



Jeudi 6 Novembre - après-midi

LE DOMAINE FORESTIER AFRICAIN ET SES MARGES LES TRANSITIONS CLIMATIQUES MAJEURES À L'ÉPOQUE ACTUELLE ET AU COURS DES DERNIERS MILLÉNAIRES

Sylvain BIGOT*, Jean MALEY**, Alain LARAQUE***, Jean-Claude OLIVRY***
et Jean-Luc MELICE*

* Centre de Recherches de Climatologie, Faculté des Sciences Gabriel 21000 Dijon,
Tél. 03 80 39 57 43 ; Fax : 03 80 39 57 41 ; E-mail : sylvain.bigot@u-bourgogne.fr

** Université Montpellier II et CNRS / Institut des Sciences de l'évolution,
Place Eugène Bataillon 34095 Montpellier cedex 05

*** ORSTOM - Laboratoire d'Hydrologie, B.P. 5045 F-34032 cedex 1

Introduction

On a trop souvent tendance à privilégier l'étude de l'Afrique de l'Ouest à cause de phénomènes remarquables comme les sécheresses récurrentes du domaine sahélien. Le climat des régions équatoriales est en fait plus complexe que celui des zones tropicales et la variabilité climatique n'y est pas aussi faible qu'on pourrait l'imaginer. Ces fluctuations sont les agents naturels les plus à même d'entraîner des modifications importantes de la végétation. Ce travail cherche donc à améliorer les connaissances du climat actuel de l'Afrique centrale afin de mieux comprendre la variabilité des états antérieurs, notamment les phases de retrait ou d'extension du biome forestier équatorial au cours des derniers millénaires. La connaissance de la pluviométrie équatoriale africaine permet de documenter des processus associés, tels que la convection ou les flux d'humidité mais aussi le contenu en eau des sols, essentiel pour la végétation, ou ses interactions avec les Températures de Surface des océans dont l'influence climatique est essentiel à l'échelle planétaire. Ce travail a donc pour objectifs essentiels i) d'établir la cohérence spatio-temporelle de la pluviométrie de l'Afrique centrale sur la période 1951-90, ii) de définir les corrélations temporelles avec les variations de l'hydrologie continentale et des Températures de Surface Océaniques globales, iii) d'établir certaines hypothèses à l'échelle paléoclimatique.

1. Données et méthodes

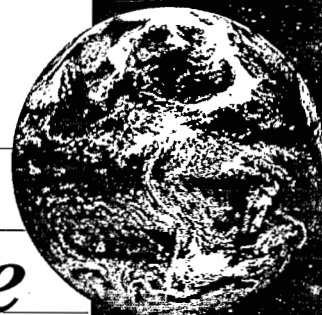
Les données

Le bassin du Zaïre est le moins documenté d'Afrique en données pluviométriques et hydrologiques (Mahé, 1993). Par recoupement de plusieurs sources, la base de données pluviométriques constituée sur l'Afrique Centrale comporte pour-



Les Journées
du Programme
Environnement,
Vie et Sociétés
PIREVS

les temps de l'environnement



TOULOUSE
CENTRE DES CONGRÈS
5-6-7 NOVEMBRE 1997

Fonds Documentaire ORSTOM



010013172

GEODE
GÉOLOGIE DE L'ÉPIGÉNÈSE

CNRS
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Fonds Documentaire ORSTOM

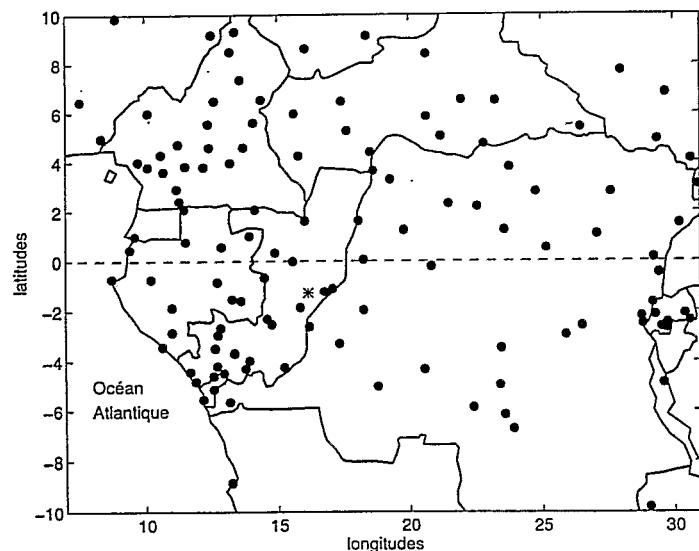
255

Cote: B*13172 Ex: A



tant 118 stations sur la période 1951-90 (fig. 1). D'origines diverses, sans métadonnée (historique des relevés) sauf quelques exceptions, ces relevés nécessitent une grande attention pour en vérifier la qualité. Les plus grosses lacunes spatiales se trouvent en Angola et au Zaïre, notamment dans les régions situées directement au sud de l'équateur (Mai-Ndombe, Salonga, Kivu), ou plus au sud (Bandundu méridional, Kasai oriental et la majeure partie du Shaba au nord de 10°S). Les manques sont très faibles jusqu'en 1981 (moins de 7% pour un mois donné et pour l'ensemble des stations). La situation se dégrade ensuite progressivement, notamment en 1989 et en 1990, où le nombre de stations est divisé par deux. Malgré ces défauts, ce fichier demeure le plus complet actuellement disponible sur ce domaine géographique.

Figure 1 : Réseau de 118 stations pluviométriques utilisé en Afrique centrale sur la période de 1951-90 (la station hydrologique Tchikapika, sur la rivière Alima, est signalée par un astérisque).



Les variations de débit de la rivière Alima à la station hydrologique Tchikapika sont analysées dans ce travail (fig. 1). Situées sur les Plateaux Batékés (Congo) et affluents de rive droite du fleuve Congo-Zaïre, les rivières Batékés possèdent de faibles variations saisonnières de leurs débits à cause du rôle régulateur de leur puissant aquifère. Il est donc particulièrement intéressant d'analyser leur réponse aux discontinuités pluviométriques interannuelles. Possédant des lacunes, une homogénéisation des données est effectuée grâce à la station voisine d'Okoyo (23% des données), essentiellement sur les période 1976-80 et 1957-60. Une reconstitution des débits



La recherche de la cohérence temporelle : l'Analyse des Coupures par Fenêtres Glissantes Dissimilaires (SMWDA) et l'analyse par Transformée en Ondelettes (ATO)

La SMWDA est une méthode multivariée adaptée à la climatologie pour dater précisément les changements climatiques de séries chronologiques. Si l'on considère une série de longueur N et une fenêtre de Q observations, la SMWDA permet d'obtenir $N-Q$ fenêtres séquentielles de longueur Q sur la série N . Cette méthode fournit des informations sur la taille et la chronologie du changement climatique, et elle documente aussi la vitesse à laquelle celui-ci s'effectue. La significativité des ruptures est testée par la méthode Monte Carlo. Afin de bien définir le signal climatique d'une série temporelle, il faut être capable de caractériser les différents signaux localisés. L'ATO est utilisée pour extraire les harmoniques contenues dans une série temporelle continue non-stationnaire à l'intérieur d'un domaine fréquence-temps. A l'inverse d'une analyse spectrale classique par Transformée de Fourier, l'ATO révèle la structure temporelle de l'énergie spectrale et fournit une vision continue de la variance en fonction du temps et des fréquences.

2. Covariabilité et discontinuités interannuelles

Afin d'établir une régionalisation pluviométrique détaillée de l'Afrique centrale basé sur l'étude interannuelle, une Analyse en Composantes Principales avec rotation est effectuée sur les 118 stations pluviométriques. Pour respecter la saisonnalité équatoriale, les totaux annuels sont calculés sur la période septembre année 0 / août année +1. Les régions les plus représentatives de la variabilité pluviométrique interannuelle de l'Afrique centrale sont :

- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| 1. le Cameroun central, | 5. la RCA et le Haut-Zaïre, |
| 2. le Congo-Gabon intérieur, | 6. le Congo-Gabon côtier, |
| 3. le Bas-Congo, | 7. la marge nord-tropicale, |
| 4. le Rwanda-Burundi, | 8. la cuvette centrale. |

Les trois premiers modes sont situés dans l'espace atlantique, suggérant le rôle essentiel des variations océaniques, notamment celles de l'upwelling côtier, dans la variabilité pluviométrique interannuelle. Une SMWDA est ensuite calculée sur ces huit modes régionaux. Etant donné le caractère bimodal des régimes, seuls les totaux propres au second semestre de l'année sont analysés car, avec la grande saison des pluies, ils représentent plus de 50% des précipitations annuelles. La SMWDA détecte cinq discontinuités majeures (tableau 1).



Tableau 1 : Synthèse des principaux changements pluviométriques enregistrés pendant le second semestre de l'année en Afrique centrale sur la période 1951-90.

	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	
marge nord-tropicale																					
Cameroun central																					
Congo-Gabon intérieur																					
Congo-Gabon côtier																					
Bas Congo																					
cuvette centrale																					
RCA et Haut-Zaïre																					
Rwanda Burundi																					

Les changements sont détectés par une SMWDA utilisant des fenêtres de 8, 12, 16 et 20 ans ; le gris clair indique une baisse des précipitations par rapport à la période précédente ; le gris foncé indique une hausse des précipitations par rapport à la période précédente ; les ruptures sont significatives au seuil de 99% selon un test de Monte Carlo utilisant 10 000 séries pseudo-aléatoires possédant la même corrélation sériale de rang 1 et la même variance que la série initiale.

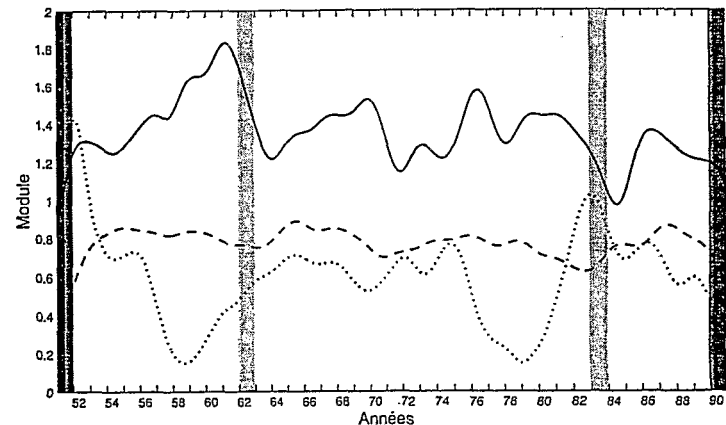
- Après 1958-59 : les précipitations augmentent au Congo-Gabon intérieur, dans le Bas-Congo et dans la région Rwanda-Burundi. Ce changement est brutal et tranche avec la décennie 1950 dont la tendance pluviométrique est peu affirmée.
- Après 1961-63 : Cette transition, exceptionnelle à l'échelle du siècle dans toutes les séries climatiques et surtout hydrologiques, est suivie d'une hausse des précipitations dans la cuvette congolaise alors que l'espace atlantique subit un déficit pluviométrique.
- Après 1967-72 : la baisse des précipitations est uniquement ressentie dans les régions nord-tropicales. La décennie 1970 est globalement la plus sèche depuis 1951, succédant à la décennie 1960 régionalement très pluvieuse. Mais les pluies continuent d'augmenter dans la cuvette congolaise.
- Après 1978-80 : cette transition est enregistrée en RCA, au Haut-Zaïre et au Cameroun central. Elle marque un renforcement du déficit pluviométrique observé depuis la fin des années 1960. A l'inverse, les pluies augmentent au Rwanda-Burundi.
- Après 1983-85 : les changements sont équatoriaux, comme en 1961-63. Les précipitations nord-tropicales continuent de baisser. La cuvette centrale enregistre une baisse brutale des précipitations annuelles alors que les pluies du Congo-Gabon redeviennent excédentaires. En dehors de cette région, la décennie 1980 peut être considérée comme la plus déficitaire en Afrique centrale de la période 1951-90.



3. Analyse fréquentielle

Les oscillations comprises entre 2 et 6 ans sont fréquentes en Afrique centrale. C'est la confirmation du signal de l'Oscillation Quasi-Biennale (OQB), très fréquent, et du signal de l'El Niño Southern Oscillation (ENSO), plus rare. Les oscillations de 4,9-5,6 ans touchent essentiellement les régions proches de la côte atlantique (Cameroun central, Congo-Gabon côtier, Bas-Congo) ainsi que la cuvette centrale. La variance expliquée est de l'ordre de 10 à 15%. D'autres oscillations, moins significatives, se détachent également (9,7 ans, 13 ans et 19,5 ans). Malgré l'importance de ces oscillations, le cycle saisonnier reste le signal dominant de la variabilité climatique de l'Afrique centrale (plus de 50% de la variance) mais il est rarement fait état de ses modulations interannuelles parce qu'on le considère comme une oscillation stable. Une attention particulière est donnée aux modulations d'amplitude saisonnière de la région côtière du Congo-Gabon et de la cuvette centrale.

Figure 2 : Modulations d'amplitude annuelle de la pluviométrie au Congo-Gabon côtier (trait), dans la cuvette centrale (tirets), et des débits à la station hydrologique de Tchikapika (pointillés).



Les résultats sont issus d'une Analyse par Transformée en Ondelettes ; le gris foncé indique les coefficients d'ondelettes détériorés par l'effet de fin de bande, le gris clair indique les principales ruptures repérées précédemment par une SMWDA sur le second semestre.

L'essentiel de la variabilité interannuelle en Afrique centrale s'effectue dans le domaine des très hautes fréquences d'échelle saisonnière (6 et 12 mois). Les principaux changements de tendance pluviométrique interannuelle correspondent à des modifications de l'amplitude saisonnière. Le Congo-Gabon côtier possède les plus fortes modulations saisonnières interannuelles, aussi bien à l'échelle annuelle que semi-annuelle (fig. 2). A l'inverse, le cycle annuel de la cuvette centrale est quasi-stationnaire mais le cycle semi-annuel varie beaucoup. Au Congo-Gabon, les ruptures interannuelles observées auparavant en 1962 et 1983 correspondent chacune à des modifications importantes de l'amplitude saisonnière. La sécheresse climatique

JOURNÉES PIREVS · LES TEMPS DE L'ENVIRONNEMENT TOULOUSE 5 / 6 / 7 NOVEMBRE 1997

JOURNÉES PIREVS · LES TEMPS DE L'ENVIRONNEMENT TOULOUSE 5 / 6 / 7 NOVEMBRE 1997



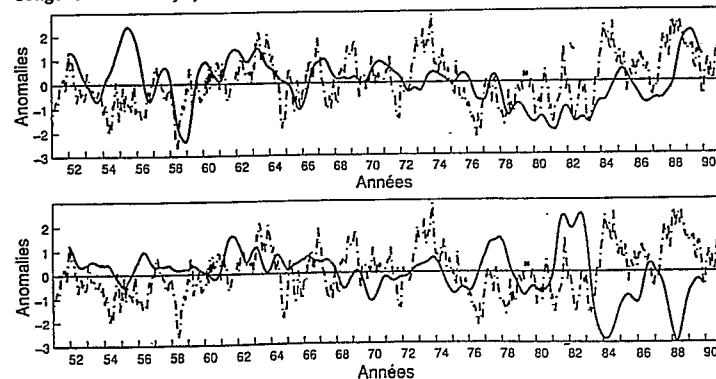
de la zone côtière sur la période 1979-83 correspond à un affaiblissement majeur de l'amplitude saisonnière. Dans la cuvette centrale, malgré la stabilité interannuelle, l'ATO suggère une fréquence quasi décennale, avec un affaiblissement de l'amplitude saisonnière en 1961-62, 1970-71 et 1982-83. Le cycle annuel pourrait donc avoir une influence fondamentale en terme de contrôle sur les autres modes de variabilité, d'échelle décennale par exemple. Les variations hautes fréquences de l'atmosphère, par le biais de processus non-linéaires, peuvent conduire à une variabilité atmosphérique basse fréquence.

Aucune relation claire n'apparaît avec les modulations d'amplitude des débits. La position équatoriale confère au régime hydrologique une grande régularité car les apports austraux et septentrionaux se succèdent et se complètent (Laraque et Olivry, 1996). Pourtant, les variations pluviométriques saisonnières régionales existent sur les plateaux Batékés, avec une saison sèche marquée de juin à août. Mais les crues sont atténuées par un fort taux d'infiltration dû aux sols sablo-gréseux et les étages sont soutenus par la lente vidange de la nappe. Malgré tout, une corrélation négative significative existe sur la période 1963-75 entre les modulations saisonnières de l'hydrologie continentale des Plateaux Batékés et de la pluviométrie du Congo-Gabon (fig. 2). Le reste de la période est fortement bruité par la reconstitution des données (1957-60 et 1976-80) qui empêche une comparaison fréquentielle objective.

4. Téléconnexions

Les TSO de l'Atlantique sud et équatorial conditionnent largement le flux de mousson qui atteint l'Afrique centrale. En Afrique centrale, la plupart des extrêmes pluviométriques, excédentaire ou déficitaires, sont associés à une perturbation de phase du cycle annuel des TSO de l'Atlantique sud et équatorial. La corrélation est très forte dans la région Congo-Gabon même si certaines exceptions existent, comme en 1955 et 1973 (fig. 3).

Figure 3 : Modulations d'amplitude semi-annuelle de la pluviométrie (trait) et des anomalies des TSO dans l'Atlantique sud et équatorial (tirets) entre 1951 et 1990 : a) au Congo-Gabon côtier, b) dans la cuvette centrale.



Les résultats pluviométriques sont issus d'une Analyse par Transformée en Ondelettes.

Un refroidissement anormal des TSO s'accompagne d'une baisse de l'amplitude saisonnière par le biais de la modulation du flux de mousson. La liaison est plus faible avec la cuvette centrale même si une corrélation positive est enregistrée sur la période 1951-80. La dernière décennie est au contraire marquée par une opposition entre les extrêmes pluviométriques et les anomalies thermiques, notamment en 1984 et 1988. Ces dates correspondent à des événements chauds dans l'Atlantique en relation avec des épisodes de type ENSO dans le Pacifique tropical. Ces résultats confirment le caractère particulier de la décennie 1980 et l'existence de nouvelles téléconnexions à mésoéchelle. Par ailleurs, extrêmement dépendante du cycle saisonnier des précipitations, la variabilité interannuelle de la productivité végétale s'explique donc en partie par les variations thermiques de l'océan Atlantique austral.

5. Hypothèses à l'échelle paléoclimatique

Grâce à des enregistrements lacustres, les principales variations de la végétation et des paléoenvironnements régionaux depuis 28000 ans ont été reconstituées. Il est possible de mettre en évidence un recul brutal de la forêt entre environ 2800 et 2000 BP en Afrique centrale atlantique. Puis, après 2000 ans, la forêt s'étend à nouveau jusqu'à l'Actuel, mais avec des décalages régionaux entre le Cameroun et le Congo (Maley, 1996). L'étude d'enregistrements dans le golfe de Guinée montre par ailleurs qu'un brutal changement paléoenvironnemental intervenu vers 3700 ans BP coïncide avec un abaissement des TSO qui a déterminé le retour soudain de la petite saison sèche estivale sur le nord du bloc forestier, et donc la réduction des pluies annuelles. Etant donné les résultats obtenus sur l'Actuel, il tout à fait envisageable que les modulations de l'amplitude saisonnière contrôlent des oscillations plus lentes, l'influence déterminante semblant provenir de l'Atlantique austral. Nos résultats montrent que le couplage océan / atmosphère n'est pas un état stationnaire, essentiellement à cause de la variabilité dans les hautes fréquences. Ces variations induisent un bouleversement de l'évaporation, des flux d'humidité associés à la mousson africaine et de la présence convective, principales contraintes hydroclimatiques des couverts forestiers qui seraient susceptibles d'expliquer leur avancée ou leur régression à l'échelle de quelques millénaires.

Conclusion

En Afrique centrale, cinq transitions sont enregistrées sur la période 1951-90, mais rarement sur tout le domaine à la fois : 1958-59, 1961-63, 1969-71, 1978-80 et 1983-85. Les précipitations de l'Afrique centrale possèdent des modes de variabilité dans une gamme fréquentielle allant de l'échelle intrasaisonnière à l'échelle interannuelle. L'oscillation quasi périodique liée au cycle saisonnier possède une nature non-stationnaire en Afrique centrale, surtout en zone côtière, qui régule les oscillations lentes de la variabilité interannuelle. Cela peut-être expliquer les changements du couvert forestier, notamment en zone péri-atlantique, au cours des



derniers millénaires. Ces hypothèses doivent ensuite être validées grâce à des simulations numériques avec des Modèles de Circulation Générale.

Références bibliographiques

Laraque, A. et Olivry, J.-C. (1996) - Evolution de l'hydrologie du Congo-Zaïre et de ses affluents rive droite et dynamique des transport solides et dissous. IAHS, 238, 271-288.

Maley, J. (1996) - 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. Symposium 'Dynamique à long terme des écosystèmes forestier intertropicaux', Paris, CNRS-ORSTOM, 321-324.

JOURNÉES PIREVS - LES TEMPS DE L'ENVIRONNEMENT TOULOUSE 5 / 6 / 7 NOVEMBRE 1997

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Monique BARRUÉ-PASTOR
 Georges BERTRAND - André CORVOL
 Francis GODARD - Marcel JOLLIVET
 Jean-Marie LEGAY - Amédée MOLLARD
 Alain PAVÉ - Pierre PETREQUIN
 Serge PLANTON - Dominique LE QUEAU
 Marcel RAFFY - Michel SERVANT
 Alain WEILL.

COMITÉ D'ORGANISATION

Monique BARRUÉ-PASTOR (GEODE)
 Georges BERTRAND (GEODE)
 Evelyne BRUN (PIREVS)
 Bernard CAUSSADE (Pôle Universitaire Européen de Toulouse)
 Jacques FONTAN (PIREVS)
 Pierre FRAIXANET (CPRS)
 Emilie GIL (GEODE)
 César JUVÉ (Pôle Universitaire Européen de Toulouse)
 Anne REMY (PIREVS)
 Franck VIDAL (GEODE).

RESPONSABLES DE L'ORGANISATION

Monique BARRUÉ-PASTOR
 Directrice du GEODE (UMR 5602)
 Georges BERTRAND
 Professeur (GEODE)
 Pierre FRAIXANET
 Directeur CPRS (UMS 838)

PIREVS CNRS

Programme Environnement, Vie et Sociétés
 Evelyne BRUN, Anne REMY, Alain WEILL
 1, Place Aristide Briand
 92195 MEUDON CEDEX

INFORMATION PRATIQU

Lieu des Journ
 Centre de Cong
 Esplanade Compans-Caffar
 31000 TOULOU

Droits d'inscripti
 150 J
 Le règlement doit accompag
 le bulletin d'inscripti

Restaurati
 Elle est à la charge des participar
 Les personnes intéressées sont pri
 de réserver leur(s) repas au mom
 de l'inscripti

Hôtelle
 Les personnes souhaitant recev
 une documentation sur des possibili
 d'hébergement à Toulou
 (à tarifs négoci
 sont priées de le mention
 sur le bulletin d'inscripti
 Une liste d'hôtels J
 sera adressée en retc

Ac
 Le tout nouveau Centre de Cong
 est situé en centre vi
 Il est desservi par les lignes d'autol
 1, 16, 24 (arrêt Cité Administrai
 et 10 (arrêt Arnaud Berne
 Plan d'accès et informati
 complémentaires seront adress
 ultérieurement aux personnes inscri

CONTACTS - SECRÉTARIAT GÉNÉR DES JOURNÉ

Pierre FRAIXAN
 Centre de Promo
 de la Recherche Scientifi
 (CPRS/UMS &
 Maison de la Recher
 Université de Toulouse-Le M.
 5, Allées Antonio-Mach
 31058 TOULOUSE CEDE
 Tél. 05 61 50 4
 FAX 05 61 50 37
 E-Mail : fraixane@ci

