

Les régimes hydroclimatiques et hydrologiques d'un bassin versant de type tropical humide: l'Oubangui (République Centrafricaine)

A. J. WESSELINK

Projet PNUD/OMM CAF/91/021 « Assistance en agrohydrométéorologie et surveillance de l'environnement », PNUD, BP 872, Bangui, République Centrafricaine
Adresse actuelle: *FAO, BP 3971, Antananarivo, Madagascar*

D. ORANGE

Laboratoire d'Hydrologie, Orstom, BP 5045, F-34032 Montpellier Cedex 1, France

C. T. FEIZOURE & RANDRIAMIARISOA

Direction de la Météorologie, BP 224, Bangui, République Centrafricaine

Résumé Une étude interannuelle du régime hydrologique de l'Oubangui depuis le début du siècle permet de préciser la succession des périodes climatiques homogènes en Afrique Centrale. L'ampleur de la sécheresse enregistrée depuis 1971 marque nettement un nouvel état moyen des conditions hydroclimatiques de la région. L'influence de ces vingt dernières années de sécheresse sur la dynamique du fonctionnement hydroclimatique du fleuve et de certains affluents est analysée en utilisant l'équation du bilan hydrique. La décroissance des débits annuels est simultanée avec la baisse de la pluviométrie mais les tendances interannuelles des évolutions de la pluviométrie, de l'écoulement et du déficit d'écoulement n'ont pas subi les mêmes intensités relatives entre les zones humides et sèches du bassin. Ce schéma de fonctionnement hydroclimatique permet une vision régionale de l'état des nappes du bassin versant de l'Oubangui, montrant la précarité des ressources en eau de la zone nord.

Hydroclimatology and hydrology of a humid tropical basin: the Oubangui catchment (Central African Republic)

Abstract The study of the variability of runoff from the Oubangui river, in the centre of the African continent gives some indications of the homogeneous climatic periods of this century. A distinct break in the runoff time series was detected in 1971, showing a new average state for central African hydroclimatology. Rainfall and runoff data from several sub-catchments of the Oubangui river are analysed, using the water balance, for indications of changing hydroclimatological behaviour from these areas. The decrease in runoff was simultaneous with the decrease in rainfall. The trends for rainfall and runoff are discussed with respect to the runoff deficit and groundwater reserves. The results showed the changes were not of the same intensity for the wet part as opposed to the dry part of the Oubangui basin. The understanding of the functioning of the hydroclimate and the state of the groundwater of the Oubangui catchment indicates the great stress which exists on the groundwater reserves in the northern part of the basin.

INTRODUCTION

Les changements éventuels dans le cycle hydrologique des fleuves apparaissent graduellement au bout d'une longue période et sous des conditions hydroclimatiques variées. Leur détection est pour cela très complexe et forcément basée sur l'analyse de séries chronologiques climatiques et hydrologiques longues. Depuis une dizaine d'années, de nombreuses études ont montré l'effet du déficit pluviométrique sur les ressources en eau de surface, surtout sur le continent africain (Mahé & Olivry, 1995; Mahé, 1993; Orange *et al.*, 1995), mais très peu ont discuté des conséquences pour les ressources en eau de nappe (Wilkinson & Cooper, 1993). Par ailleurs, la sensibilité des variations hydrologiques au changement climatique est encore peu documenté (Arnell, 1994), la notion de changement climatique étant encore fort discuté et discutable.

Cet article propose une analyse des variations temporelles et spatiales des régimes hydrologiques et hydroclimatiques du bassin versant de l'Oubangui, un des principaux affluents du Congo. Avec un module annuel de l'ordre de $5000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à sa confluence, l'Oubangui est, après le Kasai (environ $8000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), le second tributaire du fleuve Congo dont le module à Brazzaville, près de son embouchure, est de $41\,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Laraque, 1993; Bricquet, 1995). Le Congo est le deuxième fleuve mondial par l'importance de ses débits, après l'Amazone.

Une étude interannuelle du régime hydrologique de l'Oubangui depuis le début du siècle permet de préciser la succession des périodes climatiques homogènes en Afrique Centrale. Ensuite, est analysée l'influence de ces vingt dernières années de sécheresse sur le fonctionnement hydrologique du fleuve et de quelques-uns de ces affluents en utilisant l'équation du bilan hydrique (Thorntwaite & Mather, 1955; Olivry, 1986; Schaake & Chunzhen, 1989). En effet, un bassin versant peut être décrit comme un système dynamique avec deux compartiments, un compartiment de surface et un compartiment profond, l'aquifère (Ozga-Zielinska, 1989). L'équation du bilan hydrique, du type $P = E_T + Q + dS$ (avec P la pluviométrie, E_T l'évapotranspiration, Q le débit du fleuve et dS la variation du stock d'eau pouvant être accumulé dans le bassin), est une équation linéaire permettant de comprendre d'une part, la relation entre les variations climatiques et hydrologiques d'un bassin versant et d'autre part, d'en déduire les relations entre les deux compartiments hydrologiques du paysage. Ainsi, l'hydroclimatologie sous-régionale du bassin de l'Oubangui est étudiée à partir de l'évolution interannuelle, depuis 1953, des lames d'eaux précipitées et écoulées sur différentes sous-entités hydrologiques. Enfin, une vision globale de l'état des nappes dans cette zone géographique est proposée.

HYDROLOGIE DE L'OUBANGUI

Le bassin de l'Oubangui se situe dans l'hémisphère nord, au coeur du continent africain; il représente le quart septentrionale du bassin du Congo avec une superficie de $643\,900 \text{ km}^2$ (Fig. 1). Son relief est une vaste pénéplaine, alternant entre collines boisées et plateaux cuirassés. Les hauts reliefs qui dépassent rarement 1100 m , ne représentent que 5% de la superficie et sont situés sur les pourtours est, nord et nord-ouest du bassin. Le couvert végétal est relativement uniforme. La forêt dense humide semi-décidue occupe les parties méridionales du bassin sur la frontière RCA-Zaïre. Le

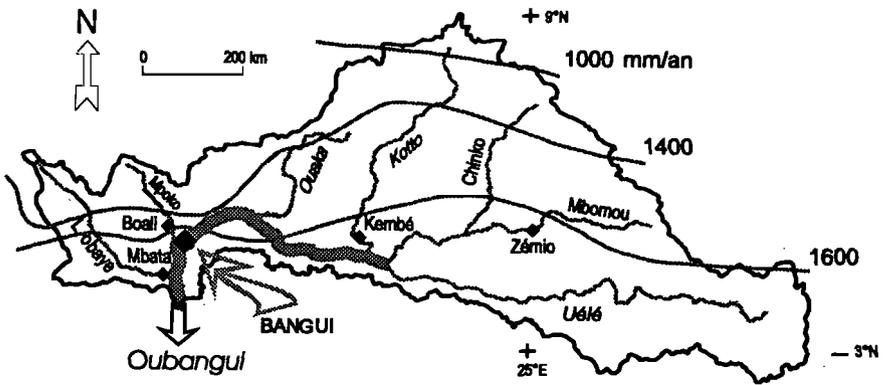


Fig. 1 Carte de situation géographique du bassin moyen de l'Oubangui avec isohyètes interannuelles (1951-1989) et représentation schématique du mouvement des masses d'air sur le continent africain avec la position moyenne du FIT (ITCZ) en janvier.

reste du bassin est couvert par la savane arbustive ou arborée, l'extrémité nord en bordure de la zone soudano-sahélienne étant le domaine de la steppe (Boulvert, 1986; Boulvert, 1992).

Le climat est de type tropical humide, avec une saison sèche annuelle contrastée, sous influence continentale nord-africaine. Elle commence en octobre au nord-est et se généralise à l'ensemble du bassin dès janvier. La saison pluvieuse dure de 4 à 9 mois du nord au sud, et affecte l'ensemble du bassin de juin à septembre. La pluviosité varie de 1000 mm an⁻¹ au nord à 1700 mm an⁻¹ au sud (Fig. 1), les isohyètes ont une orientation sensiblement est-ouest (Franquin *et al.*, 1988; Mahé *et al.*, 1993).

La principale station hydrométrique du bassin versant de l'Oubangui est située à Bangui, en République Centrafricaine. Cette station contrôle un bassin versant de 488 500 km². A ce point, l'Oubangui est encore à 600 km de sa confluence avec le Congo. Sur sa partie la plus longue (l'axe Uélé-Oubangui), il a parcouru 1900 km. Cette station est l'une des stations hydrométriques de référence internationale pour l'hydrologie africaine (Orange *et al.*, 1995). Les relevés limnimétriques journaliers y sont effectués sans lacune depuis mars 1935.

D'après la classification des régimes hydrologiques de Rodier (1964), l'Oubangui à Bangui montre un régime tropical de transition. L'hydrogramme annuel typique d'un

Tableau 1 Débits caractéristiques de l'Oubangui à Bangui (moyenne sur les années 1916, 1917 et 1936-1994).

	Moyenne	Minimum (date)	Maximum (date)	Coefficient de variation	Tendance linéaire
Annuel	3920	2120 (1990)	6110 (1969)	22%	-35 %
Maximum mensuel	8960	4670 (novembre 1990)	14000 (octobre 1916)	22%	-36%
Minimum mensuel	891	266 (avril 1990)	2100 (mars 1990)	43%	-60%

Débits en m³ s⁻¹ et date correspondante entre parenthèse.

tel régime est toujours monomodal avec, en général, le maximum de crue en octobre et le minimum en mars.

Depuis 1911, les débits annuels ont varié de $6110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (en 1969) à $2120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (en 1990), soit dans un rapport de 3 à 1, ce qui est relativement important pour une moyenne annuelle. Le plus important débit mensuel a été observé en octobre 1916 ($14\,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), le plus faible débit mensuel maximum en novembre 1990 ($4690 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), soit encore dans un rapport de 3 à 1. Les débits mensuels d'étiage ont connu une variation beaucoup plus grande: la valeur maximale observée est $2100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (mars 1963) et la valeur minimale $266 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (avril 1990) (Tableau 1).

CHANGEMENTS CLIMATIQUES EN AFRIQUE CENTRALE

Variation des débits annuels de l'Oubangui au cours du vingtième siècle

L'analyse détaillée de la série chronologique des débits de l'Oubangui depuis 1935 et sa reconstitution depuis le début de notre siècle a déjà été présentée par Orange *et al.* (1995). Sur la base des variations de débits annuels de l'Oubangui à Bangui, il a été mis en évidence la succession au cours du siècle, de trois périodes climatiques bien différenciées (Fig. 2). De l'origine en 1902 à 1954, les débits annuels ont pour cette première moitié du siècle une évolution cyclique de faible amplitude autour d'une moyenne interannuelle de $4180 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ avec une période de retour de l'ordre de 25 ans. Ensuite, la phase la plus humide du siècle dure 15 ans, de 1955 à 1970; la moyenne

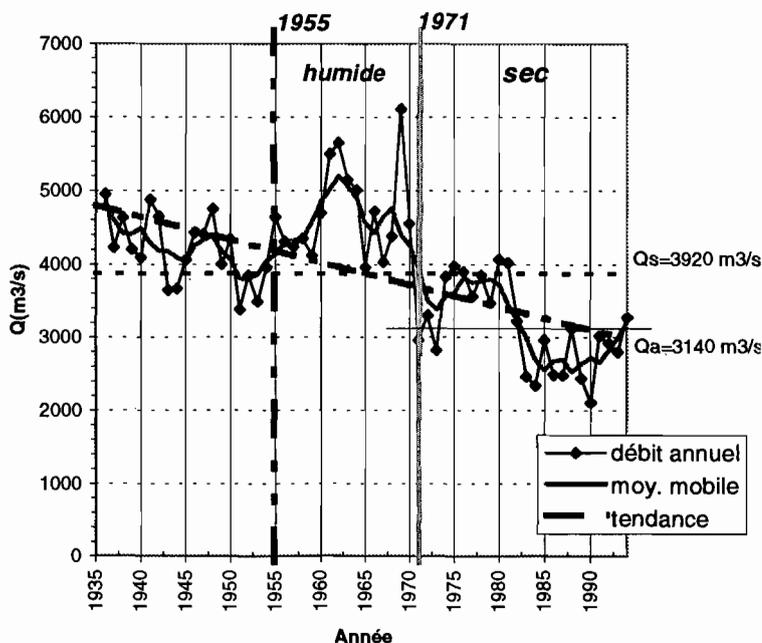


Fig. 2 Chronique des débits annuels observés de l'Oubangui à Bangui de 1936 à 1994 (moyennes mobiles sur 5 ans et tendance linéaire, Q_s est la moyenne des débits annuels sur le siècle, Q_a est la moyenne des débits annuels pour la période sèche).

interannuelle est alors de $4710 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Elle est suivie de la phase climatique actuelle, la plus sèche du siècle avec un débit interannuel de $3140 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Le passage entre la phase humide des années 1960 et la phase sèche actuelle est marquée par une rupture nette dans la série chronologique. On passe en 2 ans, de l'année la plus humide (1969 avec $6110 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) à une des années les plus sèches du siècle (1971 avec $2960 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). De même, le découpage en débits décennaux caractérise bien cette opposition franche entre une période moyenne stable terminée par une décennie humide et une période sèche en décroissance continue depuis les années 1970 (Orange *et al.*, 1995).

D'autres auteurs ont retrouvé ce brusque changement dans les années 1970 pour d'autres séries chronologiques fluviales d'Afrique de l'ouest, ils parlent de cassure climatique (Demarée & Nicolis, 1990; Lubes *et al.*, 1995). Il est certain que cette forte sécheresse entamée dès le début des années 1970 a entraîné au sein de la chronique des débits annuels un changement brutal de la moyenne représentative de l'hydraulicité de l'Oubangui (Fig. 2). Après 25 ans, on peut se demander si cela n'a pas conduit à une modification du fonctionnement hydrologique des paysages de cette zone géographique.

Caractère régional de la sécheresse depuis 1971

Le Congo à Brazzaville, la Sangha à Ouesso (affluent du Congo drainant le sud-est du Cameroun) et quatre affluents centrafricains de l'Oubangui, qui sont: la Lobaye à Mbata et la Mbali à Boali pour la partie ouest du bassin de l'Oubangui, la Kotto à Kembé et le Mbomou à Zémio pour l'est du bassin (Fig. 1) ont des données de débits disponibles à partir de 1902 pour le Congo à Brazzaville (Laraque, 1993) et 1953 pour les autres.

Il est remarquable que l'année 1970 est partout humide alors que l'année 1971 est partout sèche ou moyenne (Fig. 3). Cela conforte l'idée d'une rupture nette entre une période humide de 1955 à 1970 et une période sèche depuis. En effet, on retrouve quelques années en-dessous de la moyenne dans les années 1950, mais les années 1960 sont en général toutes au-dessus de la moyenne. Les années 1969 et 1970 ont une hydraulicité excédentaire dans tous les bassins. Pendant les années 1970, l'hydraulicité est de l'ordre de la moyenne ou inférieure, selon les années ou les cours d'eau, avec très rarement possibilité d'une hydraulicité excédentaire (1974 sur la Sangha, la Kotto et le Mbomou, 1980 sur le Mbomou). Par contre dans les années 1980 et surtout à partir de 1983, l'hydraulicité est en général déficitaire; seuls les bassins du Congo et de la Sangha montrent alors des années à hydraulicité moyenne. Cette légère différence de comportement entre ces deux bassins et le bassin de l'Oubangui s'explique par une reprise de la pluviométrie vers 1985 sur plusieurs régions du bassin du Congo, dont fait partie notamment le bassin de la Sangha (Mahé, 1993). Par ailleurs, l'observation de la répartition des maximum maximorum et des minimum minimorum confirme l'analyse faite à partir des débits annuels.

Pour l'ensemble de l'Afrique Centrale, on retrouve bien les mêmes fluctuations de l'hydraulicité depuis les années 1950, même si dans le détail, il peut exister quelques différences sous-régionales. Par contre, avant 1950, l'Oubangui montre des hydraulicités excédentaires que l'on ne retrouve pas sur le Congo. Cette dernière remarque confirme le caractère régional très marqué de la sécheresse des années 1970, qui n'est plus à démontrer (Lamb, 1982; Sircoulon, 1985; Carbonnel *et al.*, 1987; Nicholson, 1989;

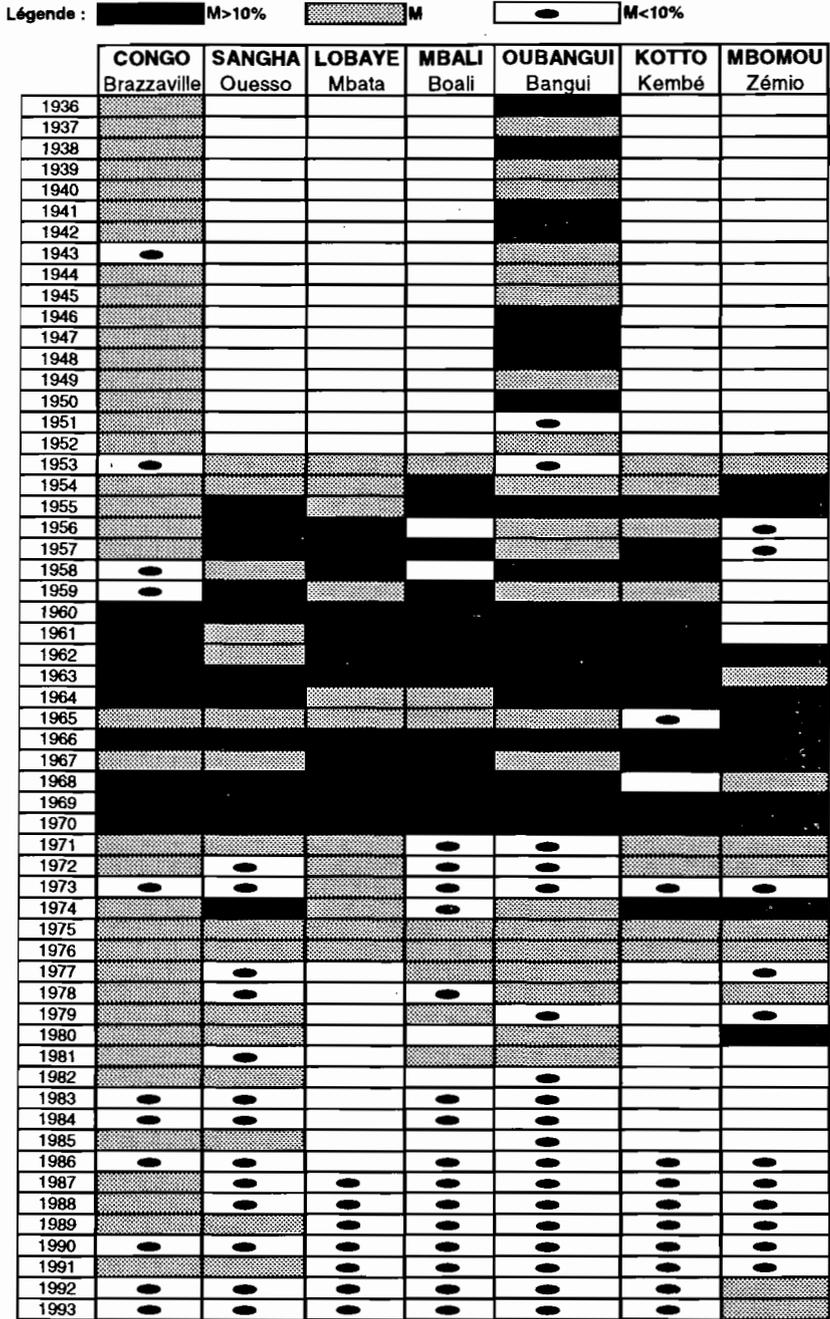


Fig. 3 Hydraulicités comparées de l'Oubangui à Bangui (1936-1993), de quatre de ces affluents (1953-1993), du Congo à Brazzaville (1936-1993) et de la Sangha à Ouesso (1953-1993) (les valeurs moyennes sont représentées en grisé, les valeurs inférieures de 10% à la moyenne par un ovale et les valeurs supérieures de 10% à la moyenne sont en noires, les cases blanches représentent les manquants).

Hulme, 1992; Janicot, 1992; Mahé & Olivry, 1995). Comme Olivry (1993), il est intéressant de noter que cette sécheresse s'est accentuée depuis 1983, sur l'ensemble de l'Afrique Centrale. Cela est plus marquée dans le bassin Oubangui que par ailleurs, du fait de l'influence prédominante des masses d'air sèches liées à l'anticyclone continental de Libye dans la partie nord du bassin du Congo (Mahé, 1993).

ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU FLEUVE

Notion de tendance linéaire

Afin de caractériser l'impact de cette sécheresse sur l'évolution du fonctionnement hydrologique du bassin versant de l'Oubangui, la notion statistique de tendance linéaire est utilisée dans toute la suite de cette étude. La tendance linéaire a l'avantage de proposer une représentation synthétique dynamique de l'évolution des paramètres hydroclimatiques considérés. Cependant, il faut préciser qu'elle donne une importance toute particulière au choix des intervalles de temps étudiés. Il est donc nécessaire d'utiliser des séries chronologiques de longueur identique et débutant la même année afin de pouvoir comparer la dynamique d'évolution des paramètres hydroclimatiques (débit et pluie) des différentes stations géographiques choisies. Tous les résultats présentés concernent donc la période commune d'observation: 1953-1988. Les tendances linéaires sont toujours calculées sur les valeurs annuelles du paramètre considéré.

La tendance linéaire des débits annuels de l'Oubangui indique une diminution de l'hydraulicité du fleuve de -35% entre 1953 et 1988.

Pluviométrie et déficit d'écoulement dans le bassin versant de l'Oubangui à Bangui

La lame d'eau précipitée annuelle a été calculée de 1953 à 1988 par la méthode du vecteur régional (Mahé, 1993; Mahé *et al.*, 1995) sur 12 sous-bassins versants de l'Oubangui moyen, c'est-à-dire en aval de la confluence avec la Lobaye (Fig. 1). Ainsi calculée, la lame d'eau précipitée moyenne sur le bassin de l'Oubangui à Bangui est de 1452 mm an^{-1} . Le minimum annuel de 1203 mm an^{-1} est observé en 1984 et le maximum annuel de 1709 mm an^{-1} en 1962. Le coefficient de variation est de 6% , nettement moins important que celui des débits moyens annuels (22%). La corrélation entre la pluviométrie annuelle et le débit moyen annuel est faible ($r = 0,44$), ce qui constitue un fait général d'observation sur les grands bassins fluviaux.

Depuis le début de la série, c'est-à-dire en 1953, l'évolution de la pluviométrie ne montre pas de cycle apparent (Fig. 4). L'analyse statistique de cette chronique à l'aide d'une moyenne mobile de 5 ans fait apparaître des cycles de courte période de l'ordre de 5 années, en accord avec ce que note Riou (1980). D'autre part, la tendance linéaire indique une baisse de -7% , soit une diminution de la lame d'eau précipitée de 108 mm sur les 35 ans observés.

Si on recherche une rupture dans cette série chronologique, elle apparaît en 1968, nettement moins marquée que pour les débits. Elle est donc enregistrée 3 années avant celle notée sur la chronique des débits. En fait, il est logique que la diminution de la pluviométrie ait mis quelques années avant de se répercuter dans l'évolution des débits.

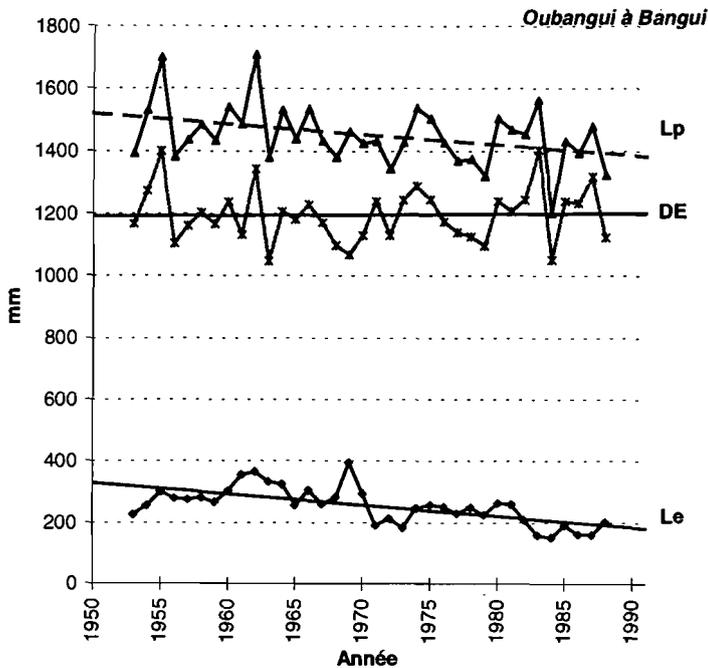


Fig. 4 Séries chronologiques de l'Oubangui à Bangui de 1953 à 1988 avec les tendances linéaires de la pluviométrie annuelle (L_p), du déficit d'écoulement annuel (DE) et de l'écoulement annuel (Le).

Par ailleurs, il faut noter que l'irrégularité interannuelle des pluies est plus importante que celle des débits. On voit là l'intervention de l'effet mémoire du bassin, qui se traduit pour les débits annuels par une irrégularité interannuelle moindre et par des cycles de période plus longue.

L'équation du bilan hydrique peut être formulée à des degrés divers de complexité. L'expression la plus simple est donnée par Thornthwaite & Mather (1955):

$$L_p = E_T + Le + dS$$

avec L_p la lame d'eau précipitée sur le bassin, E_T la lame d'eau évapotranspirée, Le la lame d'eau écoulee et dS le volant d'eau pouvant être accumulé ou non sur le bassin, le tout étant exprimé en mm pour un laps de temps donné. Cette équation traduit simplement la loi physique de conservation de masse. La variable de stock dS correspond en fait à la potentialité du bassin à recharger la nappe.

Par ailleurs, on définit le déficit d'écoulement (DE) comme étant la différence entre la lame d'eau précipitée (L_p) et la lame d'eau écoulee (Le):

$$DE = L_p - Le$$

Le déficit d'écoulement représente donc la somme de la recharge des nappes et de l'évapotranspiration réelle (dont la limite supérieure est l'évapotranspiration potentielle). A l'échelle annuelle, cette variable permet d'établir un bilan rapide de la disponibilité

Tableau 2 Evolution de la pluviométrie, de l'écoulement et du déficit d'écoulement dans le bassin de l'Oubangui, de 1953 à 1988.

Bassin versant	Mbomou à Zémio	Kotto à Kembé	Mbali à Boali	Lobaye à Mbata	Oubangui à Bangui
Lame d'eau précipitée					
Bornes (mm)	1468-1355	1437-1240	1525-1401	1460-1497	1505-1398
Différence (mm)	-113	-197	-124	+37	-107
Tendance linéaire	-8%	-14%	-8%	+2%	-7%
Lame d'eau écoulée					
Bornes (mm)	227-158	182-88	523-207	373-204	306-200
Différence (mm)	-69	-94	-316	-169	-106
Tendance linéaire	-30%	-53%	-60%	-45%	-35%
Déficit d'écoulement					
Bornes (mm)	1255-1132	1265-1127	1010-1151	1103-1223	1199-1198
Différence (mm)	-123	-138	+141	+120	-1
Tendance linéaire	-10%	-11%	+14%	+11%	0%

Les bornes indiquées correspondent aux valeurs du paramètre considéré entre 1953 et 1988.

en eau sur le bassin. Ensuite, l'analyse de la tendance linéaire de son évolution inter-annuelle donne un aperçu dynamique des volumes en eau disponibles sur le bassin, d'une part pour l'évapotranspiration réelle, d'autre part pour la recharge des nappes.

Pour le bassin de l'Oubangui à Bangui, la variation interannuelle du déficit d'écoulement est semblable à celle de la pluviométrie, à la différence importante que la tendance linéaire du déficit d'écoulement est nulle (Fig. 4). En effet, la tendance linéaire de la lame d'eau écoulée correspond à une baisse d'écoulement de 106 mm pour la période 1953-1988 (Tableau 2); or cette valeur est égale à la décroissance absolue donnée par la tendance linéaire de la lame d'eau précipitée sur la même période. Par voie de conséquence, la tendance linéaire du déficit d'écoulement est nulle. Remarquons que ces 106 mm représentent une baisse de -35% pour l'écoulement fluvial et de seulement -7% pour la pluviométrie!

Ces observations mènent au raisonnement suivant. Nous avons vu que la diminution absolue de la lame d'eau précipitée (d'environ 100 mm sur les 35 dernières années) s'est traduite par une diminution absolue identique de la lame d'eau écoulée, ce qui conduit à une tendance linéaire stable du déficit d'écoulement. Ceci signifie qu'en moyenne sur les 35 dernières années, la dynamique des volumes d'eau disponibles sur l'ensemble du bassin versant de l'Oubangui est nulle, c'est-à-dire que la part totale d'eau servant à la recharge des nappes et à l'évapotranspiration réelle est restée constante.

Or d'après Boulvert (1992), la végétation dans cette région n'a pas été modifiée. Il est donc raisonnable de penser qu'il n'y a pas eu de changement dans son prélèvement absolu par transpiration; il en est de même pour l'évaporation (Riou, 1980). On formule là l'hypothèse que la sécheresse ne s'est pas accompagnée d'une modification de la répartition mensuelle des pluies ayant pu jouer un rôle sur l'évapotranspiration (Feizouré, 1994; Mettin, 1995). D'autre part, il faut noter que Shaake & Chunzhen (1989) ont montré que les ressources en eau étaient nettement plus sensibles aux variations de pluviosité qu'aux variations d'évapotranspiration. On peut donc considérer,

sans grande conséquence pour notre étude, que sur ces 35 dernières années l'évapotranspiration réelle est inchangée (tendance linéaire nulle).

Ainsi, la tendance linéaire nulle du déficit d'écoulement indique que le prélèvement des nappes est globalement resté le même en valeur absolue, malgré l'abaissement du niveau des nappes noté par la diminution des débits d'étiage du fleuve (Orange et al., 1995).

En conclusion, en moyenne depuis 35 ans et globalement sur l'ensemble du bassin versant moyen de l'Oubangui, la part absolue du prélèvement de la lame d'eau précipitée par les aquifères n'a ni diminué ni augmenté. Comment cela se traduit-il régionalement sur le bassin versant de l'Oubangui?

HYDROCLIMATOLOGIE SOUS-REGIONALE DU BASSIN DE L'OUBANGUI

Présentation de quelques affluents de l'Oubangui

Afin de comprendre la réponse hydrologique du bassin de l'Oubangui à cette nouvelle situation hydroclimatique, nous avons recherché des chroniques d'observations hydro-métriques et pluviométriques suffisamment longues, sur des affluents caractéristiques. Les quatre stations, déjà citées plus haut, ont été retenues, soit d'est en ouest: le Mbomou à Zémio, la Kotto à Kembé, la Mbali à Boali et la Lobaye à Mbata (Fig. 1). Une lacune importante dans les débits existe pour toutes les stations entre 1977 et 1987. Les lames d'eaux précipitées annuelles ont été calculées pour chaque bassin de la manière décrite ci-dessus.

Le Mbomou forme l'Oubangui, après la confluence avec l'Uélé. Son bassin versant à la station hydrométrique de Zémio est de 29 300 km². Il est le sous-bassin le plus à l'est.

La Kotto est l'affluent le plus important de l'Oubangui. A Kembé, son bassin versant est de 78 400 km². Il draine la partie la plus au nord du bassin de l'Oubangui.

La Mbali est un affluent de la Mpoko. La Mpoko se jette dans l'Oubangui juste après la station hydrométrique de Bangui. Malheureusement, la station hydrométrique de la Mpoko à Bangui connaît des problèmes d'étalonnage et de disponibilité de données, aussi au lieu d'étudier son bassin de 23 900 km² pour représenter la partie sud-ouest du bassin de l'Oubangui, nous avons été obligés de limiter les analyses au sous-bassin de la Mbali à Boali (4560 km²).

La Lobaye est le dernier affluent de l'Oubangui avant son entrée dans la plaine marécageuse de son cours inférieur. A Mbata, le bassin couvre une superficie de 31 300 km². Il draine la partie la plus à l'ouest du bassin de l'Oubangui.

Ces quatre affluents ont un régime tropical de transition, comme l'Oubangui à Bangui. L'écoulement moyen annuel dans les deux bassins versants de l'est du pays est de l'ordre de 150 mm, tandis qu'il est supérieur à 300 mm dans l'ouest (Tableau 3). La lame d'eau précipitée augmente du nord-est au sud-ouest; les extrêmes sont représentés par le bassin de la Kotto avec 1340 mm an⁻¹ et le bassin de la Lobaye avec 1480 mm an⁻¹. Ces chiffres se traduisent par un coefficient d'écoulement de l'ordre de 12% pour les sous-bassins de l'est et de 22% pour ceux de l'ouest.

Bien sûr, la valeur importante du coefficient d'écoulement de la Mbali est accentuée par la petite taille de son bassin, comparativement à celle des autres bassins étudiés.

Tableau 3 Caractéristiques hydrologiques des sous-bassins étudiés (*Lp*: lame d'eau précipitée; *Le*: lame d'eau écoulée; *CE*: coefficient d'écoulement; *Qs*: débit spécifique).

	Superficie (km ²)	<i>Lp</i> (mm an ⁻¹)	<i>Le</i> (mm an ⁻¹)	<i>CE</i> (%)	<i>Qs</i> (l s ⁻¹ km ⁻²)
Mbomou à Zémio	29 300	1400	193	14	6
Kotto à Kembé	78 400	1340	141	10	5
Mbali à Boali	4 560	1460	364	25	12

Ceci étant, il faut noter que l'influence de la superficie sur la valeur du débit spécifique est faible en région tropicale humide, la hauteur pluviométrique jouant le rôle explicatif principal (Callède *et al.*, 1992).

Fonctionnement hydroclimatique sous-régional du bassin de l'Oubangui

Dans les quatre sous-bassins étudiés, la chronique des débits moyens annuels montre une tendance linéaire à la baisse depuis le début des années 1950 (Fig. 5). La décroissance

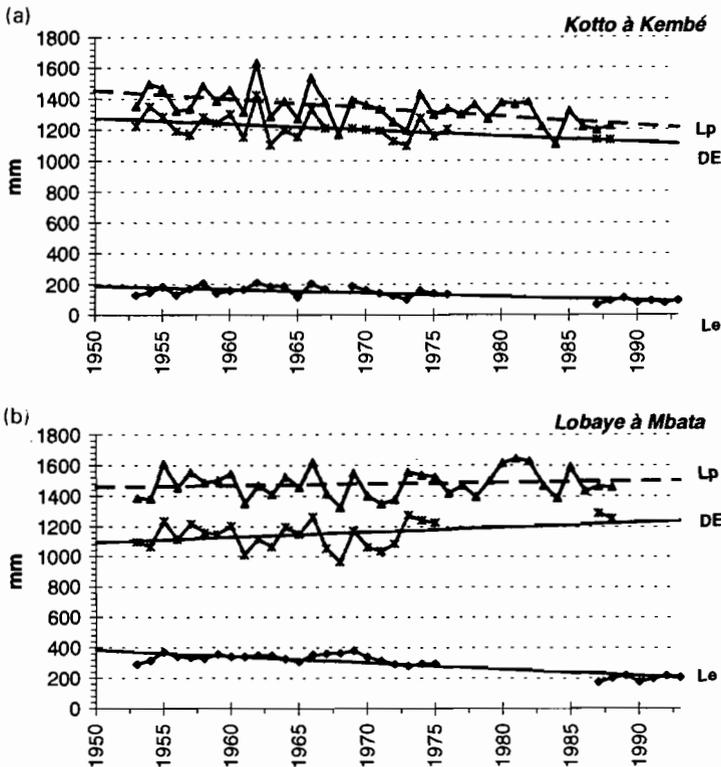


Fig. 5 Séries chronologiques de 1953 à 1988 avec les tendances linéaires de la pluviométrie annuelle (*Lp*), du déficit d'écoulement annuel (*DE*) et de l'écoulement annuel (*Le*): (a) de la Kotto à Kembé; et (b) de Lobaye à Mbata.

est maximale sur le bassin de la Mbali (-60%), minimale sur le bassin du Mbomou (-30%) (Tableau 3).

La tendance linéaire des lames d'eau précipitées annuelles indique une tendance à la baisse uniquement pour trois bassins sur quatre: de -14% sur la Kotto, -8% sur la Mbali et le Mbomou. En effet, la tendance linéaire est très légèrement positive sur la Lobaye (+2%). Pour les quatre sous-bassins, la chronique des lames d'eau précipitées évolue en dents-de-scie, caractérisant une irrégularité interannuelle classique de la variable pluie.

De ces deux paramètres, nous en avons déduit les chroniques d'évolution du déficit d'écoulement annuel ($DE = L_p - L_e$) pour chacun des sous-bassins étudiés. Rappelons que le déficit d'écoulement avait une tendance linéaire nulle sur l'Oubangui à Bangui. Par contre, son évolution de 1953 à 1988 oppose nettement les quatre sous-bassins en deux groupes (Fig. 5): les sous-bassins de l'est (et également les moins arrosés) avec une tendance linéaire à la baisse de leur déficit d'écoulement (de l'ordre de -10%) et les sous-bassins de l'ouest (les bassins les plus arrosés) avec une tendance linéaire à la hausse de leur déficit d'écoulement supérieure à +10% (Tableau 3).

Cette différence de comportement du déficit d'écoulement traduit le fait que la diminution relative de la lame d'eau écoulée par rapport à la lame d'eau précipitée n'est pas identique, bien que tous les bassins montrent une tendance à la baisse de leur lame d'eau écoulée. En effet, exprimée en valeur absolue (Tableau 3), la tendance à la diminution de la lame d'eau écoulée est moins importante que celle de la pluviométrie dans les bassins les plus secs; l'écoulement diminue de 69 mm sur le Mbomou et de 94 mm sur la Kotto, bien que la baisse de la pluviométrie soit supérieure (respectivement de 113 mm et 197 mm). Au contraire, dans les bassins les plus humides (la Mbali et la Lobaye), la valeur absolue de la tendance à la décroissance de l'écoulement est plus importante que celle de la pluviométrie; l'écoulement diminue de 316 mm et de 169 mm pour, respectivement, une baisse de la pluviométrie de seulement 124 mm et voir même une légère augmentation de la pluviométrie de +37 mm. Rappelons que pour l'Oubangui à Bangui, la diminution de la pluviométrie est la même que celle de l'écoulement.

Ces observations conduisent à la compréhension suivante de la dynamique du fonctionnement hydroclimatique des sous-bassins versants de cette zone d'Afrique Centrale.

Le fait que le déficit d'écoulement augmente alors que par ailleurs la pluie et l'écoulement diminuent, traduit que l'écoulement diminue plus vite que la pluie. En terme de fonctionnement hydrologique du bassin, cela signifie que la lame d'eau écoulée diminue par rapport à la lame d'eau précipitée: le bassin prélève relativement plus qu'il ne reçoit. En d'autres termes, la part du bilan hydrique qui n'est pas évacuée en écoulement de surface augmente. On rappelle que cette part représente la somme de l'évapotranspiration réelle et de la recharge des nappes. Aussi, à caractéristiques physiographiques égales (en suivant le même raisonnement que pour l'Oubangui ci-dessus), on peut penser que les nappes se rechargent. Cependant, l'examen de la chronique des débits d'étiage, que ce soit pour la Lobaye ou la Mbali, ne montre pas d'évolution significative pouvant confirmer cette hypothèse. Les niveaux de base sont toujours à la même cote depuis 1988.

A l'inverse, et plus dramatique pour la région, la diminution du déficit d'écoulement signifie que la part du bilan hydrique qui n'est pas évacuée en écoulement de surface diminue: le bassin prélève relativement moins qu'il ne reçoit. On peut alors affirmer que

les nappes, déjà très fortement ponctionnées (Callède *et al.*, 1992; Olivry, 1993; Orange *et al.*, 1995), ont une très forte probabilité de ne pouvoir se recharger, la part du bilan de l'eau destinée à l'alimentation des nappes ayant tendance à diminuer. Dans ce cas, l'observation des chroniques de débits d'étiage montre également une tendance à la baisse du niveau des nappes.

Dynamique actuelle de la recharge des nappes sur le bassin de l'Oubangui

Callède *et al.* (1992) ont montré que sur le bassin de l'Oubangui la hauteur pluviométrique joue le rôle principal dans le classement des bassins versants en fonction de leur débit spécifique, l'influence de la superficie étant très faible. Le débit spécifique traduit donc pour le bassin de l'Oubangui une classification dépendant en premier lieu des caractéristiques physiographiques des bassins considérés. La Lobaye, la Mpoko dont la Mbali est un affluent, et l'Uélé sont les seuls bassins à avoir un débit spécifique supérieur à $10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Tous les autres bassins ont un débit spécifique inférieur à cette limite. A partir de cette répartition des entités hydrologiques constitutives du bassin versant moyen de l'Oubangui, on propose une photographie des potentialités du fonctionnement hydroclimatique de l'ensemble du bassin sur la base des conclusions précédentes.

En effet, afin de régionaliser nos résultats, on suppose que la Lobaye et la Mpoko ont un fonctionnement hydrologique caractéristique des bassins versants ayant un débit spécifique supérieur à $10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, et que la Kotto et le Mbomou ont un fonctionnement hydrologique caractéristique des bassins versants ayant un débit spécifique inférieur à $10 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. En extrapolant cela à l'ensemble du bassin de l'Oubangui, on obtient deux parties bien groupées et de superficie sensiblement égale à dynamiques hydroclimatiques opposées (Fig. 6).

On distingue une zone nord sèche montrant des difficultés en réapprovisionnement de ses nappes et une zone sud humide dont les caractéristiques hydrologiques peuvent

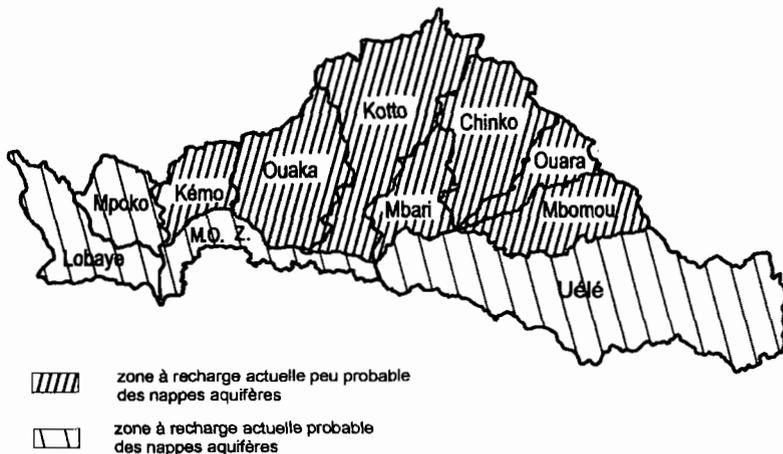


Fig. 6 Potentialités du fonctionnement hydroclimatique sous-régional du bassin moyen de l'Oubangui (M.O.Z.: Moyen Oubangui Zaïre).

laisser croire à une recharge actuelle des nappes. La répartition en surface de ces deux zones est respectivement de 56 % et 44 %.

CONCLUSION

En Afrique Centrale, les premiers déficits pluviométriques ont été observés en 1967 et se sont traduits par la baisse des régimes hydrologiques de l'ensemble des cours d'eau de la région à partir de 1971. Par rapport aux sécheresses précédentes connues, celle-ci est exceptionnelle par son ampleur tant spatiale que temporelle. En effet, le déficit hydrologique s'est encore accentué à partir de 1983. En 1994, le niveau des fleuves est toujours au plus bas. Après 25 années de sécheresse, on est en droit de parler de rupture dans les séries chronologiques hydrologiques en deux sous-populations, marquant nettement un nouvel état moyen des conditions hydroclimatiques de la région depuis 1971. La notion de moyenne du siècle est donc inadaptée à la description hydroclimatique de la zone.

Par sa position continentale, le bassin de l'Oubangui est particulièrement intéressant pour noter si ce changement hydroclimatique majeur a modifié le fonctionnement hydrologique des paysages dans cette zone géographique.

A l'échelle globale du bassin versant moyen de l'Oubangui, la baisse de l'écoulement enregistrée par rapport au début des années 1950 correspond à la baisse de la pluviométrie. Par contre, régionalement, deux ensembles de superficie équivalente s'opposent du point de vue du fonctionnement hydroclimatique. En effet, à partir de l'étude des déficits d'écoulement, la recharge actuelle des nappes aquifères semble probable au sud, même si ceci ne s'est pas encore traduit par une hausse des débits d'étiage des cours d'eau de cette zone. Par contre, la situation est beaucoup plus critique au nord, où il semble que la recharge actuelle des nappes aquifères est peu probable. Ce schéma de fonctionnement hydroclimatique sous-régional du bassin versant de l'Oubangui met l'accent sur la précarité des ressources en eau de la zone nord, qui correspond tout de même à près de 50% de la superficie totale du bassin. Une étude spécifique devrait donc être menée pour confirmer et préciser les modalités de réapprovisionnement des nappes dans cette région.

De toutes façons, le retour à la normale semble fortement compromis même dans l'hypothèse de plusieurs années consécutives de régimes pluviométriques excédentaires. L'amplitude et la durée de la période déficitaire récente et actuelle sont très marquées et viennent conforter l'hypothèse d'un possible changement du climat, sinon à l'échelle planétaire, du moins à l'échelle de l'Afrique Centrale.

Remerciements Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'opération Grands Bassins Fluviaux (GBF) du « Programme Environnement de la Géosphère Intertropicale » (PEGI), financé par l'association Insu-Orstom-CNRS et dont l'objectif est de caractériser la dynamique actuelle des grands écosystèmes intertropicaux par un suivi à long terme des fluctuations hydroclimatiques et des flux fluviaux de matières. Ce travail est le résultat d'une collaboration suivie entre le Laboratoire d'Hydrologie de l'Orstom à Bangui et la Direction de la Météorologie Centrafricaine. Gil Mahé est vivement remercié pour avoir permis l'utilisation d'une part, de la banque de données pluvio-

métriques d'Afrique Centrale qu'il a réactualisée dans ses travaux de thèse, et d'autre part, de sa chaîne de traitement pluviométrique pour le calcul des lames d'eau précipitées. Nous remercions également Jean-Claude Olivry pour son aide et ses remarques avisées, de même que les relecteurs pour leurs nombreux commentaires.

REFERENCES

- Arnell, N. W. (1994) Hydrology and climate change. In: *The Rivers Handbook* (ed. par P. Calow & G. E. Petts), vol. 2, 173-185. Blackwell, Oxford, UK.
- Boulvert, Y. (1986) *Carte phytogéographique au 1/1 000 000, République Centrafricaine. Notice explicative no. 104.* Orstom, Paris.
- Boulvert, Y. (1992) Documents phytogéographiques sur les savanes centrafricaines. *Note du Laboratoire des Formations Superficielles, Orstom, Bondy.*
- Bricquet, J.-P. (1995) Les écoulements du Congo à Brazzaville et la spatialisation des apports. In: *Grands Bassins Fluviaux Périallantiques: Congo, Niger, Amazone* (Colloque et Séminaire), 27-38. Orstom, Paris.
- Callède, J., Boulvert, Y. & Thiébaux, J. P. (1992, à paraître) *Le bassin de l'Oubangui.* Coll. Monographies Hydrologiques, Orstom, Paris.
- Carbonnel, J. P., Hubert, P. & Chaouche, A. (1987) Sur l'évolution de la pluviométrie en Afrique de l'ouest depuis le début du siècle. *C.R. Acad. Sci. Paris sér. II* 305, 625-628.
- Demarée, G. & Nicolis, C. (1990) Onset of sahelian drought viewed as a fluctuation induced transition. *Quart. J. Roy. Met. Soc. Paris* 116, 221-238.
- Feizouré, C. (1994) Conséquences de la variabilité hydroclimatique sur l'érosion dans le bassin de l'Oubangui (République Centrafricaine). *Mém. DEA, Univ. Bourgogne, Dijon; Laboratoire d'Hydrologie, Orstom, Bangui.*
- Franquin, P., Dizian, R., Cointepas, J.-P. & Boulvert, Y. (1988) *Agroclimatologie du Centre-afrique.* Coll. Initiations-Documentations Techniques no. 71, Orstom, Paris.
- Hulme, M. (1992) Rainfall changes in Africa: 1931-1960 to 1961-1990. *Int. J. Climatol.* 12, 685-699.
- Janicot, S. (1992) Spatio-temporal variability of West African rainfall. *J. Climate* 5, 489-511.
- Lamb, P. J. (1982) Persistence of subsaharan drought. *Nature* 299, 46-48.
- Laraque, A. (1993) Matter exportation of Congo river. In: *Proc. Int. Perspect. Environ. Geochem. Trop. Countries* (ed. par J. J. Abrao, J. C. Wassermann & E. V. Silva-Filho) (Niteroi, Brazil, novembre 1993), 327-331. Univ. Federal Fluminense, Department Geochemistry, Brésil.
- Lubes, H., Aka, A., Masson, J. M., Servat, E., Paturol, J. E. & Kouamé, B. (1995) Essais de mise en évidence d'une variation climatique par application de tests statistiques à des séries chronologiques de débit, Application aux grands fleuves de Côtes d'Ivoire. In: *Méthodes Statistiques et Bayésiennes en Hydrologie* (Proc. Int. Conf. in honour of J. Bernier, Paris, September 1995). Unesco, Paris.
- Mahé, G. (1993) Les écoulements fluviaux sur la façade Atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle. Analyse de situations hydroclimatiques moyennes et extrêmes. Etudes et Thèses, Orstom, Paris.
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1991) Changements climatiques et variations des écoulements en Afrique occidentale et centrale, du mensuel à l'interannuel. In: *Hydrology for the Water Management of Large River Basins* (ed. par F. H. M. van de Ven, D. Gutknecht, D. P. Loucks & K. A. Salewicz) (Proc. Vienna Symp., August 1991), 163-171. IAHS Publ. no. 201.
- Mahé, G., L'Hôte, Y. & Olivry, J. C. (1993, à paraître) Regional rainfall variations in West and Central Africa, 1951-1989. *Global & Planetary Change.*
- Mahé, G., Delclaux, F. & Crespy, A. (1995, à paraître) Elaboration d'une chaîne de traitement pluviométrique et application au calcul automatique de lames précipitées (bassin-versant de l'Ogooué au Gabon). *Hydrol. Continent.*
- Mahé, G. & Olivry, J. C. (1995) Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse* 6(1), 109-117.
- Metin, H. (1995) Variations temporelles et spatiales des lames d'eau précipitées sur l'ensemble du bassin versant supérieur de l'Oubangui (1972-1992). *Mémoire de Maîtrise, Université de Bangui, Rapport Orstom du Laboratoire d'Hydrologie, Centre Orstom de Bangui.*
- Nicholson, S. E. (1989) Long-term changes in African rainfall. *Weather* 44, 47-56.
- Olivry, J.-C. (1986) Fleuves et rivières du Cameroun. Thèse d'Etat, Orstom.
- Olivry, J.-C. (1993) De l'évolution de la puissance des crues des grands cours d'eau intertropicaux d'Afrique depuis deux décennies. *Journées Hydrologiques « Centenaire Maurice Paré », Grenoble.*
- Orange, D., Feizouré, C., Wesseling, A. & Callède, J. (1995, à paraître) Variabilités hydrologiques de l'Oubangui à Bangui au cours du XXème siècle. In: *Proc. Journées Scientifiques de Friend-AOC* (Cotonou, décembre 1995). Unesco, Paris.
- Ozga-Zielinska, M. (1989) Droughts and floods – their definition and modeling. In: *New Directions for Surface Water Modeling* (ed. par M. L. Kavvas) (Proc. Baltimore Symp., May 1989), 313-325. IAHS Publ. no. 181.

- Riou, C. (1980) Aspects climatiques de la sécheresse de part et d'autre du Sahara (de l'Afrique Centrale sèche à la Tunisie). *Cah. Orstom, sér. Biol.* **42**, 43-51. Orstom, Paris,
- Rodier, J. (1964) *Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo*. Mémoires Orstom no. 6, Orstom, Paris.
- Schaake, J. C. Jr & Chunzhen, L. (1989) Development and application of simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources. In: *New Directions for Surface Water Modeling* (ed. par M. L. Kavvas) (Proc. Baltimore Symp., May 1989), 343-352. IAHS Publ. no. 181.
- Sircoulon, J. (1985) La sécheresse en Afrique de l'ouest, comparaison des années 1982-1984 avec les années 1972-1973. *Cah. Orstom, sér. Hydrol.* **23**, 75-86.
- Thornthwaite, C. & Mather, J. (1955) The water balance. In: *Publ. in Climatology*, vol. 8. C. W. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Centerton, New Jersey.
- Wilkinson, W. B. & Cooper, D. M. (1993) The response of idealized aquifer/river systems to climate change. *Hydrol. Sci. J.* **38**(5), 379-390.