

LES ETUDES DU PEGI SUR LE BASSIN DU CONGO-ZAÏRE DANS LE CONTEXTE DEFICITAIRE DES RESSOURCES EN EAU DE L'AFRIQUE HUMIDE.

J.C. OLIVRY, J.P. BRICQUET & G. MAHE

RESUME :

Dans le contexte pluviométrique déficitaire observé depuis plus de vingt ans en Afrique intertropicale, l'hydraulicité des fleuves de l'Afrique humide a nettement diminué depuis le début des années 80. Cette baisse se poursuit encore aujourd'hui alors qu'un retour à la normale du régime des pluies paraît amorcé. L'évolution des écoulements annuels montre que le déficit annuel des ressources en eau est passé de 7% pour la décennie 70 à 16% pour la décennie 80 ($365 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ dont 150 pour le fleuve Congo - Zaïre). Les chroniques montrent également dans la période actuelle d'exceptionnels débits d'étiage et des maximums annuels de crue plus faibles, la crue de printemps étant particulièrement amoindrie en régime équatorial. Le tarissement s'est considérablement accéléré traduisant un amenuisement des réserves souterraines. Ceci explique l'appauvrissement durable des ressources hydriques indépendant, pour un temps, d'une éventuelle amélioration des conditions climatiques et doit être pris en compte dans l'interprétation des expériences PEGI sur les flux de matières du bassin du Congo - Zaïre.

ABSTRACT : Deficit of the water resources in the wet Africa during the PEGI experiment on the Zaïre basin.

The rainfall deficits observed in Africa during the past twenty years had important repercussions since 1980 on the hydrological regimes of the rivers of wet Africa. Although for the last few years the rainfall deficits have been less important, the runoff kept in decreasing. The runoff shows an annual deficit of 7% during the 70's and of 16% during the 80's ($365 \text{ km}^3 \text{ year}^{-1}$ with $150 \text{ km}^3 \text{ year}^{-1}$ for the Zaïre river) in regard with the 1951-1989 mean. The persistent degradation of the water resource, the exceptional low water discharge and also the lower values of the annual floods are explained by a large reduction of the groundwater storage, with a memory effect on the water balance as it was shown in the study of the yield recession curves during the low water period. It is important to note that the PEGI experiment on the fluxes of matter of the Zaïre river takes place during this particular hydrological context.

INTRODUCTION

Le programme "Grands Bassins Fluviaux" avait inscrit dans la durée le suivi du régime des exportations de matières particulaires et dissoutes des grands fleuves intertropicaux, l'objectif étant d'évaluer l'incidence des fluctuations hydroclimatiques sur leur fonctionnement biogéohydrodynamique. Après huit années d'observations sur le bassin du fleuve Congo, force est de constater que celles-ci ont été faites dans un contexte déficitaire persistant.

L'évolution récente des régimes hydrologiques en Afrique intertropicale, tributaire de la façade atlantique du continent (Fig. 1), est essentiellement marquée par un appauvrissement généralisé des ressources en eau depuis plus de vingt ans, pour l'Afrique tropicale sèche (Sircoulon et Olivry, 1986 ; Olivry, 1987; Olivry et al, 1992).

Au cours des années 80, l'extension de la sécheresse en Afrique Centrale, devient plus marquée. Les grands fleuves de l'Afrique humide des zones tropicales et équatoriales sont à leur tour sérieusement affectés par des écoulements déficitaires. Une tendance quasi générale à la baisse est observée ; celle-ci va bien au-delà de l'irrégularité interannuelle observée à l'occasion de déficits pluviométriques annuels ponctuels. Ainsi, la plus grande zone forestière intertropicale du monde, après l'Amazonie, est soumise globalement à un appauvrissement notable de ses ressources en eau.

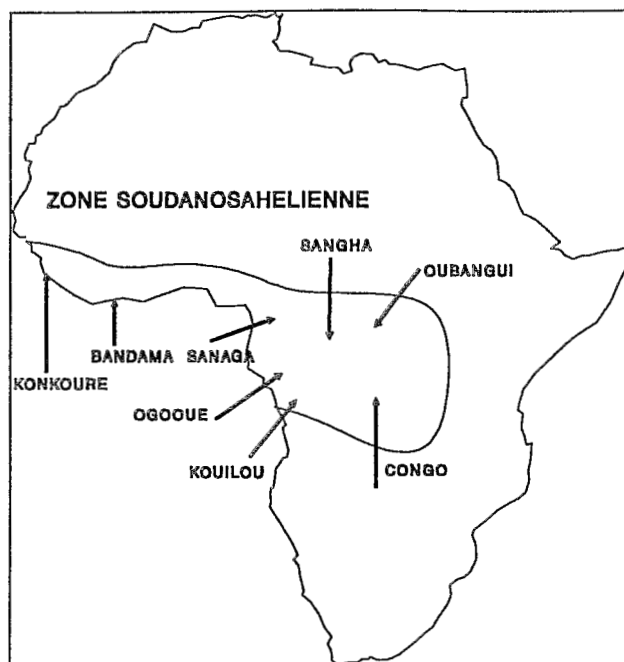


Figure n°1

Croquis de situation de l'Afrique humide et des principaux bassins fluviaux étudiés.

Dans les régions soudano-sahéliennes, les hauteurs annuelles de précipitation montrent une tendance à la baisse particulièrement accusée dès 1968 avec des valeurs presque toujours inférieures aux médianes. Certains indices régionaux (Lamb, 1985, Nicholson et al, 1988) montrent cette dégradation constante depuis vingt ans. Une amélioration récente a été observée mais reste encore très relative puisque les précipitations annuelles sont toujours déficitaires.

TABLEAU 1

Précipitations et écoulements annuels de bassins fluviaux caractéristiques des différentes zones de l'Afrique humide calculés par décennie et sur la période 1951 - 1990.

BASSINS et SUPERFICIE	en mm	Décennies				
		1951/1960	1961/1970	1971/1980	1981/1990	Moyenne
KONKOURE	Pluie	2881	2686	2317	2208	2531
16200 km ²	Lame Ecoulée	1377	1240	897	795	1084
BANDAMA	Pluie	1383	1316	1198	1119	1257
60000 km ²	Lame Ecoulée	228	204	112	93	160
SANAGA	Pluie	1924	1867	1800	1722	1831
131500 km ²	Lame Ecoulée	511	504	422	420	466
OUBANGUI	Pluie	1578	1573	1486	1515	1539
488000 km ²	Lame Ecoulée	266	318	229	179	248
SANGHA	Pluie	1637	1655	1596	1571	1615
158000 km ²	Lame Ecoulée	357	371	297	279	326
OGOUE	Pluie	1792	1839	1757	1776	1791
203000 km ²	Lame Ecoulée	694	778	686	659	705
KOUILOU	Pluie	1570	1644	1511	1427	1541
56600 km ²	Lame Ecoulée	535	583	471	451	510
ZAIRE	Pluie	1511	1467	1446	1440	1467
3500000 km ²	Lame Ecoulée	366	438	378	340	381

L'Afrique humide montre également une tendance générale à la baisse des précipitations mais avec des nuances spatiales qui doivent être soulignées. Ainsi les zones côtières très arrosées, de la Guinée au Nigéria, paraissent en phase avec ce qui est observé dans la zone soudano-sahélienne.

En valeur absolue, les déficits sont très importants, ils peuvent atteindre jusqu'à 1000 mm dans des régions de précipitations interannuelles de 2500 à 3000 mm. Plus à l'est, vers l'Afrique Centrale, la tendance est d'abord beaucoup moins nette en bordure de l'océan Atlantique puis s'accroît de nouveau vers l'intérieur du continent sans toutefois retrouver l'ampleur des régions nord du golfe de Guinée. Cette analyse rapide a été obtenue à partir de l'étude des données de 1000 postes pluviométriques des bassins tributaires de la façade atlantique du Sénégal à l'Angola et de l'application d'indices régionaux d'homogénéisation par zones géomorpho-climatiques (Mahé, 1993) (Fig.2).

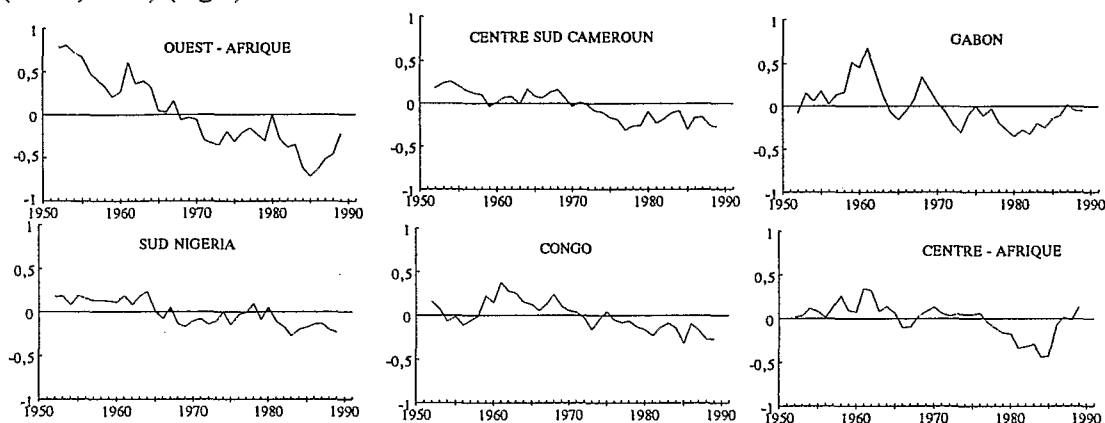


Figure n°2
Evolution des précipitations annuelles depuis 1950 dans différentes régions de l'Afrique humide. Moyenne mobile des écarts réduits (d'après Mahé, 1992).

1 L' ECOULEMENT ANNUEL

En Afrique Centrale, les débits du Congo sont connus depuis 1903 ; les observations commencent en 1930 sur l'Oubangui, 1935 sur l'Ogooué et 1948 sur la Sangha. L'évolution de l'hydraulicité de ces quatre fleuves a été reproduite dans la figure 3. La variable retenue est le rapport entre la variation d'hydraulicité et l'écart-type des hydraulicités. Ceci permet de mesurer de manière comparable l'impact du changement climatique sur des bassins dont la variabilité naturelle est différente (régime équatorial ou tropical).

L'analyse la plus intéressante concerne le fleuve Congo-Zaïre, de par la durée des enregistrements et sa représentativité spatiale. Le module interannuel sur l'ensemble de la période d'observation est de $41000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (86 ans) (Bricquet, 1990). Les modules extrêmes sont de $55200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1962 et $33300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en 1984. Le fleuve a été relativement régulier sur toute la période antérieure à 1960. La période abondante entre 1960 et 1970 marquée par les crues exceptionnelles de 1961, 1962 et 1969 a permis à certains auteurs de proposer pour l'hydraulicité de l'Afrique une tendance globale à la hausse (Probst et Tardy, 1987). Celle-ci est largement démentie dans les faits par les décennies suivantes. La décennie 71-80 est proche de la normale avec une période largement déficitaire centrée sur 1972 et 1973. La décennie 1981-1990 connaît un appauvrissement général des écoulements notamment en 1984.

Ce schéma se retrouve sur l'Oubangui à Bangui où toute la séquence est déficitaire depuis 1970 avec une accentuation du phénomène dans les années 80. L'Oubangui est à son plus bas niveau connu en 1990 avec un module de $2190 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ pour une valeur moyenne de $3970 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Sur la Sangha, la période récente reste déficitaire notamment pour la décennie 1981-1990 où les modules atteignent les plus basses valeurs de la série d'observations.

L'Ogooué à régime exclusivement équatorial présente des modules généralement déficitaires sur les deux dernières décennies. Les fluctuations d'hydraulicité soulignent bien les années extrêmes (1961, 1972, 1983) et la tendance déficitaire actuelle ; elles restent cependant plus floues en termes d'évolution générale que sur les autres bassins d'Afrique Centrale.

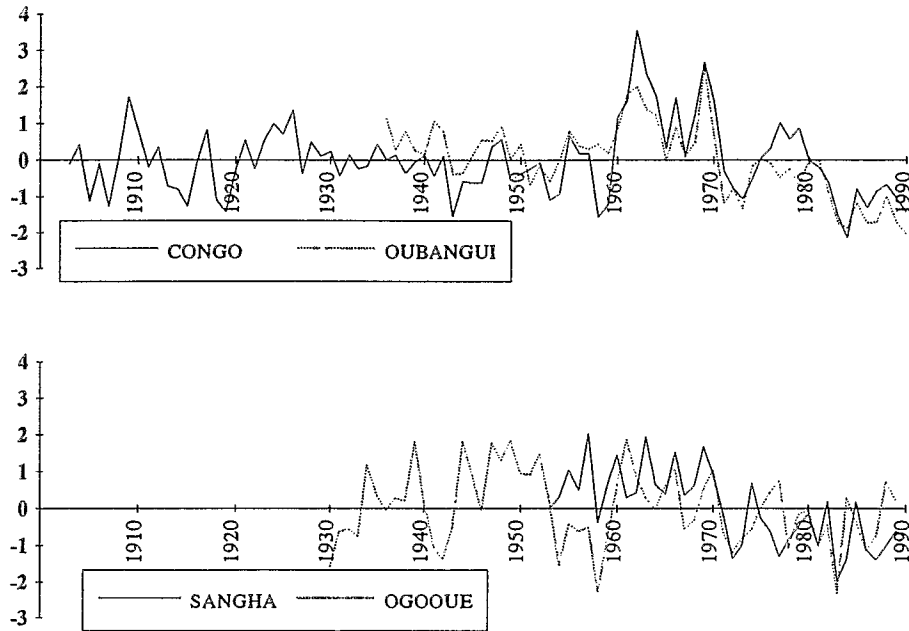


Figure n°3

Variations de l'hydraulicité (variable centrée réduite) depuis l'origine des observations pour l'Afrique sèche et quatre grands bassins fluviaux d'Afrique centrale.

Alors que la baisse des précipitations semble stabilisée, voire moins importante, dans les dix dernières années, l'écoulement des fleuves continue de diminuer dans des proportions importantes. Le régime hydrologique des fleuves d'Afrique est directement influencé par celui des précipitations mais subit aussi, avec un effet retard, l'incidence du cumul de déficits pluviométriques répétés.

Sur l'ensemble de l'Afrique intertropicale humide, tributaire de la façade atlantique du continent, l'écoulement annuel moyen sur quarante ans est de 2350 km^3 dont 1350 km^3 pour le bassin du Congo/Zaire (Mahé et Olivry, 1991).

Les deux décennies déficitaires 1971-80 et 1981-1990 voient l'écoulement annuel tomber respectivement à 2190 et 1985 milliards de m^3 , soit -7% et -16% des apports moyens (tableau 2).

Pour toutes les régions, l'appauvrissement des fleuves s'accroît considérablement au cours de la période 1981-1990. Durant cette période, le déficit des apports de l'Afrique centrale et du golfe de Guinée totalise $330 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$. Ce déficit comprend celui de l'Afrique équatoriale : $190 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ dont 150 pour le seul bassin du Zaire. De la Guinée (Konkouré) au Nigéria, le déficit est de $130 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ (contre $75 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ pour la décennie précédente) ; en valeur relative, c'est donc 32% des apports qui manquent à la région, entraînant de nombreuses défaillances dans le fonctionnement des aménagements hydroélectriques (en Côte d'Ivoire notamment).

L'appauvrissement de la ressource en eau est pour la décennie 1971-80 de $160 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ en Afrique humide, $30 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ en Afrique sèche (rapport de 5,3). Pour la décennie 1981-90, les valeurs sont respectivement de $365 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ et $65 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$ (rapport de 5,8) (Mahé et Olivry, 1991).

Cet appauvrissement a plus que doublé d'une décennie à l'autre en dépit de précipitations moins déficitaires. Le Congo-Zaire avec plus de 50% des apports à l'Atlantique accuse à lui seul plus du 1/3 des pertes de la dernière décennie.

TABLEAU 2

Volume des apports annuels des tributaires africains de l'océan Atlantique pour les deux dernières décennies et écarts à la moyenne 1951 - 1990.

Régions hydrologiques	Volumes annuels en km ³				
	Moyenne 40 ans	Décennies déficitaires		Ecart %	
		1971/80 a	1981/90 b	a	b
Afrique humide					
Zaire et bas Congo	1350	1325	1200	-2	-11
Nord Equateur					
Congo-Gabon Cameroun	335	300	295	-10	-12
Adamaoua					
Côtes Nigeria	265	240	220	-10	-17
Guinée et côtes					
Golfe de Guinée	400	325	270	-18	-32
Total Afrique humide	2350	2190	1985	-7	-16
Afrique sèche					
Sénégal, Gambie..	235	205	170	-13	-27
Niger					
Total du Sénégal au Congo	2585	2395	2155	-7	-17

2 LES BASSES-EAUX

L'évolution des basses eaux intègre sans doute le mieux la persistance de la période déficitaire actuelle. Depuis 1972, et de manière continue depuis 1978, les débits mensuels les plus faibles de l'Oubangui sont inférieurs à la moyenne et décroissent régulièrement. Le même phénomène est observé sur la Sangha à Ouesso depuis 1978 (figure 4) et bien évidemment sur les fleuves du golfe de Guinée où le déficit hydrique est encore plus marqué. Sur l'Ogooué, le régime des basses eaux reste assez peu touché (11 années déficitaires de 1971 à 1990).

Sur les vingt plus faibles débits mensuels d'étiage du Congo, 10 ont été observés dans les vingt dernières années. Les 6 plus faibles valeurs de l'échantillon sont observées après 1983; le minimum minimorum étant celui de l'année 1990.

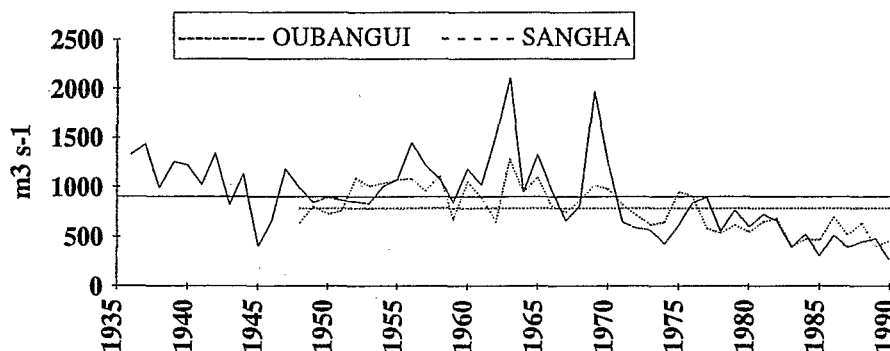


Figure n°4

Variation des débits mensuels d'étiage depuis l'origine des observations sur deux cours d'eau d'Afrique Centrale. (Les valeurs moyennes respectives sont représentées par un trait horizontal).

Cette faiblesse quasi générale des étiages traduit un amenuisement croissant des réserves souterraines des bassins fluviaux résultant du cumul des déficits pluviométriques.

La vidange des nappes de versant, caractéristiques de l'hydrogéologie de la plupart des bassins fluviaux étudiés, suit une loi de tarissement à décroissance exponentielle qu'il est d'autant plus facile d'étudier que la saison sèche est bien marquée. Comme en Afrique sèche, le tarissement des fleuves soumis au régime tropical humide montre dans la période récente une accélération de la vidange des nappes (Olivry et al, 1993). Son coefficient a augmenté de 30% (moyenne mobile) de 1980 à 1985 pour l'Oubangui ; la valeur maximale est 60% plus forte que la moyenne antérieure à la sécheresse. Sur la Sangha, la valeur maximale (1987) est 40% plus forte que la moyenne antérieure à 1972. Le phénomène s'accélère à partir de 1980 sur la Sangha et l'Oubangui. La figure 5 permet de comparer sur valeurs lissées (moyennes mobiles sur 5 ans) l'évolution du coefficient de tarissement sur ces rivières et en Afrique soudano-sahélienne.

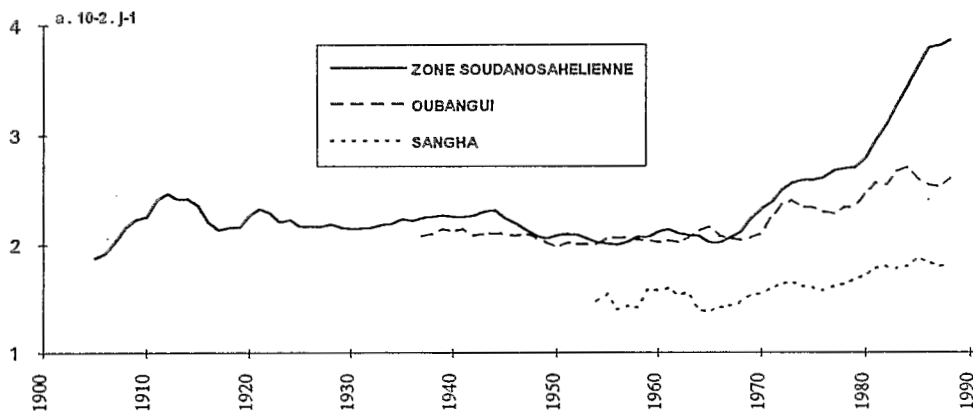


Figure n°5

Evolution du coefficient de tarissement en Afrique soudanosahélienne et sur deux cours d'eau d'Afrique centrale. Le débit de tarissement est donné à l'instant t par l'expression $Q_t = Q_0 e^{-a(t-t_0)}$.

Pour les fleuves équatoriaux, les débits de tarissement sont difficilement appréhendés, soit que la saison de basses eaux est réduite ou perturbée par des précipitations, soit que l'on observe des débits composites d'origines diverses. Il est probable que les aquifères de ces régions sont également touchés, comme cela est d'ailleurs observé en pays Batéké (Congo).

3 EVOLUTION DE LA PUISSANCE DES MAXIMUMS DE CRUE ANNUELS

La puissance des crues des grands cours d'eau intertropicaux d'Afrique peut être qualifiée de très médiocre à médiocre suivant la classification de M. Pardé (1933) sur la base du calcul du coefficient de crue défini par P. Myer, A. Coutagne et M. Pardé ($A : Q.S^{0,5}$ en $m^3.s^{-1}.km^{-2}$, où Q est le débit et S la superficie du bassin versant). Ainsi les valeurs extrêmes des maximums annuels de crue ont des coefficients de 20 à 8 pour l'Oubangui, 40 à 24 pour le Congo Zaïre.

Cette médiocrité de la puissance des crues est une caractéristique du continent africain aussi bien en Afrique sèche où les précipitations restent modestes et l'aptitude à l'écoulement du bassin versant est faible, qu'en Afrique humide où des précipitations plus abondantes ne produisent qu'une onde de crue largement étalée dans le temps du fait de la végétation dense des bassins.

Au cours des deux dernières décennies, l'affaiblissement de la puissance des crues n'a fait que s'accroître ; par rapport aux valeurs moyennes, les coefficients de crue ont été divisés par 1,7 pour l'Oubangui et 1,2 pour le Congo où la variabilité interannuelle est moindre.

L'examen des chroniques de débits maximums annuels montre une évolution historique pratiquement calquée sur celle de l'écoulement annuel (figure 3).

En Afrique Centrale, les chroniques montrent que la période de faibles maximums annuels ne commence vraiment qu'avec les années 80, et surtout à partir de 1983, même si une tendance à la baisse apparaît dès 1965 par rapport aux forts maximums de la séquence humide.

On soulignera pour l'Oubangui le maximum le plus faible observé en 1990, celui de 1983 étant le second de la série. Sur le Congo, l'ensemble de la dernière décennie montre des valeurs inférieures à la moyenne, le minimum étant observé pour le même débit en 1983 et 1958.

En milieu équatorial Nord, les choses sont un peu différentes. Une première approche, relative au régime des hautes eaux, a mis en évidence une évolution différente des crues de printemps et d'automne. Sur l'Ogooué (Mahé et al, 1990) comme sur la Sangha, l'évolution de la crue de printemps montre à partir de 1980 une diminution importante de son poids par rapport à la crue d'automne, plus forte, qui baisse plus modérément.

Ainsi la différence entre maximums journaliers des crues de printemps et d'automne de l'Ogooué est de l'ordre de $1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ jusqu'aux années 50 puis de $2000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ jusqu'au milieu des années 1970 et passe à $3000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ dans la dernière décennie pour un maximum d'automne ayant peu varié et d'environ $10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Cet amoindrissement de la crue de printemps est à rattacher à de mauvaises conditions pluviogènes du flux de mousson lors de la remontée septentrionale de la zone de convergence intertropicale (figure 6).

Cette information peut être synthétisée à travers les valeurs moyennes des maximums de crue calculées par tranche de 5 ans ou de 10 ans ; dans les deux cas on retrouve partout une décroissance des valeurs depuis plus d'une dizaine d'années en Afrique humide.

Pour l'Oubangui, sur les dix plus faibles valeurs de l'échantillon de 58 ans, 8 concernent les dix dernières années, les deux autres étant celles de 1973 et 1979.

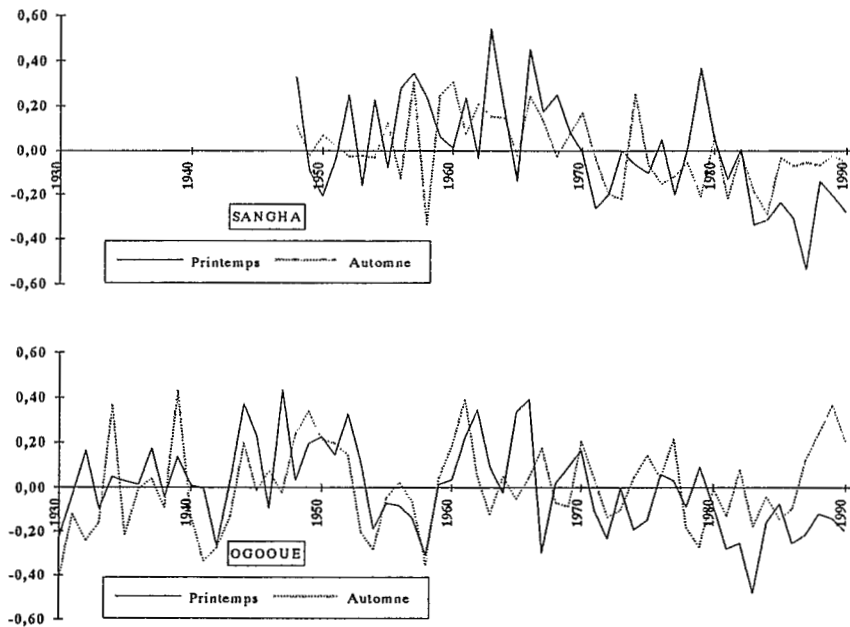


Figure n°6

Ecart à la moyenne des débits mensuels de crues de printemps et d'automne sur deux cours d'eau d'Afrique équatoriale.

L'approche graphique qui consiste à mettre en relation le débit maximum de crue avec le module montre que si l'on traite séparément les deux échantillons (avant, après 1970), les relations obtenues ont des droites de régression différentes. Pour des maximums de crue identiques, les modules annuels sont plus faibles pour la période actuelle. Cela signifie bien des coefficients de pointe de crue supérieurs à ceux de la période antérieure à 1970, et par suite, que l'écoulement annuel est concentré sur un hydrogramme de crue de plus courte durée (figure 7).

Ce qui est vrai pour l'Oubangui ne l'est plus tout à fait pour le Congo à Brazzaville. La distribution des maximums annuels reste plus aléatoire et la baisse des écoulements annuels paraît plus dépendante du déficit des maximums secondaires dits de printemps, comme cela a été vu pour l'Ogooué. Ceci signifierait que la crue maximale du Kasai en décembre est peu affectée par le contexte déficitaire de la région.

La comparaison des prédéterminations ajustées aux différentes séries de valeurs (série complète, série antérieure à 1970, série de 1971 à 1992) montre le danger, pour un projeteur, de l'estimation des risques sur la seule période actuelle pour les crues exceptionnelles : maximums inférieurs de 14% pour l'Oubangui et de 9% pour le Congo pour la série récente (1971-1992) par rapport à la série complète. Par contre, il n'y a pas de différence significative entre les prévisions des fortes crues de la série complète et de la série antérieure à 1970.

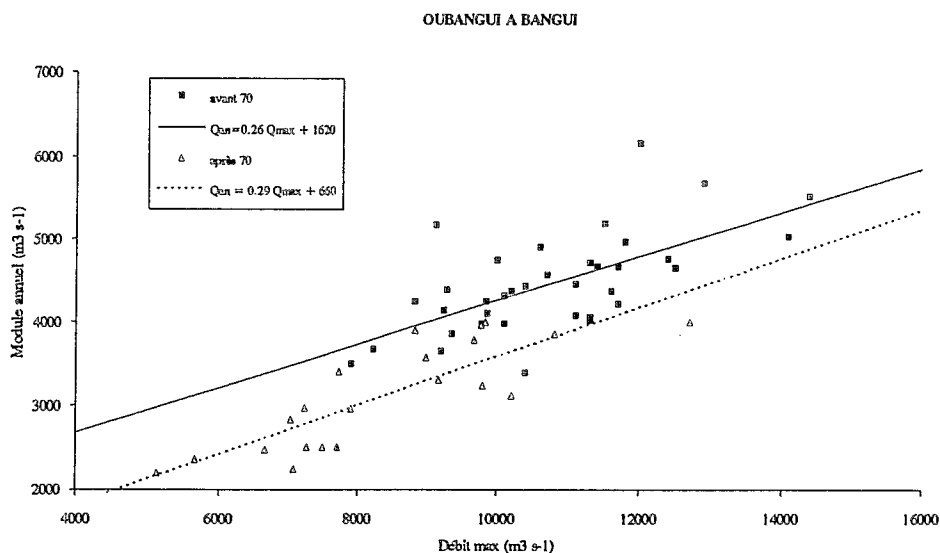
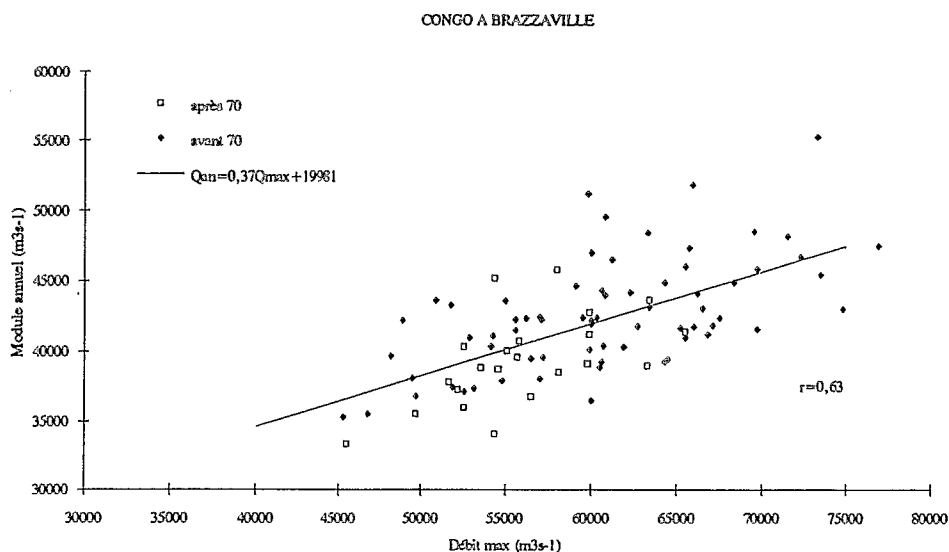


Figure n°7
Relation entre les modules annuels et les maximums annuels de crue

4 PERSISTANCE DU CONTEXTE DEFICITAIRE

Que ce soit pour les étiages, l'écoulement annuel ou les maximums de crue, les observations récentes ont montré une certaine durabilité du déficit hydrologique dans le même temps où les précipitations voient leur déficit diminuer.

On constate notamment que pour des saisons des pluies équivalentes le maximum de crue de la période actuelle reste nettement plus faible que dans le passé.

Mais des études du ruissellement sur petits bassins représentatifs ont permis d'observer quelques événements pluviométriques journaliers intenses, dont certains de fréquence décennale, et des conditions générales de genèse des crues sans modification significative par rapport aux observations effectuées une trentaine d'années auparavant. A l'échelle de grands bassins, il est donc permis de penser que dans de mêmes conditions pluviométriques, la contribution à l'hydrogramme de crue des écoulements rapides (ruissellement et écoulement hypodermique) sera identique.

Dès lors, il faut rechercher la persistance de l'amointrissement de la puissance des crues dans une contribution réduite des apports d'origine souterraine.

A l'appui de cette hypothèse, on a déjà évoqué les observations effectuées sur le tarissement principal de ces grands fleuves qui ont montré une vidange des aquifères plus rapide. Celle-ci traduit dans la période actuelle une réduction de l'extension des nappes de versant des bassins (nappes phréatiques), leur alimentation n'étant plus assurée dans des conditions aussi favorables par suite d'une baisse du niveau piézométrique. La part de cet écoulement est difficile à chiffrer sur les grands bassins ; elle est probablement plus importante qu'on ne l'imaginait, mais a considérablement diminué dans la période actuelle. Un retour à la normale nécessitera une reconstitution des aquifères superficiels qui suppose plusieurs années consécutives de bonnes précipitations.

Le régime déficitaire des précipitations de la période actuelle est bien évidemment responsable de la baisse de puissance des crues. Il a d'abord un effet immédiat, avec des crues réduites en puissance et (ou) en durée suivant la saison des pluies. Il a ensuite un effet mémoire avec le cumul de déficits des années antérieures et des apports réduits des nappes phréatiques. On doit donc s'attendre à une certaine persistance des faibles maximums de crue même dans l'éventualité d'un retour à une séquence humide.

CONCLUSIONS

Deux remarques liminaires d'intérêt général peuvent être faites :

- on a montré que les variables Etiage, Module, Maximum n'étaient pas vraiment des variables indépendantes. Qu'en est-il de la signification des études fréquentielles ?

- à l'heure où les projets de modélisation régionale du cycle de l'eau se multiplient dans le cadre GEWEX, il paraît difficile de ne pas tenir compte de la composante hydrologique pluriannuelle.

Une autre remarque, plus spécifique aux thèmes d'étude du PEGI, conduit à nuancer la représentativité des mesures de flux de matière dans le contexte d'une hydraulicité déficitaire persistante. La contribution plus réduite des apports d'origine souterraine entraîne très probablement une exportation de matières dissoutes inférieure à ce qu'elle serait en période d'hydraulicité normale. Bien que la diminution des écoulements superficiels ait eu aussi un impact sur le transport de matières en suspension, le rapport matière particulaire/matière dissoute est probablement plus élevé dans la période actuelle.

BIBLIOGRAPHIE

BRICQUET, J.P. (1990) Régime et bilan hydrologique de l'Afrique Centrale. In : Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique. R. Lanfranchi et D. Schwartz Ed. Publ. ORSTOM - Collection Didactiques. Paris p. 42-51.

LAMB, P. (1985) Rainfall in subsaharian West Africa during 1941-83. Zeit. Gletscherk Glazialgeologie, 21 : 131-139.

- MAHE G., LERIQUE J. & OLIVRY J.C. (1990) L'Ogooué au Gabon. Reconstitution des débits manquants et mise en évidence de variations climatiques à l'Equateur. *Hydrol. Continent.* 5.2 Ed. ORSTOM Paris, 105-124.
- MAHE 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. by FHM VAN DE VEN, D. Gutnecht, D.P. Loveks & K.A. Salewitz) (Congrès AISH Vienne, Autriche Août 1991) IAHS Publ. no. 201: 163-172.
- MAHE 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. *coll. Etudes et Thèses.* ORSTOM Paris. 438 p.
- NICHOLSON S.E., KIM J & HOOPINGARNER J. (1988) Atlas of African rainfall and its interannual variability. *Department of Meteorology, Florida State University Tallahassee, Florida USA.*
- OLIVRY J.C. (1987) Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hyersalinitisation de la basse Casamance. (*Proc. Vancouver Symp. Août 1987*) 501-512, IAHS Publ. no168.
- OLIVRY J.C., SIRCOULON J. et TOURE M. (1992) The ill rivers of Africa. in Colloque ICID Impactos de variacoes climaticas e desenvolvimento sustentavel em regioes semi-aridos. Fortaleza (Brazil).
- OLIVRY J.C., BRICQUET J.P. et MAHE G. (1993) Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide ? In *Hydrology of warm humid regions* (J.S Gladwell Ed. Sci.). *Proc. Yokohama Symp. Juillet 1993.* 67-78. IAHS Publ. n° 216.
- PARDE M. (1933) Fleuves et rivières. 5ème édition. *Lib. A. COLIN.* 241 p. PARIS
- PROBST J.L. et TARDY Y. (1987) Long range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century. *J. Hydrol.* 94 289-311.
- SIRCOULON J. et OLIVRY J.C. (1986) Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale. Considérations sur les stations pluviométriques de longue durée et les débits des rivières. In : *Colloque international sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse. Ouagadougou 20-24 mai 1986.* Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques (CIEH). Série Hydrologie.