennes, savanes de la plaine côtière et du littoral, certaines savanes du pays Bateke et du Niari) ou à de la forêt claire (d'autres savanes du pays Bateke et du Niari), et étaient sans doute plus étendues vers 2000 BP qu'actuellement.

✓ Leur origine et leur morphologie actuelle résultent de la combinaison de trois facteurs:

◊ un facteur paléoclimatique: l'assèchement de l'Holocène supérieur, c. 3000 B.P, qui est le moteur premier de la dégradation de la végétation;

◊ 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 d'agriculteurs itinérants, qui semblent avoir bénéficié de l'ouverture partielle de la forêt vers 3000 BP pour s'établir au Congo (Schwartz, 1992) et imprimer précocement une marque définitive au paysage que nous connaissons.

Ces trois conditions sont simultanément indispensables pour que la savane soit présente. Qu'une seule manque, et le paysage demeure forestier:

◊ en absence du déclencheur paléoclimatique, les actions anthropiques passées (brûlis) auraient abouti, comme dans les conditions actuelles, à la constitution de recrus 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 édaphiques favorables, l'espace aurait également déjà été reconquis par la forêt, malgré les brûlis, comme le suggère la plus grande extension passée des savanes.

✓ Il nous paraît vraisemblable que les résultats exposés ici soient transposables aux savanes limitrophes des pays voisins, Gabon et Zaïre, cette hypothèse restant à confirmer de façon formelle.

UNE ÉVALUATION DE LA VITESSE DE PROGRESSION DES LISIÈRES FORESTIÈRES SUR LES SAVANES: TROIS ÉTUDES DE CAS AU CONGO

Dominique SCHWARTZ, André MARIOTTI**, Christian de NAMUR*** & Hubert de Foresta*****

❖ INTRODUCTION

En Afrique Centrale, de nombreuses observations botaniques de terrain font état d'une avancée des lisières forestières sur les savanes. Toutefois, ces études de terrain ne permettent pas de mesurer précisément la vitesse de la progression forestière. Pour cela, il est nécessaire de disposer de marqueurs chronologiques. Nous illustrons ici ce principe à l'aide de trois exemples différents.

❖ MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cinq transects savane-forêt de longueur hectométrique ont été étudiés (fig. 1) dans trois régions différentes. Deux transects sont situés dans les forêts littorales, à 80 km au nord de Pointe Noire. La lisière de ces forêts est constituée par une large frange d'Okoumés, ce suggère une avancée rapide. Deux autres transects sont représentatifs des savanes incluses du Mayombe. Dans toute cette région, la présence d'une frange réduite d'arbres pionniers en lisière laisse supposer que l'avancée de la forêt est lente. Un dernier transect, choisi pour sa stabilité a été étudié à Les Bandas, à la limite entre la bordure Est du Mayombe et la vallée du Niari. Tous les transects étudiés ont pour point commun une limite abrupte entre le domaine forestier et la savane.

La vitesse de progression forestière a été évaluée à l'aide de trois méthodes différentes: comparaison de photographies, dendrochronologie et isotopie du carbone (13C et 14C). Par ailleurs, les données botaniques de terrain ont été comparées aux variations isotopiques (13C) des matières organiques des horizons supérieurs du sol.

❖ RÉSULTATS

Un transect stable : Les Bandas

La preuve de la stabilité de ce transect est apportée par la comparaison de deux photos prises respectivement en 1929 et 1989: en 60 ans, la forêt n'a pas progressé d'un mètre.

* ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREG, 3 rue de l'Argonne, F47083, Strasbourg cedex
** Biogéochimie isotopique, Univ. P. et M. Curie, 4, place Jussieu, F-75230 Paris cedex 05
*** ORSTOM Pointe Noire, actuel. Biomathém., Fac. Saint Jérôme, Av. Normandie-Niémen, 13397 Marseille cdx 13
**** ORSTOM, ICRAF, P.O. Box 161, Bogor 16001, Indonésie

Aucune autre méthode d'évaluation de la vitesse de progression forestière n'a donc été testée ici. Les relevés botaniques montrent une quasi-absence d'arbres pionniers, à l'exception d'une frange métrique d'arbustes (Hymenocardia ulmoides) tout en bordure de forêt. Les valeurs du 61 3C des humus montrent une rupture nette au niveau de la lisière: le 613C des humus de savane est marqué par l'origine C4 des matières organiques, tandis que le signal 613C des humus de forêt est typiquement C3 dès la lisière. L'ensemble des données est parfaitement concordant et montre qu'il n'y a pas d'effet lisière important.

Une progression lente de la forêt: Les savanes incluses du Mayombe

Dans ces savanes, les arbres pionniers sont présents dans la forêt, mais sur une frange relativement réduite (quelques dizaines de mètres), ce qui suggère que la forêt progresse lentement. Cette progression forestière est également mise en évidence par l'analyse isotopique 13C des matières organiques du sol, qui montre que le 613C des humus ne devient typiquement forestier qu'à l'intérieur de la forêt, et non dès la bordure. En comparant sur le transect la distance D, séparant la dernière valeur 613C typique de la savane et la première valeur du 613C typique de la forêt, avec le temps moyen de résidence des matières organiques du sol (TMR) mesuré par le 14C, on a pu établir que la vitesse actuelle de progression de la forêt était compris dans ces transects entre 20 et 50 m/siècle.

Une progression rapide de la forêt: les forêts littorales à Okoumés

La lisière de ces forêts est constituée par une frange de 50 à 100 m de large constituée presqu'exclusivement d'Okoumés, essence au tempérament pionnier bien connu. Le diamètre moyen de ces Okoumés est croissant de la lisière vers l'intérieur de la forêt. Ceci suggère une progression rapide de la forêt, à partir des lisières. L'analyse isotopique montre que les matières organiques du sol ont des valeurs typiques de savane bien à l'intérieur de la forêt, en particulier dans les horizons médians du sol, ce qui conforte les résultats précèdents et montre que la progression forestière correspond à un mouvement de fond.

La vitesse de progression forestière a été évaluée ici par deux méthodes différentes: la même que ci-dessus et la dendrochronologie. Les résultats de la première ne sont pas encore connus avec précision (mesures du 14C en cours, résultats attendus courant janvier), mais sont de l'ordre de 60 à 110 m/siècle, valeurs qui seront affinées dès que possible. Les résultats de la seconde indiquent une progression de l'ordre de 90 m/siècle, concordant avec les estimations de la première méthode.

❖ CONCLUSIONS

Le transect des Bandas constitue un cas particulier non représentatif, mais dont l'intérêt réside dans la possibilité de calibrer "l'effet lisière". On constate que celui-ci est quasiment nul en dehors du contact immédiat entre la savane et la forêt, aussi bien sur le plan botanique sur le plan de la biogéochimie isotopique du carbone. Dés lors, les différences enregistrées dans ces deux domaines sont à mettre en relation avec l'expansion forestière généralisée. Celle-ci se déroule à des vitesses très différentes selon les circonstances, qu'il est possible d'évaluer qualitativement grâce à l'étude botanique, et quantitativement grâce à des méthodes comme la dendrochronologie et biogéochimie isotopique du carbone. L'ensemble de ces méthodes donnent des résultats tout à fait concordants. Les vitesses de reconquête forestières ne sont pas négligeables, malgré les brûlis, qui ralentissent la progression de la forêt.

HISTOIRE ET DYNAMIQUE ACTUELLE DES CIRQUES D'ÉROSION DU LITTORAL D'AFRIQUE CENTRALE UNE ÉTUDE DE CAS: LES CIRQUES DU LITTORAL PONTÉNÉGRIN (CONGO)

L. SITOU, D. SCHWARTZ**, M. MIETTON***, J. TCHICAYA*****

❖ INTRODUCTION

Du Gabon à l'Angola, la façade maritime de l'Afrique Centrale est couverte par une formation géologique sableuse Plio-pléistocène, la Sélie des Cirques. Celle-ci doit son nom à la présence de cirques d'érosion, qui se présentent sous la forme de vastes amphithéâtres aux parois raides et aux formes complexes (Vennetier, 1968, Sitou, 1994). Certains de ces cirques ont des formes adoucies, et semblent inactifs: il s'agit probablement d'une première génération, dont l'origine est à mettre en relation avec le retour à un climat humide au début de l'Holocène (Sitou, 1994). La plupart des cirques connaissent cependant une dynamique active, marquée par un recul de leurs parois, et contrastant avec la faiblesse du ravinement des versants. L'agrandissement de ces cirques pose un sérieux problème d'aménagement du territoire. Notre étude précise la vitesse et les modalités du recul des parois, et permet de cerner, pour la première fois, l'âge de ces formes majeures de relief.

❖ MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour cette étude de cas, nous avons choisi le cirque de Diosso, pour plusieurs raisons indépendantes (facilité d'accès, représentativité, existence d'une abondante iconographie). Le recul des parois a pu être suivi sur cinq jeux de photos aériennes (1951, 1960, 1966, 1981, 1983) recouvrant une période de 32 ans. La photo-interprétation a été effectuée après restitution du relief et correction des déformations par photogrammétrie, effectuée sur stéréotopographe Poivillier SOM type D3. Une opération de réduction ou d'agrandissement au pantographe a permis de ramener toutes les données à l'échelle du 1/25000. La superposition des différentes cartes obtenues a permis d'apprécier l'évolution des parois bordières du cirque, et d'en déduire la vitesse de recul.

❖ RÉSULTATS

L'étude des jeux de photographies aériennes a permis de quantifier l'activité de la dynamique érosive du cirque de Diosso. Le recul des parois entre 1951 et 1983 est donné par

* Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, dépt. Géographie, B.P. 2642, Brazzaville, CONGO
** ORSTOM, BP 1286, Pointe Noire, CONGO. Act.: ORSTOM, CEREG, 3, rue de l'Argonne, 67083 Skasbourg cedex
*** Université L. Pasteur, CEREG, 3, rue de l'Argonne, G7083 Stasbourg cedex
**** Service Géographique National, Brazzaville, CONGO

POSTER

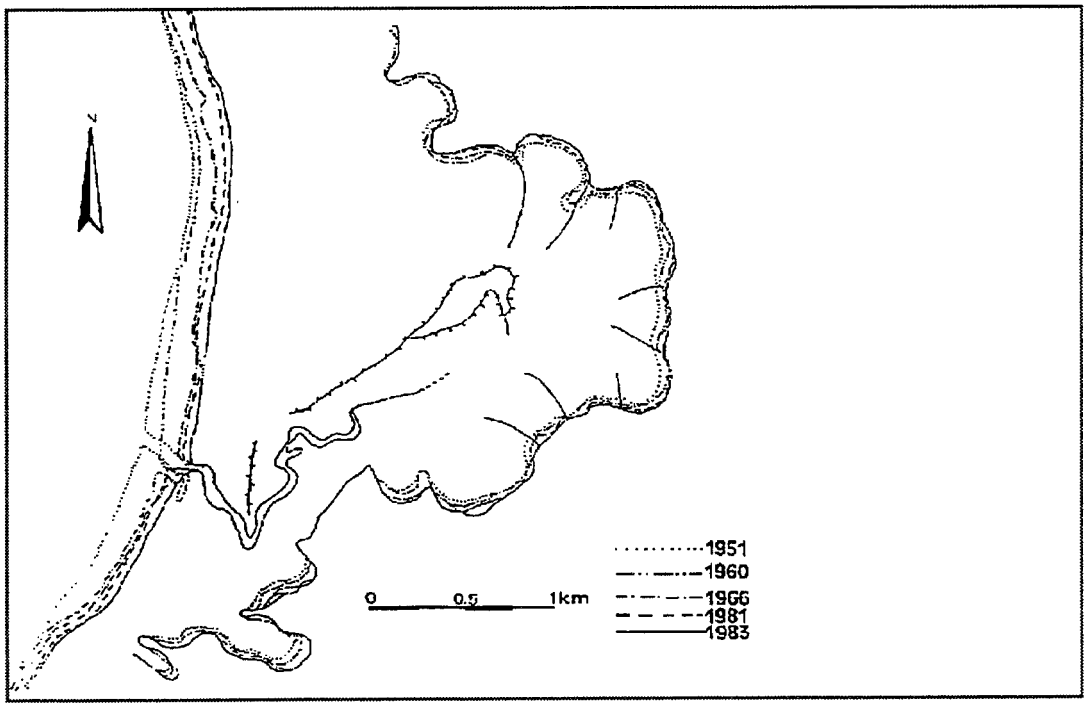


Figure 1.- Recul de la paroi du cirque et du trait de côte entre 1951 et 1983

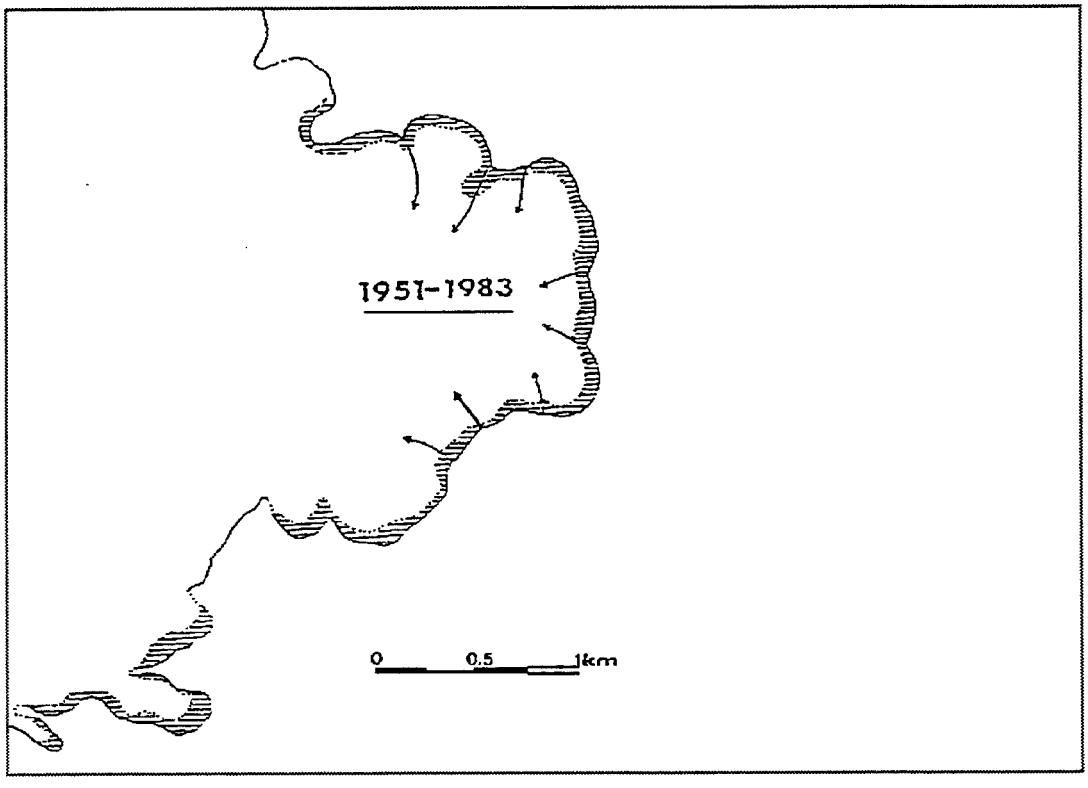


Figure 2- Surface du plateau disparue entre 1951 et 1983

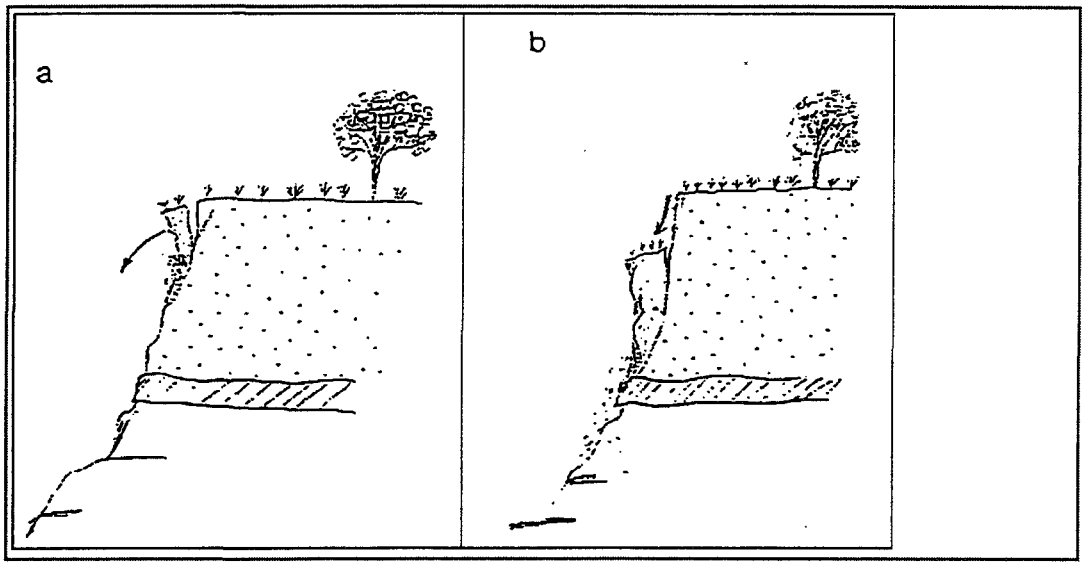


Figure 3.- Décrochements de la paroi par effondrement (a) et glissement (b)

les figures 1 et 2. Ce recul est très discontinu, la paroi pouvant rester stable de nombreuses années, puis évoluer sous forme de décrochements lenticulaires. Celles-ci, qui selon les cas s'effondrent brutalement ou glissent (fig. 3) peuvent mesurer jusqu'à 30-40 m de long et 3-4 m de large. A l'exception d'une petite zone restée stable, on note, selon les endroits, un recul des parois du cirque de Diosso compris entre 12,5 et 100 m, soit une vitesse moyenne comprise entre 0,4 et 3,3 m/an. On peut estimer pour chaque période la vitesse moyenne du recul de la paroi bordière en rapportant la surface enlevée pendant l'intervalle séparant deux prises de vue à la longueur de paroi considérée. On trouve ainsi un recul moyen de 1,45 m/an entre 1951 et 1983. Toutefois, cette moyenne cache une grande irrégularité. La période 1981-1983 a vu en particulier la vitesse moyenne de recul portée à 7,7 m/an. En l'absence de station météorologique à proximité même du site d'étude, il n'a pas été possible de corréler le recul avec des éléments climatiques particuliers (pluviométries annuelles, mensuelles, décadaires, intensité des abats, alternances humectation/dessication,...). En effet, les tentatives de corrélation effectuées avec les données de la station de Pointe Noire, distante de 25 km, se sont révélées décevantes, ce qui est lié au faible rayon de représentativité des stations météorologiques en zone intertropicale.

❖ CONCLUSION

Les résultats présentés ici mènent à des conclusions de deux ordres.

◊ **Sur le plan de l'aménagement du territoire,** le recul des parois des cirques d'érosion pose de sérieux problèmes aux responsables. En effet, en maints endroits, la R.N. 1 est directement menacée par la progression des cirques. En trois endroits au moins, il est prévisible que cette route sera coupée d'ici moins de 5 ans. Les éléments d'appréciation de la vitesse de recul des parois constituent ici des éléments prospectifs permettant d'es-

timer la durée de vie des routes en fonction de son éloignement par rapport aux parois et d'agir en conséquence. Il en est de même, à un degré moindre des plantations industrielles d'eucalyptus. Celles-ci sont en effet prévues pour durer sur 2 ou 3 cycles de production, soit 14 ou 21 ans: toutes les zones situées à moins de 40 -60 m des parois sont donc directement concernées par le recul des cirques.

◊ **Sur le plan de la morphogenèse des paysages,** l'extrapolation des vitesses actuelles, calculées sur une période de 30 ans, permet d'estimer qu'une période de temps de l'ordre de 500-1000 ans est nécessaire et suffisante pour aboutir à la genèse des amphithéâtres actuels. Cette estimation est cohérente avec deux autres observations. Schwartz *et al.* (1990) notent vers 500-600 BP, soit vers le début du XV° siècle en âge calibré, un épisode érosif se traduisant par l'accumulation de plusieurs mètres de matériaux au débouché des cirques. Cet épisode pourrait être lié soit à l' amorce de la création de ces formes de relief, soit pour le moins à une reprise de leur activité. Par ailleurs, deux cartes de la fin du XV° siècle, celle de Clistoforo Soligo (1486), dressée juste après le voyage de Diego Cao (1482), et celle de Heinricus Martellus (1489), consécutive au périple de B. Diaz (1488) au Cap de Bonne-Espérance parlent de la "glaisière rouge", ou de la "barrière rouge", toponymes assimilés par les historiens au cirque de Diosso (Soret, 1978; Rat Patron, 1993). Ces termes suggèrent effectivement que la reprise d'érosion était déjà effective à la fin du XV° siècle, mais ne permettent pas de juger de l'évolution des reliefs à cette époque, en raison de l'absence de descriptif précis. Il n'en demeure pas moins que la genèse des cirques d'érosion s'inscrit dans le cadre chronologique du dernier millénaire, voire des 5-6 derniers siècles. Elle semble ainsi être une conséquence de la réhumidification climatique, observée par ailleurs à ces dates au Congo (Vincens *et al.*, 1994; Elenga *et al.*, 1996).

❖ REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ELENGA H., SCHWARTZ D., VINCENS A., BERTAUX J., NAMUR C. de, 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. A paraître in C.R. Acad. Sci. Paris.

RAT PATRON P., 1993.- L'histoire du Congo lue dans les cartes géographiques. ORSTOM, Pointe Noire, 35 p.

SCHWARTZ D., GUILLET B. & DECHAMPS R., 1990.- Etude de deux flores forestières mi-Holocène (6000-3000 BP) et subactuelle (500 BP) conservées in situ sur le littoral ponténégrin (Congo). In: R. Lanfranchi et D. Schwartz (éds.), *Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale atlantique*, ORSTOM, Paris, 283-297.

SITOU L., 1994.- Les cirques d'érosion dans la région de Pointe-Noire (Congo): étude géomorphologique. Thèse Doct. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 223 p.

SORET Marcel, 1978.- Histoire du Congo. Berger-Levrault, 237 p

VENNETER P., 1968.- Pointe-Noire et la façade maritime du Congo. Mém. n° 26, ORSTOM, Paris, 458 p.

VINCENS A., BUCHET G., ELENGA H., FOURNIER M., MARTIN L., NAMUR C. de, SCHWARTZ D., SERVANT M. & WIRRMANN D., 1994.- Changement majeur de la végétation du lac Sinnda (vallée du Niari, Sud Congo) consécutif à l'assèchement climatique holocène supérieur: apport de la palynologie. C.R. Acad. Sci. Paris, 318, II, 11, 1521-1526.

ORIGINALITÉ CLIMATIQUE DE LA ZONE DE CONTACT FORÊT-SAVANE AU CAMEROUN DÉTERMINÉE PAR LES DONNÉES CONVENTIONNELLES ET SATELLITALES

Maurice TSALEFAC, Jean-Paul LAHUE**, Bernard GUILLOT**, Béatrice LENGUE FOBISSIE**

On montre qu'au Cameroun, la zone de contact forêt-savane est aussi une zone de contact entre types climatiques différents. En effet, le régime climatique subéquatorial, avec deux saisons des pluies et deux saisons sèches, donne l'occasion aussi bien à l'harmattan chaud et desséchant qu'à l'alizé austral stable, de sévir durablement dans la région, et de marquer considérablement les paysages végétaux. Il en résulte une exceptionnelle fragilité des écosystèmes, surtout si l'homme intervient par les feux de brousse. Mais plus préoccupant, est le comportement de la convection. Celle-ci, comparée aux régions environnantes y est déficitaire en toutes saisons. Cela rend complexes les relations climat-végétation-cycle de l'eau. Le fait que la végétation aussi bien forestière que savanicole pousse sur des sols pauvres, indique que : sans intervention catastrophique de l'homme, le climat joue le rôle majeur dans l'évolution de ces écosystèmes.

Au delà des analyses issues des données conventionnelles, la communication vise donc à donner les caractéristiques de la zone de contact forêt-savane, telles que perçues par le satellite METEOSAT.

* * Département de Géographie - BP 755, Yaoundé - Cameroun
** Antenne ORSTOM - BP 134 - Lannion - France

POSTER

L'OKOUMÉ (*AUCOUMEA KLAINEANA*) : EXPANSION ET DÉCLIN D'UN ARBRE PIONNIER EN AFRIQUE CENTRALE AU COURS DE L'HOLOCÈNE

Lee WHITE, Kate ABERNETHY**, Richard OSLISLY***, Jean MALEY*****

La région de la Lopé, située juste sous l'équateur dans le centre du Gabon, est constituée de plusieurs grandes enclaves de savanes dans le massif forestier le plus riche de l'Afrique centrale. Près du fleuve Ogooué, les savanes sont presque continues, interrompues seulement par d'étroites galeries forestières. Plus au sud, le paysage se transforme en une mosaïque de forêts et de savanes et à plus de 15 km au sud de l'Ogooué on ne rencontre plus que de petites taches de savanes incluses dans la forêt, situées préférentiellement au sommet de collines à des altitudes comprises entre 200/450 m. Les collines voisines ayant des altitudes supérieures a 500 m sont plutôt couvertes par la forêt. Dans une région actuellement faiblement peuplée ont beaucoup intrigué les premiers botanistes qui les ont parcourues et qui ont cherché à en expliquer l'origine (Aubréville,1967; Descoings,1974).

Une estimation de l'âge des savanes de la Lopé a pu être récemment donnée grâce à des données archéologiques, radiochronologiques et isotopiques (White,1995; Oslisly & White, en préparation). Les premiers résultats suggèrent qu'après la phase aride majeure qui s'est achevée vers 10/12.000 BP, les savanes se sont maintenues dans cette région a travers tout l'holocène, malgré l'extension forestière mise en évidence par la palynologie dans d'autres sites de la zone forestière (Maley,1990 & à paraître) . La présence de ces savanes apparaît fondamentalement comme d'origine climatique et due essentiellement à une diminution des pluies par un effet de foehn régional au revers des contreforts septentrionaux du Massif du Chaillu. Toutefois l'importance des restes archéologiques (Oslisly,1993) d'âge Holocène dans la région incline à penser que les feux allumés par l'Homme (Oslisly,1995) ont du jouer un grand rôle dans la dynamique de la végétation surtout durant les périodes de péjoration climatique mais aussi au cours des phases plus humides en freinant l'extension naturelle des végétations forestières pionnières.

En l'absence du feu, trois espèces de grands arbres forestiers, l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*, Burseraceae), l'Azobé (*Lophira alata*, Ochnaceae), et l'Ozouga (*Sacoglottis gabonensis*, Humiriaceae) sont capables de s'établir puis de se développer en savane. Ensuite on assiste à une succession de plusieurs phases de végétation pionnière dans lesquelles un ou plusieurs de ces arbres dominent. Cependant leurs repousses semblent incapables de s'établir ultérieurement sous la canopée lorsqu'elle s'est complètement refermée. De ce fait, ces trois arbres deviennent rares ou disparaissent dans les phases forestières suivantes. Le processus de colonisation de la savane et des phases suivantes

* The Wildlife Conservation Society, New York 10460-1099, U. S. A.
** Centre International de Recherches Médicales de Franceville., B. P. 769, Franceville, Gabon et Departement of Biological and Molecular Sciences, University of Stirling, FK9 4LA., Scotland.
*** Museum National d'Histoire Naturelle Institut de Paléontologie Humaine 1 rue René Panhard, 75013 Paris, France
**** ORSTOM, Laboratoire de Palynologie Université des Sciences et Techniques de Languedoc 34095 Montpellier Cedex 5, France

de la succession forestière a été étudié en détails à la Lopé (White, à paraître). La phase pionnière la plus importante est caractérisée par un sous-bois dense composé de grandes Monocotylédones, essentiellement des Marantaceae et Zingiberaceae, avec une canopée non fermée due à la faible densité des arbres pionniers. En effet la densité du sous-bois gène aussi ou bloque même complètement la pousse des plantules des arbres pionniers, ce qui peut conduire à la persistance de cette phase de végétation pionnière pendant plusieurs siècles. Cette phase pionnière à grandes Monocotylédones a été observée et décrite en de nombreux points du bloc forestier africain (Letouzey, 1968; de Foresta, 1990; Maley, 1990) et ce n'est que lorsque le sous-bois de cette "forêt clairsemée à Marantaceae" s'éclaircit qu'une évolution peut intervenir vers des types forestiers plus matures.

Les changements de végétation intervenus à la Lopé depuis le début de l'Holocène ont résulté essentiellement du déplacement des limites forêt/savane. La variation de l'emprise des forêts et des savanes a été reconstituée grâce à la cartographie détaillée des différents types actuels de végétation, à des spectres polliniques et à la datation des variations de la valeur du $\delta^{13}C$ mesuré sur la matière organique des sols. La longévité relative des différentes phases pionnières ayant pu être estimée, les changements de la végétation passée ont ainsi été modélisés de manière à produire des cartes de la végétation d'une partie de la Réserve de la Lopé il y a 100, 250, 700 et 1400 ans BP (White, 1995). Basée sur la distribution passée des différents types de végétation et en utilisant également les photographies aériennes IGN et les clichés radar INTERA, une carte hypothétique de la végétation de la Lopé il y a 2000 ans a été tracée (Fig. 1).

L'Okoumé est une espèce endémique en Afrique centrale Atlantique: il a été recensé de l'extrême sud-ouest du Cameroun au centre et à l'ouest du Gabon ainsi qu'au Congo occidental. L'étude de la régénération de l'Okoumé, en particulier à la Lopé, montre que cet arbre ne peut se régénérer qu'en pleine lumière. De plus, lorsque sa taille s'accroît, tout arbre surcimé meurt rapidement. De ce fait l'Okoumé est restreint à l'écotone forêt/savane dans lequel il peut être mono-dominant en formant des peuplements quasiment purs. Des données sur la vitesse de croissance de différentes classes de taille sont présentées afin d'estimer la durée des différents stades a Okoumé au cours de la phase d'expansion forestière actuelle. Il apparaît en effet que la stratégie de développement de l'Okoumé est tout à fait positive durant une telle phase d'expansion forestière.

Toutefois, du fait que pour sa régénération il est sous l'étroite dépendance de la dynamique végétale à l'interface forêt/savane, il est inexorablement en déclin dans les forêts matures. On peut donc dire que l'Okoumé est la victime de son propre succès. Les mêmes phénomènes affectent aussi l'Azobe et l'Ozouga (voir les conclusions similaires obtenues dans le sud Cameroun par Letouzey, 1968)

L'interface forêt/savane à la Lopé est également riche d'autres espèces endémiques, animales et végétales, mettant en évidence l'importance que cet habitat a pu avoir dans l'évolution de l'écosystème forestier équatorial.

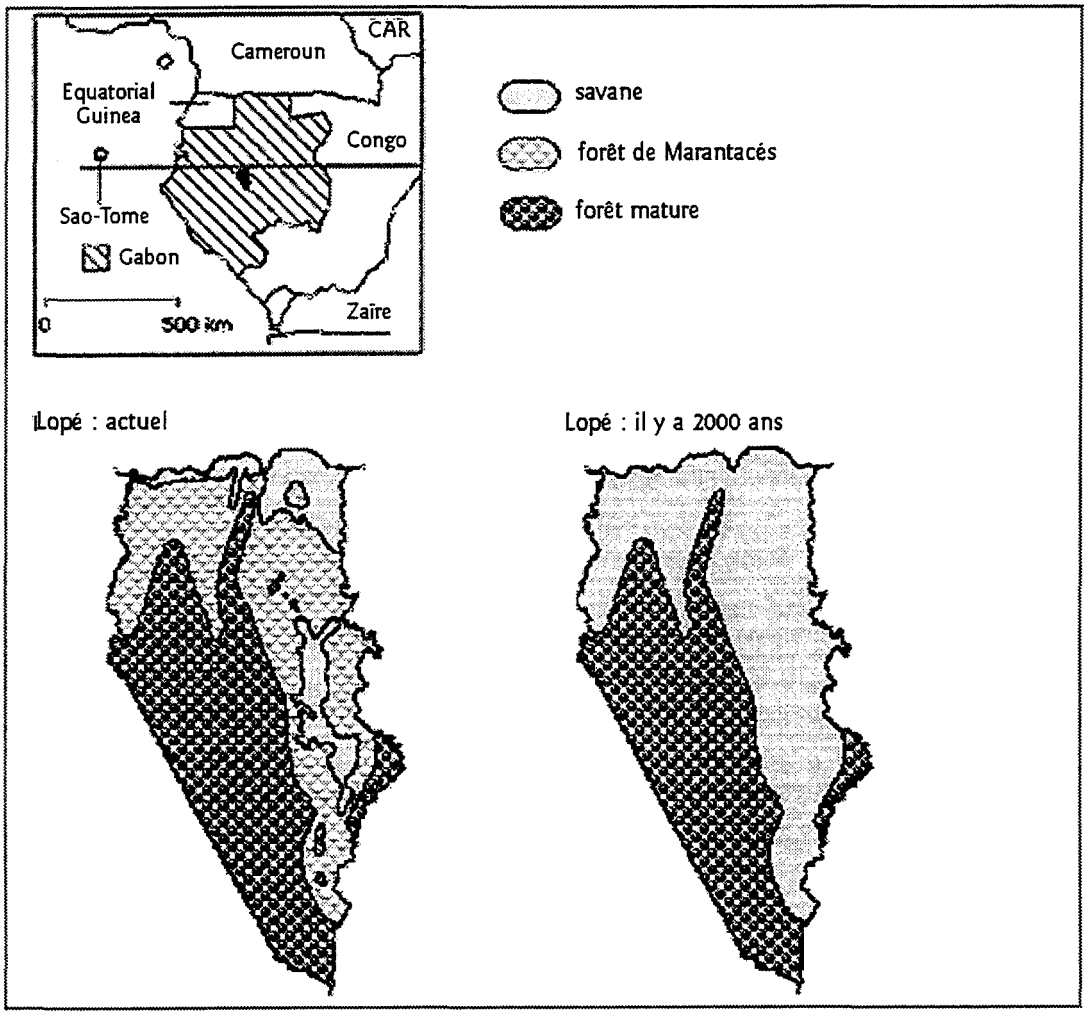


Figure 1: Localisation de la Réserve de la Lopé avec les cartes simplifiées de la végétation actuelle et de celle théorique ca 2000 BP.

La richesse en vestiges archéologiques de cette région (Oslisly, 1993) ainsi que le phénomène actuel de colonisation de la savane par la forêt font de la Lopé un site idéal pour étudier les différents processus qui ont façonné le biome de la forêt dense humide africaine. En utilisant les données expérimentales qui nous sont fournies par la Nature, nous planifions actuellement des recherches plus détaillées sur les différents processus dynamiques ainsi que sur les phénomènes de spéciation qui ont pu intervenir dans cette zone de contact, avec leurs implications pour les animaux lors des extensions forestières passées, en particulier à partir des refuges forestiers qui se sont formés durant les phases arides majeures (Maley, à paraître).

❖ REFERENCES.

AUBREVILLE, A., 1967, *Adansonia Série 2*, 7(1): 13-22.

DESCOINGS, B., 1974, CNRS Montpellier, Document n°69

FORESTA, H. de, 1990, in *Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique,* LANFRANCHI, R. & SCHWARTZ, D.Eds, ORSTOM, 326-335.

LETOUZEY,R., 1968, in *Encyclopédie Biologique*, 69, Lechevallier.

MALEY, J. 1990, in *Paysages Quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique*, Lanfranchi, R. & Schwartz, D.Eds, ORSTOM, 367-389.

MALEY, J. (à paraître), in *Ecology and Conservation of the African Rain Forest.* Weber, W., Vedder, A. Morland, H., White, L. & Hart, T. Eds., Yale University Press.

OSLISLY, R., 1993, *Trav. &.Docu. Microfiche's*, 96, ORSTOM.

OSLISLY, R., 1995, *Azania* (sous presse)

WHITE, L.J.T. 1995, Rapport ECOFAC Gabon, Publ. AGRECO, Bruxelles.

WHITE, L.J.T. (à paraître),.in *Ecology and Conservation of the African Rain Forest.* Weher, W., Vedder, A. Morland, H., White, L. & Hart, T. Eds., Yale University Press.

LA DISPARITION DES SAVANES AU CENTRE CAMEROUN ENTRE 1950 ET 1990

Joseph YOUTA-HAPPI et Jacques BONVALLOT

Dans la région de mosaïque forêt-savane du Cameroun (entre 4°S et 6°N; 10°30' et 14°30'E), une évolution des limites entre les deux grandes formations végétales est établie grâce aux photographies aériennes de 1951-1952, 1989, 1993 et aux images satellitaires récentes (Landsat TM 1984 et Spot XS 1989). Il s'agit à l'est du territoire, de la région entre Bertoua et Batouri et à l'ouest, de la région du confluent Mbam-Kim.

Après le recalage des échelles au laboratoire, une observation de la dynamique des contacts montre que dans tous les cas de figures, la savane préforestière a très sensiblement reculé devant la forêt dense humide selon des processus assez variés:

✓ densification du couvert ligneux des savanes, essaimage de taches de forêt en savane,

✓ transgression de la forêt sur la savane à partir des lisières,

✓ envahissement de surfaces entières de certaines savanes par la forêt,

✓ disparition totale de plusieurs savanes jadis regroupées au milieu de la forêt.

La présence de l'homme ne semble pas constituer un obstacle à cette dynamique de la forêt. Certains sites d'habitation jadis implantés en savane, comme c'est le cas du village Nditam, se trouvent aujourd'hui en forêt alors que les photographies aériennes de 1951 montrent encore un espace de savane d'environ 300 hectares. Dans le cadre des savanes fortement cloisonnées par les forêts galeries, les feux ne gagnent pas systématiquement toutes les savanes à la fois et, certaines années, d'autres échappent aux incendies. Par ailleurs, à la périphérie d'une ville de 76 761 habitants comme Bertoua, plusieurs golfes de savanes en forêt (d'une surface de 2 à plus de 10 ha) ont été comblés malgré les feux de brousse pratiqués chaque année par les Pasteurs nomades Bororo.

La dynamique spatiale de la forêt ne doit pas faire oublier qu'en même temps, dans ces régions, des surfaces très importantes de forêt dense sont dégradées par les cultures et l'exploitation forestière industrielle. Ces modes d'intervention concourent notamment à un écrémage de la forêt et à une perte de la biodiversité. Toutefois, aucun cas d'installation de la savane à la place de la forêt n'a été observé. Par contre si, à l'avenir, la transgression de la forêt peut compenser, tout au moins en partie, ces pertes d'éléments ligneux, il faut dès aujourd'hui s'inquiéter du rythme de la disparition des savanes. Les savanes sont certainement des écosystèmes moins riches au plan floristique, mais néan-

moins irremplaçables. Elles sont le lieu de prélèvements de certaines plantes utiles pour l'homme (fruits, légumes, tubercules) et, dans la chaîne alimentaire, la grande majorité des mammifères herbivores (hippopotames, buffles, céphalophes, athérures, rongeurs...) en dépendent comme c'est aussi le cas, indirectement, des carnivores.

Il est tout à fait évident que les enclaves de savanes et les déchirures (sous forme de golfe), constatées aussi bien dans le domaine de la forêt continue que dans des massifs forestiers implantés en savane, constituent non pas des témoins d'ouvertures de la forêt, mais plutôt des signes de sa fermeture progressive.

LIMITES CLIMATIQUES ET ZONE DE CONTACT FORÊT-SAVANE DU SUD-CAMEROUN

*Appolinaire ZOGNING**

Située entre 4 et 6° N, la zone de contact forêt-savane du Sud-Cameroun se caractérise par sa coïncidence avec un corridor de déficits pluviométriques plus ou moins accusés. Avec des totaux moyens descendant jusqu'à 1350 mm et des minima qui crèvent assez souvent le plancher de 1000mm, pour une moyenne régionale supérieure à 1500 mm, ces déficits se justifient par deux facteurs principaux: l'orographie et la circulation atmosphérique générale.

Sur le plan orographique, la zone déficitaire est quasi parfaitement axée sur les dépressions des fleuves Sanaga et Noun-Mbam, ce qui les met en position d'abri derrière le bourrelet marginal et la bordure septentrionale du plateau sud camerounais;

Sur le plan de la circulation atmosphérique générale, cette zone est caractérisée par sa coïncidence avec les positions terminales moyennes de deux masses d'air anticyclonique:

✓ d'une part la position extrême méridionale des marges de l'anticyclone saharien avec la zone A du FIT;

✓ d'autre part, la position extrême septentrionale des marges de l'anticyclone de Sainte Hélène avec la zone D du FIT .

✓ l'alternance fréquente et le séjour plus ou moins long de ces deux masses d'air au cours de la petite et de la grande saison sèche entraînent *le cumul d'un double déficit préjudiciable au total pluviométrique annuel.*

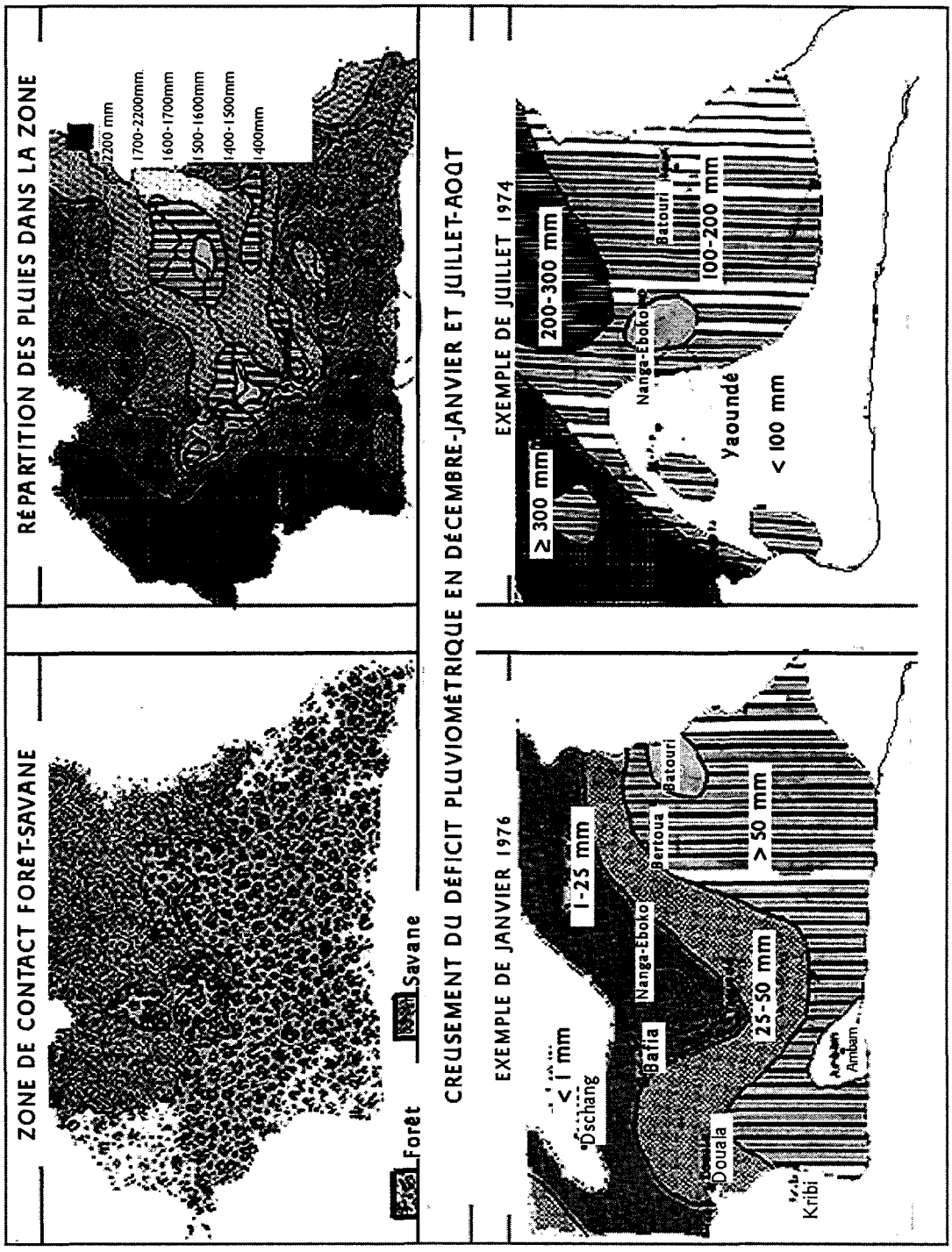
Par ailleurs, au déficit pluviométrique s'ajoute un autre facteur limitant: la coïncidence avec la zone de transition entre le climat équatorial avec quatre saisons et le climat soudanien avec deux saisons. Ainsi, le facteur pluviométrique est succédé ou renforcé par la répartition annuelle des pluies, avec une saison sèche de plus en plus longue et rude vers le Nord.

Comme en témoignent les recrus forestiers observés çà et là, le total pluviométrique actuel, qui varie entre 1350 et 1500 mm n'est pas une limite climatique absolue pour le développement de la forêt. Cependant, au cours des périodes sèches du quaternaire

* Département des Recherches Géographiques - Institut National de Cartographie BP 157 - Yaoundé (Cameroun)

POSTER

récent, ce déficit était certainement beaucoup plus marqué et la forêt a du reculer ou s'ouvrir sensiblement, créant la physionomie actuelle.



HEMET IV

LES *RINOREA* ET L'ÉTUDE DES RÉFUGES FORESTIERS EN AFRIQUE

*Gaston ACHOUNDONG**

Les *Rinorea* (Violacées) sont un groupe primitif exclusif de forêt dense tropicale. L'histoire de leur spéciation et de leur distribution est donc celle de la forêt dense tropicale (Hekking, 1988). Leurs fruits sont des capsules déhiscentes qui à maturité dispersent des graines barochores à très faible distance du pied - mère. Par conséquent leur pouvoir de dispersion est très faible. Les taxons de ce groupe sont très sensibles aux variations climatiques. Ces propriétés font du genre *Rinorea* un matériel de choix comme les *Begonia* de SOSEF (1994), les *Caesalpinioideae* de RIETKERK (1995) pour la recherche et la localisation des refuges forestiers.

La répartition actuelle des *Rinorea africains* permet en effet de délimiter trois centres de diversification au niveau du continent. D'ouest en est et du nord vers le sud on reconnaît.

❖ LA HAUTE GUINÉE OU UPPER GUINEA DE WHITE (1978)

Cette zone recouvre le Liberia, la Sierra Leone la Côte d'Ivoire le Ghana et l'Ouest du Nigeria. Sa limite Ouest est la Cross River.

Elle compte 20 espèces de *Rinorea*. Parmi elles, 7 espèces sont exclusives de cette région et ne se retrouvent pas dans les autres centres de diversification. Le taux d'endémisme est de 35%.

❖ LE SECTEUR NIGERO-CAMEROUNO-GABONAIS (LETOUZEY, 1968, 1985) OU LOWER GUINEA (WHITE, 1978)

Elle recouvre l'Est du Nigeria, le Sud du Cameroun, le Gabon, le Congo. Sa limite Ouest est la rivière Sangha. Elle compte près de 60 espèces de Rinorea. Parmi elles, 40 sont exclusives de cette région. Le taux d'endémisme est supérieur à 66 %.

* Herbier National - BP 1601 Yaoundé

❖ LA RÉGION CONGOLAISE (ZAÏRE) OU CONGOLIA (WHITE 1978)

Elle recouvre le massif forestier central du Zaïre. Elle compte 30 Rinorea dont 15 exclusives de cette zone. Le taux d'endémisme est de 50 %

Le secteur nigero-camerouno-gabonais ou Lower Guinea (White 1978) apparaît comme le plus important centre de diversification des Rinorea en Afrique (et aussi dans le monde). Ici tous les groupes infragénériques africains sont représentés. Comme les Aracées africaines (Patrick Blanc, à paraître) les Rinorea africains en général et ceux de la basse Guinée en particulier ont développé des structures morphologiques non connues des autres centres de diversification. Parmi les plus caractéristiques, on peut citer:

✓ les inflorescences corymbiformes (*Rinorea oblongifolia, R. ledermannii, R. zenkeri R. soyauxii*) corrélées avec un tube staminal en urcéole très profonde;

✓ la fleur solitaire *(Rinorea uniflora* du Gabon et d'Angola).Comme pour les Aracées, ces faits s'interprètent comme preuve d'une origine ancienne et d'une longue évolution dans cette zone.

L'existence des espèces communes aux trois centres de diversification plaident en faveur d'une aire autrefois unie, puis fragmentée lors des phases d'aridification.(Maley, 1987, Schwartz, 1992). Le taux élevé d'endémisme reflète d'une part la faible vitesse d'expansion des espèces de ce genre, d'autre part l'étroite amplitude écologique qui caractérise la plupart des *Rinorea*.

Les grandes différences taxinomiques constatées entre la haute et la basse Guinée sont dues au fait que durant les phases arides successives du Plio-Quaternaire la forêt a presque complètement disparu entre l'est du Nigeria et l'ensemble Ghana, Côte d'Ivoire, Liberia alors qu'elle persistait toujours dans le secteur nigero-camerouno-gabonais (Maley, 1987). En effet, les trois sous-centres de diversifications délimités d'après la répartition actuelle des *Rinorea* correspondent aux principales zones de refuge reconnues par Guillaumet (1967), Maley (1987).

Au Cameroun une cartographie des taxons du genre *Rinorea* permet de préciser la localisation du refuge que Maley (1987,1989) et Sosef (1994) placent au sud de la plaine littorale et de proposer un modèle de refuge pour le plateau sud-camerounais.

Letouzey (1968) a reconnu deux fonds floristiques forestiers, l'un hygrophile et l'autre mésophile. La répartition actuelle des espèces camerounaises du genre *Rinorea* confirme cette division. On distingue les *Rinorea* hygrophiles, des *Rinorea* mésophiles. Cette division suppose qu'aux périodes défavorables le refuge était plutôt fragmenté et composé de plusieurs petites entités.

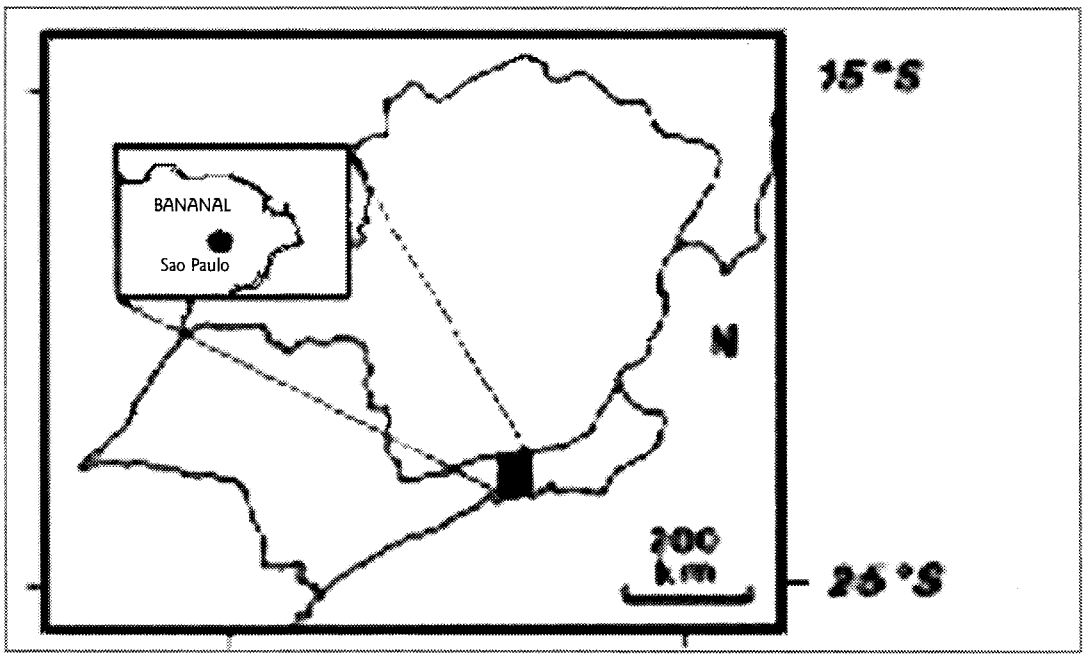
La distribution actuelle des *Rinorea* suggère de localiser les refuges hygrophiles dans la plaine côtière au sud de l'embouchure de la Sanaga, englobant Bipindi et Campo, puis s'étendant vers le Gabon.

Quant aux *Rinorea* mésophiles, ils se seraient réfugiés autour des points humides, probablement près des cours d'eau. Actuellement dans les zones de contact forêts savanes les *Rinorea* n'occupent pas les recrus. Ils sont réfugiés dans les bandes de forêts longeant les cours d'eau, d'où ils ne sortent que très tardivement pour gagner les zones de forêt mature.

POLLEN DATA FROM BANANAL (MIDDLE VALLEY OF RIO PARAIBA DO SUL SP/RJ, BRAZIL) - PLEISTOCENE/HOLOCENE BOUNDARY

M.A. BARROS, O.M. BARTH*, C.L. MELLO**, J.R.S. MOURA****

A survey of the Quaternary stratigraphy carried out in the Bananal region (SP/RJ) in the middle valley of Rio Paraiba do Sul led to the exposure of an aloestratigraphic column from the Late Quaternary, where each defined aloestratigraphic unit corresponds to a principal sedimentary episode (Moura & Mello, 1991). Research based on Pedogenesis, Geomorphology and Palynology gives a possibility to evaluate the development of the landscape during this interval.



Map of the region

Based on this column was chosen a locality in Campinho, the stratigraphic section exposed - Campinho II-C, corresponding to the exposition of a fluvial terrace of sedimentary record preserved in the upper level of the fluvial terrace (T1). In this section are shown, in vertical succession, different clayey sedimentary sequencies, recognized by Moura & Mello (1991) in the mentioned aloestratigraphic column, containing deposits related to the Aloformation Rio das Três Barras (Pleistocene/Holocene boundary) dated to 9570 ± 70 years BP.

* Laboratorio de Palinologia, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CEP : 21.941-900, Rio de Janeiro, Brasil.
** Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CEP : 21.941-590, Rio de Janeiro, Brasil.
*** Départamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, CEP : 21.941-590, Rio de Janeiro, Brasil.

Methodology used for collection, sampling and physical-chemical treatment of the quaternary sediments, counting of the palinomorphs and the presentation of palynological diagrams were made according to the standards of methodology for palynological analysis of quaternary sediments proposed by Ybert *et al.* (1992).

19 levels (166 cm) of a columnar profile were analysed, from which a palynological diagram was obtained. According to the results, two zones in the palynological diagram were established : zone I (A & B) and zone II.

Zone I (levels 1 to 5) is characterized by a more humid initial phase, with a presence of locally marshy/drenched environmental elements : *Zygnema, Mougeotia, Phaeoceros, Cyatheaceae, Thypha* and *Cyperaceae*. These palynomorphs, associated to those of the Poaceae and Asteraceae, give evidence to an open environment vegetation. A reduction of the herbaceous and arboreal components, verified in the end of zone IA, associated to a change in the lithology, indicates an environment with a deficient drainage and/or intensive rains, with deposition of sandy sediments.

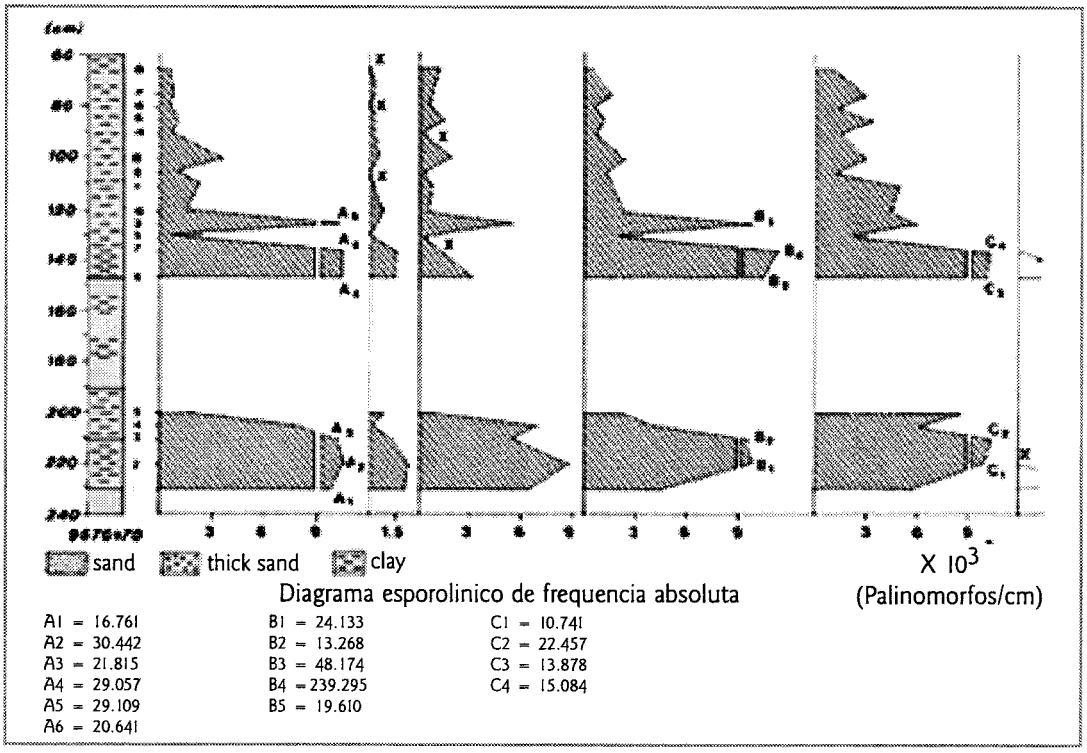


Figure 2- Pollen diagram - Absolute frequency (Palynomorphs/cm^3)

The 1B zone (levels 6 to 9) is characterized by the dominance of the atlantic forest vegetation, with a great variety of pollen types, and by a local vegetation typical of marshy, swampy or drenched environments. In this zone, level 8 is characterized by a drier phaze, with a low frequency of all taxa, probably caused by a climatological event which caused a retraction of the vegetation in general.

Zone II (levels 10 to 18) is characterized by a climatological and vegetational instability, with an predominance of meadow vegetation and atlantic forest vegetation. The local vegetation also varies between more and less humid environments.

❖ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MELLO, C.L. (1992). Tese de Mestrado, Departamento de Geologia, IGEO/UFRJ, 188 p.

MOURA, J.R.S., MELLO, C.L. (1991). Rev. Geoc., 21, 3, p. 236-254.

YBERT J.P., SALGADO-LABOURIAU, M.L., BARTH, O.M., LORSCHEITTER, M.L., BARROS, M.A., CHAVES, S.A.M., LUZ, C.F.P., RIBEIRO, M., SCHEEL, R., VICENTINI, K.R.F. (1992). Rev. Instituto Geologico, 13, 2, p. 47-49.

ENREGISTREMENT SÉDIMENTOLOGIQUE DE LA PHASE SÈCHE D'AFRIQUE ÉQUATORIALE C. 3000 BP PAR LA SPECTROMÉTRIE IR DANS LES LACS SINNDA ET KITINA (SUD-CONGO)

Jacques BERTAUX, Abdelfettah SIFEDDINE*
*Dominique SCHWARTZ**, Annie VINCENS***,*
*Hilaire ELENGA*****

Des carottes de sédiments lacustres ont été prélevées au Congo dans deux contextes différents (figure 1):

✓ Lac Kitina (carotte KT3), situé en bordure du Mayombe, en zone de forêt dense,

✓ Lac Sinnda (carotte SN2), dans une zone de savane comprise entre les massifs forestiers du Mayombe et du Chaillu.

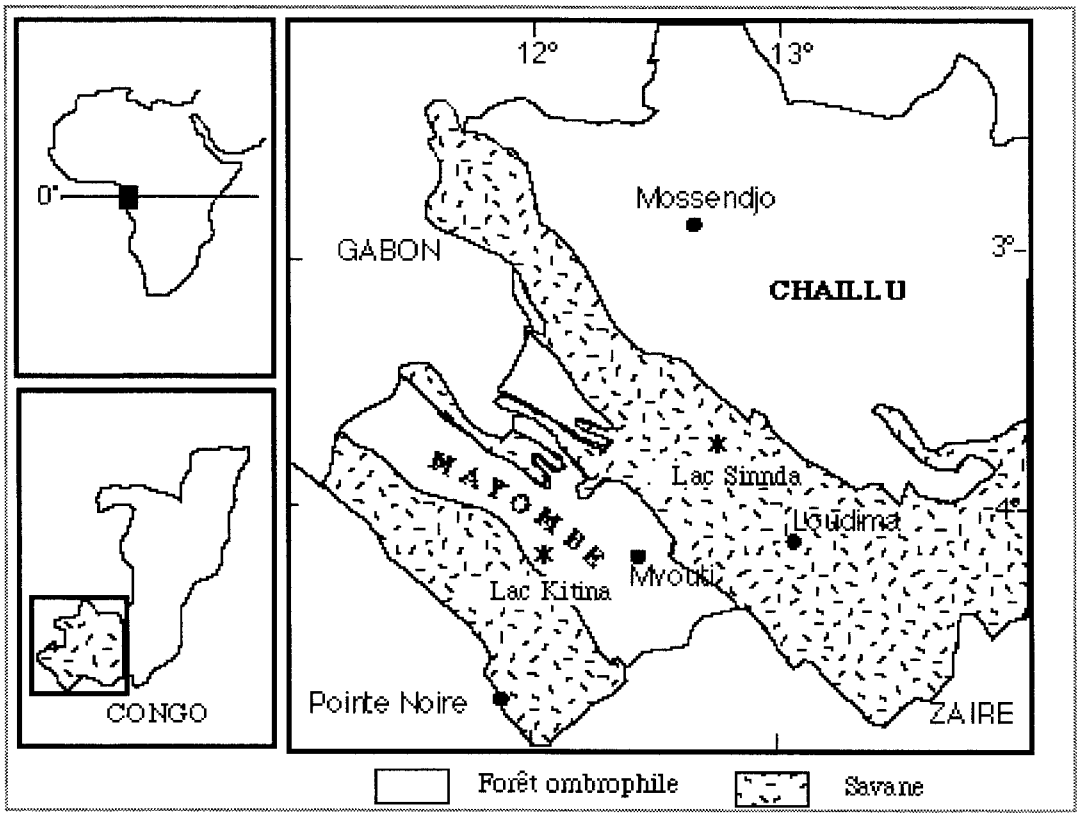


Figure 1: Localisation des lacs Kitina et Sinnda.

* ORSTOM - Département TOA, UR 12 "Géosciences de l'Environnement Tropical"- Centre de Recherche ORSTOM d'Ile de France, 32, Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex
** ORSTOM/CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg Cedex
*** LGQ, CNRS/CEREG, BP 80, 13545 Aix-en-Provence Cedex 04
**** ORSTOM, BP 1286, Pointe-Noire, Congo

Des datations C14 sont disponibles sur ces sédiments, au nombre de sept pour le lac Kitina et de six pour le lac Sinnda (figure 2).

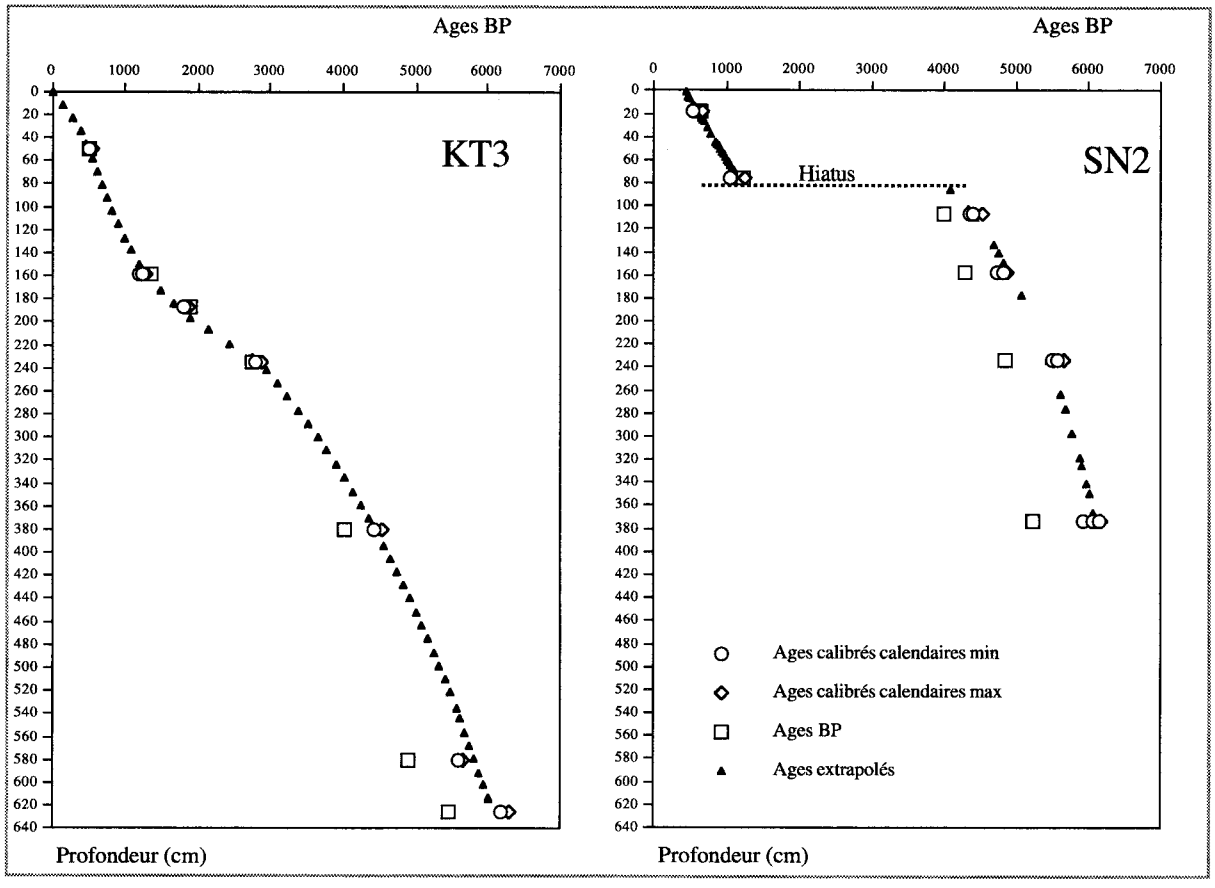


Figure 2: Datations C14 sur les sédiments de SN2 et KT3, ages calibrés calendaires et extrapolation en ages calibrés calendaires BP.

Les ages BP ont été convertis en ages calibrés calendaires BP et extrapolés sur l'ensemble des deux carottes. La répartition des ages calibrés calendaires BP en fonction de la profondeur montre que :

✓ Entre 6000 et 4000 ans BP la sédimentation est continue dans les deux carottes,

✓ entre 4000 et 1200 ans BP, la sédimentation est nulle (Hiatus) dans la carotte SN2, alors que la vitesse de sédimentation ralentie dans la carotte KT3 entre 3000 et 1200 ans BP, avec un changement (accélération) vers 2000 ans BP,

✓ entre 1200 ans BP et l'actuel, la sédimentation redevient continue et quasi constante dans les deux carottes.

Les déterminations des proportions des principaux constituants minéraux par spectrométrie IR et le calcul des ages calibrés sur l'ensemble des deux carottes ont permis de déterminer les flux pour ces principales phases minérales. La figure 3 montre en parallèle l'enregistrement de ces flux au cours des 6000 dernières années sur ces deux sites.

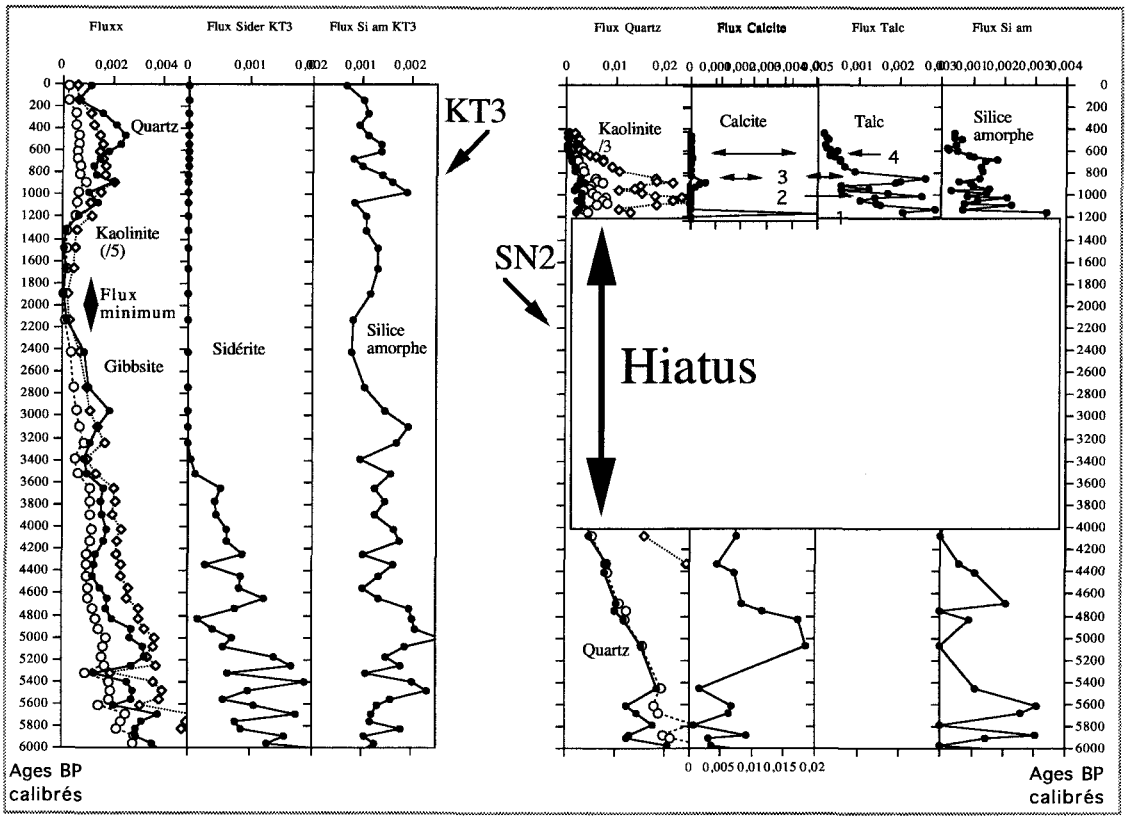


Figure 3: Evolution des flux des principales phases minérales au cours des 6000 dernières années dans les sédiments des lacs Kitina (1) et Sinnda (2).

L'examen des courbes de flux démontre l'intérêt de l'étude de l'évolution des paléoenvironnements sur deux sites de "sensibilités" différentes.

Le fait marquant dans cette région de l'Afrique pour la période de temps considérée est la phase sèche vers 3000 ans BP. Le lac Sinnda est situé dans un secteur très sensible aux changements climatiques, puisqu'il a évolué d'une couverture végétale forestière à une végétation de type savanne; avant 4000 ans BP cal, une évolution de la forêt vers un type caducifolié plus prononcé se traduit en minéralogie par la précipitation accrue de calcite débutant vers 5200 ans cal. A cette époque, les deux sites enregistrent le début de la décroissance des flux détritiques. Cette tendance conduit l'enregistreur de Sinnda, trop "sensible", à cesser de fonctionner (*hiatus*) entre 4000 et 1200 ans cal. Le lac Kitina est dans un secteur moins sensible aux variations climatiques, puisque la végétation est restée forestière tout au long des 6000 dernières années; sur cet enregistreur, on peut déterminer la date marquée par les flux minimum, vers 2000 ans BP cal. A cette époque, on observe un inversement de la tendance et un retour à une augmentation des flux. A 1200 ans BP cal, L'enregistreur Sinnda recommence à fonctionner et les flux deviennent nettement plus important à Kitina, soulignant le bon synchronisme des deux enregistrements. An cours des 1200 dernières années, l'enregistreur "sensible" de Sinnda détecte 4 occurences de calcite dans le sédiment, indices possibles de l'occurence de pulsations plus sèches.

SYNDROMES DE DISPERSION DES PLANTES DE SOUS-BOIS ET AGE DES MASSIFS FORESTIERS

*Patrick BLANC**

L'étude comparative des plantes de sous-bois dans les massifs forestiers tropicaux des trois continents a permis de mettre en évidence quatre syndromes fondamentaux de dispersion dans ce cortège d'espèces :

1. Les espèces "PS", à petites graines (inférieures à 2 mm, souvent pulvérulentes) contenues dans des capsules et dont la dispersion s'effectue surtout à très faible distance par les éclaboussures des gouttes de pluie ; ces espèces sont essentiellement des herbacées inféodées aux substrats inclinés plus ou moins isolés les uns des autres ; elles sont particulièrement sensibles aux contraintes hydriques du fait des petites dimensions des plantules et de l'absence ou de la finesse du substrat d'enracinement.

✓ Les espèces "PD", à petites graines contenues dans des baies dispersées par les vertébrés volants (oiseaux et chauve-souris), également très sensibles à la sécheresse mais dont le mode de dispersion augmente les chances d'atteindre de nouveaux supports d'établissement favorables.

✓ les espèces "GS", à grosses graines (2 à 8-10 mm) contenues dans des capsules et dispersées à faible distance ; elles germent et s'établissent sur le sol forestier de proche en proche et sont moins sensibles aux contraintes hydriques du fait de leur enracinement dans le sol et des dimensions plus importantes des plantules.

✓ Les espèces "GD", à grosses graines contenues dans des baies ou des drupes dispersées par les vertébrés volants à distance variable, avec de grandes chances d'établissement du fait des dimensions des plantules, de leur enracinement dans le sol et des vastes étendues continues de ce support d'établissement.

Ces quatre groupes morpho-fonctionnels sont différemment représentés géographiquement, leur rapport pouvant varier de 1 à 15 pour des pays de surface et de latitude comparables (25 espèces "PS" en Guyane et 386 en Malaisie).

L'auteur formule alors l'hypothèse suivante :

✓ A l'échelle continentale, plus une région est riche en espèces à faible vitesse de dispersion ("PS" et "GS"), plus cette région a présenté des refuges pendant les grands évènements secs du Quaternaire.

* Université Pierre et Marie Curie, Lab. de Botanique Tropicale - 12, rue Cuvier - 75231 Paris cedex 05

✓ A l'échelle des florules locales, plus un lieu est riche dans ces groupes d'espèces, plus il a de chances d'avoir constitué un refuge pendant les évènements secs de l'Holocène.

✓ A l'échelle de la mosaïque forestière, plus un site est riche dans les groupes d'espèces à petites graines et petites plantules fragiles ("PS" et "PD"), plus ce site est considéré comme stable et peu perturbé depuis des périodes récentes (moins de un à deux siècles).

A terme, l'analyse de ces cortèges morpho-fonctionnels des plantes de sous-bois devrait être un moyen rapide pour évaluer l'âge des massifs forestiers, leur vitesse relative de transgression sur les milieux non forestiers, ainsi que leur degré de perturbation.

TERRITOIRES	Nombre total d'espèces d'Angiospermes	Nombre d'espèces d'Angiospermes de sous-bois	PS		GS	PD	GD
			Autotrophes	Saprophytes			
GUYANE 90.000km 2 à 6° N	4.300	640 15%	25 4%	40 6%	89 14%	144 22%	342 53%
GABON Nord-Est 20.000km 0 à 3° N	1.230	329 27%	29 9%	6 2%	65 20%	5 1,5%	224 68%
MALAISIE 130.000km 2 à 6° N	8.000	1.740 22%	386 22%	139 8%	229 13%	159 9%	827 48%
STATIONS SUD-AMÉRICAINES							
RIO PALENQUE (Equateur) 0° N	1.033	264 26%	20 8%	16 6%	14 5%	97 37%	117 44%
NOURAGUES (Guyane) 4° N	1.200	221 18%	11 4%	22 10%	10 4%	74 33%	104 47%
BARRO COLORADO (Panama) 9° N	1.265	216 17%	11 5%	15 7%	13 6%	59 27%	114 53%

Spectres de dispersion chez les plantes de sous-bois

ÉVOLUTION DU COUVERT FORESTIER IVOIRIEN SUR LA PÉRIODE 1950-1990, EN RELATION AVEC LA VARIABILITÉ DU CLIMAT ET LES ACTIVITÉS ANTHROPIQUES

T. BROU YAO, E. SERVAT*, J. E. PATUREL**

La part des forêts denses humides primaires dans le territoire forestier ivoirien a considérablement diminué entre 1955 et 1990.

La figure I présente l'état du couvert forestier en 1955. La figure 2 qui donne une idée des grands massifs forestiers humides restants, est essentiellement orientée vers la cartographie des forêts classées en 1988. Dans cette perspective les forêts du domaine rural n'ont été prises en compte qu'à partir d'une superficie de 1000 ha d'un seul tenant contre 400 pour le domaine permanent de l'état.

En 1956, les surfaces occupées par les massifs forestiers étaient évaluées à environ 12 millions d'ha. 10 ans plus tard, on estimait que seuls 8 millions d'ha étaient intacts, soit une disparition moyenne de 400 000 ha par an. En 1974 les massifs forestiers ne couvraient plus que 5,4 millions d'ha. De 1974 à 1982, la forêt ivoirienne régressait encore de 3 millions d'ha. Aujourd'hui, il ne reste plus qu'environ 2,2 millions d'ha, pour la plupart contrôlés et protégés par l'état.L'examen au niveau local permet de constater que la déforestation est spectaculaire dans certaines régions. C'est le cas notamment de Bongouanou dans le centre-est où le taux d'occupation des forêts non soumises à l'agriculture qui était de 19,7% en 1955 est tombé à 0,2% en 1988. On trouve une situation comparable à l'ouest dans les régions de Oumé et Hiré Watta. Autour de ces 2 localités, les superficies de forêts non soumises à l'agriculture étaient respectivement de 69% et 50% en 1955. En 1988 elles n'étaient plus que de 3% pour Oumé et moins de 1 % pour Hiré Watta.

La dégradation de l'environnement bioclimatique notée au cours de ce dernier quart de siècle se manifeste aussi par une variabilité climatique. En effet au cours des 4 dernières décennies la pluviométrie annuelle a baissé de façon importante. Cela s'est traduit dans les séries pluviométriques, par un changement de moyenne dont la date varie entre 1966 et 1975, ainsi que par un glissement des isohyètes vers le sud-ouest.

La décennie 50 est assez pluvieuse. Le sud forestier ivoirien est alors délimité par les courbes isohyètes 2200 mm sur la position la plus méridionale (à la latitude de Tabou) et 1400 mm à l'extrémité nord (au niveau du "V" Baoulé). L'intérieur du pays et le compartiment montagneux ouest reçoivent des précipitations comprises entre 1600 et

* Antenne hydrologique ORSTOM, 06 b.p 1203, Abidjan 06 Côte d'Ivoire

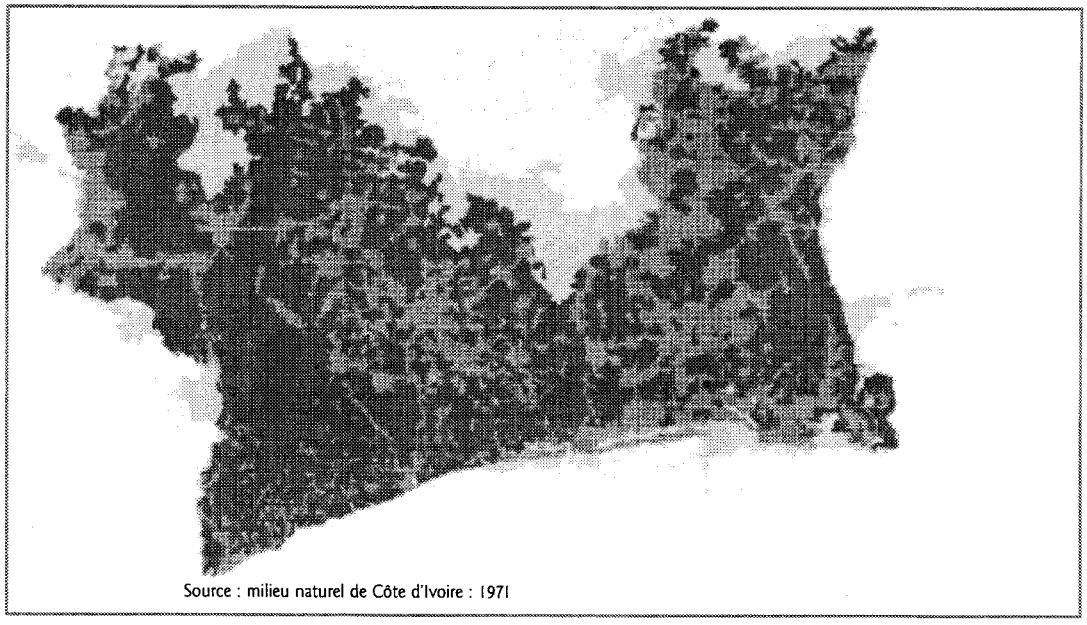


Figure 1- Massifs de forêts denses humides en Côte d'Ivoire en 1955

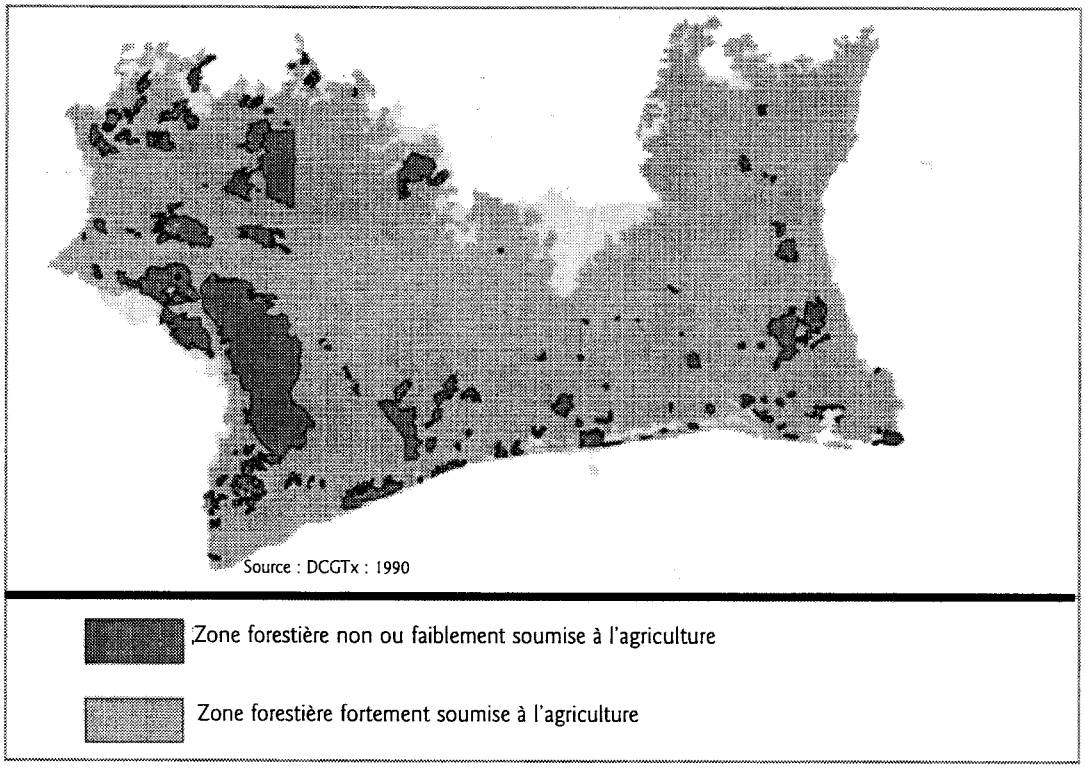


Figure 1- Massifs de forêts denses humides en Côte d'Ivoire en 1988
(Forêts classées + forêts du domaine rural ayant plus de 1000 ha)

1800 mm. Sur le littoral et son arrière-pays immédiat, à l'exception de Sassandra, les hauteurs annuelles dépassent largement 2000 mm.

La décennie suivante reste humide. C'est pendant les années 70 que la baisse de la pluviométrie se fait sentir dans la zone forestière. La quasi totalité des postes témoignent de cette diminution. La zone de pluviométrie inférieure à 1400 mm s'évase alors fortement et occupe près de La moitié du milieu forestier ivoirien. Cette translation vers le sud-ouest de l'isohyète 1400 mm s'accompagne de la disparition presque totale de l'isohyète 1800 mm. Désormais seul le littoral sud-ouest (Tabou) et sud-est (Abidjan, Adiaké) reçoivent des précipitations supérieures à 1800 mm. Cette diminution de la pluviométrie est encore très accentuée au cours de la décennie 80.

L'action de l'homme sur l'environnement forestier peut s'apprécier ici par la mise en culture rapide de la zone forestière. En effet, en plus du développement rapide des cultures d'exportation comme l'hévéa, le palmier à huile, le cocotier, les grumes ainsi que des cultures vivrières, le milieu forestier ivoirien a connu au cours des années 1960 à 1980 un boum cacaoyer qui a servi de moteur à l'ensemble de l'économie ivoirienne. Généralement peu peuplés, parfois vides d'hommes au moment de l'indépendance, ces espaces forestiers ont été l'objet d'un vaste mouvement de colonisation foncière. Jusqu'en 1965, l'immigration de la main d'oeuvre pour la culture du café et du cacao se fait en priorité dans le quart sud-est du pays. Les densités de population rurale comptent parmi les plus fortes de la zone forestière. L'accroissement de la population y est considérable, plus de 5% l'an. Cet apport démographique permet ainsi aux villes comme Agboville, Adzopé et Abengourou de connaître un décollage économique très rapide. Au cours des années 70, l'activité agricole se déplace vers d'autres territoires. Le mouvement migratoire se poursuit, mais de plus en plus en direction du centre-sud et centre-ouest. Les densités de population rurale y sont les plus élevées à ce moment là. Entre 1965 et 1975, la population augmente de 5% l'an. Cela s'est traduit par un rythme accéléré de la mise en exploitation de ces régions au cours de cette période. C'est l'exemple des départements de Divo (centre-sud) et de Daloa (centre-ouest) qui présentent des productions cacaoyères et caféières très élevées. A cette époque dans le centre-est, le niveau des productions se stabilise, du fait de l'épuisement des terres. Les années 80 correspondent à une tendance à l'homogénéisation des densités de population et à la généralisation de l'économie de plantation dans toute la zone forestière. La région du sud-ouest qui était jusqu'en 1975 peu exploité connaît à son tour un essor rapide. Les productions se situent à partir de cette date à des niveaux spectaculaires. En 13 ans (de 1977 à 1989), la production de cacao passe de 2 500 à 135 000 tonnes.

De ce qui précède, on peut noter un certain parallélisme dans les observations faites sur les dernières décennies :

✓ la densification et l'augmentation spectaculaire de la production agricole s'accompagne d'une diminution brutale du couvert végétal,

✓ les grands mouvements migratoires de l'histoire de l'activité agricole se superposent au schéma de l'évolution de la pluviométrie,

✓ le déplacement de la production cacaoyère et caféière suit le glissement des isohyètes

au cours des dernières décennies, du centre-est vers le centre-ouest et le sud-ouest de la Côte d'Ivoire.

Les phénomènes de déforestation, de densification de la production agricole et de diminution de la pluviométrie sont très certainement intimement liés. Mais ces liens de cause à effet ne sont pas tous clairement discernables.

INCIDENTS CLIMATIQUES ET MODIFICATIONS DE L'ÉCOSYSTÈME DEPUIS 3000 ANS EN GUYANE FRANÇAISE ET EN AMÉRIQUE DU SUD

Pierre CHARLES-DOMINIQUE[1], Maria-Lucia ABSY[2], Marie-Pierre LEDRU[3], Bernard RIÉRA[1], Corinne SARDOU[1] Michel SERVANT[3] et Bruno TURCQ[4]

En Amérique tropicale, la répartition des grands types de végétation est relativement bien corrélée avec celle de la pluviométrie:

✓ forêts sempervirentes hyperhumides très grossièrement situées entre les parallèles 6°N et 4°S;

✓ forêts plus sèches, au Nord et au Sud de cette zone (mais incluant également le couloir sec amazonien), plus étendue dans la partie Sud;

✓ formations ouvertes (cerado, caatinga, savanes) situées encore plus au Nord et plus au Sud. Deux sites répartis dans les limites Nord et Sud de l'Amazonie (Roraïma, Carajas), et deux autres dans la zone la plus humide (Guyane à l'Est, et Pérou à l'Ouest), apportent, à partir d'enregistrements sédimentaires et pédologiques des 3000 dernières années, des informations convergentes sur les principaux événements passés. L'exemple de la Guyane sera plus particulièrement discuté, dans la mesure où nous disposons, pour ce site ECOFIT, de données botaniques plus nombreuses.

Les forêts tropicales humides sont composées d'une mosaïque de petites unités juxtaposées les unes à côté des autres, chacune représentant un stade de maturation plus ou moins avancé. Le point initial de ces éco-unités correspond à la chute accidentelle d'un gros arbre, ou chablis, "moteur" de la régénération forestière. Dans l'ouverture ainsi créée démarre une phase d'installation et de croissance de plantes à durée de vie plus ou moins longue. L'évolution de ces unités tend vers une structuration architecturale, du sous-bois à la voûte, liée à la pénétration de la lumière. L'analyse des peuplements végétaux des forêts naturelles traduit assez bien, dans son ensemble, les mécanismes de cette sylvigénèse qui est donc basée sur l'occurrence de petits accidents plus ou moins régulièrement répartis dans le temps et dans l'espace. Cependant, un certain nombre d'anomalies ne trouvent pas d'explications satisfaisantes sur la seule base de ces mécanismes de la régénération, observables actuellement. Il faut donc envisager d'autres types d'explications, faisant intervenir des événements de bien plus grande ampleur pour avoir bouleversé les écosystèmes forestiers en y laissant des traces, longues à disparaître. L'hypothèse des paléoincendies, qui s'appuie sur les découvertes récentes des pédologues et des géologues, permet d'aborder les mécanismes de la régénération forestière et de sa structure sous un nouvel angle, en prenant également en considération des phénomènes apparaissant bien plus rarement que les chablis, à une autre échelle de temps et d'espace.

1 Laboratoire d'Ecologie Générale, MNHN, URA 1183, 4 av du petit Château, 91800 BRUNOY
2 CPBO/INPA, Alameda Cosme Ferreira, 1756, C.P. 478, 69083-000 Manaus, Amazonas BRESIL.
3 ORSTOM, 32 av Henri Varagnat, 93143 BONDY
4 ORSTOM, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, BRESIL

L'analyse qui en découle offre également une meilleure base pour l'interprétation des répercussions d'anomalies climatiques sur les écosystèmes.

La réaction des végétaux étant plus ou moins lente à se réajuster, selon les espèces considérées, il est donc possible d'analyser "l'empreinte" d'événements majeurs, même très lointains, qui auraient laissé une trace dans la végétation actuelle. Cela concerne aussi bien la répartition de formations végétales, la distribution des espèces, la structure des peuplements, ou bien celle des populations.

❖ RÉPERCUSSION D'ÉVÉNEMENTS ANCIENS SUR LA VÉGÉTATION ACTUELLE

Les formations ouvertes, sur roches, appelées localement "savanes roches" sont localisées pour la plupart dans le Sud du pays, entre 100 et 300 Km de la côte (quelques unes existant à 20 Km du littoral). Leur étude par Corinne SARTHOU met en évidence certaines espèces communes aux savanes côtières, mais aussi, d'autres espèces qui leur sont propres, strictement liées à ces formations. De façon manifeste les "savanes sur roches" sont actuellement en phase d'envahissement par la forêt et tous les stades intermédiaires de cette reconquête existent. Cependant, la reprise est lente, nécessitant la reconstitution d'un sol qui est formé, dans ses premiers étapes, à partir des seuls éléments de la roche mère dénudée et des algues cyanophycées fixatrices d'azote (SARTHOU, 1992). La pente et l'intensité des ruissellements retardent considérablement cette recolonisation dont la vitesse est très variable selon la topographie, et probablement nulle dans certaines parties. Il est donc difficile d'estimer l'âge de ces formations ouvertes et surtout celui des zones adjacentes, mais il est vraisemblable qu'elles ont toujours existé (dans la mesure où elles hébergent des espèces qui leur sont propres) et qu'elles ont dû subir des extensions variables au cours du temps. Les épisodes glaciaires ont dû certainement correspondre à leur maximum d'extension, en favorisant le décapage d'une grande partie des sols forestiers préexistants, jusqu'à la roche mère. Après la reprise forestière, les phases plus récentes de sécheresse/incendies ont dû raviver périodiquement ces formations, et donc en maintenir un grand nombre qui, sans cela, seraient probablement déjà refermées.

Les forêts dites "de transition" sont des formations assez basses, à physionomie particulière, le plus souvent installées à la périphérie des "savanes sur roches" (LARPIN, 1993). Leur nom vient du fait qu'elles gagnent du terrain sur les savanes sur roches, et qu'elles en perdent au contact de la grande forêt humide. Cependant, elles hébergent leur propre cortège floristique (près de 200 espèces qui ne se retrouvent pas dans les formations adjacentes), argument permettant de les considérer comme faisant partie d'une formation distincte, et non pas comme un simple gradient de transition. Ces forêts, bien adaptées à certaines contraintes de sécheresse, auraient pu avoir une extension plus importante dans le passé et représenteraient, dans leur répartition actuelle, des poches relictuelles, au même titre que les savanes incluses existant en forêt dans d'autres régions. Deux autres types de formations végétales, les forêts à lianes et les formations à bambous (appelées localement "cambrouses") sont peut-être à classer dans cette catégorie, mais, faute de données précises sur leur dynamique, il est difficile de s'avancer

pour l'instant. Par ailleurs, l'analyse des faunes mammaliennes montre la présence de plusieurs espèces jumelles ne différant que par des caractères subtiles (cuspide d'une molaire, atrophie d'une dent). Ces espèces ont une biologie pratiquement identique, si ce n'est que, pour chaque paire d'espèces, l'une vit en grande forêt et l'autre dans les zones marginales (bordure des savanes côtières, bordures des marécages côtiers, forêts de transition) (Brosset et al, in press). Ces milieux « marginaux » existeraient donc depuis suffisamment longtemps pour avoir permis une telle spéciation.

Une grande partie des espèces végétales guyanaises ont un mode de dissémination par zoochorie, processus faisant intervenir des vertébrés frugivores capables de transporter leurs graines à grande distance. Cette "image" de la composition floristique actuelle fait plutôt penser à des forêts fréquemment perturbées, composées pour l'essentiel de plantes capables de reconquérir rapidement le terrain. Il existe cependant un petit nombre d'espèces arborées, à faible rayon de recolonisation, non associées à des animaux frugivores (plantes autochores). Ces espèces sont le plus souvent distribuées de façon agrégatives, très hétérogènes, ce qui ne peut pas être expliqué à la lumière des seuls mécanismes de la régénération forestière observés aujourd'hui. L'hypothèse retenue est que ces arbres, à l'occasion des derniers paléo-incendies, auraient été éliminés sur de grandes surfaces et seraient actuellement en phase d'extension, à partir de "microrefuges" épargnés par le feu. Le travail de cartographie des arbres, sur 1 km2, entrepris à la station des Nouragues (80 ha déjà répertoriés), met en évidence des zones qui pourraient correspondre à d'anciens "microrefuges" (bas-fonds humides et proximité des sources émergeant des points hauts de l'inselberg). Des études plus fines sur les structures de populations montrent que les vieux individus sont situés au centre de ces agrégats, et les plus jeunes principalement en périphérie.

❖ L'ÉROSION SOUS FORÊT

L'épaisseur de la voûte forestière, la couche de litière, ainsi que le mat racinaire superficiel rendent l'érosion pratiquement nulle dans les sous-bois forestiers, tout au moins pour les éléments grossiers. La perte de matière se fait principalement sous forme de substances dissoutes dans les eaux qui ruissellent ou s'infiltrent (perte de l'ordre d'1 mm d'épaisseur de sol par an). Les lits de cours d'eau sont les seuls endroits où une érosion est observable, principalement au moment des fortes pluies. Des études récentes faites à la station des Nouragues (M. SERVANT), mettent en évidence des terrasses alluviales, tout le long du cours, qui n'ont pu se former qu'à la faveur d'intenses érosions, impossibles à imaginer dans la situation actuelle de couverture végétale. Une première terrasse (basse terrasse, d'1m d'épaisseur) recouvre des arbres morts sur pied, d'âges variables (4310 à 1390 BP), ainsi que des feuilles mortes (datation en cours), des petits fragments de charbon, et des graines, le tout déposé dans des lits d'argile accumulés en feuillets dans la partie inférieure. Ces graines correspondent principalement à des espèces pionnières, Melastomataceae et *Cecropia obtusa, C. sciadophylla*, signe de perturbations importantes de la forêt. Une deuxième terrasse, plus haute (environ 3 m) et plus ancienne ne peut être datée pour l'instant. De telles alluvions n'ont pu se déposer qu'à la faveur d'une érosion intense, ce qui implique nécessairement une déforestation de grande ampleur que, seuls, des incendies peuvent expliquer. L'analyse de la tourbière

située plus en amont (voir poster) montre également les traces de plusieurs épisodes de forte érosion (2 à 3 lits de sables et graviers inclus dans la base de la couche de tourbe).

❖ FEU ET SAISON SÈCHE

L'apparition d'incendies est normale dans les régions périphériques de l'Amazonie où ils peuvent se produire de nos jours, au cours de saisons sèches particulièrement drastiques comme en 1987 dans le sud du Brésil. Par contre le phénomène est surprenant dans les forêts hyper humides comme celles de Guyane où les incendies sont inconnus de mémoire d'homme. Cependant, en une occasion, lors de la saison sèche très marquée de 1992, le feu de certains abattis s'est propagé en forêt sur une dizaine de mètres. Il faut rappeler que c'est pendant la saison sèche, très ensoleillée en Amérique du Sud, que le déficit hydrique est le plus prononcé. C'est donc pendant cette période que les arbres souffrent de pertes en eau et peuvent devenir susceptibles de brûler en cas d'assèchement ou de baisse importante des nappes phréatiques. Les incendies enregistrés en Guyane traduiraient donc des anomalies de la saison sèche, vraisemblablement prolongées sur un plus grand nombre de mois, et cela pendant plusieurs années consécutives pour que les réserves hydriques du sol diminuent.

❖ INCENDIES ET PLANTES PIONNIÈRES

Les incendies se sont-ils produits au cours de longues périodes, ou bien s'agit-il d'événements brefs et rares ? En effet, les charbons servant à doser le taux de C14, quand il proviennent d'une forêt mature, correspondent à du bois formé et stocké sur pied durant une période d'au moins 200 ans. Si l'on ajoute à ces 200 ans d'incertitude l'écart statistique de la mesure, il devient difficile de savoir s'il s'agit d'un événement ponctuel unique, ou bien s'il s'agit de plusieurs incendies survenus pendant ce laps de temps. La végétation pionnière qui recolonise habituellement les espaces nouvellement ouverts et qui doit donc normalement suivre ces incendies, est composée d'une majorité d'espèces à croissance rapide et vie relativement brève (10 à 30 ans pour la plupart) qui, dans des conditions normales, sont progressivement remplacées par les espèces de la grande forêt. En cas de dessèchement, les forêts secondaires pourraient très bien constituer un bon combustible mais il est alors peu probable qu'elles laissent beaucoup de gros charbons du fait de la nature de leurs bois qui sont très tendres. En outre, les analyses stratigraphiques faites à Carajas et aux Nouragues indiquent la présence de plantes pionnières pendant des périodes étendues sur plusieurs siècles, laissant penser qu'il s'agirait plutôt d'incendies périodiques assez rapprochés, mais laissant tout de même à la forêt le temps de se reconstituer.

❖ LES PERTURBATIONS ENREGISTRÉES EN AMAZONIE AU COURS DES 3000 ANS PASSÉS

Il est important de savoir si de tels incidents sont localisés à une région, ou bien s'ils se

retrouvent sur une vastes surface, ce qui indiquerait alors une liaison avec des anomalies du climat. En Guyane, les analyses sédimentologiques des pollens, graines, et charbons montrent de façon manifeste deux périodes principales : **1400 à 2000 BP** d'une part, et **600 à 900 BP** d'autre part, l'épisode le plus récent étant cependant moins important. Des événements montrant des perturbations de l'écosystème se retrouvent également sur les quatre sites, et apparemment pendant les mêmes périodes, quoique plus étalées dans les limites Nord et Sud, indiquant bien qu'il s'agit de phénomènes apparus à l'échelle du continent:

A Carajas (forêts sèches), d'une part des charbons ont été trouvés dans les sols, datés entre 2880 et 2080 BP et d'autre part des lits de micro charbons ont été retrouvés dans des sédiments lacustres entre 900 et 600 BP.

Dans le Roraïma, les analyses palynologiques indiquent un passage de la forêt sèche vers un milieu mixte forêts/savanes aux alentours de 2000 BP, et des charbons (d'espèces forestières ?) ont été trouvés dans les sols occupés actuellement par des savanes.

Au Pérou (forêts humides), les variations du débit des cours d'eau, étudiées par les alluvions, font apparaître une baisse du niveau des rivières entre 1900 et 1500 BP d'une part, et entre 900 et 600 BP d'autre part.

❖ CAUSE DES INCENDIES: CLIMATIQUES OU HUMAINES ?

La question se pose de savoir si l'homme a profité de perturbations climatiques favorisant les incendies pour pénétrer en forêt et y développer une agriculture (Hypothèse N° 1), ou bien si les incendies et la prolifération de plantes pionnières ne seraient pas uniquement la conséquence d'une agriculture sur brûlis, intense, corrélative d'une forte démographie entre 2000 - 1400 BP et 900 - 600 BP (Hypothèse N° 2). Les événements antérieurs à 3000 ans (sans présence humaine évidente) montrent que des processus naturels peuvent très bien aboutir à des incendies de la forêt pluvieuse. (Renvoi à l'exposé de C. TARDY pour la reconnaissance des types de feu et à B. TURC pour les périodes plus anciennes). En outre, la mise en évidence de terrasses alluviales sous forêt indique une érosion subite et généralisée, impossible à imaginer sans une déforestation de très grande ampleur, correspondant vraisemblablement au hiatus antérieur à 1400 BP observé dans le carottage réalisé plus en amont (voir poster). Seuls des incendies peuvent expliquer une déforestation à cette échelle, ce qui milite en faveur de l'hypothèse N° 1.

❖ CONCLUSION

Les études fonctionnelles s'attachant à la répartition des espèces et à leur distribution spatiale au sein des écosystèmes forestiers tropicaux ont, jusqu'à présent, principalement abordé les problèmes à deux échelles différentes de temps et d'espace.

✓ A l'échelle locale, le fonctionnement du cycle sylvigénétique, et en particulier le rôle moteur du chablis, ont été privilégiés pour expliquer la structure et la dynamique de la mosaïque forestière. Ici les mécanismes envisagés se déroulent à une échelle d'espace inférieure au Km2, et à une échelle de temps comprise entre 1 et 10^2 années.

✓ A l'échelle continentale et régionale, c'est la théorie des refuges forestiers holocènes qui constitue le cadre théorique permettant de proposer des interprétations cohérentes des aires de répartition de différentes espèces. Dans ce cas de figure, l'échelle d'espace est de l'ordre de 10^4 à 10^8 Km2, et l'échelle de temps se situe entre 10^4 et 10^6années.

Ces deux approches n'apportent de réponses cohérentes qu'à leurs échelles d'espace et de temps respectives. L'approche faite dans le cadre du programme ECOFIT, à l'échelle du paysage et du millénaire, devrait permettre, en s'intercalant entre deux échelles de temps et d'espace très différentes, d'intégrer des événements historiques de type incendies, suffisamment importants pour avoir marqué la structure des peuplements forestiers. Ces événements semblent être corrélés avec ceux qui ont été repérés sur plusieurs sites d'Amérique tropicale et pourraient être interprétés comme la conséquence d'anomalies climatiques au niveau global.

CARACTÉRISATION DES MILIEUX FORESTIERS PASSÉS, EN GUYANE, PAR L'ANALYSE DES GRAINES DE PLANTES PIONNIÈRES DANS UN CAROTTAGE

*Pierre CHARLES-DOMINIQUE, Sylvie JOUARD**

La végétation pionnière des forêts tropicales est formée d'espèces héliophiles à croissance rapide et vie relativement brève, qui sont les premières à s'installer dans les ouvertures nouvellement créées (Aubréville, 1947; Bazzaz & Pickett, 1980). Cette stratégie de colonisation est associée aux caractéristiques suivantes:

✓ production d'un très grand nombre de graines de toute petite taille (Prévost, 1983),

✓ distribution relativement homogène de ces graines par des petits animaux frugivores (oiseaux et chauves-souris) qui les disséminent à quelques centaines de mètres dans leurs fientes (Charles-Dominique, 1986),

✓ adaptations physiologiques des graines leur permettant de rester en dormance dans les sols jusqu'à l'apparition de conditions d'illumination favorables, consécutive à une ouverture de la canopée (Whitmore, 1975-1983; Uhl & Clark, 1983, de Foresta & Prévost, 1986),

✓ téguments suffisamment résistants leur permettant de survivre dans les sols forestiers durant la période de dormance.

Ces caractéristiques font des graines d'espèces pionnières de bons indicateurs des perturbations de l'écosystème forestier environnant. En effet, la "pluie de graines" (toutes espèces pionnières confondues) est 10 à 15 fois plus importante dans les forêts secondarisées qu'en forêt primaire (de Foresta *et al.* 1984). Par ailleurs, la relative bonne résistance de leurs téguments prédisposent ces graines à une longue conservation dans les sédiments, et leurs formes, associées à des ornementations particulières, permettent de les déterminer au niveau générique, et très souvent au niveau spécifique.

❖ CARACTÉRISTIQUES DE LA ZONE DE CAROTTAGE

Les carottages ont été pratiqués par L. Martin sur le site des Nouragues (Guyane), région couverte de forêt tropicale humide intacte, inhabitée depuis environ deux siècles. A l'occasion de prélèvements destinés à une étude palynologique (voir poster de M.P. Ledru) deux carottes de 86 et 103 cm ont été réservées à la recherche des graines. Le site choisi est une « pinotière », formation marécageuse où la strate supérieure est principalement occupée par le palmier "pinot" *Euterpe oleracea* (Arecaceae) et le "Manil" *Symphonia*

* Laboratoire d'Ecologie, MNHN, CNRS (URA 1183), 4, avenue du Petit Château, 91800 Brunoy, France

globulifera (Clusiaceae). Le sous-bois y est clairsemé, colonisé par quelques plantes herbacées comme *Asplundia heteranthera, Cyclanthus bifida* (Cyclantaceae), *Anthurium sp, Spathiphyllum sp* (Araceae), *Ischnosiphon sp.* (Marantaceae). Le substrat, "tourbe épaisse", gorgée d'eau, est composé de débris de fibres et de matières organiques accumulées sur une grande épaisseur. Même pendant les fortes pluies, l'écoulement de l'eau est lent, surtout dans les parties les plus larges de la pinotière où elle est évacuée autant en s'infiltrant au travers de cette matière spongieuse que par un réseau de petits chenaux anastomosés où le courant reste toujours très faible. Contrairement à la majeure partie des pinotières qui occupent les bas-fonds, celle-ci est située presque au sommet d'un plateau, à près de 40 m au-dessus du niveau du système hydrographique auquel elle est reliée par un ruisseau franchissant une série de petites cascades. Une étude récente menée par M. Servant a mis en évidence la présence, en aval, de deux terrasses alluviales anciennes, actuellement entaillées par la crique principale et témoignant d'anciens épisodes d'érosion/dépôt intenses dans la région. La pinotière étudiée est composée de deux unités distinctes, l'une (P1), de 50 m de large et 4750 m2 de surface, recevant les eaux d'un bassin versant de12 ha, l'autre (P2), de 40 m de large et 7250 m2, recevant les eaux d'un bassin versant de18 ha. Ces deux unités confluent dans une troisième (P3) de 100 m de large et 13625 m2 de surface, correspondant à un drainage total de 51 ha. Le déversoir du dernier bassin est encaissé entre deux pentes abruptes encombrées de gros blocs de latérite. Le fond de ces pinotières est rempli par plusieurs mètres d'épaisseur d'une argile plus ou moins riche en matière organique, surmontée de 80 à 150 cm de tourbe. Une à deux couches fines de sables, graviers et petits cailloux sont intercalées entre les argiles et la tourbe. La recherche des graines a été faite dans la couche de tourbe dont la base repose sur l'un des lits sableux.

❖ MÉTHODES

Chaque carotte a été divisée en tranches de 1 cm d'épaisseur, conservées dans des sacs en matière plastique, à une température de 4°. La recherche des graines a été faite sous loupe binoculaire sur la totalité de l'échantillon, sans traitement préalable. La carotte 92/2bis, de 86 cm, provient du bassin P1 et la carotte 92/4bis, de 134 cm, du bassin P3. Seuls les résultat obtenus en P1 seront présentés car l'échantillon issu de P3, bien que reflétant les mêmes tendances que le premier, contenait trop peu de graines.

Cinq datations AMS ont été effectuées sur des petits lots de graines, chacun provenant de la même profondeur: - 1390 ± 60 ans BP à 86 cm, - 1290 ± 90 ans BP à 85 cm, - 1230 ± 42 ans BP à 68 cm, - 695 ± 48 ans BP à 38 cm, - 336 ± 40 ans BP à 20 cm (Béta analytic et Université d'Utrecht, données en âges calibrés). Les taux de sédimentation calculés sont les suivants: - 1,1 à 3 mm/an entre 86 et 68 cm, - 0,056 mm/an entre 68 et 38 cm, - 0,056 mm/an entre 38 et 20 cm, - 0,059 mm/an entre 20 et 0 cm. Ce taux semble donc important dans le bas de la carotte, zone surmontant les graviers, puis plus faible mais homogène tout au long de la carotte.

❖ RÉSULTATS

7237 graines, dont 5617 appartenant à 14 espèces pionnières reconnues, ont été dénom-

brées: 4592 Melastomataceae (9 espèces des genres Henriettea, *Henriettella, Bellucia et Miconia*), 618 *Piper* (types de graines correspondant aux espèces héliophiles comme *P. hostmannianum* et *P. aduncum*, difficiles à distinguer l'une de l'autre, mais bien distinctes des *Piper* de sous-bois), 131 *Solanum*, 267 *Cecropia obtusa*, 29 *Cecropia sciadophylla*, 42 *Cecropia palmata*. Il faut signaler la présence d'une espèce abondante, non encore déterminée (sp8, 1148 graines) dont la distribution est identique à celle des *Solanum* et des *Piper*, ainsi que 124 Cyclantaceae, espèces non pionnières liées aux zones humides et dont les graines sont réparties régulièrement le long du profil.

Les périodes suivantes peuvent être distinguées: - **1400 à 1200 ans**, abondance des *Piper, Solanum* et *Cecropia palmata* (à remarquer que cette espèce, abondante dans les grands défrichements côtiers n'existe actuellement pas sur le site des Nouragues). - **1200 à 900 ans**, faible quantité de graines pionnières. - **600 à 900 ans,** pic de Melastomataceae, accompagné de *Cecropia* et quelques *Solanum* et *Piper*. - **600 à 300 ans**, diminution progressive de ce pic, avec prédominance de quelques Melastomataceae. - **300 ans à l'actuel,** très peu de graines de plantes pionnières.

❖ INTERPRÉTATION

Les événements suivants, incluant deux périodes de fortes perturbations forestières, peuvent être déduits à partir de la nature et de l'abondance relative des espèces pionnières :

✓ Depuis la base de la carotte, c'est-à-dire 1390 ans BP, jusqu'à 1200 ans BP, de très grandes perturbations apparaissent, faisant probablement suite à une période plus longue, non analysée ici, et marquée par les sédiments grossiers sur lesquels s'appuie la couche de tourbe. L'étude pollinique faite par M.P. Ledru, confirme cette interprétation, et la dernière terrasse alluviale observée en aval du bassin versant pourraît correspondre à cet épisode.

✓ Entre 1200 et 900 ans BP, on observe un retour à des conditions proches de celles régnant actuellement.

✓ Entre 900 et 600 ans BP, on observe des perturbations d'un type différent, diminuant progressivement de 600 jusqu'à 300 ans BP. La dominance des *Cecropia obtusa* et des Melastomataceae, et l'absence ou la rareté des *Solanum* et *Piper* font plutôt penser à une abondance de chablis dont l'origine peut aussi bien être régionale (changement du régime des vents) que locale (installation de forêts à lianes dans le secteur). Cependant, rien n'est connu sur les processus conduisant à l'installation d'une forêt de lianes. Ces perturbations pourraient également être interprétées comme étant d'origine anthropique, mais il est difficile d'expliquer la forte diminution des plantes pionnières à partir de 600 ans BP alors que les témoignages historiques indiquent une présence des amérindiens aux Nouragues au 17ème siècle, suivie de leur disparition dans le courant du 18ème.

✓ Entre 300 ans et l'actuel, on se trouve dans une situation proche du présent.

L'utilisation des graines d'espèces pionnières pour l'analyse des flores passées s'avère être une voie intéressante, surtout si elle est associée à d'autres approches, en particulier la palynologie. Les connaissances acquises sur la biologie des plantes pionnières et sur les modes de dispersion de leurs graines permettent une analyse plus précise de la végétation, plutôt à l'échelle du paysage qu'à l'échelle régionale. Cependant, la plus grande fragilité des graines limite l'utilisation de cette méthode aux sédiments les mieux conservés, et le nombre de graines, bien inférieur à celui des pollens, demande une adaptation technique par l'augmentation de la section des carottages et par un système de tri sélectif plus efficace.

❖ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUBRÉVILLE, A., 1947, Bois et Forêts des Tropiques, 2, pp. 24-35.

BAZZAZ, F.A. & PICKETT, S.T.A.,1980, Ann. Rev. Ecol. Syst., 11, pp. 287-310.

CHARLES-DOMINIQUE, P., 1986, In Frugivores and seed dispersal. Estrada, A. and Fleming, T.H. eds, pp. 119-135.

FORESTA, H. DE; PRÉVOST, M.F., 1986, Biotropica, 18, pp. 279-286.

FORESTA, H. DE, CHARLES-DOMINIQUE, P., ÉRARD, C., PRÉVOST, M.F., 1984, Rev. Ecol. (Terre et Vie), 39, pp. 369-400.

PRÉVOST, M.F. 1983, Rev. Ecol. (Terre et Vie), 38, pp. 121-145.

UHL, C. & CLARK, K., 1983, Bot. Gaz. 144, pp. 419-425.

WHITMORE, T.C., 1975, Tropical rain forest of the Far East. Oxfort University Press, XIII: 282 p.

WHITMORE, T.C., 1978, In Tropical trees as living systems, Tomlison, P.B. & Zimmermann, M.H. eds. Cambridge University Press, pp. 639-655.

WHITMORE, T.C., 1982, In The plant community as a working mechanism. Blackwell Scientific Publ., 45-59.

WHITMORE, T.C., 1983, Forestry abstracts, 44, 767-779.

EVOLUTION DES RELATIONS SPATIALES ENTRE FORÊT ET AGRICULTURE ENTRE 1955 ET 1995 VIETNAM, PROVINCE DE LAM-DONG

Sonia DARRACQ et Bernard ROLLET**

Avec une amplitude altitudinale d'environ 2 000 mètres, la province de Lâm-Dong est pourvue d'une végétation très variée : forêts denses de plaine et d'altitude, forêts marécageuses, forêts semi-décidues, forêts sèches à Diptérocarpacées, forêts de *Pinus*, ainsi que tous les stades de secondarisation de ces formations, avec en particulier des bambouseraies et des pseudo-steppes. En 1956, la carte de la végétation de l'ensemble du Sud-Vietnam avait été réalisée à partir de l'interprétation de photographies aériennes panchromatiques au 1/40 000ème (IGN, 1954) et de nombreuses missions de terrain.

Avant 1954, dans la province de Lâm-Dong, l'exploitation forestière pour les besoins locaux et les cultures d'altitude (agriculture vivrière, thé) avaient peu entamé la végétation ou modifié les paysages. Depuis 1955, l'installation de plusieurs centaines de milliers de réfugiés venant du Nord combinée à certains faits de guerre (épandage de défoliants), ont transformé en profondeur ces paysages et ces formations forestières, souvent très loin des grands axes de communication. Une évaluation de ces modifications est réalisée par la comparaison des situations de 1955 à 1995, l'état actuel des relations forêt/culture étant estimé en termes de surface et de forme à partir de l'interprétation d'images satellitaires récentes.

En 40 ans, la surface forestière a non seulement fortement diminué, elle s'est également beaucoup morcelée au profit des cultures vivrières et des plantations de thé ou d'hévéas. C'est pourquoi la proportion qui est restée intacte fait actuellement l'objet de mesures de protection (parc National). C'est d'autant plus important que cette partie du Vietnam est remarquable par sa grande biodiversité végétale et en particulier par sa richesse en Gymnospermes, inhabituelle en zone intertropicale.

* Institut Français de Pondichéry P.B. 33, 11 St. Louis Street, Pondichery 605001, Inde - Tél. : 91 413 34 170, Fax : 91 413 39 534

POSTER

PATTERNS OF TREE SPECIES DIVERSITY IN VIEW OF SOIL AND LANDSCAPE DIFFERENTIATION AND THE QUATERNARY HISTORY OF NW AMAZONIA

*Joost F. DUIVENVOORDEN, Johanna M. LIPS**

It becomes increasingly better documented that the rain forests of the Amazon basin in Ecuador, N. Peru and Colombia are extremely rich in tree species. This richness is particularly concentrated in upland forests (tierra firme) on well drained soils, which cover about 80% of NW Amazonia.Most of these upland soils are developed in Pleistocene, Tertiary or older sediments, which implies that fluvial processes (disturbance, sedimentationprocesses, etc.) play only a minor role in explaining tree species diversity patterns.

Interpretations of remote sensing imagery suggest that NW Amazonia is covered by a high number of different forest types. These interpretations carry further the "modern ecology" hypothesis of Gentry, who suggested a causal link between soils and associated forest type differentiation and the exceptional high levels of tree species alpha diversity. Extensive field data from an integrated soil and forest survey of the middle Caquetá area in the central part of Colombian Amazonia show that soil differentiation in well drained uplands is only modest. Tree species beta diversity along soil gradients is low and soils explain only a small proportion of the tree species composition in the well drained uplands.These results are incompatible with the "Gentry" model. Instead, they suggest that NW Amazonia is covered by only few upland forest types with a relatively widespread occurrence due to good spatial mixing of treespecies. According to this model the high levels of tree species diversity in NW Amazonia stem from high Tertiary forest diversity in lowland Amazonia. Extinction may have been limited by favourable conditions formaintenance of tree species diversity in NW Amazonia throughout the Pleistocene (extended Napo refuge).

Both models have important implications for planning (especially of forest reserves for protection of local endemics). Palaeo-ecological research (corroborating the assumed continuous forest cover in NW Amazonia and analysis of changing plant diversity and taxon migration patterns) as well as phytogeographic studies (spatial patterns of forest composition at meso-to megascale) are needed to test basic assumptions.

* Hugo de Vries laboratoryUniversity of Amsterdam Kruislaan 3181098 SM Amsterdam The Netherlands

PHASES D'OUVERTURES DE LA FORÊT GUYANAISE DÉTECTÉES PAR L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE AU COURS DE L'HOLOCÈNE

*Marie-Pierre LEDRU**

La Guyane française est située dans une région où les précipitations annuelles sont supérieures à 3 000 mm dans sa partie nord-est entre 4 et 6° de latitude Nord. La saisonnalité est définie par les déplacements de l'ITCZ (Zone de Convergence InterTropicale) ou équateur météorologique de part et d'autre de l'équateur géographique. Deux courtes saisons sèches sont enregistrées en mars et en octobre. Ces précipitations élevées la situent dans une zone où la forêt n'aurait pas pu disparaître pendant les périodes sèches du dernier maximum glaciaire ou de l'Holocène enregistrées dans d'autres régions d'Amazonie (Carajás, Rondônia...) : cette zone est appelée "refuge" par les paléoécologistes. La Guyane est encore aujourd'hui presque entièrement recouverte par de la forêt dense équatoriale et une étude sur l'évolution des écosystèmes forestiers intertropicaux au cours des derniers millénaires dans cette région pourra permettre de définir l'impact des changements climatiques globaux sur ce couvert végétal.

Des carottes destinées à l'analyse des grains de pollen et des graines ont été prélevées sur 3 pinotières (bas fond marécageux à *Euterpe oleracea* (Arecaceae) vulgairement appelé pinot) sur le site des Nouragues (4°5' N lat., 52°40'W long., 150 m alt.) et près de la piste de Saint Elie.

L'analyse palynologique de la carotte NO 92-2 a montré que la forêt amazonienne était présente dans cette région au cours des 3 derniers millénaires avec une ouverture vers 1500 ans BP marquée par une diminution de la fréquence des pollens d'arbres et l'augmentation des *Cecropia*, arbre pionnier de milieu ouvert. Cette ouverture aurait duré plusieurs centaines d'années (300 environ). De 1 000 à 500 ans BP environ, la forêt est de nouveau bien développée et une deuxième ouverture est de nouveau enregistrée entre 600 et 500 ans BP attestée par le retour des *Cecropia*. Nous avons également remarqué que la composition en espèces de la forêt est sensiblement différente avant et après l'ouverture de 1 500 ans BP. L'étendue spatiale de ce phénomène est précisée à l'aide de l'analyse de 2 autres carottes, l'une située à quelques dizaines de mètres seulement de la première, NO 92-3 et l'autre éloignée de plusieurs centaines de km, SE 92-2 à proximité de la piste Saint Elie. Le problème de l'origine anthropique ou naturelle de ces ouvertures de la forêt sera également discuté.

* ORSTOM, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex

ESTUDOS PALINOLOGICOS NA LAGOA DE CIMA, RIO DE JANEIRO, BRASIL.

C.F.P. da LUZ, O.M. BARTH*, L. MARTIN**, B. TURCQ***, J.M. FLEXOR*****

❖ INTRODUÇÃO

A Lagoa de Cima é o local de aporte de aguas e sedimentos que circulam na microbacia do rio Imbé, uma das contribuintes à planicie deltaica do rio Paraiba do Sul (Argento, 1987), no municipio de Campos, norte do Estado do Rio de Janeiro (Fig. 1). A lagoa, distando 50 km da linha de costa para oeste, tem cerca de 12,5 km2 de area e topografia de fundo praticamente plana, apresentando proEundidade média em torno de 2 m (Prô-Agro, 1975). A regiao de estudo apresenta indices ombrotérmicos, refletindo ao lado do oceano e na baixada um clima quente e umido, com estaçao seca mais ou menos rigorosa no inverno e outra chuvosa nos meses de verao e primavera (com mais de 80% da acumulaçao das precipitaçoes), enquanto que nas encostas e no alto da serra faixas de clima mais umido e amenizado pela altitude ocasionam chuvas abundantes durante quase todo o ano (Bernardes, 1952). Na baixada ocorrem as formaçoes vegetais

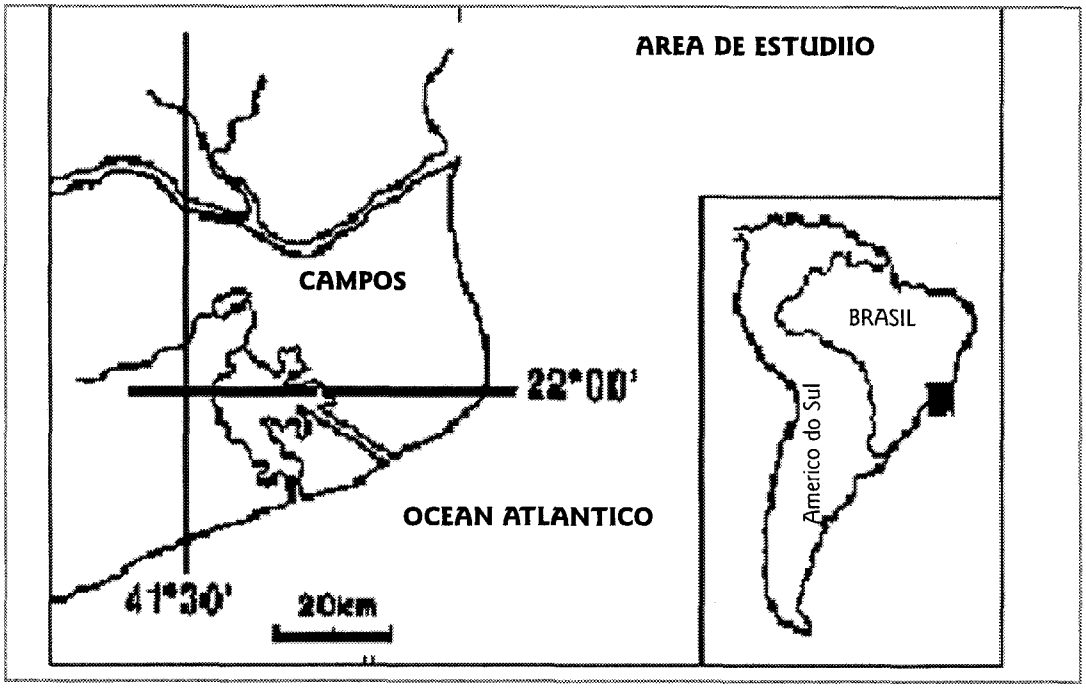


Fig. 1- Area de estudio

* Lab. de Palinologia (IB/UFRJ) */ Instituto de Geociências (IG/IFRJ)
** ORSTOM, Centre de Bondy, França
*** ORSTOM / UFF, Depto. de Geoquimica
**** Observatorio Nacional

do tipo pioneiro de restinga, areas de campo, florestas higrôfilas e floresta tropical estacional semidecidual, na serra e encostas, a floresta tropical ombrôfila densa (Projeto Radambrasil, 1983).

❖ MATERIAL E MÉTODOS

Foi coletado um testemunho de sondagem de 417 cm de comprimento (RJ-92/6), da parte ao nordeste da lagoa, proxima à saida de suas aguas, com o auxilio de um vibro-testemunhador-leve (Martin & Flexor, 1989, no prelo). Neste testemunho foram realizadas 3 amostragens para datações radiocarbônicas nos laboratorios de Bondy-França, atingindo na base a idade de 6100 i 100 anos AP (Bondy 1355) e no topo 5470 i 6Q anos AP (Bondy 1357). Até o presente momento foram analisadas 10 amostras de 1 cm cada, retiradas de diferentes niveis do testemunho, de acordo com a metodologia proposta por Ybert *et al.* (1992). A cada amostragem foram adicionadas pastilhas de esporos de *Lycopodium* para calculo da frequência absoluta dos palinomorfos.

❖ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram estabelecidas 2 zonas para os intervalos analisados, da base para o topo: Zona I (niveis 1-5) e Zona II (niveis 6-10).

A Zona I foi caracterizada por uma fase inicial (niveis 1-2) de retraçao geral da vegetaçao (tipos arboreos, herbaceos e outros tipos polinicos), acompanhada pelas baixas frequências de esporos de Bryophytas, Pteridophytas e algas, com posterior incremento nas concentraçoes dos tipos (niveis 2-4). Durante a expansao da vegetaçao, os tipos locais (Cyperaceae e Typhaceae) apresentaram frequências progressivamente altas. A frequência das algas foi baixa durante toda a Zona I. A presença de Pseudoschizaea nos niveis 3 e 5 corroboram a possivel diminuiçao do espelho d'agua do lago, constituindo-se suas margens em pântanos.

Na Zona II, inicialmente, ovorreu uma retraçao geral da vegetaçao, seguida pelo incremento das concentraçoes dos palinomorfos. Na parte superior do testemunho, os niveis analisados apresentaram altas concentraçoes dos tipos arboreos indicando a instalaçao da Mata, e a alta frequência dos esporos e das algas pode ser atribuida a uma condiçao climatica umida. Acima do nivel 10, até o topo do testemunho, o sedimento é constituido somente de areias.

❖ CONCLUSÕES

O clima mais umido foi atribuido à Zona II; essa conclusao baseou-se nas altas concentraçoes de esporos e algas, sendo que os tipos arboreos mais frequentes nesta zona se podem enquadrar nas florestas tropicais ombrôfilas densas de terras baixas e planicies

aluviais, onde provavelmente essa formaçao vegetal teve uma maior expansao na regiao durante essa fase. Os tipos arboreos da Zona I, apresentando uma maior frequência de espécies pioneiras, representariam uma fase instavel na instalaçao da vegetaçao.

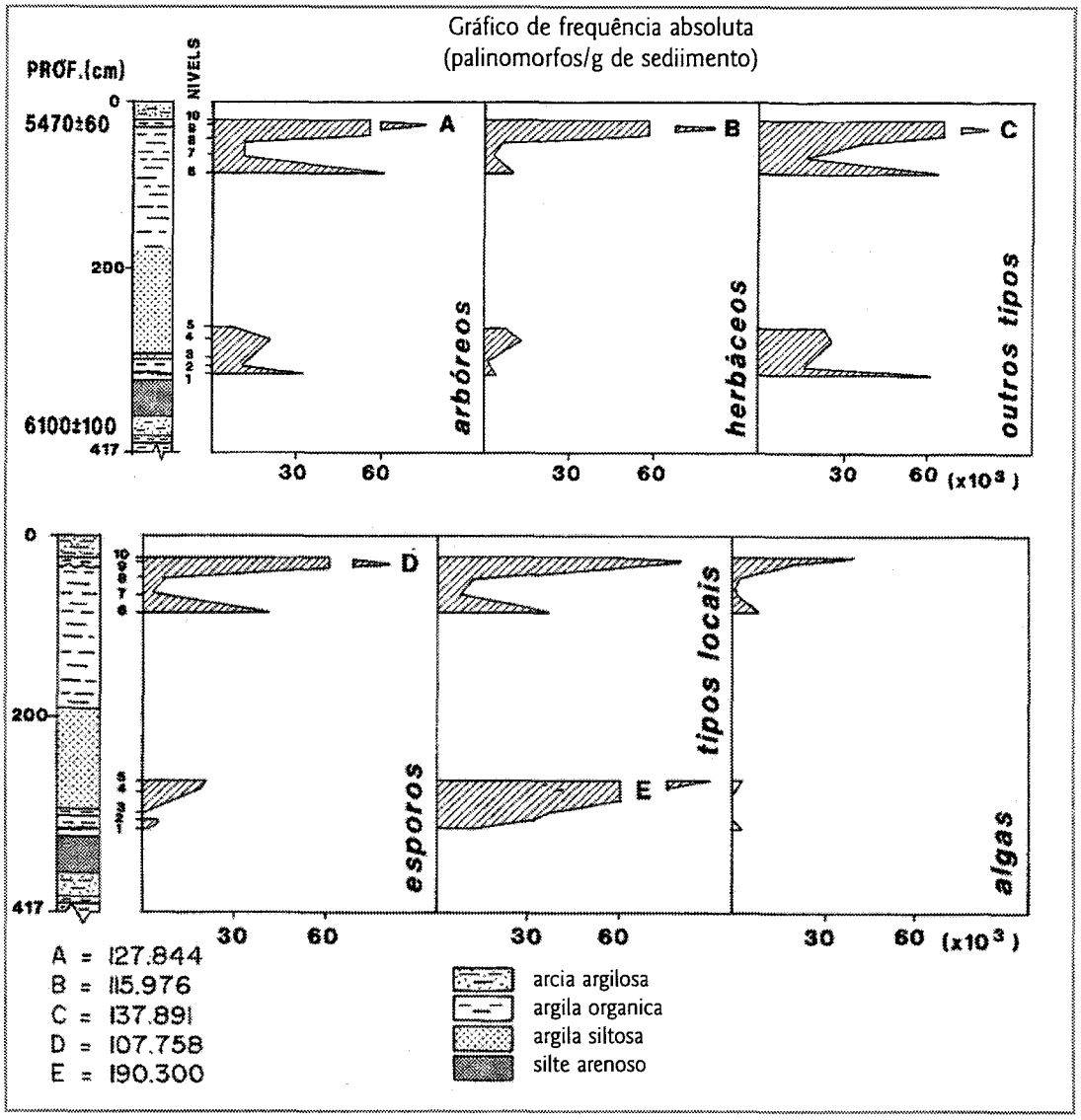


Figure 2

❖ REFERÊNCIAS

ARGENTO, M.S.F., 1987, A contribuiçao dos sistemas Cristalino e Barreira na formaçao da Planicie Deltaica do Paraiba do Sul. Tese de doutorado, UNESP-Rio Claro.

BERNARDES, L.M.C., 1952, Tipos de clima do Estado do Rio de Janeiro. Rev. Bras. Geografia, ano XIV, n° 1, Rio de Janeiro, p: 57 - 80.

MARTIN, L. & FLEXOR, J-M., 1989, Vibro-testemunhadorleve:construçao,utilizaçao e

possobilidades. II Cong. da Assoc. Bras. de Estudos do Quater., Publ. Esp. n° 1, Rio de Janeiro, 16 p.

MARTIN, L. & FLEXOR, J-M., 1989, Vibro-testemunhadorleve: construçao, utilizaçao e possibilidades. II Cong. da ASSoc. Bras. de Estudos do Quater., Publ. Esp. n° 1, Rio de Janeiro, 16 p. (no preloPRÔ-AGRO, 1975, Estudos das possibilidades da Lagoa de Cima, Campos. Fundaçao Norte Fluminense de Desenvolvimento Regional.

RADAMBRASIL PROJETO, 1983, Levantamento de recursos naturais. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetaçao, Uso Potencial da Terra. Folhas SF 23/24 -Rio de Janeiro - Vitoria. vol. 32, Publ. MME, 78 p.

YBERT, J.-P., SALGADO-LABOURIAU, M.L., BARTH, O.M., LORSCHEITTER, M.L., BARROS, M.A., CHAVES, S.A.M., LUZ, C.F.P., RIBEIRO, M., SCHEEL, R. & VICENTINI, K.R.F., 1992, Sugestoes para padronizaçao da metodologia empregada em estudos palinologicos do Quaternario. Rev. Inst. Geologico, 13, 2, p: 47 -49.

VARIATIONS HYDROLOGIQUES DU LAC OSSA (OUEST CAMEROUN) AU COURS DES 5000 DERNIÈRES ANNÉES À PARTIR DE L'ÉTUDE DES DIATOMÉES

François NGUETSOP, Simone SERVANT-VILDARY**

Les variations bathymétriques du lac Ossa durant les 5000 dernières années sont déterminées par l'étude des diatomées contenues dans les sédiments de la carotte OW4 (555 cm de profondeur), prélevée par D. Wirrmann. La chronologie est basée sur 8 datations AMS effectuées sur sédiment organique. Au total, 77 échantillons ont fait l'objet d'une analyse du contenu en diatomées, ce qui correspond à une résolution temporelle de 63 ans pour cette séquence continue dont l'âge de la base est estimé à environ 4800 ans BP. Les teneurs en diatomées fluctuent entre 0,02 et 10,4 $x10^7$ frustules par gramme de sédiment sec.

Les 166 taxons inventoriés ont été séparés en cinq grands groupes en tenant compte du mode de vie de chaque espèce : les planctoniques, les tychoplanctoniques, les épiphytes et les aérophiles. Nous représentons ici les variations des pourcentages relatifs des espèces planctoniques au cours du temps. Les forts pourcentages suggèrent des niveaux lacustres élevés.

Une première période (de ca 4800 à ca 2500 ans BP) voit une décroissance progressive du pourcentage des planctoniques. Les plus faibles pourcentages observés, entre 4300-4000 ans et entre 3200-2600 ans BP, suggèrent des épisodes de bas niveaux lacustres. Les périodes de plus hauts niveaux lacustres (entre 4800- 4600 ans BP et entre 4000-3150 ans BP) se distinguent par des espèces planctoniques dont les affinités aux conditions trophiques sont différentes, d'abord oligotrophe (4800-4400 ans BP) le lac après une période de baisse de niveau, devient eutrophe (4000-3150 ans BP).

La deuxième période (ca 2500 ans BP à la période sub-actuelle) est caractérisée par des variations de plus grande ampleur et à plus courte échelle de temps des pourcentages des diatomées planctoniques. Les phases de plus bas niveaux (à ca 2200, 2000, 1200, 800 et 200 ans BP) sont caractérisées par des espèces différentes. A ca 2200, 2000 et 1200 ans BP, les espèces benthiques deviennent dominantes, alors qu'à ca 800 et 200 ans BP, *Fragilaria* (tychoplanctonique) identifie un retour à des conditions proches de celles identifiées vers 4100 et 2800 ans BP. Entre 800 et 200 ans BP, on note un retour à des conditions oligotrophes, similaires à celles enregistrées entre 4800 et 4400 ans BP.

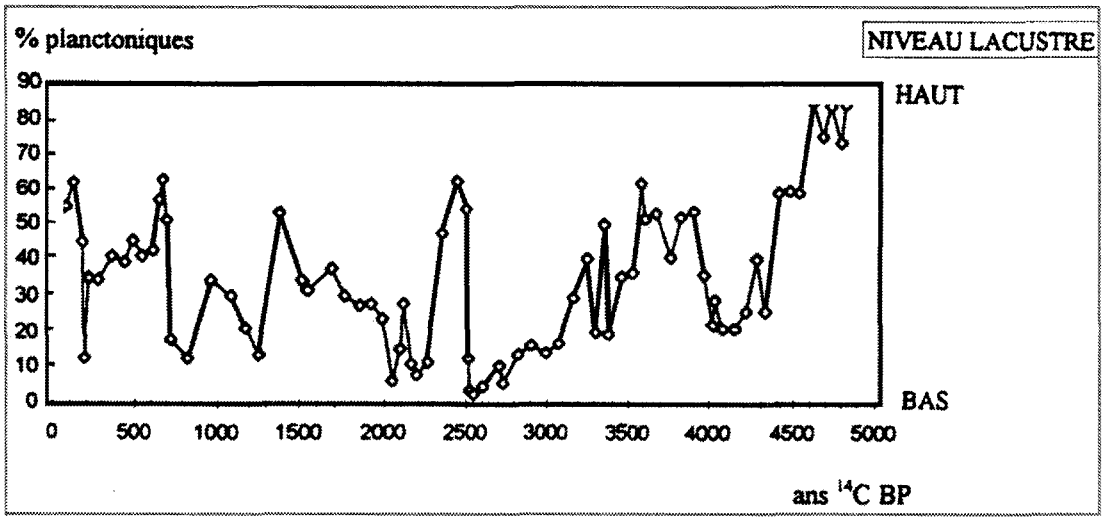
L'étude de la flore de diatomées montre que :

* ORSTOM, Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle,43 rue Buffon 75005 Paris

✓ le lac a connu des variations de profondeur mais ne s'est jamais asséché,

✓ en moyennes annuelles, le plan d'eau a fluctué faiblement autour des valeurs proches de l'actuel

✓ les conditions climatiques avant et après 2500 ans BP n'ont pas été de même type.



ÉVOLUTION DE LA VÉGÉTATION ET DU CLIMAT DU SUD-OUEST CAMEROUN DEPUIS 8200 ANS B.P D'APRÈS L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE DE SÉDIMENTS LACUSTRES (LAC OSSA)

*Isabelle REYNAUD-FARRERA**

L'analyse palynologique détaillée de trois sondages prélevés dans le lac Ossa, situé à basse altitude au coeur des forêts ombrophiles du sud-ouest cameroun, apporte de nouvelles informations quant à l'histoire botanique et climatique de cette région depuis 8200 ans BP. La microflore pollinique inventoriée, riche et très diversifiée, indique la persistance de l'environnement forestier durant toute cette période. Trois phases majeures d'évolution des paléoenvironnements de cette région d'Afrique peuvent être proposées.

De 8200 à 2700 BP environ, la composition microfloristique montre une relative stabilité paléoenvironnementale, avec toutefois, à partir de 4770 BP, un développement plus marqué de la forêt sempervirente biafréenne caractérisée par la famille des Caesalpiniaceae. Le climat, plus chaud et plus humide qu'actuellement apparaît comme le facteur dominant dans le contrôle du développement des formations végétales. De plus, fait inattendu, la forêt afromontagnarde à *Podocarpus latifolius* et *Olea capensis* est également représentée dans les spectres polliniques de cette période. L'extension de cette végétation à moyenne altitude pourrait trouver son origine dans le développement et la persistance de brouillards dans des zones géographiquement et topographiquement favorables.

Vers 2770 BP, une modification majeure du paysage apparaît. On assiste à un remplacement de la forêt primaire par une forêt secondaire riche en arbres pionniers et à une régression puis une disparition des forêts montagnardes. Malgré une influence anthropique croissante, cette perturbation, également mise en évidence dans d'autres sites de l'Afrique centrale atlantique, est essentiellement attribuable à une aridification du climat.

A partir de 700 BP, le climat devenant plus humide, on assiste à l'installation des végétations actuellement présentes dans la région du lac Ossa.

* Paleoenvironnements et Palynologie. Université Montpellier 2, Montpellier 34095

EPERUA FALCATA : UN CAS DE DISTRIBUTION SPATIALE EN RELATION AVEC LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES RÉCENTS

Bernard RIERA et Armelle JOLY**

Les anomalies à la fois dans la distribution spatiale et la répartition des classes de diamètre de certaines espèces (de Granville 1992) peuvent permettre d'observer des modifications de végétation dans les périodes récentes des dernières décennies ou derniers siècles.

❖ MÉTHODES

Pour les arbres des relevés commencés en 1992 ont été réalisés sur 60 ha dans un carré d'un kilomètre de côté. Des parcelles d'un hectare ont été délimitées sur lesquelles tous les arbres de plus de 30 cm de diamètre ont été positionnés au mètre près par carrés de 10 m par 10 m. Ces arbres ont été numérotés, étiquetés et identifiés au nom vernaculaire. Leur diamètre a été mesuré à 1,3 m de hauteur (DBH). Les relevés ont pris en compte tous les individus de plus de 10 cm de diamètre pour quelques espèces choisies, en tenant compte de leur type de dissémination. Il s'agit pour les espèces barochores d'*Eperua falcata*, *E. grandiflora*, *Vouacapoua americana* et *Carapa procera* et pour les espèces zoochores de *Cecropia spp*, *Pourouma spp*, *Inga spp* et *Neea sp.*

❖ RÉSULTATS

Les données de terrain (position des arbres, diamètre et nom vernaculaire) sont saisies dans des carnets pour chaque hectare cartographié. Les données sont ensuite introduites dans une base de données regroupant toutes ces informations. Cette base de données comporte plus de 15 000 arbres.

De plus, sur une bande de 100 m x 1000 m, tous les arbres ont été identifiés à l'espèce (ou un herbier a été collecté afin d'identification ultérieure).

La distribution spatiale des espèces et la distribution en classe de diamètre ont été étudiées pour certaines (*Eperua falcata* et *Vouacapoua americana*).

* MNHN, CNRS URA 1183, Laboratoire d'Ecologie Générale, 4 Av du petit château, 91800 BRUNOY

La distribution d'*Eperua falcata* montre un net gradient qui s'éloigne de la rivière et des petits cours d'eau affluents. Les plus gros diamètres se trouvent à proximité des cours d'eau principaux ou secondaires alors que les petits diamètres s'observent plus loin et pénètrent d'avantage sur les reliefs. Des prélèvements de charbon de bois effectués dans cette zone montre que l'extension de ces espèces étaient beaucoup plus importantes sur toute la zone. Des conditions climatiques plus sèches ont probablement concentré cette espèce, qui aime une certaine humidité à proximité des cours d'eau et une situation plus humide favoriserait actuellement une extension de cette espèce. Les conditions climatiques n'étant plus un handicap à sa présence, le seul frein à son extension est son mode dispersion assez lent (stricte barochorie).

Les structures en classes de diamètre de cette espèce sont équilibrées. Ce n'est pas le cas à la station de la Piste de St Elie. Dans cette station la distribution d'*Eperua falcata* est plus uniforme et couvre l'ensemble de la zone étudiée. Le déficit observé dans la classe de 20 à 29 cm de diamètre pourrait être le résultat d'une sécheresse plus importante il y aurait environ une cinquantaine d'années.

Pour *Vouacapoua americana*, l'analyse de la distribution de la population met en évidence plusieurs sous-populations (Joly, 1995). Les histogrammes de classes de diamètre sont différents au sein de ces sous-populations. Les mécanismes de régénération sont aussi différents. Une des populations est en déclin, les plantules âgées sont moins nombreuses et le nombre d'individus morts y est très élevé. L'autre population a des plantules âgées et peu d'individus morts, les gros diamètres sont moins nombreux. La barochorie et la phénologie très particulière de cette espèce en sont probablement la cause, sous l'action de conditions climatiques.

MEGATRANSECT LIBCI (400 KM) : MODÉLISATION EN CONTINU DU GRADIENT FLORISTIQUE ARBORESCENT DANS LES FORÊTS DE PLAINE DU SE LIBÉRIA ET SW CÔTE D'IVOIRE

*R.S.A R. VAN ROMPAEY**

MOTS-CLEFS

forêt tropicale - composition floristique - analyse factorielle de correspondance - krigeage - Afrique de l'Ouest - forêt à Caesalpinioideae

Le changement graduel de la composition des forêts de la côte pluvieuse vers l'intérieur du pays a été décrit par plusieurs auteurs en Côte d'Ivoire, au Ghana et au Libéria. Les critères différentiels habituels étaient les taxons arborescents de grande taille. Depuis quelques années ces typologies sont aussi fondées sur des relevés traités numériquement et qui utilisent notamment l'analyse factorielle de correspondance. Je présente ici une méthode d'interpolation spatiale des résultats d'une telle analyse de correspondance, ce qui permet de modéliser le gradient de composition sans être obligé de le découper en types.

Le long d'un megatransect de 400 km de longueur, appelé LIBCI, j'ai utilisé les résultats des inventaires forestiers nationaux qui ont été effectués au Libéria entre 1960 et 1970 et en Côte d'Ivoire entre 1970 et 1980. A ces époques, les forêts inventoriées étaient encore peu exploitées et l'identification des arbres était parfois effectuée par des forestiers plutôt que par des taxonomistes. Pour compléter l'image j'y ai ajouté l'inventaire de trois parcelles étudiées par le premier auteur et situées dans le Parc National de Tai et deux parcelles de H.J. Woll et J Poker côté Libéria, proche du Cavally. Le transect LIBCI prolonge le transect SALT (Savannes à Long Terme de J.-C. Menaut) qui vient d'être sélectionné par IGBP comme un des treize transects terrestres sur le globe.

Les sites et les espèces ont été arrangés suivant le gradient principal climatique de pluviosité décroissante du Sud-Ouest au Nord-Est à l'aide d'une analyse factorielle de correspondance. Pour ce faire, les 53 plus grandes espèces arborescentes ont été utilisées. Ensuite, les scores des sites sur l'axe principal ont été placés sur la carte et des courbes d'égale composition floristique ont été tracées à l'aide de la méthode du krigeage pour l'interpolation spatiale. Ce modèle peut être utilisé pour modéliser les fluctuations des zones de végétation et du climat dans le passé et dans le futur. Son avantage est d'être basé sur les arbres de grande taille dont on retrouve pour pas mal d'espèces le pollen dans des sédiments exploités par les palynologues, et d'être numérique (échelle de 0 à 240) et extrait de manière objective et unique par l'AFC

* Université Agronomique de Wageningen, Postbus 8010, NL-6700 ED Wageningen, Pays-Bas

Les résultats montrent un gradient en courbe sigmoïde avec un point d'inflexion qui correspond au changement d'un relief montant de façon monotone à partir de la mer jusqu'à une topographie ondulante avec de larges vallées. Au Libéria, près de la mer, on trouve des forêts riches en Caesalpinioideae (*Tetraberlinia tubmaniana, Didelotia brevipaniculata, Loesenera kalantha,* etc.) dans la partie la plus pluvieuse du gradient. De telles forêts n'existent ni en Côte d'Ivoire ni au Ghana. Ce n'est qu'au Cameroun et Gabon qu'ont été décrites des forêts comparables. Le taux élevé de spéciation qui s'est produit entre-temps dans chacune des deux aires de cette forêt à Caesalpinioideae suggère une séparation beaucoup plus longue que celle supposée pour les forêts sempervirentes des secteurs occidental et congolais des forêts guinéennes.

ENVIRONMENTAL AND CLIMATIC HISTORY OF THE EASTERN KIVU AREA (ZAIRE) FROM 30 KA TO PRESENT

*Jürgen RUNGE**

The recent palaeoenvironmental research activities and climatic modelling on the tropics in Africa have shown that there might had been severe climatic turning points during the Quaternary resulting in sometimes strong ecological modifications of the environment. But it must be stressed on the fact, that a lot of these conclusions are hypothetically and indirectly ones which were adopted to the humid tropics from more semi-humid to semi-arid areas of the northern, western and southern parts of Africa. It is obviously true that there is still a great lack of detailed and large scale observations realting on geomorphological and pedological studies in the central parts of Africa.

Numerous of pedological and sedimentological analysis on deeply weathered soil profiles and sediment layers in the Kivu region of eastern Zaire, completed by the study of LANDSAT-TM satellite data, resulted in the conclusion that the overall remarkable stratigraphic features as stone-lines, hill-wash like covering soil sediments (dated up to 2000 y. BP) and incorporated, intensively weathered former trees dated up to 18 000 y. BP within the mottled and pallid zone of these soils profils are indicating to strong environmental changes of climate and of morphodynamic processes during the late Quaternary. Today these landscapes are covered by a vegetation of primary rain forest. Therefore the assumption of many botanists of the stability of rain forest vegetation in "core-areas" during the last glaciation seems to be a very relative one.

Furtheron it is shown that the soil forming material seems to be mostly allochtonous, e.g. the result of fluvial and in parts also aeolian accumulative processes that had taken place within extended alluvial deposition areas. These former alluvially built up zones are still to be recognized from satellite images.

RUNGE, J., 1995, Z.Geomorph. N.F., Berlin, Stuttgart, Suppl.-Bd. 99, 65-74.

POSTER

* FB 1: Physical Geography, University of Paderborn, D-33095 Paderborn

ÉVIDENCE DE DEUX PHASES DE FORMATIONS DANS LES "MEGA" TOURBIÈRES DÉRIVÉES DE FORÊTS PLUVIALES DE BORNÉO

R.G. SIEFFERMANN, M. FOURNIER*,*
*J.O. RIELEY**, S.E. PAGES****

❖ INTRODUCTION

Près de la moitié des tourbières de l'île de Bornéo sont situées à Kalimantan dans la partie indonésienne de l'île ; elles couvrent 80 000 km2, essentiellement dans la zone côtière, à moins de 60 m d'altitude (Andriesse, 1974, Driessen & Soepraptohardjo, 1974).

Contrairement aux tourbes des régions boréales et tempérées, qui se forment à partir de plantes de petite taille, les tourbes de Bornéo dérivent d'écosystèmes forestiers. La majeure partie des tourbières de Kalimantan s'élaborent à partir de l'eau de pluie et du gaz carbonique de l'atmosphère, elles ne contiennent pas de matière minérale ; elles peuvent, si les conditions s'y prêtent, évoluer avec le temps en lignites puis en charbons.

❖ PRINCIPAUX TYPES DE TOURBE

Deux types principaux de tourbe peuvent être distingués selon leur situation : les tourbes littorales et les tourbes épaisses (Fig. 1) (Sieffermann, 1988, Sieffermann *et al.*, 1988).

Les tourbes littorales situées dans la zone côtière, reposent fréquemment sur des sédiments d'eau saumâtre à pyrite ; elles dépassent rarement deux mètres d'épaisseur. A l'Ouest de Kalimantan, leur âge se situe entre 800 et 4 500 ans BP (Diemont & Supardi 1987) ; au Centre de Kalimantan, elles n'ont pas été datées. Vers 10 à 30 km de la côte, ces tourbes deviennent peu à peu plus épaisses.

Les tourbes épaisses, dites ombrogènes, les plus largement représentées, diffèrent fondamentalement du type précédent par leur altitude plus élevée qui peut atteindre 60 m vers 150 km de la côte. Elles couvrent le paysage d'un manteau continu qui s'étend parfois sur plus de 50 km de longueur sur l'ensemble d'un interfluve ; elles peuvent dépasser 12 m d'épaisseur. Ces tourbières reposent généralement sur des sédiments fluviatiles anciens, plus ou moins fortement podzolisés. A Kalimantan Centre, elles sont plus anciennes que celles du littoral, leur âge se situe entre 5 000 et 9 600 ans BP. Ces tourbes ne semblent pas actuellement en voie d'accroissement (Sieffermann *et al.*, 1988, Rieley *et al.*, 1992).

* ORSTOM - 32, Avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy cedex
** Department of Life Science, Univ. of Nottingham, Univ. Park Nottingham - NG7 2RD, UK
*** Univ. of Leicester, Univ. Road, Leicester, IEI, 7RH, UK

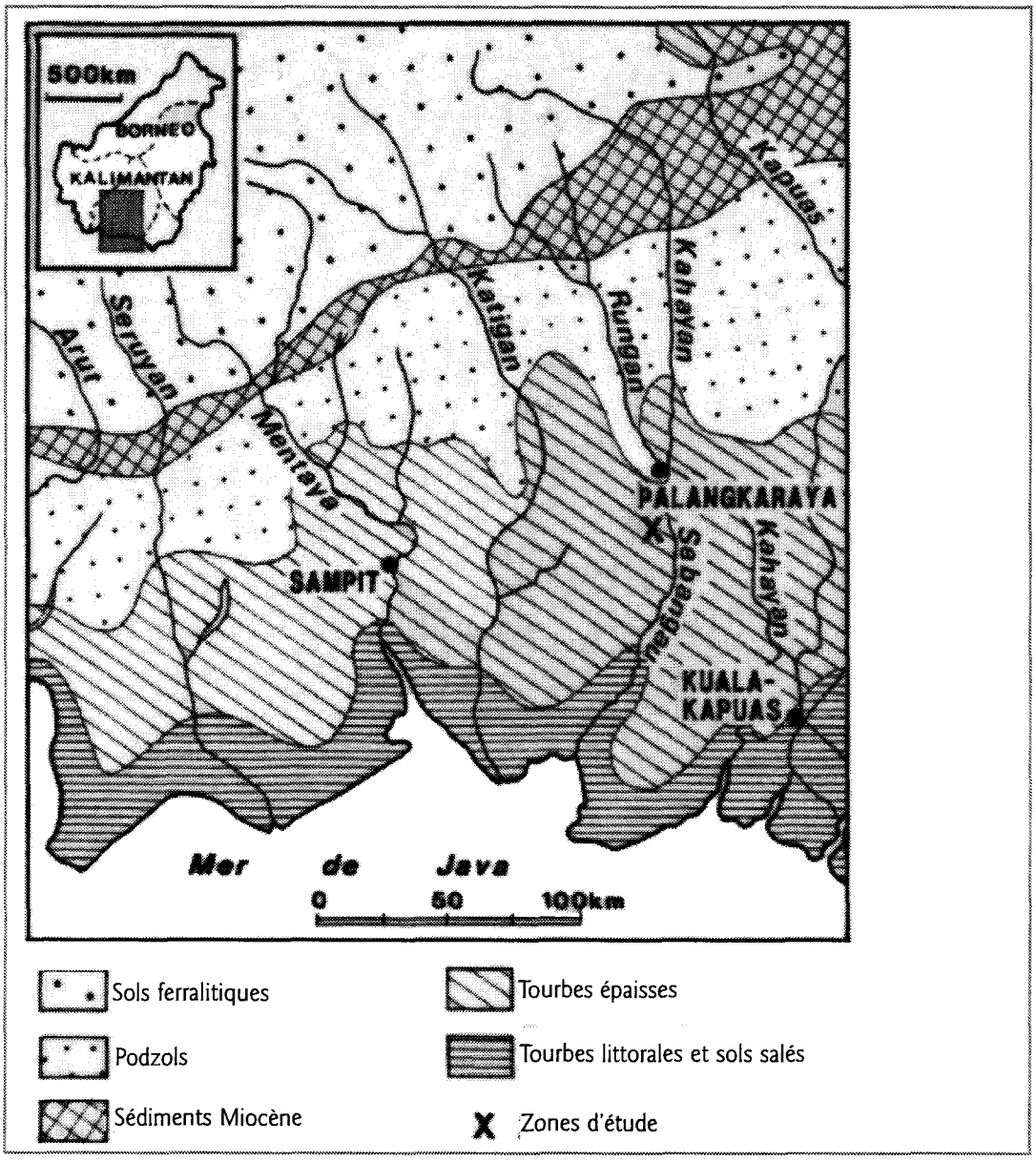


Figure 1-Succession des grands types de sols à Kalimantan

❖ LA PRÉSENTE ETUDE DU BASSIN SUPERIEUR DU FLEUVE COTIER SEBANGAU

Dans une zone totalement recouverte de tourbe, nous avons étudié l'âge et l'épaisseur de la tourbe le long de deux layons à partir de l'axe de drainage jusqu'à l'interfluve à 20 km du fleuve (Fig. 1).

La tourbe se présente en dôme et monte progressivement depuis le fleuve (alt. + 7 m) jusqu'à l'interfluve (alt. + 19 m).

Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

	DISTANCE DU FLEUVE, km	EPAISSEUR DE TOURBE, m.	PROFONDEUR PRELEVEMENT	AGE B.P.	REFERENCE PRELEVEMENT
TOURBES JEUNES	1	3m	3m	1140	KB 1
	2	2m	2m	760	KB 2
	3	2m	2m	1760	KB 3
TOURBES ANCIENNES	4	Sup. à 4m	3m	6920	KB 4
	5	" "	2,5m	6830	KB 5
	5,5	" "	3m	6580	KB 9
	6	" "	3m	7030	KB 6
	10	10m	4,5m	8450	RAV 15
			10m	9600	RAV 20

Tableau 1- Age des tourbes de la Sebangau

❖ DISCUSSION

Les conclusions les plus significatives qui peuvent être dégagées de ce tableau sont les suivantes :

✓ Deux groupes de tourbe d'âges différents peuvent être distingués :

◊ Tourbes jeunes, ne dépassant guère 3 m d'épaisseur, qui comblent le thalweg de la Sebangau, n'excède pas 1760 ans BP à la base, immédiatement au-dessus du Substratum minéral. Ces tourbes occupent le centre de thalweg jusqu'à 3 à 4 km du fleuve.

◊ Tourbes plus anciennes et plus épaisses, à partir de 3 à 4 km de la Sebangau jusqu'à l'interfluve situé à 20 km de l'axe de drainage. Ces tourbes, dont aucun échantillon ne montre un âge inférieur à 6 000 ans BP, peuvent atteindre 9 600 ans BP vers 10 m de profondeur.

✓ Le passage des tourbes jeunes aux tourbes anciennes est brutal, à environ 3 km du fleuve et totalement invisible sur le terrain.

✓ Dans la zone des tourbes anciennes, la fraction d'âge inférieur à 2 000 ans BP semble absente dans le haut des profils. Pour rendre compte de ce fait, il faut supposer qu'il ne s'est pas formé de tourbe sur l'interfluve au cours des deux derniers millénaires, et que le haut des profils s'est biodégradé par oxydation et a disparu.

✓ Les âges du profil RAV sont particulièrement intéressants. Les horizons de 4,5 et 10 m de profondeur âgés respectivement de 8 450 et 9 600 ans BP, montrent que plus de 5 m de tourbe se sont formés en seulement 1 150 ans ; ceci correspond à une vitesse d'accumulation moyenne de 0,48 cm par an.

❖ CONCLUSIONS

L'existence d'une période de très grande pluviosité à Bornéo entre 10 000 et 4 000 ans BP, pendant laquelle s'est développé un épais manteau de tourbe forestière sur toute la

partie méridionale de l'île, sur une profondeur de 150 km et sur une extension est-ouest de plus de 500 km. Cette période plus pluvieuse coïncide avec le recul spectaculaire des calottes glaciaires européenne et nord-américaine, et avec la remontée générale du niveau des océans.

Cette phase très pluvieuse a été suivie par une période de moindre pluviosité, sans formation notable de tourbe.

Au cours des deux derniers millénaires, la genèse de la tourbe a repris dans le fond de la vallée de la Sebangau, de plus en plus mal drainée par la remontée du niveau marin.

❖ BIBLIOGRAPHIE

ANDRIESSE, J.P., 1974 - Tropical lowland peats in Southeast Asia. - Dept. Agric. Res., Royal Trop. Inst., Amsterdam. Communication 63.

DIEMONT, W.H. ET SUPARDI, 1987 - Accumulation of organic matter and inorganic constituents in a peat dome in Sumatra, Indonesia. - Proc. Int. Symposium on tropical peat and peatlands for development, Internat. Peat Society, Yogyakarta (unpublished).

DRIESSEN, P.M. ET SOEPRAPTOHARDJO, H., 1974 - Soils for agricultural expansion in Indonesia. Soil Res. Inst. Bogor, Indonesia Bull. 1 : 53-65.

RIELEY, J.O., SIEFFERMANN, R.G., FOURNIER, M. ET SOUBIÈS, F., 1992 - The peat swamp forests of Borneo : their origin, development, past and present vegetation and importance in regional and global environmental processes. Proc. 9th Int. Peat Congress, Uppsala, Sweden, June 22-26, 1992, vol. 1 : 78-95.

SIEFFERMANN, R.G., FOURNIER, M., TRIUTOMO, S., SADELMAN, M.T. ET SEMAH, A.M., 1988 - Velocity of tropical forest peat accumulation in Central Kalimantan Province, Indonesia (Borneo). Proc. 8th Int. Peat Congress, Leningrad, Section I, 90 : 98.

SIEFFERMANN, R.G., 1988 - Le système des grandes tourbières équatoriales. Annales de Géographie, Paris, N° 544 : 642-666.

10 000 ANS D'HISTOIRE DE LA FORÊT AMAZONIENNE ENREGISTRÉS PAR LES INDICATEURS SÉDIMENTOLOGIQUES : SITE CARAJAS (BRÉSIL)

Abdelfettah SIFEDDINE, Bruno TURCQ**, Renato CORDEIRO**, Louis MARTIN*, Jacques BERTAUX*, Marie-Agnès COURTY***, François SOUBIES*, Kenitiro SUGUIO*****

L'étude sédimentologique de trois carottes prélevées dans trois dépressions marécageuses de la Serra Sul dos Carajas (Amazonie Orientale), met en évidence une grande variabilité paléohydrologique au cours des 10 000 dernières années. La comparaison avec les résultats de la palynologie permet de mieux comprendre l'impact de changements climatiques brefs sur les paléoenvironnements. Les corrélations, entre l'enregistrement local (indicateurs sédimentologiques) et l'enregistrement régional (étude palynologique), montrent que la région de la Serra dos Carajas a évolué au cours de l'Holocène en deux grandes étapes (Sifeddine *et al.*,1994):

❖ 10 À 8 KA BP

Cette période est marquée dans les spectres polliniques, par un maximum des pourcentages des pollens d'arbres, et par un minimum des pourcentages des constituants détritiques qui deviennent presque nuls vers 10 ka BP. Cet enregistrement sédimentaire correspond au développement maximum de la forêt vers 10 ka BP.

❖ 8 KA BP. À L'ACTUEL

Cette période est marquée par l'ouverture de la forêt entre 7 et 4 ka BP. On a vu que cette ouverture présentait un certain nombre de caractéristiques particulières: absence des taxons de savane; pourcentage anormal des pollens de *Piper* (végétation pionnière) (Absy *et al.* 1991); présence de spicules d'éponges; présence d'abondants microcharbons de bois. Le maintien d'un fort pourcentage de pollens de *Piper*, pendant plus de 2 ka BP, ne peut s'expliquer que par l'exsistence d'incidents successifs empêchant l'installation définitive de la forêt. Par ailleurs, les microcharbons de bois témoignent de l'existence d'incendies qui sont également à l'origine de l'enrichissement en silice des eaux naturellement oligotrophes. Cet enrichissement favorise le développement des éponges du genre *Corvomeyenia thumi* qui se développent dans des plans d'eau de très faible profon-

* UR 12, Centre ORSTOM de Bondy, France
** Dept de Geoquimica, Univ. Fed. Fluminense, Niteroi, RJ Brasi
*** URA-723 CNRS, LHGI, Univ Paris-Sud, F-91405 Orsay. France
**** Inst. Geociencias, Univ. Sao Paulo, CP. 20899, Sao Paulo Brasil

deur. L'étude sur lames minces montre que les spicules d'éponges forment des micro-lits intercalés dans les microcharbons de bois. Au vu de ces données, on peut penser que les conditions climatiques étaient en moyenne favorables au développement de la forêt (présence de pollens de *Piper*), mais que ce développement était régulièrement interrompu par des incendies (présence de microcharbons). Cependant, la forêt équatoriale ne brûlant pas en conditions normales, ces incendies n'ont pu se produire qu'à la faveur d'évènements secs. L'abondance des spicules d'éponges et des pollens de Piper montre que ces évènements secs étaient suivis d'un retour à des conditions humides. On peut donc penser que cette période a été caractérisée par des conditions humides fréquemment interrompues par des événements secs de courte durée. Ces fluctuations humide-sec sont certainement responsables de l'augmentation modérée en constituants détritiques, sans qu'il y ait cependant une érosion importante du plateau. La sédimentation organique recommence vers 3600 ans BP. Dans les sédiments de la CSS10 déposés entre 2,7 et 1,5 ka BP., on note la présence de spicules d'éponges et de microcharbons de bois, associés à des constituants détritiques en faible proportion. Ces caractéristiques sont assez comparables à celles de la CSS2 entre 7 et 4 ka BP. Il est donc logique de penser qu'entre 2,7 et 1,5 ka BP., il s'est également produit des incendies qui n'ont pu se développer, quelle que soit leur origine, que pendant des événements secs. L'occurence des ces événements secs a pu être reliée à des modifications de la température de l'Océan Pacifique équatorial de type El Niño, de durée de plusieurs dizaines d'années (Martin. *et al*, 1993). Toutes ces caractéristiques montrent que le climat a connu une forte variabilité entre 7 et 4 ka BP et entre 2,7 et 1,5 ka BP. Il en existe des évidences dans d'autres régions d'Amérique du Sud: présence de charbons de bois dans les sols (Soubiès, 1980; Sanford *et al.*, 1985); fortes et brèves périodes de ravinements des versants (Servant *et al.*, 1989); périodes d'inversion du sens de la dérive littorale de quelques dizaines d'années de durée (Martin *et al.*, 1992); variations du niveau du lac Titicaca (Mourguiart *et al.*, 1992); enregistrement d'une phase sèche à Salitre, mais avec un certain décalage (Ledru, 1992).

❖ RÉFÉRENCES

ABSY, M. L., CLEEF, A. M., FOURNIER M., MARTIN, L., SERVANT, M., SIFEDDINE, A., FERREIRA DA SILVA, M. F., SOUBIES, F., SUGUIO, K., TURCQ, B. & VAN DER HAMMEN, T'h., 1991, C.R Acad. Sci. Paris, 312, 2, pp. 673-678.

LEDRU, M-P.,1993, Quaternary Research, 39 :pp. 90-98.

MARTIN, L. & SUGUIO, K., 1992,. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 99, pp. 119-140.

MARTIN, L., FOURNIER, M., MOURGUIART, P., SIFEDDINE, A., TURCQ, B., ABSY, M.L. & FLEXOR, J. M., 1993,Quaternary Research, 39, pp. 338-346.

MOURGUIART, Ph., WIRRMANN, D., FOURNIER, M. & SERVANT, M., 1992, C. R. Ac. Sc. Paris T. 315, 2 : 875-880.

SANFORD, R., SALDARRIAGA, J., CLARK, K.E., UHL, C., HERRERA, R., 1985, Science, 227, pp. 650-652.

SERVANT, M. , MALEY, J., TURCQ, B., ABSY, M. L., BRENAC, P., FOURNIER, M. & LEDRU, M. P., 1993, Global and Planetary changes, 7, pp. 35-47.

SERVANT, M., FOURNIER, M., SOUBIES, F., SUGUIO, K. & TURCQ B., 1989, C.R. Acad. Sci. Paris, 309, 2, pp. 153-156.

SIFEDDINE, A., FRÖHLICH, F., FOURNIER, M., MARTIN, L., SERVANT, M., SUGUIO, K. & TURCQ, B.,1994,C.R. Acad. Sc. Paris, 318, 2, pp. 1645-1652.

SOUBIES, F., 1980, Cah. ORSTOM, Sér. Géol., 1, pp. 133-148.

LA SÉDIMENTATION DU LAC CARACARANÃ (NORD DE L'AMAZONIE BRÉSIL) : RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES ET IMPLICATIONS PALÉOENVIRONNEMENTALES AU COURS DE L'HOLOCÈNE

Fernando SIMÕES FILHO, Jacques BERTAUX**, Abdelfettah SIFEDDINE**, Bruno TURCQ*, Louis MARTIN**, Arnaldo CARNEIRO FILHO***, Armand CHAUVEL**, Thierry DESJARDINS****

Le lac Caracaranã est situé au Nord-Est de l'état du Roraïma, dans une zone de savane caractérisée par des précipitations annuelles de l'ordre de 1180 mm concentrées sur 5 mois, ce qui pour l'Amazonie représente une zone relativement sèche.

Une carotte de 2 m (RR 94-9) a été prélevée à la périphérie du lac sous une tranche d'eau de 3 mètres. Deux datations radiocarbone situent la base de la carotte autour de 9000 ans BP. 51 échantillons, représentant une tranche de 1 cm de sédiment, prélevés tous les 4 cm, ont fait l'objet d'une analyse minérale quantitative par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF) et d'une observation au microscope optique sur frottis.

Outre les phases organiques, le sédiment contient une fraction minérale importante constituée essentiellement de kaolinite, quartz, calcite et silice amorphe représentée par des diatomées, des spicules d'éponge et des phytolithes. La figure 1 montre les variations de ces différents constituants en fonction de la profondeur.

❖ CINQ UNITÉS ONT ÉTÉ IDENTIFIÉES

✓ à la base, l'unité I (de 200 à 179 cm) est caractérisée par sa richesse en kaolinite et une diminution progressive de la teneur en quartz; les quantités de calcite et silice amorphe sont faibles.

✓ l'unité II, entre 179 et 155 cm, est marquée par un pic de concentration de quartz et une augmentation progressive de la quantité de silice amorphe, opposés à une diminution de la teneur en kaolinite. La dernière colonne de la figure 1 représente une estimation par microscopie de la quantité de particules organiques opaques; celles-ci présentent un pic de concentration similaire à celui du quartz.

* Dept de Geoquimica, Un. Fed. Fluminense, Niteroi, RJ Brasil
** UR 12, Centre ORSTOM de Bondy, France
*** CPEC-INPA, Manaus, AM, Brasil

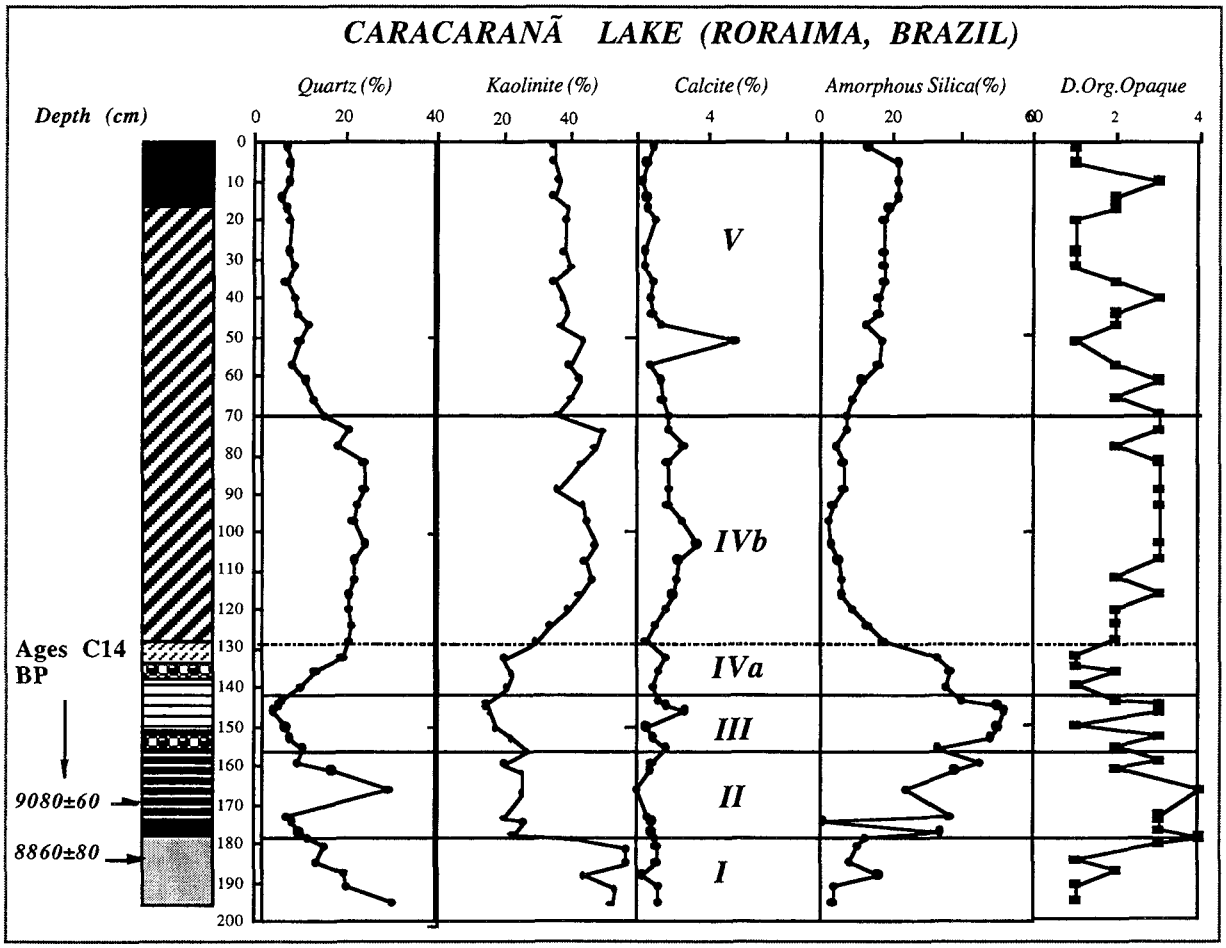


Figure 1: Variations des constituants minéraux le long de la carotte RR 94-9

✓ L'unité III, de 155 à 141 cm, se distingue des autres unités par un maximum de concentration de silice amorphe, qui semble correspondre à un développement important de diatomées. Les teneurs de quartz et kaolinite passent par un minimum.

✓ L'unité IV (de 141 à 70 cm) est caractérisée par une augmentation parallèle de kaolinite, quartz et calcite qui s'oppose à une diminution de silice amorphe. On a distingué deux sous-unités (IVa et IVb) correspondant à deux paliers dans ces évolutions.

✓ Enfin, dans l'unité V, on note une diminution de la teneur en quartz accompagnée par une augmentation de la concentration de silice amorphe et une relative stabilité de la quantité de kaolinite.

La succession de ces différentes unités sédimentaires souligne la grande variabilité des environnements au niveau du lac au cours de l'Holocène.

Le pic de productivité marqué par la silice amorphe vers 150 cm, accompagné d'un faible taux d'érosion indiqué par les teneurs en minéraux détritiques, sans doute favorisé par le

développement du couvert végétal sur le bassin versant, traduisent ensemble l'existence d'une phase humide. Si aucun hiatus n'existe dans cette partie de la carotte, la phase humide ainsi mise en évidence doit se situer autour de 9000 ans. Elle doit donc correspondre à la phase d'optimum climatique Holocène décrite en Amazonie entre 10000 et 8000 ans BP.

L'unité IV est caractérisée par une intensification du régime érosif soulignée par l'augmentation des phases détritiques; ceci traduit probablement une ouverture du couvert végétal en relation avec un assèchement climatique. Ceci confirmerait les récents résultats obtenus par l'étude de l'évolution du rapport C13/C12 de la matière organique des sols de la région, qui indique que les sols actuellement sous forêt présentent en profondeur des caractéristiques de sols développés sous couvert végétal plus ouvert. Les datations en cours doivent permettre de préciser la chronologie des événements climatiques identifiés.

INDICATEURS PALÉOÉCOLOGIQUES/MARQUEURS D'ANCIENNES PERTURBATIONS LIÉES AU FEU : LES CHARBONS DE BOIS FOSSILES DE LA RÉGION DES NOURAGUES - GUYANE FRANÇAISE

*Christophe TARDY**

Dans la région des Nouragues, en Guyane française, attestant de l'occurence des feux au sein de la forêt tropicale de par son omniprésence dans les sols, le charbon de bois fossile est apparu comme un outil non négligeable dans l'étude des paléoenvironnements. La répartition spatiale des charbons de bois dans les sols, à l'échelle du kilomètre, ainsi que la datation des évènements dont ils témoignent, peuvent être corrélées aux données écologiques actuelles, particulièrement dans cette région de l'intérieur du plateau guyanais, carrefour de nombreuses recherches sur la couverture végétale.

❖ LA MÉTHODE : L'ANTHRACOLOGIE

La carbonisation préserve la structure fine du bois et les charbons fossiles peuvent donc faire l'objet d'identifications botaniques, les essences ligneuses possédent une spécificité au niveau anatomique, selon l'agencement et l'importance relative des éléments cellulaires. La datation des niveaux de charbons fossilisés permet, au moyen de l'anthracoanalyse de nombreux échantillons prélevés, d'interpréter les cortèges de taxons identifiés en données paléo-écologiques en vue de reconstituer la dynamique des végétations et leur histoire.

❖ L'ACTUEL : LA MOSAÏQUE FORESTIÈRE

La variabilité des peuplements forestiers au niveau richesse et diversité est observable sur différentes échelles spatiales jusqu'à l'échelle stationnelle. Les études botaniques de la région des Nouragues montrent une hétérogénéité marquée des milieux végétaux qui peut être corrélée en partie à des facteurs géologiques et édaphiques ; toutefois les perturbations anciennes et notamment les modifications liées aux passages des feux pourraient bien avoir joué un rôle prépondérant dans le maintien ou non de certaines espèces, et ainsi être responsable de leur répartition actuelle. On peut noter la diversité des milieux sur le massif granitique d'un côté avec sa forêt dense mais aussi la "savane-roche" et la "forêt basse", végétations inféodées aux affleurements de l'inselberg et de l'autre la forêt sur cuirasse latéritique qui comprend également des formations particulières comme les "forêts à lianes". Il existe des formations végétales caractéristiques de

* Laboratoire de Paléobotanique, CNRS (URA 1477) Institut de Botanique, 163 Av. A.Broussonnet. 34000 Montpellier

milieux humides comme les "pinotières" ; d'autres, comme les "cambrouzes", forêts monospécifiques de bambous, ne semblent correspondre à aucun facteur écologique particulier, et leur origine reste controversée. Etant donné la structure en mosaïque du couvert végétal, il s'agit donc au moyen de l'outil "charbon" d'apporter des informations sur la relative perennité ou au contraire l'aspect récent de certains cortèges.

❖ LE FOSSILE : ÉTUDE CONTEXTUELLE ET REPRÉSENTATION DES CHARBONS DANS LES SOLS

Les prospections anthracologiques ont donc tenu compte de l'aspect mosaïque de la végétation et les échantillonnages ont été effectués dans une large gamme de milieux et de contextes. D'après cette étude les charbons fossiles, s'ils sont quasi-omniprésents dans les sols, n'apparaissent pas uniformément répartis, phénomène en partie lié au contexte pédologique et aux différents processus post-dépositionnels, à l'enfouissement et à la conservation des charbons dans les horizons supérieurs.

❖ RÉSULTATS CHRONOLOGIQUES ET ANTHRACOLOGIQUES

Les datations effectuées sur une trentaine d'échantillons choisis parmi plus d'une centaine de prélèvements apportent l'identification de plusieurs périodes de perturbations par le feu durant l'Holocène autour de 7400 BP, 5500 BP, 2000-1700 BP et 1000-800 BP. On peut attribuer à la présence de charbons deux causes possibles : une cause climatique pouvant être reliée à l'existence de paléoincendies dus à des anomalies sèches ayant autorisé l'inflammabilité de la forêt dense durant certaines époques et une cause anthropique associée aux éventuelles activités humaines de défrichement. La présence de vestiges archéologiques dans la région a permis de caractériser la période d'occupation des populations paléoindiennes en datant un abri-sous-roche (1140 + -50 BP) et un site de plein-air (1080 ± 50 BP) dans des contextes archéologiques bien définis liés à du matériel céramique.

Les analyses anthracologiques donnent une image de la végétation différente suivant les époques mais également suivant les contextes, des corrélations avec les données palynologiques et carpologiques permettent d'appréhender les fluctuations du couvert forestier de la région des Nouragues au cours de l'Holocène récent.

❖ INTERPRÉTATION

Les modifications liées au feu au cours des derniers millénaires dans la région des Nouragues restent "imprimées" dans les sols sous la forme de charbons de bois. Les fluctuations climatiques qui ont affecté l'écosystème forestier guyanais ont modifié à plusieurs reprises la couverture végétale. Pour les données plus récentes on ne peut exclure l'impact humain sur la forêt. Les charbons de bois, quelle que soit leur origine,

sont indicateurs de perturbations qui ont eu un impact sur le paysage et qui doivent être pris en compte dans l'interprétation de la répartition actuelle des taxons ; intervenant même à une échelle très locale dans la composition floristique des peuplements végétaux et les distributions spatiales des espèces en leur sein.

IDENTIFICATION DE PÉRIODES DE PALÉOINCENDIES EN GUYANE FRANÇAISE LIÉS À DES PÉJORATIONS CLIMATIQUES DURANT L'HOLOCÈNE : 10000-8000 BP, 6000-4000 BP ET 2000-1500 BP

Christophe TARDY, Sylvie JEREMIE**, Stéphane VACHER***

Des feux de forêt ont éclaté de façon chronique depuis des millions d'années sur toute la surface du globe et ceci bien avant l'apparition de l'Homme et de sa maîtrise du feu et, s'il est actuellement difficile d'admettre que les forêts tropicales puissent brûler, force est de constater que leurs sols présentent fréquemment des niveaux de charbons de bois, témoins de la carbonisation des couvertures végétales, et ceci sur d'importantes surfaces. Les catastrophes récentes des incendies de Bornéo ou du Brésil, entre autres, liées à des anomalies sèches, apportent une preuve supplémentaire de la possible fragilité des forêts denses humides lors de péjorations climatiques.

L'étude de la signification de ces lits charbonneux dans les sols forestiers de Guyane a conduit tout naturellement à des travaux menés en étroite collaboration entre paléoenvironnementalistes et archéologues, puisque la principale hypothèse permettant de réfuter l'existence des paléoincendies est celle des défrichements par brûlis des paléosociétés humaines.

Ces recherches ont pu se dérouler sur le terrain entre 1992 et 1995, lors de grands décapages destinés à des fouilles archéologiques. L'ouverture de tranchées en forêt sur plusieurs centaines de mètres ont fait apparaître à la fois des niveaux d'anthropisation mais également des lits de charbons sous-jacents stériles archéologiquement se prolongeant bien au delà des sites d'occupation. Les observations stratigraphiques et pédologiques, les études quantitatives et qualitatives du matériel charbonneux ont permis de comparer les deux types d'enregistrement : archéologique et non-archéologique. Plus de 150 datations au 14C ont permis d'identifier des périodes de paléofeux antérieures de plusieurs milliers d'années à l'attestation de la présence humaine en Guyane française. Ces évènements sont situés entre 10 000 et 8000 BP puis entre 6000 et 4000 BP. Au moins une autre période de paléoincendies serait contemporaine voire concomitante de l'installation paléoindienne située entre 2000 et 1500 BP.

Pour les deux périodes de paléoincendies du début et du milieu de l'Holocène : les analyses anthracologiques effectuées dans des niveaux très charbonneux suggèrent tout d'abord que le cortège floristique est beaucoup plus pauvre en taxons, comparé à l'enregistrement que de l'environnement végétal identifié pour les niveaux archéologiques ; de plus, ce cortège floristique est tout à fait différent de l'actuel, avec une sur-représenta-

* Laboratoire de paléobotanique, CNRS (URA 1477) - Institut de Botanique, 163 Av. A.Broussonnet. 34000 Montpellier
** Service Archéologique AFAN, Barrage de Petit-Saut 97310 KOUROU

tion de certains taxons dont l'écologie est complexe à définir : ainsi par exemple *Tabebuia* et *Swartzia* , présents en milieu forestier comme en milieu plus ouvert, possèdent une large amplitude écologique. Ce phénomène pourrait être interprété par l'installation d'un milieu toujours boisé mais plus pauvre et plus ouvert que l'actuel.

Les péjorations climatiques mises en évidence en Guyane française par les analyses anthracologiques et les datations des charbons de bois fossiles issus des paléoincendies sont à corréler avec les nombreuses données paléoenvironnementales sud-américaines et notamment celles de l'Amazonie et du Plateau des Guyanes.

POLLEN ANALYSIS OF SEDIMENTS FROM THE LAGOA SALGADA, RIO DE JANEIRO, BRAZIL

M.B. TOLEDO, M.A. BARROS*, O.M. BARTH**
*R.M. LEMOS**, C.G. SILVA***

❖ INTRODUCTION

Lagoa Salgada is localized in the north region of the State of Rio de Janeiro, next to the seashore of the municipality of Campos and the cape S. Tome (Fig. 1). The dimensions of the lagoon are 8.5 km length, 1.9 km width and 1 km depth in dependence to seasons

Figure 1 - Mapa de localização da área de estudos

* Lab. de Palinologia (IB/UFRJ) - Departamento de Botanica, Instituto de Biologia, CCS, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
** LAGEMAR (UFF) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociencias, Universidade Federal Fluminense, Av. Beira Mar s/n, Niteroi, Brasil

and pluviosity; sometimes the lagoon may remain dry (Lemos, 1985). Radiocarbon datations obtained from shells collected in surface sediments achieved an age around 3000 years AP (Martin, 1993).

❖ MATERIAL AND METHODS

The core was collected by the team from LAGEMAR (Laboratorio de Geologia Marinha) institution at the southwest border of the lagoon by the percussion method. In accordance to the methodology purposed by Ybert *et al.* (1992), 10 samples, each 2 cm thick, were collected at different levels of the core. They were chemically treated and the microscope slides were prepared in the Laboratorio de Palinologia (Departamento de Botanica). Each sample was increased by two tabletts of *Lycopodium* spores, in order to obtain data of the absolute frequency of the palynomorphs

❖ RESULTS AND DISCUSSION

Two main zones could be established in the palynological diagrams, based on the obtained data from the bottom to the top of the core: zone I (levels 1 -5) and zone II (levels 6 - 10).

The main zone I was characterized by a low frequency of the pollen types *Amaranthus*/Chenopodiaceae, Poaceae, Cyperaceae, Leguminosae (Mimosoideae) and Asteraceae, but a higher content of spores of the Cyatheaceae/Polypodiaceae type.

In relation to the graphics obtained (Fig. 2), more humid environmental conditions were attributed to the zone I, similar to the actual climate, interrupted by a drier period (levels 4 and 5) characterized by an increasing concentration of the pollen type Amaranthus/Chenopodiaceae and a reduction of pollen grains of Cyperaceae and spores of Pteridophyta. The increase of Cyperaceae pollen grains again leads to a start of a more humid phase and an upward slope of the water level of the lagoon.

The interruption at the level 4 corresponds to a lens of limestone (Lemos, 1985), thicker at the level 5, where a higher concentration of grass pollen grains, in substitution to Amaranthus/Chenopodiaceae and a diminution of fern spores was observed.

The main zone II was characterized by an inversion of the climatic conditions and an increase of a vegetation assembling typical of dry environments. The frequency of pollen types of *Amaranthus*/Chenopodiaceae, Poaceae, Leguminosae (Mimosoideae) and Asteraceae increased, while the number of spores of Pteridophyta at levels 7, 8 and 9 decreased.

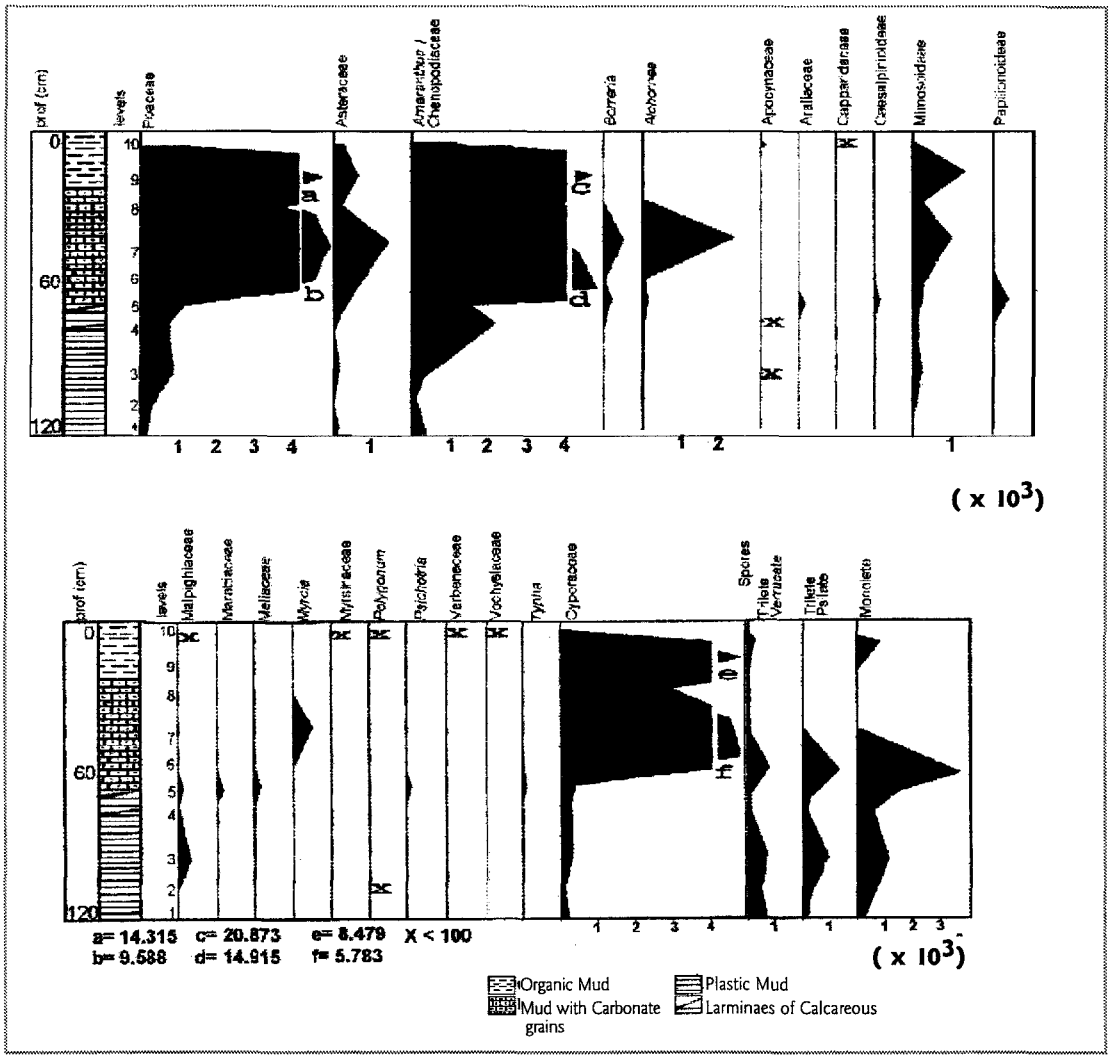


Figure 2- Absolute frequency (palynomorphs/g of sediment)

According to Lemos (1985), levels 6, 7 and 8 present a mudy carbonate, which may be attributed to a high degree of water evaporation and an elevation of temperature. This fact and a higher concentration of pollen grains of Cyperaceae may explain a diminution of the lagoon depth. The absence of fern spores at levels 7, 8 and 9 can be attributed also to an elevation of temperature.

The concentration of pollen types decreased markedly at level 8; as non increase or new pollen types from forest species or pollen types characteristic for a more humid condition were observed, the best interpretation may be the occurrence of a driest phase during the dry period or the lack of pollen preservation.

Spores of Pteridophyta reappeared at level 10 and a more humid phase is starting.

❖ CONCLUSIONS

Changes of the climatic conditions during the Holocene period have influenced the environment of the Lagoa Salgada. Drier and more humid phases could be detected. The variation of pollen and spore concentration and assembly apoint to a succession of plant species in dependence of the changing climatic conditions during this period.

A more humid climate was characteristic to zone I; this conclusion was consolidated by a high concentration of fern spores and a low concentration of pollen types of *Amaranthus*/Chenopodiaceae and Poaceae. The levels 4 and 5 present a clear interruption of this humid condition.

The environment turned drier in zone II, starting at level 6. This fact was confirmed by an increase of pollen types and a reduction of spores of Pteridophyta. The level 10 represents the return of an humid climate, spores coming back and the number of pollen types, characteristic to drier surroundings, was reduced.

The water level of the Lagoa Salgada got lower by temperature elevation and water evaporation during the driest phase, as prooved by a higher concentration of pollen grains of Cyperaceae.

❖ REFERENCES

LEMOS, R.M., 1985, Historia evolutiva dos sedimentos Quaternarios e das estruturas estromatoliticas da Lagoa Salgada, Rio de Janeiro. Thesis. Departamento de Geologia, UFF.

MARTIN, L., SUGUIO, K. & FLEXOR, J.-M., 1993, As flutuacoes do nivel do mar durante o Quaternario Superior e a evolucao geologica de "deltas" brasileiros. Boletim IG-USP, Publ. Esp. 15, Sao Paulo, SP, pp 1 - 186.

YBERT, J.-P., SALGADO-LABOURIAU, M.L.,BARTH, O.M., LORSCHEITTER, M L . BARROS, M.A., CHAVES, S.A.M., RIBEIRO, M., SCHEEL, R. & VICENTINI, K.R.F., 1992, Sugestoes para padronizacao da metodologia empregada em estudos palinologicos do Quaternario. Rev. Inst. Geologico, 13, 2, pp 47 - 49.

DYNAMIQUE À LONG TERME DE LA FORÊT TROPICALE DANS LA RÉGION DE CARAJAS, AMAZONIE ORIENTALE

B. TURCQ, R. C. CORDEIRO*, M. L. ABSY**, T. DESJARDINS**, M. FERREIRA da SILVA***, M. de L. P. RUIVO***, M. E. SALES***, L. MARTIN****, A. SIFEDDINE****, K. SUGUIO******

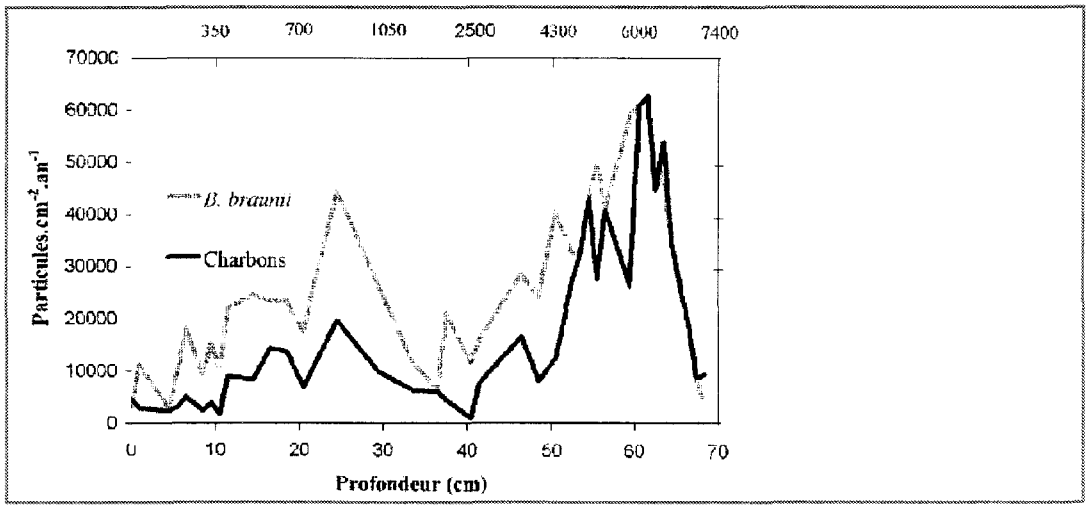
La région de Carajas est caractérisée par des précipitations annuelles relativement faibles pour la région Amazonienne (1900mm) avec une saison sèche marquée. Le paysage est composé de plateaux cuirasses (Serra Sud et Serra Norte) dominant la forêt amazonienne. Celle-ci est définie comme "forêt ombrophile ouverte" sur les versants et "forêt ombrophile dense" sur les parties des plateaux non recouvertes par la cuirrasse latéritique. La présence de petits lacs sur les plateaux a permis d'associer des études paléoenvironnementales aux études botaniques et pédologiques réalisées sous forêt.

L'étude statistique des relevés phytosociologiques montre une homogénéïté de ceux-ci, qui sont très comparables avec des relevés effectués en d'autres sites de l'Amazonie Orientale. Par contre, l'Analyse Factorielle des Correspondances montre une forte variabilitè interne, entre les différentes parcelles d'un même relevé. Ceci peut être du à des modifications plus ou moins récentes de l'écosystème forestier.

Les profils pédologiques associés aux relevés botaniques montrent des variations du contenu en ^{13}C de la matière organique des sols. Les profils sous forêt dense indiquent une nette influence de végétation de type C4 (savane) au dessous de 1,5m avec des valeurs de $\delta^{13}C$ inférieures a -23‰. Les charbons, abondant dans ces profils, ont des ages compris entre 4400 et 5500 ans BP. Les profils sous forêt ouverte, bien que n'étant pas typiques de profils forestiers, ne montrent pas aussi clairement l'influence de la savane. Ces sols, plus compactés, sont pauvres en charbons. Un seul échantillons a pu être date de 6530 ± 50 ans BP. Le sol peu profond analysé dans la forêt de transition entre la forêt dense et la steppe rupestre associée à la cuirasse, montre un profil typique de forêt et une grande quantité de charbons datés entre 2080 et 2880 ans BP de 30 à 80cm. Cette répartition aléatoire des charbons indique un fort remaniement biologique de ce sol qui peut expliquer l'absence d'enregistrement pédologique de végétation C4. Les résultats des études pédologiques montrent que des incendies ont affecté l'écosystème forestier, particulièrement entre 6500 et 4400 ans BP L'ouverture de la forêt, mieux marquée dans les forêts denses du plateau par les profils de $\delta^{13}C$, doit probablement correspondre à cette période.

Les études de sédiments lacustres sont en plein accord avec ces données. Une ouverture de la forêt est enregistrée par les spectres polliniques entre 8000 et 4000 ans BP dans la

* ORSTOM/UFF, Departamento de Geoquimica, Morro do Valonguinho s/n°, 24020-007, Niteroi, Bresil
** INPA, Manaus, Bresil
*** Museu Goeldi, Belem, Bresil.
**** ORSTOM, Centre de Bondy, France
***** USP, Sao Paulo, Bresil



Carajas Serra Norte Lac 4 - Flux de *Botriococcus braunii* et de charbons

Serra Sul. D'autre part, les plus fortes valeurs de concentration et de flux de charbons dans les sédiments ont été rencontrées dans la Serra Sul et dans la Serra Norte respectivement entre 7000 et 4000 et 6900 et 4500 ans BP Des analyses plus détaillées de l'Holocène récent indiquent une augmentation des concentrations en charbons de 2700 à 1500 dans une carotte de la Serra Sul et aux environs de 3600 et 1500, ainsi qu'entre 900 et 400 ans BP, dans une carotte de la Serra Norte. Ces données sont en bon accord avec les fluctuations sèches enregistrées en Amazonie Centrale durant les quatre derniers millénaires. Toutefois, les variations entre les différents sondages et le fait que les charbons des sols ne marquent les incendies de l'Holocène récent qu'en un seul profil, avec des ages restreints à la période 2000-3000 ans BP, montrent que les fluctuations sèches de l'Holocène supérieur ont eu des effets plus locaux, avec une extension des incendies plus réduite que durant la phase 6900-4500.

Les pics d'apports de charbons montrent une étroite relation avec les maxima de concentrations de deux organismes adaptés à des sécheresses éphémères: une algue phytoplanctonique coloniale : *Botryococcus braunii*, et une éponge : *Corvomeyenia thumi*. L'un ou l'autre de ces organismes ést prédominant suivant les lacs.

La sédimentation lacustre est dominée par la fraction organique. Le plus souvent, les flux de carbone sédimentaire augmentent fortement après la phase sèche de l'Holocène moyen et deviennent importants a partir de l'installation d'un marécage permanent. Ces flux présentent des fluctuations, dans toutes les carottes, au cours des derniers millénaires. Une étude détaillée réalisée dans un lac de la Serra Norte montre que ces fluctuations ont deux origines : l'apport aérien de charbons qui influence directement le contenu en Carbone de la fraction granulométrique inférieure à 20 µm; et des fluctuations de la production primaire, marquées par les pigments sédimentaires dérivés de la Chlorophyle, qui se traduisent par une augmentation du Carbone dans la fraction supérieure à 200 µm qui correspond à la végétation marécageuse. Ces pics de production sont peut-être liés à des phases d'augmentation des précipitations, seule source de sels nutritifs pour ces systèmes lacustres.

ÉVOLUTION DES FORÊTS TROPICALES D'AMÉRIQUE DU SUD ET D'AFRIQUE CENTRALE ATLANTIQUE À L'ÉCHELLE DES 20 000 DERNIÈRES ANNÉES

B. TURCQ[1], A. VINCENS[2], M.L. ABSY[3], J. BERTAUX[4], M.P. LEDRU[4], M. SERVANT[4], A. SIFEDDINE[4], J.P. YBERT[4], H. ELENGA[2], J. MALEY[5], D. SCHWARTZ[6]

Pour une région donnée de la forêt tropicale, la complexité botanique dépend, en fait, de deux processus différents : la spéciation qui intervient, vraisemblablement, à des échelles de temps supérieures à 10^5 ans et l'isolement ou la dissémination des espèces (contraction ou expansion de la forêt) au gré des aléas climatiques. Nous verrons que ce dernier phénomène a eu lieu à des échelles de temps inférieures à quelques dizaines de millénaires.

En effet, de nombreuses données paléobotaniques montrent que les forêts tropicales de basse et moyenne altitude étaient bien développées avant 20 000 ans BP, lors de la dernière période glaciaire. Toutefois ces enregistrements fossiles montrent des compositions floristiques très différentes de l'actuel, le plus souvent caractérisées par l'abondance de taxons montagnards, aussi bien en Afrique (Maley, 1987, Maley 1991, Elenga *et al.*, 1994,...) qu'en Amérique du Sud (De Oliveira, 1992, Bush, 1994, Ledru *et al.*, sous presse).

Toutes ces forêts ont subi une régression entre 20 000 et 15 000 ans BP (amorcées dès 28 000 ans BP en Amérique du Sud) sous l'effet de conditions climatiques extrêmes durant le maximum glaciaire précipitations inférieures à l'actuel de 20 à 40% et Températures plus basses de 7,5 à 2°C, suivant les auteurs et les régions - Bush 1994, Van der Hammen et Absy, 1994 - teneur de CO2 atmosphérique réduite de 170 ppm). Dans certaines régions, comme l'Amazonie brésilienne orientale (Carajas - Absy *et al.*, 1981) et méridionale (Katira - Van der Hammen et Absy, 1994), les Guyanes (Georgetown - Van der Hammen, 1963), le Brésil Central (Ledru, 1993) et le Ghana (Maley, 1987), les spectres polliniques montrent que la savane s'est substituée à la forêt durant cette période. Des témoins de savane ont également été retrouvés au Congo et au Zaïre (Lafranchi et Schwartz, 1990). Dans d'autres régions, par contre, comme dans le nord-ouest de l'Amazonie (Seis Lagos - De Oliveira, 1995) ou au Cameroun (Lac Barombi Mbo - Maley, 1991) la régression se traduit seulement par une ouverture de la forêt (diminution des espèces arborées, celles-ci restant toutefois bien représentées dans les spectres polliniques). Les arguments botaniques, géomorphologiques ou pédologiques, ainsi qu'une maille de données paléobotaniques beaucoup trop large, n'ont pas réellement permis, jusqu'à présent, de connaître l'extension géographique des savanes à cette époque. Comme, d'une manière générale, les régions actuellement les plus humides

1 Universidade Federal Fluminense, Morrodo Valonguinho S/N, 24020007 - Nitéroi, Brésil - 2 LGQ, CEREG, BP 80 - 13245 Aix-en-Provence
3 INPA-Ecologia, Manaus, CP 478, 69000 Manaus (AM) - Brésil - 4 ORSTOM, L.F.S. - 32, Avenue Henri Varagnat - 93143 Bondy
5 Lab. de Palynologie, Univ. Sci. et Techn. du Languedoc - Place Eugène Bataillon - 34060 Montpellier cedex
6 Univ. Louis Pasteur - URA 95 CNRS - 3, rue de l'Argonne - 67083 Strasbourg cedex

(P > 3 000 mm) paraissent avoir le moins souffert de ce stress climatique, l'hypothèse la plus simple consiste à translater les isohyètes des précipitations actuelles et à déterminer ainsi une probable extension des savanes. En Amazonie, ce raisonnement, considérant une réduction de 40% des précipitations, montre la subsistance d'une importante zone forestière au Nord-Ouest et de quelques îlots forestiers au Sud-Ouest, au Sud-Est et près des côtes des Guyanes (Van der Hammen et Absy, 1994), ceci étant en plein accord avec les données paléobotaniques disponibles.

C'est à partir de ces conditions extrêmes que va avoir lieu l'expansion des forêts tropicales qui, irrégulière, paraît continuer jusqu'à nos jours. Dans ce contexte, les données paléobotaniques montrent qu'il est vraisemblable que les espèces les plus fragiles n'aient pu subsister que dans les zones les plus humides alors que d'autres espèces, plus résistantes, pouvaient composer la mosaïque végétale du maximum glaciaire. En un lieu donné, la recolonisation forestière, à cette échelle de temps, est donc dépendante de la facilité de dissémination de chaque espèce (Blanc, ce volume) et de la proximité de son domaine biogéographique lors du maximum glaciaire. On peut ainsi concevoir différentes échelles spatiales (locales ou régionales) de centres de dissémination suivant les espèces et leur résistance aux différents stress climatiques.

Les conditions climatiques globales s'améliorent après 18 000 ans BP. Les données paléohydrologiques tropicales montrent que de hauts niveaux lacustres sont fréquemment atteints à partir de 13 000 ou 11 000 ans BP. Par contre, les enregistrements palynologiques continus ne montrent qu'une lente recomposition de la forêt à partir de 15 000 ans BP atteignant son optimum vers 9 500 ans BP (Servant *et al.*, 1993). C'est durant cette période, quand les précipitations étaient déjà importantes alors que la couverture forestière n'était pas encore pleinement rétablie que les processus érosifs, bien marqués dans le paysage tropical, semblent avoir été les plus intenses. Après le développement des forêts nous n'observons, surtout, que des fluctuations liées aux variations de l'écoulement dans les vallées où l'augmentation des flux sédimentaires est proportionnelle au débit liquide (Bertaux *et al.*, ce volume).

Les forêts du Brésil Central et Atlantique ont suivi une évolution assez particulière. Dans le Brésil Central (Salitre - Ledru, 1993), la forêt ne se développe qu'à partir de 10 000 ans BP et cette forêt comporte des espèces adaptées au froid comme l'Araucaria. De telles forêts ne se rencontrent aujourd'hui que beaucoup plus au Sud du Brésil et sont étroitement liées au déplacement vers le Nord des fronts froids originaires des hautes latitudes sud (Ledru *et al.*, 1994). La forêt d'Araucaria, qui se développe à Salitre de 10 000 à 8 000 ans BP, montre donc une intensification des fronts froids durant cette période. Inversement, dans la région atlantique du Brésil Central, la savane se maintient après 9 500 ans BP (Ybert *et al.*, ce volume). Ceci est confirmé par les fortes érosions des versants jusqu'à, au moins, 8 000 ans BP (Servant *et al.*, 1989). La présence de charbons de bois datés entre 10 000 et 8 000 ans BP dans les sols forestiers de Guyane (Tardy *et al.*, ce volume) suggère également une phase climatique relativement sèche au début de l'Holocène dans cette région.

Les évolutions des forêts américaines et africaines divergent de manière très marquée

durant les derniers millénaires. En Amazonie Orientale et dans le Brésil Central, une ouverture de la forêt est mise en évidence par les spectres polliniques de 8 000 à 4 000 ans BP. Cette période est caractérisée par de nombreuses occurrences d'épisodes secs favorisant les feux de forêt (Sifeddine *et al.*, ce volume, Turcq *et al.*, ce volume). La très large répartition des charbons de bois, datés de cette période et prélevés dans les sols amazoniens (dans la région orientale - Soubiès, 1990, au Nord-Est - Saldarriaga et West, 1986, au Nord - Desjardins *et al.*, ce volume, en Guyane - Tardy *et al.*, ce volume) démontrent l'importance régionale de cette régression de la forêt. A Carajas (Amazonie Orientale) comme à Salitre (Brésil Central), la forêt se reconstitue à partir de 4 000 ans BP (avec une grande proportion de pollen de taxons pionniers à Carajas). Pendant cette période, quelques brefs épisodes climatiques secs peuvent encore provoquer des incendies (Sifeddine *et al.*, ce volume, Turcq *et al.*, ce volume).

L'Afrique Centrale Atlantique démontre une tendance opposée, la forêt se maintenant jusqu'à 3 000 ans BP. Au Cameroun, un bref épisode sec est marqué sur le site de Barombi Mbo entre 3 000 et 2 000 ans BP (Maley *et al.*, ce volume), alors que, dans le lac Ossa, on note un très fort pourcentage de pionniers à partir de 2 700 ans BP (Reynaud-Farrera, ce volume). Au Congo, la régression forestière à partir de 3 000 ans BP est encore mieux marquée : des savanes s'installent sur les sites de Songolo, Kitina, Ngamakala, Bilanko et Sinnda (Vincens *et al.*, ce volume). Cette régression forestière accompagne un assèchement du climat révélé par les enregistrements sédimentaires et débutant dès 4 000 ans BP (Bertaux *et al.*, ce volume, Maley *et al.*, ce volume).

La forêt Atlantique Brésilienne montre une extension à partir de 4 000 ans BP (Ledru *et al.*, 1994) mais n'atteint son plein épanouissement qu'à une époque très récente (vers 1 000 ans BP - Garcia, 1994, Behling, sous presse). Ces données récentes semblent montrer que la dispersion des espèces s'est plutôt effectuée à partir des versants pluvieux dans la partie méridionale plus montagneuse et à partir des forêts galeries dans la partie septentrionale.

L'inversion des tendances paléoclimatiques, lors des 10 000 dernières années, entre les régions tropicales d'Amérique du Sud et d'Afrique Centrale Atlantique pourrait fort bien correspondre aux différentes variations de l'insolation entre les deux hémisphères prévues par la Théorie de Milankovitch. Chacune des régions est, en effet, influencée par une masse continentale plus grande dans l'Hémisphère Sud pour l'Amérique et dans l'Hémisphère Nord pour l'Afrique. Toutefois, les données paléo-environnementales montrent que cette tendance générale est perturbée par des événements climatiques abrupts de différentes fréquences. Il semble notamment que les variations, à long terme, du couplage entre l'océan et l'atmosphère aient une influence marquée sur le climat continental tropical et puissent expliquer les fluctuations climatiques observées aussi bien en Amérique du Sud (Martin *et al.*, 1993) qu'en Afrique (Maley *et al.*, ce volume).

Le fait que la forêt amazonienne soit en expansion depuis 4 000 ans alors que la reconquête forestière est beaucoup plus récente en Afrique (Vincens *et al.*, ce volume) peut expliquer certaines des différences observées entre les deux écosystèmes. En effet, la forêt amazonienne est donc, en grande partie, relativement jeune (4 000 ans BP) alors que la

forêt africaine, hors des zones de recolonisation récente, est plus ancienne (au moins 9 000 ans BP).

❖ RÉFÉRENCES

ABSY, M.L. *et al.*, 1991. C.R. Acad. Sci., 312 : 673-678.

BEHLING, H., Paleolimnology, sous presse.

BUSH, M.B., 1994. Journal of Biogeography, 21 : 5-17.

DE OLIVEIRA, 1992. Thèse, Ohio State University.

DE OLIVEIRA, 1995. Terra Nostra, 2/95 : 60.

ELENGA, H. *et al.*, 1994. Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol., 109 : 345-346.

GARCIA, M.J., 1994. Thèse, Universidade de Sao Paulo.

LAFRANCHI, R. ET SCHWARTZ, D., 1990. Paysages Quaternaires de l'Afrique centrale atlantique, ORSTOM, Paris.

LEDRU, M.P., 1993. Quat. Res., 39 : 90-98.

LEDRU, M.P. *et al.*, 1994. C.R. Acad. Sci., 317 : 517-521.

LEDRU, M.P. *et al.*, Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., sous presse.

MALEY, J., 1987. Palaeoecol. Afr., 18 : 307-314.

MALEY, J., 1991. Clim. Change, 19 : 79-98.

MARTIN, L. *et al.*, 1993. Quat. Res., 39 : 338-346.

SALDARRIAGA, J.G. et WEST, D.C., 1986. Quat. Res., 26 : 358-366.

SERVANT, M. *et al.*, 1989. C.R. Acad. Sci., 309 : 153-156.

SERVANT, M. *et al.*, 1993. Global and Planetary Change, 7 : 25-40.

SOUBIÈS, F., 1980. Cah. ORSTOM, Sér. Géol., 11 : 133-148.

VAN DER HAMMEN, T., 1963. Leidse Geol. Mede., 29 : 125-180.

VAN DER HAMMEN, T. et ABSY, M.L., 1994. Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol., 109 : 247-291.

FEUX, CLIMATS ET VÉGÉTATIONS AU BRÉSIL CENTRAL DURANT L'HOLOCÈNE : LES DONNÉES D'UN PROFIL DE SOL À CHARBONS DE BOIS (SALITRE, MINAS GERAIS)

J.-L. VERNET, L. WENGLER*, M.E. SOLARI*, G. CECCANTINI**, M. FOURNIER***, M.P. LEDRU***, F. SOUBIÈS****

La Serra de Salitre est située à 30 km au sud-est de la ville de Patrocinio et à environ 350 km à l'ouest de Belo Horizonte). Culminant à 1150 m d'altitude, elle est formée par un dôme de roches sédimentaires primaires, dont des quartzites provoqués par une intrusion magmatique et percés par une cheminée de roches ultrabasiques dont l'altération rapide par rapport aux quartzites a formé une dépression interne actuellement occupée par une tourbière en cours d'atterrissement. Le sommet et les flancs de cette montagne au relief adouci sont recouverts par un épais manteau d'altérites rougeâtres.

Ce sont les travaux de géochimie conduit par F. Soubiès, suite à une prospection minière ayant révélé un très riche gisement de titane et de terres rares dans la dépression interne, qui ont entraîné des travaux de pédologie (F. Soubiès et R. Boulet) et la découverte de charbons de bois dans les fosses de reconnaissance pédologique. Dans l'une d'elle ouverte à quelques mètres d'une fosse déjà étudiée et prélevée par L. Pessenda et E. de Carvalho C. Telles (CENA, Piracicaba), placée à mi-pente vers la dépression interne, dans une parcelle de forêt actuellement exploitée par les charbonniers, nous avons procédé à des prélèvements de charbon de bois. Initialement, dans cette fosse, trois niveaux de concentration de charbon de bois ont été reconnus par F. Soubiès aux cotes 0-20 cm, 80-90 cm et 100-120 cm ; ils ont fourni respectivement trois dates C14 : 300 ans AC, 4000 ans BP et 10 000 ans BP.

❖ VÉGÉTATION ACTUELLE

Il s'agit de forêts mésophytiques semi-décidues, de savanes (*cerrado*), végétations communes au Brésil central, appartenant plus exactement au sous-groupe des *savana florestada* ou *cerradão* (Veloso *et al.*, 1991), forme arborée dense du *cerrado*. Aujourd'hui, les formes ouvertes de ces végétations sont souvent le résultat des feux (Eiten, 1978). Les *cerradão* sont des forêts basses avec arbres de 10-15m, assez denses. Les Légumineuses et les Myrtacées occupent une place importante dans les strates arborées et arbustives. La flore des *cerradão* comporte, en général, des essences forestières telles que *Bowdichia sp., Hymenaea sp., Piptadenia incurialis* etc. (UNESCO, 1981).

Un relevé effectué entre la forêt et la tourbière de Salitre s'est montré riche en arbustes :

* Laboratoire de Paléobotanique, Environnement et Archéologie, URA 1477 CNRS, Université de Montpellier II, Institut de Botanique, case 052, 34095 Montpellier cedex
** Departamento de Botanica, Instituto de Biociencias, Universidade de São Paulo, CP 11461, 01000 São Paulo
*** ORSTOM, 32 avenue Henri Varagnat, 93140 Bondy

Clitoria sp., *Leandra* sp., *Miconia* sp., *Bauhinia* sp., *Copaifera langsdorfii*, *Xylopia aromatica* , *Erythroxylon* sp., *Byrsonima* sp., *Rudgea viburnoides*, *Dalbergia mischolobium* , *Angira* sp., *Stryphnodendron* sp., *Cassia* sp., *Ocotea* sp., *Eugenia aurata* , *Cybistax antisyphilitica* , *Jacaranda* sp.. Enfin, dans le *campo cerrado* (savane arborée) à proximité de la tourbière, on rencontre *Caryocar brasiliensis* et des palmiers tel *Anthococcum* sp., Solanum leucocarpon, etc.

❖ OBSERVATIONS GÉO-PÉDOLOGIQUES

L'examen de la coupe stratigraphique dans la fosse profonde de 2,6 m révèle un matériel très fin et argileux devenant encore plus argileux vers la base. On n'y observe aucune stratification apparente, et pas d'éléments détritiques grossiers. En fait, après tamisage à l'eau, seuls quelques grains de quartz millimétriques subsistent avec quelques nodules ferrugineux de même taille provenant, peut-être, du démantèlement partiel d'une cuirasse ferrugineuse enfouie dont quelques éléments ont pu être remontés par les animaux fouisseurs qui ont laissé de multiples empreintes dans ces altérites.

Les seules coupures visibles sur la coupe sont des limites diffuses d'horizons pédologiques discernables grâce à des changements de structure ou de couleur. La structure micro-agrégée domine dans les deux premiers mètres de la coupe et devient moins évidente ensuite à cause de la plus forte humidité du sédiment.

En fait, la fosse ne traverse que les horizons supérieurs d'un latosol où seuls sont visibles les horizons organiques et deux horizons B2 structuraux brun à brun rouge.

❖ LES CHARBONS DE BOIS

Sur la coupe, les charbons de bois apparaissent dispersés ; seule une très forte concentration occupant une grande surface, dont les limites nous sont inconnues, est présente entre 3 et 5 cm sous la litière. La présence de brindilles et de graines carbonisées, sans compter les autres fragments, indique visiblement les restes d'un incendie de forêt. Le niveau en question ne semble pas cendreux et ne présente pas de rubéfaction ; il est fortement colonisé par les racines. Au dessous, la quantité de charbon diminue rapidement, et dès lors, il n'est plus possible de parler véritablement de concentration au sens où on l'emploie pour indiquer les restes provenant d'un niveau d'incendie, d'un feu localisé, d'un foyer ou d'une accumulation secondaire sous l'action des agents de transport. Seuls quelques charbons distants les uns des autres d'environ 10 cm ou plus peuvent faire penser à une concentration, qui, ne dépend en fait que de la maille d'observation et ne caractérise pas réellement une structure de combustion ou d'accumulation telle que nous en connaissons actuellement ; toutefois, il n'est nullement impossible que de telles concentrations existent en dehors de la fosse que nous avons ouverte.

Ces observations préliminaires faites, compte tenu de la tranche de temps actuellement cernée par les datations, il convenait de prélever systématiquement les charbons en décapant le sédiment par tranches de 10 cm sur une surface suffisante pour obtenir un échantillon *a priori* représentatif et étudiable sur le plan anatomique et floristique. La mesure du volume de sédiment prélevé a permis d'obtenir une courbe de fréquence de la teneur en charbon de bois dans ce sondage.

Pour réaliser cela, une surface de 1 m2 fut décapée pour les 80 premiers centimètres et ensuite portée à environ 2,5 m2, compte tenu de la rareté des charbons et de la difficulté pour travailler au fond. Le sédiment fut dans un premier temps tamisé à sec et les charbons prélevés manuellement dans le refus des tamis. En profondeur, l'humidité gênant cette manipulation, le sédiment fut transporté au bord du rio Salitre, à environ 15 km du sondage, tamisé à l'eau et les charbons récupérés par flottation et entraînement à l'eau. En tout, plus d'une tonne (810 l) de sédiment a été traitée.

Les travaux ont été arrêtés à 2,3 m de profondeur faute de temps, alors que les charbons sont encore visibles dans le bas de la coupe.

Cette séquence présente une répartition plus complexe qu'il n'était envisagé lors des prélèvements. En particulier, on peut noter un maximum important sur les 10 premiers centimètres, valeur qui ne sera plus jamais retrouvée dans les décapages plus profonds. Ceci est certainement à mettre en rapport avec des incendies récents dont on voit encore les traces sur la végétation. Les fréquences chutent ensuite pour atteindre un minimum vers 50-60 cm. A partir de là, les fréquences remontent pour atteindre un maximum plus ou moins dédoublé entre 120 et 150 cm et décroissent pour devenir très basses à 230 cm où le sondage a été arrêté.

❖ CHARBONS, FEUX ET POLLEN

Les nouvelles datations obtenues situent les charbons de bois dans l'Holocène moyen et récent :

Niveau 20-30 cm : 600 ± 40 BP (OBDY 1254)
Niveau 70-80 cm : 3160 ± 40 BP (OBDY 1255)
Niveau 100 cm : 3660 ± 90 BP (OBDY 1029)
Niveau 140-150 cm : 5840 ± 50 BP (OBDY 1252)
Niveau 180-190 cm : 6330 ± 60 BP (OBDY1250)

Ces dates présentent une bonne cohérence et sont de plus en plus anciennes avec la profondeur :

$y = 0{,}026x + 2{,}448$ avec $r = 0{,}982$ où y représente la profondeur en centimètres et x l'âge.

La courbe de variation des âges avec la profondeur que l'on peut tracer à partir des dates C14 est donc une droite. Elle suggère un enfouissement régulier des charbons à la vitesse de 0,26 mm par an. Comme des résultats très analogues ont été obtenus sur deux autres profils échelonnés en amont sur le même versant (Boulet, 1994), il ne semble pas que des phénomènes de colluvionnement puissent être à l'origine de cet enfouissement. C'est plus probablement l'activité de la faune du sol (termites) remontant des matériaux (phénomène de *turn over*) qui en serait responsable.

Par ailleurs, faute de charbons nombreux, l'extrême base atteinte par le sondage n'a pu être datée. Toutefois, compte tenu de la bonne régularité des dates, il est possible de calculer pour 230 cm, à partir de l'équation de la droite, une valeur de 8752 BP, ce qui place la base de la coupe très près du début de l'Holocène.

Les travaux palynologiques sur la tourbière de Salitre (LC3 : Ledru, 1993) ont mis en évidence pour l'Holocène, entre 9200 et 8000 BP au moins, un assemblage à *Araucaria, Ilex, Myroxylon*-type, parmi les pollens les plus significatifs. *Araucaria* notamment, atteint un peu plus de 10%. Ces taxons ainsi que *Symplocos, Podocarpus* et *Drimys* sont dominants, signant le développement de la forêt d'*Araucaria* que l'on associe à un climat frais et humide, sans saison sèche, et, des températures moyennes hivernales inférieures à 10°C. Puis, une forêt semi-décidue avec 2 mois de saison sèche se met en place entre 8500 et 6500 BP (zone pollinique IIIb, Ledru, 1993).

La séquence anthracologique de Salitre se place dans cette perspective. En effet, entre 6510 et 5560 BP (zone pollinique IIIa), les pollens d'arbres chutent pour atteindre des valeurs de l'ordre de 10%, fréquences qui se maintiendront pour remonter ensuite vers la fin du diagramme datée à 3000 BP. Le sol enregistre en même temps et *in situ*, comme les observations pédologiques l'ont montré, un fort accroissement de sa teneur en charbons de bois qui culmine à 5840 BP. Ces valeurs - qui passent de 0, 06 g/l à 220 cm à 2,06 g/l à 140 cm - déclineront ensuite pour atteindre 0,1 g/l dans le niveau 20-30 cm antérieur à 600 BP. L'accroissement de la teneur en charbons coïncide avec la disparition d'*Araucaria* et *Drimys*, la forte décroissance de *Myroxylon*-type et de *Symplocos*.

L'arrivée d'une forte sécheresse d'au moins deux mois, démontrée par la disparition des *Araucaria* , la recrudescence des feux, sont corrélables avec l'extension de la forêt mésophile semi-décidue comprenant des Mélastomatacées-Combrétacées, *Miconia*-type ainsi que d'abondantes Poacées. Le phénomène climatique a été enregistré ailleurs au Brésil (Servant *et al.*, 1989; Sifeddine *et al.*, 1994) . En outre, une étude fine de la coupe pédologique de Salitre n'a pas révélé de traces d'artefacts anthropiques, ce qui renforce notre interprétation de feux vraisemblablement "naturels" indépendants de l'action de l'homme.

Jusque vers 3000 BP, les fréquences de pollens de Poacées resteront élevées et les Mélastomatacées-Combrétacées, quoique représentées en plus faibles proportions, demeureront notables. Ces résultats sont cohérents avec les données anthracologiques qui témoignent d'un ralentissement de la fréquence des feux jusque vers 3000 BP. Après

3000 BP et jusqu'à une époque toute récente - antérieure à 600 BP - les incendies atteignent leurs valeurs les plus basses. Des données polliniques nouvelles sur une autre carotte (lagoa campestre, LC 91/1, Ledru *et al.*, 1994) vérifient bien l'hypothèse que la période postérieure à 3000 BP a vu se reconstituer une végétation forestière. Les feux reprendront ensuite, vers 600 BP, pour s'intensifier au cours de notre époque pour les besoins de l'industrie du charbon de bois.

❖ APPORTS DE L'ANTHRACOLOGIE

Une étude a été réalisée sur près de 300 charbons de bois provenant des niveaux 90-100 cm, 140-150 cm et 180-190 cm. Ces niveaux ont été choisis pour essayer de mieux cerner la période d'incendies correspondant à une diminution importante des fréquences polliniques arboréennes.

Niveau 90-100 cm : 6 taxons ont été identifiés, l'essence principale est *Machaerium* de la famille des Légumineuses, caractéristique actuelle de la forêt semi caducifoliée à Salitre. Egalement une *Combrétacée* ou *Légumineuse*, un *Aspidosperma (Apocynacées)*, *Qualea*, *Copaifera* et des *Euphorbiacées*.

Niveau 140-150 cm : Un taxon est majoritaire, une *Combrétacée* ou Légumineuse avec *Machaerium* et une *Lauracée*.

Niveau 180-190 cm : *Combrétacée* ou *Légumineuse*.

La faible richesse taxinomique montre que l'information nous donne une image ponctuelle, peut-être quelques arbres seulement. Néanmoins, malgré ces réserves, la confrontation des données anthracologiques et palynologiques permet d'isoler la séquence en deux ensembles.

Le premier concerne les prélèvements des niveaux 140-150 cm et 180-190 cm. L'abondance des *Combrétacées-Légumineuses* et la pauvreté taxonomique, récurrente sur deux niveaux, suggèrerait une végétation de type relativement ouvert. Pour la période correspondant aux niveaux concernés, la palynologie enregistre des phases de sécheresse.

L'ensemble 2 concerne le niveau 90-100 cm. La plus grande abondance de *Machaerium* évoque la forêt mésophytique semi-caducifoliée présente actuellement à Salitre. On peut penser que la plus grande variété taxinomique de ce niveau est en faveur de cette formation semi-caducifoliée plus qu'à une savane. Mais on ne peut exclure une origine colluviale bien que la pédologie n'enregistre pas une phase de ce type.

❖ CONCLUSIONS

Il paraît maintenant très probable - mais il faudrait renouveler des travaux de ce type - que la sécheresse et le feu sont largement responsables de la mise en place des forêts semi-caducifoliées à Salitre, dans le centre du Brésil. L'action intense du feu, depuis l'Holocène moyen, aurait largement contribué à faire naître le paysage de savane. Même si l'action de l'homme était démontrée, elle ne pourrait être que secondaire, au contraire de ce que l'on a proposé (Lund, 1835; Loefgren, 1898). Les latosols sur lesquels se développent ces végétations représentent également un élément fondamental. D'une manière générale, la forêt intertropicale a bien été très largement affectée par la sécheresse et les incendies concommitants de l'Holocène moyen comme les travaux récents le montrent bien (Servant *et al.*, 1989; Sifeddine *et al.*. 1994). C'est la première fois que l'on peut aller plus loin dans cette démonstration grâce aux recherches conjointes en anthracologie et palynologie.

❖ RÉFÉRENCE

VERNET J.-L., WENGLER L., SOLARI M.-E., CECCANTINI G., FOURNIER M., LEDRU M.-P. ET SOUBIÈS F. : Feux, climats et végétations au Brésil central durant l'Holocène, les données d'un profil de sol à charbons de bois, Salitre, Minas Gerais. - *C.R. Acad. Sci. Paris*, 319, II : 1391-1397, 1994)

ÉVOLUTION DE LA FORÊT TROPICALE EN AFRIQUE ÉQUATORIALE ATLANTIQUE DURANT LES 4000 DERNIÈRES ANNÉES ET HÉRITAGE SUR LES PAYSAGES VÉGÉTAUX ACTUELS

A. VINCENS[1], A. ALEXANDRE[2], J. BERTAUX[3], R. DECHAMPS[4], H. ELENGA[5], J. MALEY[6], A. MARIOTTI[7], J.-D. MEUNIER[2], F. NGUETSOP[8], I. REYNAUD-FARRERA[6], D. SCHWARTZ[9], S. SERVANT-VILDARY[8]

Pendant de très nombreuses années, les forêts denses tropicales ont été considérées comme étant les écosystèmes les plus stables de la planète et leur très grande richesse spécifique a souvent été associée à leur éventuelle persistance à travers les âges. Grâce aux travaux paléoécologiques récents, il est maintenant démontré que la forêt dense africaine, tout comme la forêt amazonienne, a été l'objet de profondes modifications en réponse aux changements climatiques globaux. Elle a ainsi réagi, au cours du Quaternaire, à des changements de grande amplitude et de longue durée, comme la période du dernier maximum glaciaire, mais également à des changements plus brefs, tels ceux qui ont eu lieu au cours des 4 derniers millénaires.

Les données palynologiques les plus récentes disponibles en Afrique équatoriale atlantique pour cette période proviennent de trois régions distinctes (fig.1). Ce sont, du Sud vers le Nord :

✓ le Congo avec les sites de Coraf et Songolo, localisés sur le littoral ponténégrin actuellement occupé par des savanes basses, avec localement des formations marécageuses herbacées (papyraies) ou arborées ; le lac Kitina, sur l'escarpement occidental du Mayombe, en milieu forestier semi-décidu ; le lac Sinnda, dans la vallée du Niari, en zone de savane ; et Ngamakala et Bilanko, deux dépressions marécageuses forestières localisées sur les plateaux Batéké recouverts par des savanes.

✓ le Cameroun avec les sites du lac Ossa, en forêt atlantique littorale et du lac Barombi Mbo en forêt sempervirente de type biafréen.

✓ le Ghana avec le site du lac Bosumtwi localisé en forêt dense de type semi-décidu.

La synthèse de ces résultats palynologiques, auxquels il faut associer l'étude des macrorestes végétaux, des phytolithes et la mesure du $\delta^{13}C$ montrent que tous les sites, situés actuellement soit directement en milieu forestier soit à proximité, ont été occupés par des formations forestières denses au cours de l'Holocène inférieur et moyen. Ca. 4000 BP, le faciès de ces forêts se modifie sur certains sites comme au lac Sinnda (Congo) où les forêts prennent un caractère semi-caducifolié très marqué, ou sur les sites d'Ossa et de Barombi Mbo (Cameroun) où un faciès forestier à Caesalpiniaceae se développe.

1- Géologie du Quaternaire CNRS, CEREGE, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, 2- Géosciences de l'Environnement, CEREGE, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, 3-ORSTOM Ile de France, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex, 4-Anatomie des Bois Tropicaux, Musée Royal de l'Afrique Centrale, 3080 Tervuren, Belgique, 5-ORSTOM Pointe Noire, actuellement LGQ CNRS, CEREGE, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04, 6-Paléoenviron-nements et Palynologie ORSTOM-CNRS, Université de Montpellier 2, 34095 Montpelier, 7-Biochimie Isotopique, Université Paris VI, case 120, 4 place Jussieu, 75252 Paris 05, 8-ORSTOM, Géologie, Museum National d'Histoire Naturelle, 43 rue Buffon, 75005 Paris, 9-ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg

Aux environs de 3000 BP, une modification importante de la couverture végétale est enregistrée qui se traduit différemment suivant la sensibilité et la stabilité des forêts existant est précédemment sur les sites étudiés, en relation avec les conditions de milieu (climat, sols...). Sur les sites actuellement forestiers denses, la forêt se fragmente et des savanes incluses s'installent (Kitina, Barombi Mbo) ou est remplacée par des formations fortement perturbées riches en éléments pionniers (lac Ossa). Sur les autres sites, ce changement se traduit plus brutalement avec remplacement de la forêt par des formations ouvertes riches en Graminées soit directement sur le site (lac Sinnda où les phytolithes montrent le développement de Graminées hautes en C4 et Coraf) soit à proximité du site (Ngamakala et Bilanko). Sur ces deux derniers sites, une végétation arborée à caractère marécageux perdure dans les dépressions humides, mais elle est beaucoup plus fragmentée, associée à des formations herbacées hygrophiles bien développées.

Il apparaît donc clairement qu'un changement majeur est intervenu ca. 3000 BP sur une grande partie de l'Afrique équatoriale atlantique (5°S à 7°N), affectant en particulier la structure (fragmentation avec apparition de savanes incluses), la composition (abondance d'éléments héliophiles) et la distribution (disparition locale) des massifs forestiers préexistants. L'intensité a été telle que ce changement a aussi été enregistré dans des régions comme celle du lac Ossa où actuellement la plusiosité moyenne annuelle est de l'ordre de 3000 mm. Ce changement ne peut être interprété qu'en terme de modification du climat, d'autant que sur la plupart des sites il s'est traduit soit par un assèchement complet des lacs (lac Sinnda, site actuellement en zone climatique la plus sèche, entre 3700 et 1300 BP) ou par une baisse conséquente du niveau lacustre enregistré à Bosumtwi vers 3700 BP, à Ossa dès 3150 BP avec un maximum 2600 BP et ca. 2800 BP à Kitina. Au même moment on observe une diminution significative des flux de quartz et de kaolinite ainsi qu'une diminution du taux de précipitation de la sidérite sur les sites de Kitina et Sinnda au Congo, confirmant une baisse significative de la pluviosité. Il est également à signaler que sur les sites où des éléments montagnards avaient perduré régionalement depuis le début de l'Holocène, leur disparition quasi complète est enregistrée (Barombi Mbo ca. 3000 BP, Ossa, ca. 2700 BP).

Un retour à des conditions plus favorables se traduit par une réextention des forêts sur les sites où elles n'avaient pas véritablement disparu précédemment mais avaient seulement subi des ouvertures locales (Kitina, Barombo Mbo, Bosumtwi et Ossa). Cependant, aucun synchronisme n'étant observé dans cette phase de réconquête forestière, il apparaît difficile en l'état actuel des données de fournir un âge précis à cette amélioration climatique (post 3000 BP à Bosumtwi, ca. 2000 BP au Barombi Mbo, 950 BP à Ossa, 600 BP à Kitina). Toutefois, la remise en eau du lac Sinnda ca. 1300 BP, dans la vallée du Niari, constitue certainement un indice d'un retour à des conditions plus humides dès cette époque. Sur les sites les plus secs et les moins favorables à une reconquête forestière (climat et sols) des formations ouvertes de type savane (Sinnda, Coraf) ou paryraies et raphiales (Songolo) perdurent jusqu'à l'Actuel. Sur les plateaux Batéké, comme à Ngamakala, des formations forestières à caractère marécageux se redéveloppent dans la dépression au détriment des prairies hygrophiles dès 900 BP Il est également a signaler que depuis environ 600 ans BP, sur le site de Sinnda, une ceinture forestière se reconstitue progressivement autour du lac.

Il apparaît intéressant d'insister sur l'enregistrement du lac Sinnda pour les derniers 1300 ans, date de sa remise en eau. En effet, la sensisibilité hydrologique de ce site, localisé actuellement dans la région la plus sèche, fait apparaître qu'au cours de ce dernier millénaire, des fluctuations de courtes durées peuvent être mises en évidence. Les données palynologiques démontrent clairement qu'un nouvel assèchement du lac s'est produit vers 650 BP, de courte durée, marqué par une brève extension de marécages à Cyperaceae. Les données minéralogiques avec 4 occurrences de calcite démontreraient l'existence de 4 pulsations plus sèches. Il est concevable de penser que ces épisodes ont été trop brefs (inférieur à 100 ans) pour induire des modifications du couvert végétal, ce qui expliquerait que sur aucun autre des sites étudiés ils n'aient été enregistrés.

Il ne fait donc aucun doute que les changements du climat au cours des 4000 dernières années ont laissé des traces durables dans les écosystèmes forestiers actuels d'Afrique équatoriale atlantique et que ceux-ci ne peuvent pas être considérés comme l'état initial et stationnaire à partir duquel on pourrait déterminer leur évolution future. C'est en particulier l'épisode aride de ca. 3000 BP qui a été le facteur primordial sur la configuration actuelle des forêts, bien que la présence de l'homme dans ces régions soit attestée depuis 3000 BP *(Elaeis guineensis*, palmier à huile).

HISTOIRE DES ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS DU SUD-CONGO DEPUIS 6000 ANS

A. VINCENS*, H. ELENGA**, D. SCHWARTZ***,
C. de NAMUR****, J. BERTAUX*****,
M. FOURNIER*****, R. DECHAMPS******

Les écosystèmes forestiers actuels du Sud-Congo occupent plus de 50% de la superficie de cette région (fig. 1). Ils sont de deux types :

✓ les forêts sempervirentes de transition vers un type semi-caducifolié, largement étendues sur les massifs du Mayombe et du Chaillu, avec quelques bosquets épars localisés dans la vallée du Niari au sein de formations hautes de savanes à *Hyparrhenia;*

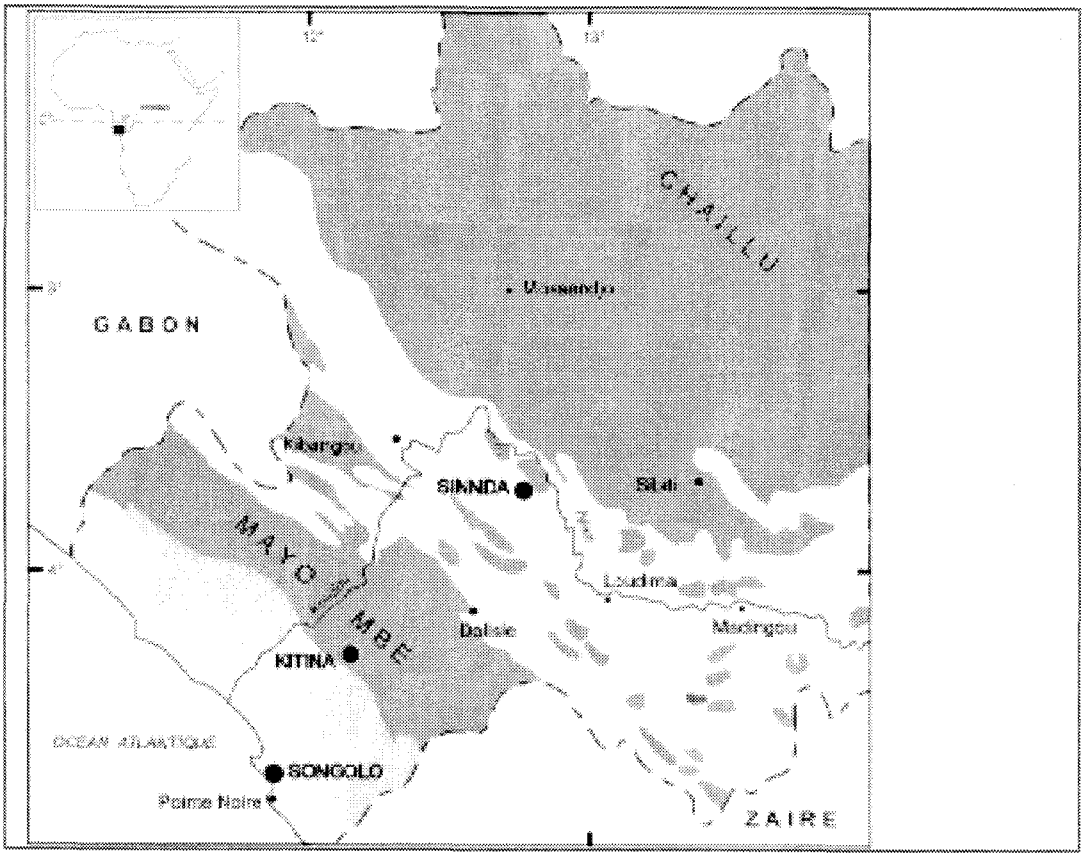


Figure 1- Localisation des sites de Kitina, Sinnda et Songolo au Sud-Congo

* Géologie du Quaternaire CNRS, CEREGE, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4
** ORSTOM Pointe Noire, actuellement LGQ CNRS, CEREGE, BP 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 4
*** ORSTOM Pointe Noire, actuellement CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg cedex
**** ORSTOM Pointe Noire, actuellement Biomathématiques, service 462, Université St Jerome, 13397 Marseille cedex 13
***** ORSTOM Ile de France, 32 avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy cedex
****** Anatomie des Bois Tropicaux, Musée Royal de l'Afrique Centrale, 3080 Tervuren, Belgique

POSTER

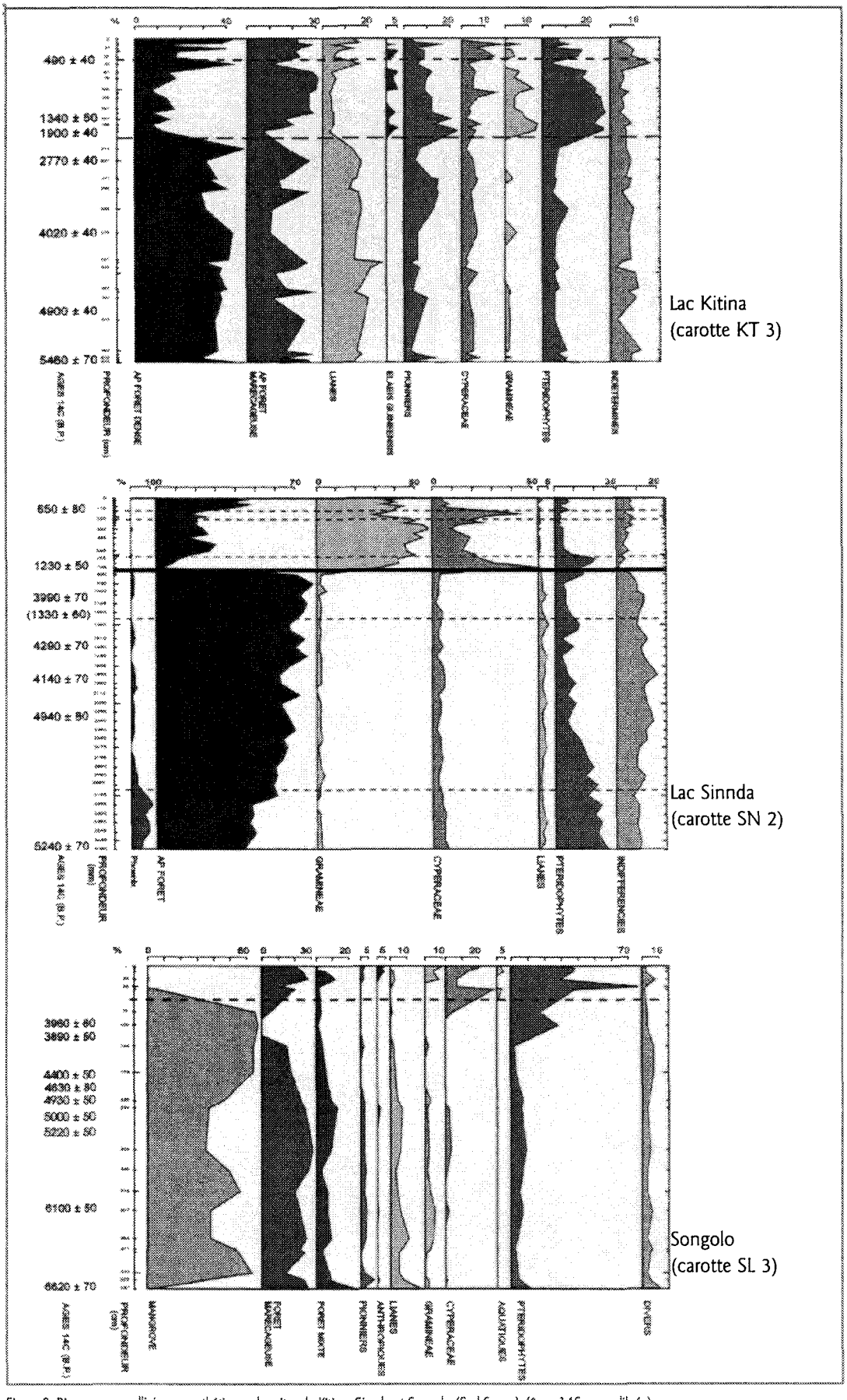


Figure 2- Diagrammes polliniques synthétiques des sites de Kitina, Sinnda et Songolo (Sud-Congo) (âges 14C non calibrés)

✓ les forêts littorales, à l'ouest du Mayombe, qui se partagent en peuplements de forêts mésophiles sur sols exondés, et forêts marécageuses dans les zones humides (le long des rivières et des marais, dans les terres basses le long de la côte).

Les données palynologiques (fig. 2) et minéralogiques qui ont été obtenues dans le cadre du programme ECOFIT concernent l'histoire Holocène de ces écosystèmes forestiers et sont issues de 3 sites. Il s'agit: :

✓ du lac Kitina situé en bordure occidentale du Mayombe, en zone forestière;

✓ du lac Sinnda localisé dans la vallée du Niari, en zone de savane;

✓ du site de Songolo, sur le littoral ponténégrin, actuellement occupé par des papyraies (fig. 1). D'autre part, l'identification de macrorestes végétaux conservés in situ et la mesure du $\delta^{13}C$ des matières organiques de différents sols permettent de spatialiser les données précédentes.

L'ensemble des résultats obtenus montrent clairement que le climat depuis 6000 ans a eu un impact primordial sur les peuplements forestiers du Sud-Congo.

❖ DURANT LA PÉRIODE HUMIDE DE 6000 À 3000 BP, CETTE RÉGION CONNAÎT UNE LARGE EXTENSION DES FORÊTS

✓ Dans la vallée du Niari, des formations forestières sont largement développées dans l'environnement local et régional du lac Sinnda. Après une phase de type marécageux *(Phoenix)* entre 6000 et 5000 BP, ces formations présentent un caractère semi-caducifolié, très marqué dès 4000 ans BP avec une large dominance de *Celtis*. Cette évolution, certainement en relation avec le début d'un assèchement du climat, se traduit en minéralogie par une précipitation accrue de calcite et une augmentation des teneurs en talc des sédiments.

Une large extension des forêts dans la vallée du Niari est d'ailleurs attestée depuis au moins 8000 BP par les mesures de $\delta^{13}C$ des sols, mais il semblerait que vers 7000 BP des formations plus ouvertes aient persisté localement.

✓ Autour du lac Kitina, des associations forestières sont présentes, avec deux faciès dominants : un faciès marécageux à *Hellea, Anthostema, Syzygium*, et un faciès de terre ferme à *Anopyxis, Martretia, Dacryodes...*, de composition proche de celles qui existent actuellement.

✓ Sur le littoral, le site de Songolo est occupé par des formations forestières marécageuses dominantes avec, à proximité, une mangrove bien développée. Il est également à signaler, au cours de l'Holocène inférieur, un enforestement important des savanes de la façade maritime du Congo et de la plaine littorale mis en évidence par l'étude des macrorestes et les mesures de $\delta^{13}C$.

❖ **LORS DE LA PHASE ARIDE DE 3000 BP** ces formations forestières subissent de profondes modifications floristiques et structurelles, mais également paléogéographiques. En effet, ce changement climatique majeur entraîne:

✓ La disparition des peuplements forestiers dans la vallée du Niari (site de Sinnda) et leur remplacement par des formations ouvertes riches en Graminées. Ce changement est contemporain de l'assèchement du lac jusqu'à 1300 BP

✓ Sur la bordure occidentale du Mayombe (site de Kitina), la fragmentation de la couverture forestière et l'apparition de savanes "incluses", riches en Gramineae, synchrones de l'expansion de groupements arborés héliophiles. Du point de vue minéralogique, les flux des principales phases minérales étudiées dans les sédiments (quartz, kaolinite, sidérite...) diminuent d'une façon significative.

✓ Sur le littoral, la disparition complète de la mangrove dans la région de Songolo et partiellement des forêts marécageuses, avec développement de raphiales et de papyraies.

❖ **CE N'EST QUE VERS 600 BP** qu'une recrudescence de la forêt, liée à un retour à des conditions plus humides, est mise en évidence. Ce phénomène est enregistré vers 650 B.P au lac Sinnda autour duquel une frange forestière plus importante se réinstalle, et vers 490 BP au lac Kitina avec le retour des éléments de forêt dense et la diminution notable des espaces graminéens.

La présence de l'homme est attestée sur les 3 sites, depuis 3000 ans, par la présence significative d'*Elaeis guineensis* (palmier à huile). En revanche son impact sur les écosystèmes forestiers semble avoir été faible jusqu'à une époque récente, où l'effet des brûlis sur la configuration des paysages modernes semble actuellement indiscutable.

DONNÉES PRÉLIMINAIRES SUR L'ÉVOLUTION PALÉOÉCOLOGIQUE ET PALÉOCLIMATIQUE HOLOCÈNE DANS LA RÉGION MOYENNE DU RIO DOCE (MINAS GERAIS, BRÉSIL) D'APRÈS L'ANALYSE PALYNOLOGIQUE DE DEUX CAROTTES DU LAC DOM HELVECIO

Jean-Pierre YBERT, Bruno TURCQ**, Ana Luiza ALBUQUERQUE****

Le lac Dom Helvécio, localisé dans le "Parque Estadual do Rio Doce", État de Minas Gerais, Brésil, par 19°46' de latitude Sud et 42°36' de longitude Ouest, fait partie d'un important complexe lacustre de la région moyenne de la vallée du Rio Doce. La végétation de la région est représentée par la forêt tropicale humide et le "cerrado". Le climat actuel est chaud et semihumide, avec une température moyenne annuelle comprise entre 20 et 22°C et une pluviosité d'environ 1350 mm. La saison sèche a une durée de 4 à 5 mois (IBGE, 1989).

La formation de ce complexe lacustre serait due, selon Pflug (1969), à la fermeture des vallées secondaires du Rio Doce pendant le dernier maximum glaciaire, époque à partir de laquelle l'environnement de ces lacs serait resté stable. Par contre, Meis (1978) affirme que la nature des sédiments indique des modifications du milieu et du régime hydrologique au cours de l'holocène. L'existence de ces variations climatiques est confirmée par l'étude palynologique d'un niveau de tourbes rencontré dans les sédiments du lac Jacaré, proche du lac Dom Helvécio (Overloop, 1981). Selon cet auteur, le lac Jacaré se serait formé aux environs de 9800 ans BP.

De nombreux témoins d'érosion, associés à des dépôts colluviaux, se rencontrent dans la région. Deux phases de formation des cônes ont été mises en évidence la première avant 9500 ans BP, probablement pendant la dernière phase de climat sec du Pléistocène; la deuxième entre 9500 et 7000 ans BP pouvant, dans certains cas, s'être prolongée jusque vers 4000 ans BP (Meis & Monteiro, 1979, Servant *et al.*, 1989). Cet important complexe d'érosion et de dépôts colluviaux serait lié à un climat sec et à l'absence de forêts dans la région.

Les études palynologiques réalisées à ce jour ont porté sur deux carottes collectées dans le lac Dom Helvécio

La première (LDH2) de 740 cm de longueur, a été retirée, par 1 mètre de profondeur, de la partie interne du dépôt sédimentaire responsable de la fermeture de la vallée. Elle présente deux grandes unités sédimentaires principales séparées par un contact brusque: de la base jusqu'à 18 cm, il s'agit d'un sédiment argileux pauvre en matière organique, de 18 cm au sommet, d'un sédiment argileux riche en restes végétaux. Des datations par

* Inst. de Biologia, Depto. de Botânica, 21949-900 Rio de Janeiro, Brasil, ORSTOM, Dept. TOA, UR 12 AIMPACT, France
** UFF, Inst.de Ouimica, Depto de Geoquimica, 24020-007, Niteroi, Brasil ORSTOM, Dept. TOA, UR 12 AIMPACT, France
*** UFSCar, DEBE, 13656-090, Sao Carlos, S.P., Brasil

le ^{14}C ont donné un âge compris entre 9500 et 9000 ans BP pour toute l'unité inférieure qui correspondrait donc au dépôt, très rapide, des sédiments qui ont formé la digue. Le contenu palynologique de toute cette séquence est dominé par les graminées. Les diatomées, très rares dans cet ensemble, ont été rencontrées seulement dans quelques niveaux associées à des Cypéracées et à des *Spirogyra*, une algue commune dans les eaux stagnantes peu profondes (Ybert *et al.*, 1993). Cet association micro paléontologique indique l'existence d'un climat sec avec une végétation de cerrado, confirmant les observations de Servant *et al.* (1989). La seconde unité est dominée par les pollens d'arbres, elle est en outre très riche en diatomées et en algues appartenant aux genres *Botryococcus* et *Coelastrum*. Cet association indique un milieu nettement lacustre et un environnement humide avec une végétation de forêt semi-caducifoliée et de forêt galerie. Sa base a été datée de 1380 ans BP.

La seconde carotte (LDH 944), de 508 cm de long, a été collectée dans le centre du lac, par 30 mètres de fond. Elle est constituée d'argile organique de couleur gris olive foncée. La base de la carotte a été datée de 8340 ans BP, et un âge de 2700 ans BP a été obtenu pour l'intervalle 121-127 cm. L'étude palynologique révèle une grande abondance d'algues appartenant principalement aux genres *Botryococcus* et *Coelastrum* tout au long de la carotte. L'abondance relative de ces algues augmente sensiblement de 250 cm vers le haut en relation à l'ensemble des palynomorphes. Les fréquences relatives des différentes algues entre elles sont très variables, *Botryococcus* étant plus abondant de la base jusqu'à 450 cm et de 60 cm au sommet. L'étude de sédiments superficiels, collectés le long de transects transversaux dans les lacs de la région, devrait permettre de vérifier si ces variations de fréquences sont dues à des fluctuations du niveau du lac.

Le spectre pollinique est dominé par les pollens d'arbres, toutefois. les pollens de plantes herbacées, en particulier de graminées, augmentent sensiblement entre 450 et 70 cm. indiquant un climat un peu plus sec. L'ensemble des pollens d'arbres indique un milieu de forêt semi-caducifoliée et de forêt galerie pendant toute la période représentée par la carotte. Le milieu était nettement lacustre avec seulement quelques faibles variations bathymétriques.

❖ RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MEIS, M.R.M., 1978, As unidades morfostratigrâficas Neoquaternarias do Médio Vale do Rio Doce -*Congres. Sao Paulo*

MEIS, M.R.M. & MONTEIRO, A.M.F., 1979, Upper Quaternary "rampas": Doce river valley, Southeastern Brazilian Plateau -*Z Geomorph* N.F., 23 (2): 132-151.

NIMER, Ed., 1989, Clirnatologia do Brasil - IBGE, pp. 421.

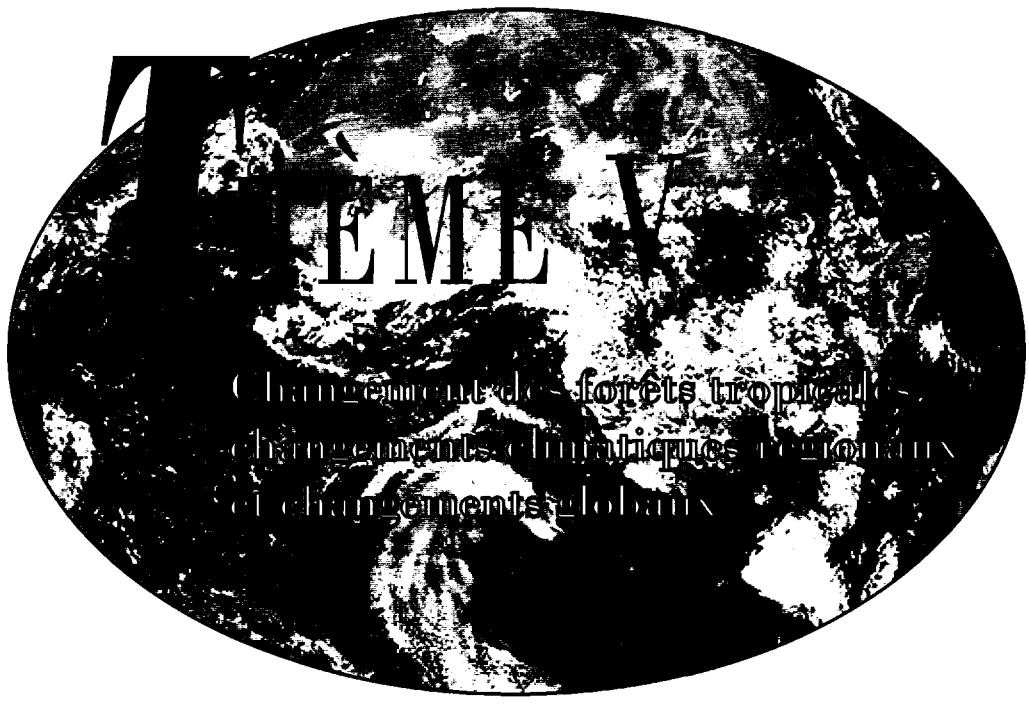
OVERLOOP, E. VAN, 1981, Post-Glacial to Holocene transition in a peatlayer of Lake Jacaré (Rio Doce Basin, Brazil) - *Bull. Soc. belge de Géologie*, 90 (2): 107-119.

PFLUG, R, 1969, Quaternary lakes of Eastern Brazil - *Photogrammetria*, 24 :29-35.

SERVANT, M., FOURNIER, M., SOUBIES, F., SUGUIO, K. &: TURCQ, B., 1989, Sécheresse holocène au Brésil (18-20° latitude sud). Implications paléométéorologiques- *C. R Acad. Sci. Paris*, 309 sériell:153-156.

TURCQ, B., SUGUIO, K., YBERT, J.P., ALBUQUERQUE, A.L.S., COCQUIT, C., KOHLER, C.H., MARTIN, L. & SALGADO-LABOURIAU, M L., 1994, Evolution of lakes in the Middle Doce river basin, Minas Gerais, Brazil - Res. *in* 14th International Sedimentological Congress, Recife, Agosto 94, *IAS 94*,S6:10-11.

YBERT, J.P., COCQUIT, C., KHOLER, H C., MARTIN, L., SALGADO-LABOURIAU, M.L, TURCQ, B., 1993, Primeiros resultados do estudo de um testemunbo de sedimentos do Lago Don Helvécio, Minas Gerais, Brasil. *Res. In*: Taller Internacional "El Cuaternario de Chile" e Sa Reunion Anual del Proyecto PICG - 281 "Climas Cuaternérios de América del Sur". Santiago, Chile, 1 à 9 de Novembro de 1993. 1 p.



TEME V

Changement de forêts tropicales,
changements climatiques régionaux
et changements globaux

LA BIODIVERSITÉ DANS LA RECONQUÊTE FORESTIÈRE POST-CULTURALE

Philippe DAGET et K. GUELLY***

La biodiversité est d'une mesure délicate; on choisit souvent de focaliser l'attention sur la richesse floristique. Nous proposons de suivre le devenir de cette biodiversité dans une séquence chronologique de reconquête forestière.

Il s'agit de 42 stations post culturales du Togo, dans la région de Béna. L'époque de leur mise en jachère, varie de quelques mois à 30 ans, est connue avec exactitude pour les plus jeunes et avec seulement quelques années d'imprécision pour les plus anciennes, ce qui constitue un cas exceptionnellement favorable d'étude. Ces stations sont situées sur la plateau d'Akposso à des altitudes variant entre 750 et 800 m. et entre 7° 31' et 7° 34' N et entre 0° 51' et 0°55' E. c'est une zone de forêt dense humide semi-décidue au sens d'Aubréville (1957) et de Schnell (1971), mais elle est occupée en grande partie par des savanes de type guinéen, des jachères forestières, toutes secondaires, et des cultures. Les précipitations moyennes sont de 1600 mm par an avec une courte saison sèche de novembre à février; la température varie peu autour de 25° et l'humidité relative reste très élevée toute l'année.

L'analyse des groupements végétaux a permis de distinguer 5 stades évolutifs:

✓ Stade à Asteraceae, dans les jeunes jachères;

✓ Stade à *Harungana madagascarensis*, dans les jachères arbustives plus âgées de la fruticée;

✓ Stade à *Margaritaria discoides* déjà arboré;

✓ Stade à *Macaranga barteri* où les arbres atteignent 25 m avec un recouvrement de 80%, quelques lianes;

✓Stade à *Erythrophleum suaveolens* au delà de 25 ans complètement forestier, riche en lianes.

Le nombre d'espèces par individu d'association est de l'ordre de 22 dès la première année de jachère et marque un léger fléchissement à la troisième année avec 20 espèces. Il augmente ensuite de manière plus que proportionnelle jusqu'à atteindre 46 espèces dans les formations âgées de 15 ans. Il diminue ensuite, d'abord lentement (42 espèces à 22 ans) puis rapidement pour tomber à 26 espèces dans les formations âgées de 30 ans.

* CNRS / CIRAD-EMVT, BP 5053, 34032 Montpellier Cedex, France
** Laboratoire de botanique, Université du Togo, BP 1515, Lomé, Togo

Cette variation peut être décrite simplement par une relation du troisième degré en fonction du temps :

$$R = 19,8 + 0,175t^2 - 0,0055t^3$$

qui absorbe 85% de la variabilité totale.

L'examen des flores permet de regrouper les espèces en trois catégories: les espèces arvales qui viennent de la culture, les espèces de la savane dont l'abondance croît puis diminue et les espèces forestières. L'évolution de la contribution de chacune des composantes floristiques de la biodiversité au cours de l'écésis comporte donc quatre phases :

✓ **Phase I : préparation** ; il n'y a encore aucune espèce de cette composante, mais la végétation se prépare à les recevoir.

✓ **Phase II : implantation** ; le nombre d'espèces de cette composante augmente.

✓ **Phase III : vieillissement** ; il diminue.

✓ **Phase IV : disparition** ; il n'y a plus aucune espèce de cette composante.

Posons deux postulats simplificateurs:

✓ *P1 : La variation de la biodiversité est proportionnelle au temps.*

✓ *P2 : la diminution et l'augmentation de la biodiversité se font à la même vitesse.*

Dès lors, la succession de ces trois phases est rassemblée dans le modèle:

$$B = D1\ (1 - D3)\ ((1 - 2D2)\ at + b)$$

défini par les 3 paramètres **T1 T2,** et **a** et où Di est une "variable auxiliaire"... En termes expérimentaux, il répond aux trois questions : *Quand commence le processus?, Combien de temps dure-t-il?* et *Quelle est sa vitesse?*

Les composantes de la végétation interagissent et deux postulats supplémentaires en rendent compte :

✓ *P3: Les espèces d'un stade postérieur commencent à apparaître quand celles du stade précédent sont en nombre suffisamment élevé.* C'est le déclenchement de la phase II.

✓ *P4: Les espèces d'un stade antérieur commencent à disparaître quand celles du stade antérieur sont en nombre suffisant* C'est le déclenchement de la phase III.

En admettant une végétation à 3 composantes comme celle de l'exemple précèdent, le modèle complet s'écrira:

$$\Sigma_3\ D1(i)\{1-D3(i)\ \{\{1-2D2(i)\}\ a\ (i)t + b(1)\}$$

Les fonctions linéaires utilisées ici sont fortement simplificatrices; elles pourraient être remplacées par des fonctions plus "réalistes". Plusieurs auteurs ont représenté la variation du nombre d'espèces d'un des constituants, et plus particulièrement du dernier, par une courbe logistique de Voltera (1935) qui revient à dire que l'accroissement est proportionnel au nombre d'individus déjà en place, mais avec un coefficient de proportionnalité qui dépend lui même de ce nombre. L'inconvénient de cette approche est qu'elle suppose un effectif initial non nul, cela supposerait qu'il y ait eu déjà des espèces forestières dans la culture avant son abandon. Cette hypothèse peut être admise dans certaines culture africaine où le paysan laisse volontairement en place quelques arbres de la forêt, mais c'est là un cas particulier.

Une autre approche est possible. Elle suppose deux conditions :

✓ *P5 : Pour la dernière composante de la biodiversité, la vitesse du processus dépend du nombre d'espèces déjà en place, donc de la biodiversité déjà réalisée.*

✓ *P6 : Plus le processus vieillit, plus la vitesse d'accroissement est lente, donc moins la biodiversité augmente.*

Ce qui se formalise par:

$$\frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{a}{t^n} R$$

dont la solution est:

$$R = N^* e^{-\frac{a}{t}}$$

qui tend vers zéro avec **t** et admet **N*** pour asymptote.

Cette fonction peut être substituée dans le modèle I pour traduire l'évolution du dernier composant de la biodiversité avec la forme.

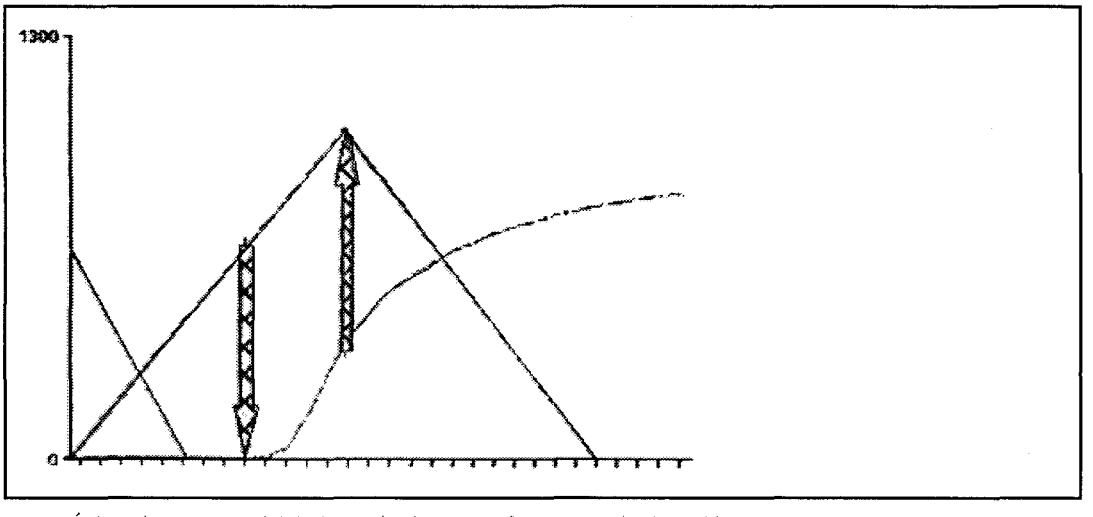


Figure 2- Évolution des composantes de la biodiversité dans la reconquête forestière post-culturale - Modèle II

La vitesse de "cicatrisation" dépend de la place de la parcelle dans le paysage et de sa forme. Il y a un décalage dans le démarrage de l'évolution des diverses composantes de la biodiversité qui augmente avec la distance à la forêt voisine. Une parcelle allongée, se "cicatrisera" plus rapidement qu'une parcelle qui serait circulaire, par ce que la cicatrisation se fait par les bords.

L'étude présentée ici a permis de dégager un modèle cinématique de la reconstitution de la biodiversité dans la reconquête forestière post-culturale et ses modalités par phases, par pulsions. Le modèle proposé correspond à trois composantes, mais une évolution complète en comporterait une quatrième, celle de la "forêt dense humide semi-décidue". Toutefois, les boisements sont remis en culture avant sa mise en place donc le 4° stade ne peux se mettre en place. En définitive, le jeu complexe des séries aboutissant à une forêt héliophile n'a que 3 stades, comme sur la figure, tandis qu'il y en a quatre dans le cas d'une forêt sciaphile. Cette dernière conclusion s'applique aussi dans les forêts extra-tropicales.

FLUX ET PALÉOFLUX DE CARBONE DES FORÊTS TROPICALES

Hugues FAURE, Liliane FAURE-DENARD**, Jonathan ADAMS***

Les forêts tropicales constituent un part importante du stock de carbone fixé dans la biosphère terrestre. Toute modification en étendue ou en volume de la forêt tropicale correspond à un transfert d'une masse de carbone. Le transfert se fait du réservoir terrestre vers le réservoir océanique ou inversement (Shackleton, 1977). Ce phénomène est important pour l'ensemble du fonctionnement du Système Terre. La modification de la composition chimique de l'océan a des conséquences sur la sédimentation carbonatée, sur sa composition isotopique et sur la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre.

Les flux nets de carbone qui s'échangent entre le réservoir terrestre (végétation et sol) et le réservoir océanique (carbone inorganique et organique dissous ou particulaire : DIC, DOC, POC) sont une part minime du flux d'échanges annuels produits par la photosynthèse, les respirations, les oxydations (de l'ordre d'un millième ou un centimètre). La mesure directe de ces flux nets n'est pas aisée. Ces flux peuvent être calculés par différence entre les stocks de deux époques différentes. Une part du transfert de carbone de la forêt tropicale vers l'océan se fait par le fleuve. Ce transfert peut être mesuré à partir du débit de ceux-ci et de la teneur des eaux en carbone total (POC, DOC, DIC). Ce flux net annuel est unidirectionnel. Les mesures sur les flux actuels sont fortement influencées par les actions anthropiques.

La gigantesque expérimentation naturelle que constitue le passage du dernier maximum glaciaire (LGM) à l'Optimum l'Holocène (MHO) (avant les actions anthropiques) peut-être utilisée pour calculer des flux annuels moyens avec une relativement bonne précision. En effet, le chiffre approximatif de la masse totale de carbone transférée entre les deux situations extrêmes (LGM et MHO) est divisé par 1 000 ou 10 000 pour obtenir le flux net annuel moyen. Par exemple un flux annuel excédentaire (de l'océan vers l'atmosphère) de 0,1 Gigatonne (Gt - 10^{15} g) de carbone par an pendant 1 000 ans permet de reconstituer un stock de 100 Gt de carbone dans la biomasse des forêts en expansion.

L'analyse des gaz des bulles d'air fossile de la glace des carottes de l'Antarctique et du Groënland a démontré que l'atmosphère ne peut constituer un stock de carbone notable puisque la teneur en carbone y varie de moins de ± 20% au cours du cycle glaciaire/interglaciaire. De plus, l'augmentation se fait dans le même sens que celle de la biosphère.

* LGQ-CNRS, Fac. Sci. Luminy, Case 907, F-13288 Marseille cedex 9
** LGQ-CNRS, CEREGE, BP 80, F-13545 Aix-en-Provence cedex 4

Il est donc essentiel d'évaluer même approximativement la masse de carbone transférée donc le changement qui s'effectue dans les forêts tropicales entre deux situations extrêmes : pour cela il convient de répondre à plusieurs questions :

✓ Quelle est l'ampleur des changements naturels qui affectent les forêts tropicales au dernier maximum glaciaire ? Quelles réductions de superficie peut-on enregistrer ? La biomasse totale était-elle réduite de 20% ou de 80% par rapport à ce qu'elle était il y a 8 000 ans, 6 000 ans ou 3 000 ans BP ?

✓ Plus rationnellement, dans le sens de l'écoulement du temps (depuis le maximum glaciaire jusqu'à l'Holocène moyen), le carbone fixé dans la biomasse et les sols a-t-il doublé ou triplé dans les tropiques humides ?

✓ Quel est l'effet réel du diachronisme, de l'anachronisme ou de synchronisme des grands changements depuis le dernier maximum glaciaire entre le développement des forêts tropicales d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Asie du Sud-Est ?

✓ Comment évoluent les sols des forêts tropicales au maximum glaciaire ? Renferment-ils plus de carbone ? ou moins ?

✓ Quelle surface et quel volume occupent les "tourbes" tropicales ? Comment évoluent ces paramètres au maximum glaciaire ?

✓ Quelle est la production de méthane des zones humides tropicales ? Quelle était cette production au maximum glaciaire ?

✓ Que deviennent les "jus" riches en carbone organique soluble (DOC, DIC, POC) issus des sols et des zones humides ? Quelle part ne rejoint pas l'océan ?

✓ Peut-on rétablir le cycle de l'eau au maximum glaciaire sur un transect de la forêt tropicale actuelle et calculer les flux de carbone transportés par les fleuves à cette époque ?

Ces questions peuvent être résolues par des études locales dans les forêts tropicales et à leur limite. La réponse du terrain est un préliminaire indispensable à une globalisation des résultats et à une modélisation réaliste.

Ces questions font partie des réflexions qui animent les groupes de travail de la Commission de l'INQUA pour l'étude des changements dans le cycle du carbone terrestre à laquelle l'ORSTOM participe.

SOURCE ET PUITS DU CARBONE AU SUD-CAMEROUN, ENREGISTREMENTS LACUSTRES ET OCÉANIQUES, ÉVOLUTION À LONG TERME

Pierre GIRESSE, Jean MALEY**, Simon NGOS****

Aujourd'hui, les flux organiques des rivières camerounaises au Golfe de Guinée se composent en parts égales de carbone dissous et de carbone particulaire. La biodégradation qui intervient à l'interface eaux douces-eaux salées réduit ce flux environ de moitié.

Dans le cas du bassin de la Sanaga où le couvert végétal est dominé par la savane à l'amont, puis par la forêt dense à l'aval, on mesure un transfert annuel de 118,8 10^4 tonnes de carbone total (TOC) et une érosion spécifique de 8,8 tonnes TOC km2 an^{-1}. On calcule que la masse de carbone transférée à l'océan à l'échelle holocène représente environ huis fois celle stockée dans les horizons A du bassin versant.

Dans l'océan, en raison des tris hydrodynamiques étroitement liés à la proximité des lignes de rivage, les enregistrements sédimentaires ne permettent pas toujours d'observer les changements de rythme du dépôt qui seraient directement imputables à l'évolution paléogéographique du bassin versant (10^3 - 10^4 ans). Par contre, à l'échelle de vastes bassins versants comme celui du Congo et sur un enregistrement plus long (10^5 ans), les biozones chaudes correspondent à des paroxysmes du flux de carbone pédogène.

Dans le cadre beaucoup plus restreint du bassin du lac Barombi-Mbo, le flux holocène de carbone particulaire est d'environ 96,6 103 tonnes et correspond à une masse qui est du même ordre de grandeur que celle stockée dans les sols des versants, soit 117 10^3 tonnes. Cet équilibre implique un site stable beaucoup plus protégé par son couvert végétal que celui du bassin de la Sanaga.

L'enregistrement des 20 derniers millénaires de l'histoire de ce lac montrent une accélération globale de la sédimentation pendant l'Holocène où, par contre, les dépôts sont plus pauvres en carbone. Il en résulte un rythme d'accumulation du carbone globalement assez constant. En liaison avec les conclusions de l'étude palynologique, on admettra pendant le Pléistocène une érosion plus brutale et irrégulière des litières du versant, mais aussi une biodégradation un peu ralentie dans une ambiance plus fraîche liée à une certaine permanence des couvertures nuageuses. Dans ce dernier cas, l'influence des reliefs élevés de la ride volcanique très proche a pu être déterminante.

* Laboratoire de sédimentologie et géochimie marine, URA CNRS 715, Univ. Perpignan, 66860 Perpignan cedex
** Paléoenvironnements et Palynologie, ISEM/CNRS, URA 327, ORSTOM UR1C, Univ. Montpellier II, 34095 Montpellier cedex 5
*** Département de Géologie, Univ. de Yaoundé, BP 812, Yaoundé, Cameroun

Des étude récentes des flux carbonés de certains tribulaires ainsi que des rythmes sédimentaires séculaires de divers lacs de la "Cameroon Line" viennent compléter ce bilan.

Sites	Erosion spécifique et du carbone particulaire	Flux holocène du carbone particulaire	Stock de carbone "mort" sur les versants
Bassin versant de la Sanaga	5.06 t km^{-2} yr^{-1}	11.881 t 10^9 yrs	1.812 10^9 t
Barombi-Mbo	3.37 t km^{-2} yr^{-1}	96.6 t 10^3 yrs	117 10^3 t

HYPOTHÈSE D'UN DÉTERMINISME CLIMATIQUE DE LA TRANSFORMATION D'UNE COUVERTURE PÉDOLOGIQUE EN GUYANE FRANÇAISE. CONSÉQUENCES SUR LES RELATIONS SOL-PEUPLEMENT ARBORÉ

Michel GRIMALDI, Daniel SABATIER**, Catherine GRIMALDI***, Marie-Françoise PREVOST***

L'évolution des couvertures pédologiques en Guyane française est interprétée, depuis Turenne (1975) et Boulet (1978), comme la transformation d'une couverture ferralitique initiale mise en déséquilibre par un changement de facteur externe. Selon ces auteurs, la cause du déséquilibre dépend de l'ensemble géologique considéré: remontée du niveau de la mer depuis 11000 ans BP pour les formations pléistocènes de la plaine côtière (Turenne, 1975), et, pour le socle précambrien, léger soulèvement du compartiment guyanais et en conséquence abaissement du niveau de base, conjugué éventuellement à une augmentation de la pluviosité (Boulet *et al.*., 1979).

L'impact de la transformation de la couverture ferralitique sur le peuplement forestier a été étudié en Guyane française, à la station « Piste de St-Elie », située sur socle (Sabatier *et al.*, à paraître).

Les variations spatiales du sol ont été cartographiées selon la méthode proposée par Boulet *et al.* (1982). La carte pédologique précise l'extension de différents domaines apparaissant aux stades successifs de transformation d'une couverture ferralitique initiale (Boulet *et al.*, 1993).

Le premier processus mis en oeuvre dans cette transformation est une érosion chimique et particulaire, qui entraîne l'amincissement de l'horizon supérieur du profil ferralitique, à structure microagrégée, et l'apparition, à moins de 1 m de profondeur, d'un horizon d'altération de la roche, à structure massive et peu perméable. Une nappe se forme alors au cours des fortes averses, qui s'écoule dans l'horizon superficiel. Le drainage est donc latéral et superficiel (DLS), tandis qu'il reste vertical et profond (DVP) lorsque l'horizon microagrégé est épais (Humbel, 1978; Guehl, 1984). L'amincissement de la couverture ferralitique résulte des exportations de silice, aluminium et fer, sous forme dissoute ou particulaire, dans la nappe à circulation latérale (Grimaldi *et al.*, 1992). Le second processus correspond à des modifications minéralogiques et structurales, en conditions d'hydromorphie plus ou moins prolongée. Fritsch (1984) distingue deux systèmes transformants: aval (SAv) et amont (SAm), qui traduisent deux milieux hydromorphes respectivement ouvert et confiné. A l'aval, la circulation latérale de l'eau alimente une nappe qui s'écoule, durant plusieurs jours après les averses, par les axes de drainage principaux. A

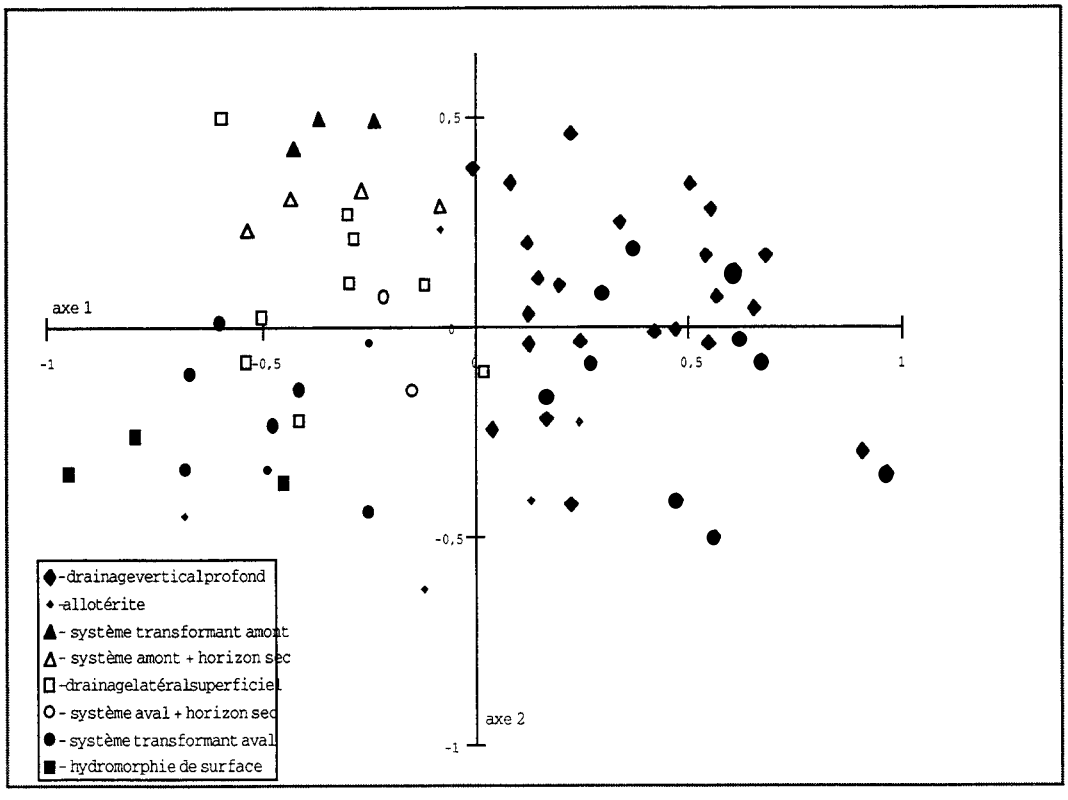
* ORSTOM, UR 12, TOA
** ORSTOM, IIR34, MAA
*** INRA, Science du Sol, Rennes

l'amont, la saturation du sol est d'autant plus prolongée entre les averses que la pente est plus faible.

Des mesures du potentiel de l'eau dans le sol à l'aide de tensiomètres montrent des différences importantes de dynamique de l'eau entre les domaines pédologiques cartographiés. Ces différences portent sur la fréquence et la durée des périodes d'excès (saturation) ou de déficit hydriques, qui peuvent représenter des contraintes pour certaines espèces végétales.

L'influence des variables environnementales sur la couverture végétale est étudiée par la méthode des profils écologiques et par l'analyse des correspondances du tableau de profils écologiques.

Le peuplement forestier apparaît très dépendant des facteurs édaphiques et topographiques. Des liaisons sol-espèce, exclusives et significatives, existent pour chacun des domaines pédologiques considérés. Une forte proportion d'espèces (48 %) est associée aux sols présentant un horizon microagrégé épais. Quelques espèces ont une réelle valeur indicatrice et permettent en particulier de différencier les stands sur sols ferralitiques de ceux sur sols amincis et hydromorphes. L'ordination des espèces et des variables environnementales par l'analyse des correspondances du tableau de profils écologiques donne deux axes factoriels significatifs (figure 1). Ces deux axes sont associés respectivement aux processus de transformation par érosion et par hydromorphie. L'ordination des stands (~ 0.25 ha) les regroupe selon trois groupes principaux :



✓ stands sur des sols microagrégés épais dont la ségrégation parfaite - malgré des parcelles élémentaires très petites - témoigne d'une grande stabilité des composantes du peuplement liées au sol

✓ stands sur des sols amincis et hydromorphes pour lesquels une nette ségrégation s'opère entre les systèmes transformants amont et aval;

✓ stands sur des sols hydromorphes dès la surface, en bas de versant.

En définitive, la transformation de la couverture ferralitique s'accompagne d'un véritable remaniement du peuplement forestier.

Un changement récent du climat, en particulier une augmentation de la pluviosité, pourrait jouer un rôle important, tant dans la répartition spatiale des espèces sensibles à l'excès d'eau, que dans les processus de transformation de la couverture pédologique. Une augmentation de la pluviosité favorise en effet l'apparition et l'expansion des nappes, et accélère donc les processus d'érosion et d'hydromorphie. A l'appui de cette hypothèse, nous mettons en évidence, une saturation en eau de l'horizon micro agrégé du sol ferralitique, pendant plusieurs heures après des averses de forte intensité.

❖ BIBLIOGRAPHIE

BOULET, R.,1978. Existence de systèmes à forte différenciation latérale en milieu ferralitique guyanais: un nouvel exemple de couverture pédologique en déséquilibre. Sci du Sol, 2, 75-82.

BOULET, R., BRUGIÈRE, J.M. ET HUMBEL, F.X., 1979. Relation entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane septentrionale: conséquences agronomiques d'une évolution déterminée par un déséquilibre d'origine principalement tectonique. Sci. du Sol, 1, 3-18.

BOULET, R., HUMBEL, F.X. ET LUCAS, Y., 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie. III - Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie XIX(4), 341 -351.

BOULET, R., LUCAS, Y., FRITSCH, E. ET PAQUET, H., 1993. Géochimie des paysages: le rôle des couvertures pédologiques. In: Paquet, H. et Clauer, N.: Colloque «Sédimentologie et Géochimie de la Surface» à la mémoire de Georges Millot, Colloque de l 'Académie des Sciences et du Cadas, 55-76.

FRITSCH, E., 1984. Les transformations d'une couverture ferralitique: analyse minéralogique et structurale d'une toposéquence sur schistes en Guyane française. Thèse 3ème cycle, Paris VII, 138p.

GUEHL, J.M., 1984. Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. Ann. Sci. For., 41: 195-236.

GRIMALDI, C., GRIMALDI, M. ET BOULET, R., 1992. Etude d'un système de transformation sur schiste en Guyane française. Approches morphologique, géochimique et hydrodynamique. In: Wackermann, J.M.: Organisation et fonctionnement des altérites et des sols. ORSTOM (Ed.), coll. Colloques et Séminaires, Paris, 81-98.

HUMBEL, F.X., 1978. Caractérisation par des méthodes physiques, hydriques et d'enracinement de sols de Guyane française à dynamique de l'eau superficielle. Sci. du Sol, 2, 83-93.

SABATIER, D., GRIMALDI, M., PREVOST, M.F., GUILLAUME, J., GODRON, M., DOSSO, M. et CURMI, P., 1996. The influence of soil cover organization on the composition and structure of a Guianan forest. (à paraître)

TURENNE, J.F., 1975. Mode d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Thèse Sci. Univ. Nancy et Mémoire ORSTOM, 84, 173 p.

UTILISATION DE MODÈLES DE VÉGÉTATION POUR COMPRENDRE LES CHANGEMENTS DE VÉGÉTATION PASSÉS

*Dominique JOLLY**

L'effet des contraintes climatiques et anthropiques en Afrique reste mal connu. Les modifications passées subies par les écosystèmes tropicaux traduites dans les assemblages polliniques fossiles ont servi aux reconstructions climatiques quantitatives du climat. Les résultats acquis s'appuient sur un postulat : l'équilibre entre le climat et la végétation, et sur des méthodes statistiques permettant d'extraire le signal climatique. Il est maintenant nécessaire d'aborder la vérification du postulat par le développement et l'utilisation de nouvelles méthodes directes susceptibles de cerner les effets de forçages externes s'exerçant sur les écosystèmes tropicaux. Ces méthodes constituent une alternative indépendante aux fonctions de transfert. Elles sont basées sur l'utilisation de modèles de végétation, qu'ils soient globaux (Modèles de biomes) ou locaux (Modèle de succession forestière), utilisant des données d'entrée (nature du sol, climat...) complètement indépendantes des données servant à leur validation (*données polliniques fossiles*). Les méthodes de comparaison "données-modèles" sont en pleine évolution, plusieurs stratégies pouvant être utilisées :

✓ l'approche de type semi-qualitatif (comparaison des cartes paléoclimatiques simulées avec les diagrammes polliniques) a permis une évaluation relative des performances des modèles[1].

✓ l'approche de type inverse (fonctions de transfert). Le signal climatique est extrait de manière quantitative à partir des paléodonnnées pour établir des cartes paléoclimatiques[2].

✓ l'approche de type direct consiste en l'utilisation de modèles globaux de végétation qui grâce à un couplage asynchrone avec les simulations climatiques, permet d'obtenir des paléodistributions de végétation directement comparables aux données polliniques[3].

❖ ECHELLE GLOBALE

Les modèles globaux de végétation (MGV) qui sont basés sur la notion de **type fonctionnel de plante (TFP)**, bien qu'étant des modèles statiques, sont actuellement les outils les plus élaborés pour exprimer les sorties des modèles généraux de circulation atmosphérique (température et précipitation moyennes mensuelles, couvert nuageux) en cartes globales de distribution potentielle des différents biomes[4]. Le concept de TFP s'appuie sur le classement des **plantes en groupes homogènes**, définis **sur des**

* Dept. of Ecology - University of Lund - Folvegatan, 37 - 22362 Lund - Suède

bases physiologiques et limités par un nombre restreint de paramètres bioclimatiques (température moyenne du mois le plus froid/chaud, coefficient d'humidité annuelle utilisable, et paramètre de dominance entre les arbres et plantes non arborées. Chaque **biome** correspond à **une combinaison simple de TFPs**[4,5]. L'utilisation d'un modèle de biomes permet de simuler les changements de végétation associés aux changements d'insolation résultant d'une configuration orbitale différente de l'actuelle[6,7], aux conditions limités du dernier maximum glaciaire[8,9], à l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2[10,11], associée à l'utilisation des sols potentiellement cultivables[12].

Cependant, il est nécessaire de tester les modèles pour des époques passées sous des régimes climatiques différents, avec l'aide de données paléoécologiques, dont les pollens. La modélisation globale est focalisée sur 18 000 et 6 000 ans BP, en accord avec les objectifs de programmes internationaux TEMPO et PMIP. Cette évaluation se fait par une méthode directe de **confrontation des paléodistributions simulées** (après le couplage asynchrone des modèles climatiques et d'un modèle global de végétation) **avec les paléobiomes dérivés des données polliniques**, le diagnostic en termes climatiques qui en découle servant de base à de nouvelles expérimentations. La philosophie générale de cette stratégie de comparaison données-modèles est d'utiliser les paléodonnées comme points de contrôle des simulations, et non comme base de reconstruction des paléodistributions de végétation[13,14]. Dans le cadre de COHMAP, nous avons utilisé cette stratégie pour évaluer les performances du modèle climatique CCM1 (NCAR) en Afrique pour les périodes 6, 9 et 18 000 ans BP. Après avoir compilé les données polliniques africaines existantes pour ces trois périodes clé (68 sites) et assigné un nom de biome à chaque site pollinique, l'étude des désaccords entre biomes simulés et biomes observés a permis d'établir un diagnostic en termes climatiques qui a été "croisé" avec celui effectué à partir des données de niveaux lacustres et des cartes de Précipitation-Evaporation simulée[3].

Ainsi, au cours de l'Holocène Inférieur et Moyen, les températures simulées étaient légèrement inférieures aux températures actuelles, avec une augmentation des précipitations de mousson sur le Sahara oriental et en Afrique de l'Est. Les végétations simulées montrent une remontée altitudinale des écosystèmes montagnards, une fragmentation des associations xérophytiques en Afrique du Sud et une remontée majeure vers le nord de la limite sud du Sahara oriental. Les paléodonnées confirment l'expansion de la mousson au Nord du 22° parallèle en Afrique de l'Est, mais ce modèle est incapable de simuler les conditions humides observées en Afrique de l'Ouest[3] de même que tous les autres modèles climatiques, suggérant l'existence de rétroactions liées aux étendues lacustres au Sahara principalement[15]. Cette hypothèse vient d'être démontrée par une simulation montrant que ce type de rétroaction incluse dans le modèle climatique doublait l'effet de l'insolation sur la pénétration du front de mousson[16].

❖ ECHELLE LOCALE

Pour comprendre réellement comment se met en place la végétation à l'échelle pluriséculaire, il est essentiel de recourir à la modélisation dynamique, c'est à dire intégrant l'axe

temporel. Les modèles de succession forestière[17] sont un outil extrêmement puissant pour évaluer la réaction d'écosystèmes à une augmentation de température[18], un accroissement de la concentration du CO_2 atmosphérique[19], de polluants[20,21], l'effet de pratiques culturales[22]. Il est cependant nécessaire de comparer le résultat des simulations à long terme avec les données polliniques[23], afin de déterminer le degré de confiance (et d'utilité) de ces modèles avant d'envisager des simulations prospectives[24]. Tous les modèles de succession forestière sont basés sur l'établissement et le potentiel de croissance des arbres, des limitations climatiques et une compétition à la lumière. Le modèle FORSKA, développé pour les forêts boréales sur une superficie de 0,1 ha[25] en raison de ses caractéristiques spécifiques de surface foliaire[26] et de mortalité[27] semble le mieux adaptés aux forêts tropicales. Il utilise relativement peu de paramètres d'entrée, ce qui le rend applicable en domaine tropicale où les données sont limitées, comme l'atteste son utilisation récente en domaine Soudano-Zambézien[28].

La procédure de validation du modèle par comparaison avec une séquence pollinique consiste en une comparaison de la biomasse simulée pour chaque taxon, avec le diagramme pollinique, avec l'examen qualitatif de l'apparition, l'établissement et la disparition des principaux taxons[29]. Cette stratégie très performante permet une caractérisation en terme climatique d'événements passés. Ainsi, il a pu être montré qu'avec un refroidissement de l'ordre de 2°C durant le Petit Age Glaciaire (de 1 200 à 1 850 ans A.D.), les forêts de l'Ontario restent en déséquilibre avec le climat pendant plus de 650 ans[30]. Ce type de modèle peut également être utilisé à des fins prospectives[31] (augmentation de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre, réchauffement), et il est donc possible d'envisager des tests de sensibilité et de simuler la dynamique potentielle des forêts tropicales dans le futur.

❖ RÉFÉRENCES

1. Street-Perrott F.A. & Perrott A. (1993). In : Global Climates since the LGM, Chap. 3, Univ. Minnesota Press, 544 p..

2. Guiot J. et al. (1993). Quaternary Research, 40, 139-149.

3. Jolly D., Harrison S.P., Damnati B. & Bonnefille R. (sous-presse). Quaternary Science Reviews.

4. Prentice I.C. *et al.* (1992). Journal of Biogeography, 19, 117-134.

5. Prentice I.C. & Jolly D. (sous-presse). Biome Modelling. In, NATO ASI Series I, Glob. Env. Ch.

6. Harrison S.P. *et al.* (1995). Quat. Res., 43, 174-184.

7. Foley J. (1994). Glob. Biogeochem. Cycles, 8, 505-525.

8. Prentice I.C. *et al.* (1993). Global Ecol. and Biogeogr. Letters, 3, 67-76.

9. Claussen M. & Esch M. (1994). Climate Dynamics, 9, 235-243.

10. Prentice I.C. & Sykes M. (1994). In : Biotic Feedbacks in the Global Climate System: will the Warming Speed the Warming ? Oxford Press.

11. VEMAP Participants (1995). Global Biogeochemical Cycles, 9, 407-437.

12. Solomon A.M. *et al.* (1993). Water, Air and Soil Pollution, 70, 595-614.

13. Adams J. *et al.* (1990). Nature, 348, 711-714.

14. Crowley T. (1995). Glob. Biogeochem. Cycles, 9, 377-389.

15. Jolly D., Laarif F., Harrisson S.P., Damnati B. & Bonnefille R. (1995). 1st GAIM Sci. Conf., Garmisch.

16. Kutzbach J.E. (1995). 1st GAIM Sci. Conf., Garmisch.

17. Botkin D.B. *et al.* (1972). Journal of Ecology, 60, 849-872.

18. Overpeck J.T. *et al.* (1990). Nature, 343, 51-53.

19. Salomon A.M. (1986). Oecologia, 68, 567-579.

20. West D.C. *et al.* (1980). J. Environ. Qual., 9, 43-49.

21. Kercher J.R. & Axelrod M.C. (1984). Ecological Modelling, 23, 165-184.

22. Mohren G.M.J. *et al.* (1991). For. Ecol. Manag., 42, 111-127.

23. Solomon A.M. & Shugart H.H. (1984). In : State and Change of Forest Ecosystems, Swed. Uni, Agr, Sci. Rep. 13, 333-356.

24. Shugart H.H. & West D.C. (1981). American Scientist, 69, 647-652.

25. Prentice I.C. & Leemans R. (1990). Journal of Ecology, 78, 340-355.

26. Shinozaki K. *et al.* (1964). Jap. Journal of Ecology, 14, 133-139.

27. Botkin D.B. & Schenk H.J. (1992). History and Rationales of the JABOWA Model of Forest Growth, NCASI, 77 p.

28. Desanker P. & Prentice I.C. (1994). Forest Ecology and Management, 69, 87-95.

29. Lotter A.F. & Kienast F. (1990). In : Laminated Sediments, special paper 14, 25-31.

30. Campbell I.D. & McAndrews J.H. (1993). Nature, 366, 336-338.

31. Solomon A.M. & Bartlein P.J. (1992). Can. Journal For Res., 22, 1727-1738.

LES EFFETS POSSIBLES D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE MODÉRÉ SUR LA FORÊT TROPICALE HUMIDE À L'INSTAR DES PERTURBATIONS ANTHROPIQUES

*Francis KAHN**

Il n'est guère possible d'observer les effets d'un changement climatique sur le long terme. Nous pouvons par contre supposer que les effets d'un changement climatique sont, dans les grandes lignes, analogues à ceux des effets anthropiques : la déforestation extrême sous forme d'immenses pâturages, où la forêt ne régénère plus ou très difficilement, n'est-elle pas assimilable à la formation de savanes lors d'une phase climatique sèche ? Or plus d'un quart des forêts d'Amérique latine a été détruit depuis 1850, la plus grande partie depuis 1960, et la forêt tropicale humide africaine a été réduite à quelques lambeaux sous l'action de l'homme depuis la colonisation.

Nous présenterons, de façon un peu plus détaillée dans le cadre de ce résumé, deux des exemples d'espèces qui, par leur comportement remarquable, deviennent des marqueurs floristique et biologique pour appréhender l'impact écologique des grands changements, ici d'origine anthropique, mais que nous pensons transposable aux évènements climatiques du passé récent.

❖ UN EXEMPLE IVOIRIEN

Le domaine forestier tropical humide est ceinturé par un ensemble de végétations tropophiles qui vont des savanes herbeuses aux forêts sèches caducifoliées. Certains des éléments floristiques, qui dominent ces végétations périphériques, se retrouvent au sein du domaine sempervirent avec un statut d'arbustes ou d'arbres pionniers, c'est-à-dire d'espèces qui ont pour rôle de colmater les trouées du manteau forestier. Elles constituent un premier couvert végétal qui restitue les conditions ambiantes favorables au développement des espèces ombrophiles.

Par leur statut de plantes pionnières, donc aptes à supporter des conditions écologiques extrêmes dans le contexte tropical humide, ces espèces résisteront mieux aux ruptures microclimatiques.

Dans la forêt de Tai, qui fut encore il y peu, l'un des derniers bastions de la forêt primaire tropicale humide africaine, sont présentes de nombreuses essences qui forment, dans les

* ORSTOM, CP 09747, 70001-970 Brasilia (DF), Brésil

POSTER

régions plus sèches, les forêts tropophiles périphériques (*Albizia zygia, Ceiba pentandra, Chlorophora excelsa, Terminalia ivorensis, T. superba, Triplochiton scleroxylon*...). Ces espèces sont tolérantes aux deux climats humide et plus sec.

Il s'agit d'arbres pionniers, espèces à part entière de la forêt tropicale humide. Elles envahissent naturellement les zones déforestées ; elles pourraient être à l'origine des forêts sèches qu'elles dominent.

Lorsque la forêt tropicale humide est coupée pour planter du riz et que le champs, après un ou deux ans de culture, est abandonné, commence alors la reconstitution de la végétation forestière. La première forêt qui s'installera aura les caractères struturaux de la forêt climacique, mais elle en différera par sa dynamique. Ce stade, nommé pré-climacique, sera essentiellement composé par de grands arbres pionniers à croissance rapide qui établiront une première structure forestière en un peu plus de 60 ans. La mort de ces grands arbres pionniers, de longévité différente selon les espèces, provoquera les premières trouées dans la canopée et engendrera la dynamique d'autorégénération par chute des arbres morts et cicatrisation des trouées, dynamique caractéristique de la forêt climacique, qui assurera la mise en place et le maintien de sa composition floristique.

Les forêts tropophiles situées à la périphérie du domaine forestier tropical humide sont, en quelque sorte, de forêts humides _néoténiques_ dont le développement se serait stoppé par élimination des éléments floristiques de la forêt climacique qui ne sont pas tolérants aux conditions plus sèches.

Cette présentation souligne que, lors d'une phase sèche, la forêt subit un appauvrissement floristique par élimination des espèces ombrophiles. Les taxons pionniers plus tolérants à la sécheresse, qui sont les éléments moteurs de la dynamique des forêts tropicales humides, deviennent les principaux éléments des forêts caducifoliées. Cela pourrait expliquer leur abondance dans les diagrammes polliniques, lors de phases climatiques sèches, même modérées.

Un autre exemple ivoirien montrera comment la modification du cortège floristique des arbustes pionniers, sous l'action anthropique, peut modifier drastiquement la dynamique de reconstitution de la forêt, scénario également transposable commet effet d'une modification climatique.

❖ UN EXEMPLE AMAZONIEN

Le _babacu_ *Orbignya phalerata*, est extrêmement abondant à la périphérie sud-est du bassin amazonien, dans l'état du Maranh où il constitue des peuplements denses de grande extension. Très agressive, cette espèce envahit les surfaces déforestées et, résistante au feu, elle condamne les pâturages à l'abandon.

L'homme favorise la dispersion du _babacu_. Son aire de répartition se superpose remarquablement au réseau routier péri-et transamazonien.

Plusieurs peuplements de cette espèce existent en Amazonie centrale dans la région de Manaus où elle a été transportée, et, plus au nord, dans l'état du Roraima, le long de la route qui, depuis Manaus, rejoint le Venezuela.

Une fois les zones déforestées envahies, le palmier pénètre les forêts. Dans une forêt primaire du Pará située à la limite de son front d'expansion, sur un demi-hectare, le nombre de ses plantules a été estimé à environ 15 000. Il régénère dans les chablis qu'il colmate précocement par ses grandes palmes et inhibe ainsi le développement des jeunes pieds héliophiles des mégaphanérophytes. La forêt, dominée par des Dicotylédones géantes, se trouve progressivement transformée en une palmeraie dense de faible richesse spécifique.

Dans ce cas, l'homme favorise la pénétration d'espèces des végétations tropophiles dans le domaine tropical dense humide et contribue indirectement à transformer des forêts à forte diversité biologique en des végétations dominées par une ou quelques espèces. Un épisode sec modéré pourrait avoir des effets analogues.

D'autres exemples de palmiers seront pris en compte, en particulier celui du palmier à huile africain.

L'action de l'homme, comme celle d'un climat qui devient plus sévère, entraîne une chute de la richesse en taxons, d'un part, en éliminant les espèces ombrophiles par altération du microclimat des forêts tropicales humides, d'autre part, en favorisant l'expansion d'espèces colonisatrices spécialisées à des conditions écologiques extrêmes, au détriment des espèces ombrophiles, que ces espèces soient les pionniers forestiers ou qu'elles viennent des zones plus sèches.

Le retour à un climat plus humide, moins contraignant, permet à la végétation de récupérer tout ou partie de sa biodiversité. Appréhender ce phénomène est cependant aussi difficile, et du même ordre de complexité, que de formuler des stratégies cohérentes pour récupérer la biodiversité des forêts tropicales, une fois qu'elles ont été détruites.

VARIATIONS DE LA VÉGÉTATION ET DES PALÉOENVIRONNEMENTS EN FORÊT DENSE AFRICAINE AU COURS DE L'HOLOCÈNE. IMPACT DE LA VARIATION DES TEMPÉRATURES MARINES DE SURFACE

Jean MALEY, Patrice BRENAC**, Sylvain BIGOT***, Vincent MORON****

Dans les régions forestières de l'Afrique de l'ouest et de l'Afrique centrale atlantique plusieurs sites de basse altitude ont fourni des enregistrements lacustres couvrant une partie ou la totalité de l'Holocène. Les enregistrements des sites suivant sont discutés ici : Bosumtwi au Ghana (coordonnées : 6°30'N-1°25'W); dans l'ouest et le sud Cameroun, Barombi Mbo (4°40'N-9°24'E), Mboandong (4°27'N-9°16'E), Njupi (6°27'N -10°19E), Ossa (3°50'N-10°E); dans le sud et ouest du Congo, Bilanko (3°31'S-15°21'E), Ngamakala (4°4'S-15°23'E), Sinnda (3°50'S-12°48'E) et 2 sites au nord de Pointe-Noire, CORAF et Diosso (vers 4°50'S-11°50'E). Autour des deux principaux sites du Bosumtwi et du Barombi Mbo, avec des enregistrements continus remontant à environ 28.000 ans BP, la dernière grande phase d'extension forestière a commencé vers 9500 ans BP et s'est poursuivie sans interruption jusqu'à l'Actuel au Bosumtwi, alors qu'au Barombi Mbo un recul brutal de la forêt est intervenu entre environ 2800 et 2000 ans BP. Ce recul forestier a été aussi mis en évidence dans les autres sites de l'Afrique centrale atlantique (ouest et sud Cameroun, sud et ouest Congo) et a été associé à de fortes érosions avec dépôts de sédiments grossiers. Dans les talwegs ces dépôts constituent la base d'une "Basse Terrasse" qui s'est édifiée ultérieurement et qui a été mis en relief par une érosion récente particulièrement active depuis le début du siècle. Après 2000 ans BP dans l'ouest et le sud Cameroun la forêt a été de nouveau en extension, phénomène qui s'est poursuivi avec des fluctuations jusqu'au 20ème siècle. Dans le sud et l'ouest Congo, le phénomène d'extension forestière a débuté plus tardivement : sur le littoral Congolais au nord de Pointe-Noire une poussée forestière est intervenue vers 1600 ans BP et une autre entre 500 et 600 ans BP.

Le niveau du lac Barombi Mbo n'a pratiquement pas fluctué au cours de l'Holocène car il possède un déversoir encore actuellement fonctionnel. Par contre le niveau du lac Bosumtwi a beaucoup fluctué au cours de l'Holocène. Son niveau actuel se situe à environ 105 m en-dessous d'un déversoir qui n'a été fonctionnel que durant l'Holocène moyen. La reconstitution des niveaux lacustres a mis en évidence une régression brutale d'environ 130 mètres vers 3700 ans BP avec ensuite entre 3000 et 2000 ans BP une nouvelle transgression lacustre mineure, très inférieure à celle de l'Holocène moyen. La sédimentologie des dépôts de ce dernier lac a été nettement affectée par ces variations lacustres. En effet depuis la base des sédiments étudiés ceux-ci sont laminés avec une périodicité quasi annuelle sauf durant l'intervalle ca. 9000 à 3700 ans BP durant lequel ils étaient non laminés et relativement riches en matière organique (sapropel). La brutale régression vers 3700 ans BP a coïncidé avec la réapparition des laminations qui se sont

* Paléoenvironnements & Palynologie (ORSTOM & CNRS), Université de Montpellier 2, MONTPELLIER-34095 France
** Paléoenvironnements & Palynologie (ORSTOM & CNRS), Université de Montpellier 2, MONTPELLIER-34095 France - Adresse actuelle : Simon Petroleum Tech., Llandudno, GWYNEDD, Grande-Bretagne
*** Centre de Recherches de Climatologie Université de Bourgogne, DIJON-21000 France

poursuivies jusqu'à la période actuelle. On constate donc que l'absence des laminations a correspondu aux plus hauts niveaux lacustres.

On a pu rattacher ce phénomène de lamination des sédiments au retournement des eaux du lac qui se produit chaque année vers le mois d'Août. Ce mois est le plus frais de l'année du fait des couvertures nuageuses de type stratiforme qui masquent quasi en permanence le soleil. Cette période est appelée la "petite saison sèche estivale" car ces nuages stratiformes sont à évolution très lente et ne donnent quasiment pas de pluie. La génération de ces nuages dépend surtout des remontées d'eau froide profonde qui abaissent les Températures de Surface de l'Océan (TSO) au large des côtes africaines. Ces températures océaniques plus basses influencent profondément la mousson dont le contenu en vapeur d'eau et la convection sont alors très réduits, ce qui génère finalement la formation des nuages stratiformes. De ces données actuelles on peut conclure, semble-t-il, que la réapparition des laminations vers 3700 ans BP a dû coïncider avec le retour soudain de la petite saison sèche estivale et donc avec une réduction notable des pluies annuelles. On peut aussi en déduire une forte recrudescence des remontées d'eau froide dans le Golfe de Guinée. Des données indépendantes obtenues par l'étude de carottes marines corroborent un tel refroidissement brutal des TSO. Ainsi les hauts niveaux lacustres de l'Holocène inférieur et moyen et la phase d'extension forestière ayant débuté vers 9500 ans BP peuvent être rattachés à des TSO relativement élevées durant l'été boréal, ce qui est aussi corroboré par des données indépendantes, avec pas ou peu de remontées d'eau froide et donc durant le mois d'Août avec un prolongement de la saison des pluies.

Toutefois au Bosumtwi durant l'holocène les variations de la végétation apparaissent déconnectées de celles des niveaux lacustres particulièrement entre 3700 et 3000 ans BP. En effet les données polliniques et isotopiques (δ13C) montrent que la végétation forestière a subsisté autour du lac durant tout l'Holocène, même durant la brutale régression lacustre entre ca. 3700 et 3000 ans BP. Pour comprendre ce phénomène on peut se référer à la grande saison sèche d'environ 4 mois qui affecte actuellement toute la partie méridionale du bloc forestier, du Gabon au Congo et Zaïre méridional. Cette longue saison sèche est de même nature que la petite saison sèche estivale qui affecte la partie-septentrionale du bloc forestier, car elle dépend aussi de l'abaissement des TSO. Ce phénomène est aussi associé à l'extension des conditions anticycloniques d'altitude (subsidence) vers le nord et vers l'est. Dans ces régions ces différents phénomènes liés entre eux persistent durant 4 mois. On constate que cette longue saison sèche d'origine australe ne perturbe pas l'écologie forestière car l'humidité atmosphérique reste proche de la saturation. Par contre au nord du bloc forestier c'est l'inverse qui se produit de Décembre à Février durant la saison sèche d'origine boréale, caractérisée par une forte baisse de l'humidité atmosphérique, ce qui a un impact majeur sur le milieu forestier.

Les variations des TSO survenues durant l'Holocène, en particulier l'abaissement brutal entre 3700 et 3000 ans BP, ont aussi affecté la région du Barombi Mbo mais d'une manière différente. En effet la période allant d'environ 4500 à 3000 ans BP a correspondu au maximum des pollens deCaesalpiniaceae qui sont des arbres typiques des formations forestières sempervirentes, associées aux conditions les plus humides. Lorsqu'on observe ces formations vers les limites de leur aire comme dans le sud Cameroun, au Gabon et

au Congo occidental, on constate qu'elles se retrouvent souvent vers le sommet des collines, alors que les flancs et les plaines environnantes sont plutôt couvertes de formations forestières moins humides, surtout de type semi-caducifolié. Cette configuration est en fait associée au comportement des nuages de type stratiforme, y compris les brouillards, qui ont tendance à persister au sommet des collines durant une partie de l'année, particulièrement en saison sèche, en y apportant de la fraîcheur et de l'humidité, ce qui explique pourquoi les formations sempervirentes peuvent s'y développer. De plus, entre 3800 et 3400 ans BP, les pollens de *Podocarpus* ont présenté un pic maximum juste avant leur régression brutale après 2800 ans BP puis leur quasi-disparition vers 2000 ans BP. *Podocarpus* est un arbre typique de certaines forêts montagnardes étroitement associées à la persistance des conditions nuageuses de type stratiforme (forêts de nuage). En d'autres points de l'Afrique tropicale, particulièrement en Afrique orientale, on a aussi mis en évidence un pic des pollens de *Podocarpus* au début de l'Holocène récent, daté sur plusieurs montagnes d'environ 3700 ans BP, synchrone d'un phénomène relativement général de régression lacustre observé notamment aux lacs *Tanganyika* et Bogoria et à ceux du Burundi.

La retraite brutale des formations forestières survenue en Afrique centrale atlantique entre environ 2800 et 2000 ans BP, synchrone de celle qui a affecté les forêts montagnardes à *Podocarpus*, semble a priori plus difficile à interpréter car ce phénomène est intervenu lors d'une phase de remontée des TSO dans le Golfe de Guinée. Les traces de fortes érosions relevées alors en Afrique centrale atlantique mais aussi en de nombreux points de l'Afrique tropicale, témoignent probablement d'une forte activité des systèmes nuageux convectifs. Ceux-ci, souvent associés aux lignes de grains, provoquent un ruissellement intense qui n'est pas favorable à une bonne pénétration de l'eau dans les sols et donc à une reconstitution des réserves hydriques, ce qui ne permet pas une bonne alimentation des racines durant la saison sèche. D'autre part on sait que les pluies dépendantes de ces systèmes nuageux dominent actuellement dans les zones semi-arides en étant généralement très variables et avec des totaux annuels plutôt modérés. Ces caractéristiques sont généralement défavorables aux milieux forestiers.

Afin d'essayer d'apporter des interprétations paléoclimatiques plus objectives, des comparaisons peuvent être tentées avec les variations pluriannuelles ou annuelles survenues durant les quatre dernières décennies, période durant laquelle des observations régulières ont été faites. Deux approches méthodologiques complémentaires seront utilisées : l'analyse diagnostique et la simulation numérique.

L'analyse diagnostique réalise une étude statistique des observations effectuées. Cette analyse se base sur les forcages climatiques qui relient entre eux la pluviométrie de différentes régions (PR) de l'Afrique tropicale et les variations saisonnières des TSO, d'une part dans le Golfe de Guinée et d'autre part à plus grande échelle sur les océans Atlantique nord et sud, Pacifique et Indien. On met ainsi en évidence des séries d'années ayant des réponses climatiques proches, c'est à dire avec des TSO et des PR similaires, ce qui permet finalement de définir une série d'anomalies positives ou négatives par rapport à l'état moyen des quatre décennies étudiées. Les anomalies des TSO sur l'Atlantique nord et sur l'Atlantique sud sont généralement de signe opposé, constituant ainsi ce qu'on appelle le dipôle Atlantique.

Afin d'aider à caractériser les situations climatiques avant et après 3800/3700 ans BP, on peut ajouter que durant la période de réduction des pluies en zone forestière occidentale (d'après les données du lac Bosumtwi au Ghana), une phase relativement humide s'est développée au Sahara et sur les savanes au nord de la forêt entre 3800 et 3000 ans BP. De plus, en Amérique du Sud équatoriale, on note une situation inverse vers 3800/3700 ans BP avec le retour des conditions humides caractérisées par une forte transgression du lac Titicaca dans les Andes (vers 16°S-69°30'W) et en Amazonie, après une longue phase d'ouvertures de la forêt, par un retour des conditions forestières dans la région de Carajas (6°20'S-50°25'W).

Concernant les anomalies des TSO et des PR survenues durant les années 50 et caractérisées pour le dipôle Atlantique par des TSO positives sur l'Atlantique nord et négatives sur l'Atlantique sud et sur le reste de l'océan mondial austral, il apparaît que de telles anomalies pourraient s'appliquer aux phénomènes climatiques survenus entre environ 3700 et 3000 ans BP. On peut préciser que, comme on l'a indiqué ci-dessus, des données indépendantes confirment que les TSO ont été négatives dans le Golfe de Guinée à cette époque. Par contre entre 3800 et 4200 ans BP la situation a été plutôt inverse, avec en particulier des TSO positives sur le Golfe de Guinée et négatives sur l'Atlantique nord. Une situation de ce type a existé en 1973-74, synchrone d'un LNSO marqué.

On peut aussi effectuer des simulations numériques avec un Modèle de Circulation Générale forcé par les configurations spatiales des anomalies des TSO obervées sur le dipôle Atlantique, en particulier dans le Golfe de Guinée, afin de préciser leur impact sur les précipitations affectant les régions tropicales africaines et sud-américaines. Toutefois, si l'agencement et l'amplitude des anomalies thermiques du dipôle Atlantique peuvent expliquer en partie les variations observées des totaux pluviométriques sur le continent africain, un Modèle de Circulation Générale permettra de mieux globaliser le diagnotic en étudiant, par exemple, l'influence sur les précipitations de l'Afrique tropicale d'une anomalie chaude de type ENSO sur le Pacifique tropical. En effet, alors que l'influence d'une telle anomalie semble planétaire, certaines régions péri-atlantiques enregistrent en période ENSO des anomalies pluviométriques soit positives, soit négatives, suggérant que le dipôle Atlantique exerce une influence prépondérante.

La modélisation numérique devrait aussi permettre de mieux comprendre les changements climatiques survenus entre environ 2800 et 2000 ans BP. Ainsi, par exemple, grâce à l'année 1984 qui a été associée à une très forte anomalie positive dans le Golfe de Guinée, il serait possible d'étudier les variations de la saisonnalité et de l'activité convective et donc d'expliquer peut-être les pluies intenses et très érosives qui sont suceptibles de dégrader le milieu forestier.

A PLAUSIBLE LINK BETWEEN THE 018/016 RATIO RECORDED IN THE QUELCCAYA ICE CORE AND THE PACIFIC AND ATLANTIC OCEAN TEMPERATURE ANOMALIES

Jean-Luc MELICE, Pascal ROUCOU**

It is shown that the isotopic 018/016 ratio recorded in the Quelccaya ice core (Peru) is well correlated to Sea Surface Temperature Anomalies in the North Tropical Atlantic and Pacific oceans during the 1930-1984 period. The best correlation is obtained in a quasi-ten years oscillation range. A 100 year long 018/016 ratio obtained from coral data located in the Pacific ocean where the above mentioned correlations are high is demonstrated to be very well linked to the isotopic Queccaya data. This result improves the proxy "power" of this ice core. Significant oscillations with periods and highest amplitudes close to ten years were also extracted from the 018/016 Quelccaya series during the last 500 years. Moreover, a rainfall indice from the Amazonian region is significantly linked to this isotopic ratio with the same quasi-ten year period. These results demonstrate that the "El Niño" oscillation does not provide a valuable explanation of the past climate dynamics in the Amazonian region.

* Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne, Faculté des Sciences Gabriel, BP 138, 21004 Dijon cedex

INDEX des auteurs

ABEGA S.C., 139
ABERNETHY K., 195
ABSY M.L., 111, 175, 223, 275, 277
ACHOUNDONG G., 75, 115, 145, 155, 205
ADAMS J., 305
ALBUQUERQUE A.L., 295
ALEXANDRE A., 37, 287
ANDREUX F., 157
ARAVAJY S., 106
ARAVENA R., 71

BAILLON F., 121, 139
BARROS M.A., 209, 271
BARTH O.M., 209, 239, 271
BARTOLI F., 157
BEECKMAN H., 106
BELINGARD C., 39
BERTAUX J., 43, 95, 213, 257, 261, 277, 287, 291
BIGOT S., 13, 21, 317
BLANC P., 47, 217
BONVALLOT J., 115, 145, 199
BOULET R., 71, 95
BRENAC P., 317
BROU YAO T., 219
BURTIN G., 157

CAMBERLIN P., 13, 21
CARNEIRO FILHO A., 125, 175, 261
CECCANTINI G., 95, 281
CHARLES DOMINIQUE P., 223, 229
CHAUVEL A., 125, 175, 261

C

CHONÉ T., 157
CORDEIRO R.C., 257, 275
COURTY M.A., 257

D

DAGET P., 301
DARRACQ S., 233
DECHAMPS R.†, 175, 179, 287, 291
DELAUNE M., 95
DELNEUF M., 123, 139
DESJARDINS T., 125, 145, 175, 261, 275
DOUNIAS E., 129
DOUTRELEPONT H., 105, 106
DUBOIS M.A., 53
DUBROEUCQ D., 55
DUIVENVOORDEN J.F., 235
DUMONT J.F., 57
DUPRÉ B. , 95

E

EKODECK G.E., 155
ELENGA H., 59, 75, 175, 179, 213, 277, 287, 291
ELOUGA M., 133

F

FABING A., 175
FAURE H., 305
FAURE-DENARD L., 305
FERREIRA da SILVA. M., 275
FIGUEIREDO A.M., 95
FLEXOR J.M., 239
FONTAINE B., 21, 31

F

FORESTA H. de, 183
FORTUNÉ J.P., 95
FOURNIER M., 57, 95, 253, 281, 291
FREDOUX A., 63
FROMENT A., 139

G

GIRARDIN C., 125, 149, 175
GIRESSE P., 307
GOMES M.B.M., 71
GRIMALDI C., 309
GRIMALDI M., 309
GUELLY K., 167, 301
GUILLET B., 115, 145, 149, 175
GUILLOT B., 193

J

JEREMIE S., 269
JOLLY D., 313
JOLY A., 247
JOUARD S., 229

K

KAHN F., 47, 317
KAMGANG B.V., 145, 155
KOUTIKA L.S., 157

L

LAHUE J.P., 193
LANFRANCHI R., 175
LARPIN D., 159

L

LEDRU M.P., 43, 55, 95, 223, 237, 277, 281
LEMOS R.M.T., 271
LENGUE FOBISSIE B., 193
LIPS J.M., 235
LUZ C.F.P. da, 239

M

MAGAT P., 95
MALEY J., 63, 175, 195, 277, 287, 307, 317
MAMAN O., 149
MARIOTTI A., 65, 89, 125, 145, 149, 175, 179, 183, 287
MARQUES-SOUZA A.C., 111
MARTIN L., 95, 239, 257, 261, 275
MEBENGA TAMBA L., 139
MELFI L., 95
MELICE J.L., 321
MELLO C. L., 209
MEUNIER J. D., 37, 287
MIETTON M., 187
MIRANDA I.P.A., 111
MORON V., 13, 21, 31, 317
MOURA J.R.S., 209

N

NAMUR C. de, 39, 59, 75, 77, 145, 183, 291
NEUMER M., 171
NGOS S., 307
NGUETSOP F., 93, 243, 287

O

ORLANDO U.S., 111
OSLISLY R., 163, 195

PAGE S.E., 253
PATUREL J.E., 219
PESSENDA L.C.R., 71, 95
PHILIPPY R., 157
PIRONON J., 37
PRASAD S., 106
PREVOST M.F., 309
PUIG H., 167

REYNAUD-FARRERA I., 73, 75, 93, 245, 287
RIBEIRO A.S., 71
RICHARD Y., 13, 21
RIELEY J.O., 253
RIERA B., 53, 223, 247
ROCHE E., 106
ROLLET B., 233
ROMPAEY R.S.A.R. Van, 249
RONCHAIL J., 17, 21
ROUCOU P., 13, 21, 321
ROUX M., 59, 75, 77, 93
RUIVO M.L.P., 275
RUNGE F., 83, 105, 106
RUNGE J., 171, 251

SABATIER D., 309
SALES M.E., 275
SANTIAGO-JEGADEN A. , 21, 27
SARTHOU C., 159
SCHEEL R., 101
SCHWARTZ D., 39, 85, 89, 145, 149, 175, 179, 183, 187, 213, 277, 287, 291

SERVANT M., 93, 111, 223, 277
SERVANT-VILDARY S., 93, 243, 287
SERVAT E., 219
SIEFFERMANN R.G., 253
SIFEDDINE A., 213, 257, 261, 275, 277
SILVA C.G., 271
SIMÕES FILHO F., 261
SITOU L., 187
SOLARI M.E., 95
SOLARI M.E., 101, 281
SONDAG F., 43, 95
SOUBIES F., 37, 43, 95, 257, 281
SUGUIO K., 257, 275
SUTRA J.P., 106

TARDY C., 101, 159, 265, 269
TCHICAYA J., 187
TESSIER L., 39
TOLEDO M.B., 271
TRZASKA S., 21, 31
TSALEFAC M., 175, 193
TURCQ B., 95, 223, 239, 257, 261, 275, 277, 295

VACHER S., 269
VERNET J.L., 95, 101, 281
VINCENS A., 37, 75, 175, 179, 213, 277, 287, 291
VRYDAGHS L., 105, 106, 107

WANG SONNE, 139
WENGLER L., 95, 101, 281
WHITE L., 163, 195
WIRMANN D., 93

YBERT J.P., 277, 295
YOUTA HAPPI J., 115, 145, 199

ZOGNING A., 201