

De l'évolution de la puissance des crues des grands cours d'eau intertropicaux d'Afrique depuis deux décennies

Résumé

Le régime des fleuves et rivières d'Afrique intertropicale a largement été affecté par près de vingt-cinq années de déficit pluviométrique et se traduit notamment par un amoindrissement de la puissance des crues annuelles. Si, sur les petits bassins-versants, la dégradation éventuelle des états de surface n'a pas obligatoirement entraîné de baisse de la puissance des fortes crues, les hydrogrammes de crue des grands fleuves ont considérablement réduit en volume et en durée, et les maximums sont nettement plus faibles. Le phénomène s'est accentué au cours de la dernière décennie alors que, paradoxalement, l'ampleur des déficits pluviométriques a beaucoup diminué. Une étude fréquentielle des maximums de crue montre une nette rupture dans les chroniques et le danger de l'estimation des risques sur la seule période actuelle. On évoque un « effet mémoire » ou cumulatif de la sécheresse et la contribution importante de l'écoulement de base dans l'hydrogramme de crue des grands cours d'eau.

Jean-Claude OLIVRY
Directeur de Recherche
ORSTOM Bamako
Mali

Mots-clés : Afrique, cours d'eau intertropicaux, crue, déficit pluviométrique, déficit hydrologique

Abstract

African drought and rainfall deficits which have been observed since 25 years have had important repercussions on the flow regime of rivers and especially on the strength of annual floods. Flood hydrographs of large river basins are greatly reduced in volume and duration; maximum values are very smaller. This phenomenon has intensified during the last ten years while, paradoxically, rainfall deficit greatly diminished. A frequential study of flood maximums shows a clear break in data series, and emphasizes the danger of flooding estimations which are based upon recent years only. A « memory effect » of the drought, as well as the important part taken by the base flow in the flood hydrographs of large rivers, are discussed.

ORSTOM Basses Documentaire
N° 40600
Cote : B ex 1

Rappels sur le déficit hydropluviométrique des deux dernières décennies

Depuis plus de vingt ans, l'Afrique tropicale sèche connaît une baisse constante de ses ressources en eau. Les déficits pluviométriques, marqués par une première phase aiguë dans les années 1972 et 1973, n'ont jamais cessé, même s'ils ont varié en extension et en intensité suivant les années. Une recrudescence notable de la sécheresse s'est manifestée en 1983 et 1984 et les déficits restent la règle jusqu'à la période actuelle. L'ampleur géographique du phénomène et sa durée, sans équivalence connue dans les chroniques hydroclimatiques, ont conduit certains auteurs à parler de rupture climatique (Carbonnel et Hubert, 1985).

Dans les régions soudano-sahéliennes, les hauteurs annuelles de précipitations 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 que cette dégradation est constante depuis vingt ans. L'Afrique humide montre également une tendance générale à la baisse des précipitations mais avec quelques nuances spatiales (Gabon). Elle devient plus marquée au cours des années 80 et l'altération du régime des pluies concerne alors le milieu tropical africain des deux hémisphères. Une amélioration récente a été observée mais reste encore très relative, puisque les précipitations annuelles sont toujours déficitaires (figure 1).

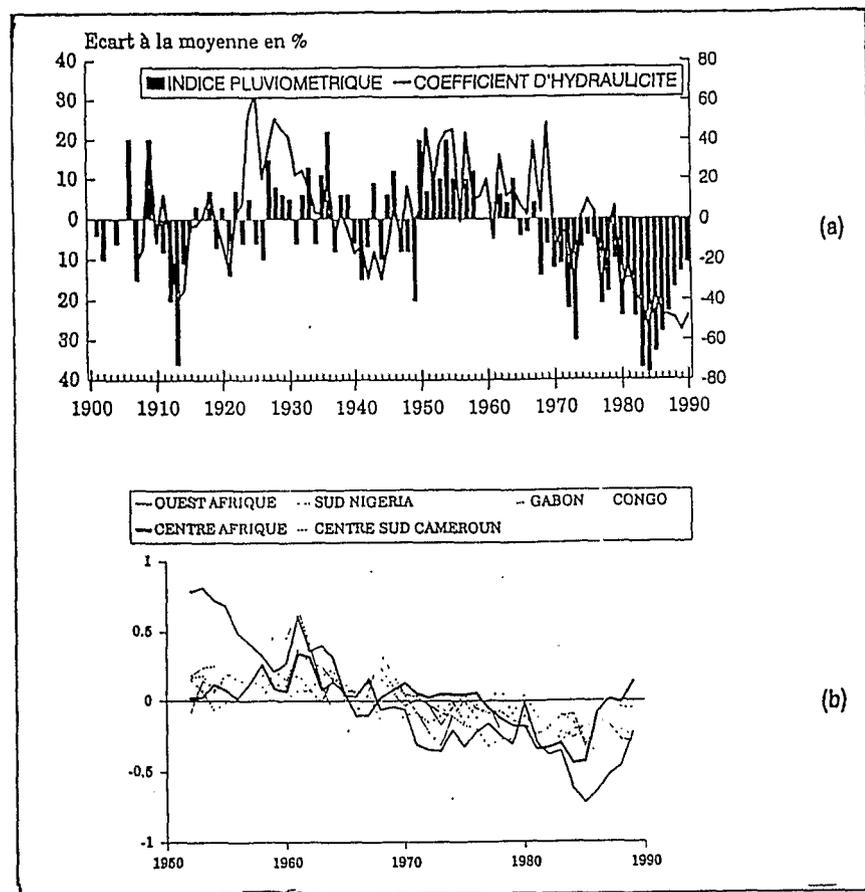


Figure 1 : Variations hydroclimatiques

a : pluviométrie et hydraulicité de l'Afrique tropicale sèche de 1900 à 1990
 b : évolution de l'écart réduit des précipitations en Afrique humide depuis 1950

L'incidence de la sécheresse ou des déficits pluviométriques est largement amplifiée dans le régime hydrologique.

A partir des modules du Sénégal, du Niger et du Chari, on a calculé pour chaque année l'hydraulicité moyenne soudano-sahélienne depuis le début du siècle. Cet indice a été reporté dans la figure là. Les fluctuations récentes montrent un effondrement catastrophique de la ressource en eaux de surface. Celles-ci ont diminué de moitié sur la dernière décennie alors qu'on note un certain regain des précipitations.

Les fleuves côtiers de l'Afrique de l'Ouest humide sont en phase avec ceux de la zone tropicale sèche. Pour l'Afrique Centrale, les débits du Congo sont connus depuis 1903 ; les observations commencent en 1930 sur l'Oubangui, 1935 sur l'Ogooué.

L'analyse la plus intéressante concerne le fleuve Congo-Zaïre, de par sa durée et sa représentativité spatiale. Le module inter-annuel sur l'ensemble de la

période d'observation est de $41000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (86 ans) (Bricquet, 1990). Si la décennie 71-80 est proche de la normale malgré les déficits de 1972 et 1973, la décennie 81-90 connaît un appauvrissement général des écoulements. Ce schéma se retrouve sur l'Oubangui, la Sangha mais est beaucoup moins marqué pour l'Ogooué.

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

Du fleuve Sénégal au fleuve Congo-Zaïre, les tributaires de la façade atlantique apportent à l'océan un volume moyen de l'ordre de 2600 milliards de m^3 par an (40 ans) dont plus de 50 % pour le seul Congo-Zaïre et seulement 10 % pour l'Afrique soudano-

sahélienne. Le déficit annuel porte sur 200 milliards de m³ pour la décennie 71-80 et 400 milliards de m³ pour la dernière décennie dont 1/3 imputable au fleuve Congo-Zaïre.

L'évolution des basses eaux intègre sans doute le mieux la persistance de la période déficitaire actuelle. Les étiages des fleuves étudiés sont systématiquement les plus faibles des chroniques observées. L'écoulement a même cessé sur le Niger à Niamey et le Sénégal à Bakel en 1984. Sur les vingt plus faibles débits mensuels d'étiage du Congo-Zaïre, dix ont été observés dans les vingt dernières années. Les six plus faibles valeurs de l'échantillon sont observées après 1983. 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. On a mis en évidence en zone soudano-sahélienne une rupture marquée du régime du tarissement consécutive à la sécheresse (Olivry, 1987 ; Olivry et al, 1992). Le tarissement s'est considérablement accéléré depuis les années 70, conduisant à une rapide vidange des nappes ; ainsi le temps nécessaire pour que le débit de tarissement du Niger ou du Sénégal diminue dans le rapport de 10 à 1 est passé de 4 mois à 2 mois. Le tarissement des fleuves soumis au régime tropical humide montre à un degré moindre le même phénomène.

On verra que ces derniers aspects ne sont pas sans importance dans l'analyse de l'évolution de la puissance des crues.

Evolution de la puissance des maximums de crue annuels

Les crues pluviales tropicales observées chaque saison humide pour les petites rivières tendent en aval, sur les grands et très grands bassins, à se fondre en un seul gonflement principal, ou deux en régime équatorial (Pardé, 1933), pour constituer les hautes eaux caractérisées notamment par le débit maximum atteint chaque année. Si les hautes eaux correspondent bien à une situation hydrologique se répétant tous les ans aux périodes d'abondance pluviométrique (Frécaut, 1982), il n'est pas abusif de considérer le maximum annuel atteint comme une variable caractérisant le régime des crues des grands hydrosystèmes qui intègrent la répartition spatio-temporelle des précipitations et les caractéristiques physiographiques des bassins.

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 sur la base du calcul du coefficient de crue défini par P. Myer, A. Coutagne et M. Pardé ($A : Qm^3/s^{-1}/S^{0,5} km^2$). Ainsi les valeurs extrêmes des maximums annuels de crue ont des coefficients de 28 à 6 pour le Niger, 35 à 4 pour le Bani, 20 à 2 pour le Sénégal, 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 2,2 sur le Niger, 4 sur le Bani, 5 sur le Sénégal mais seulement 1,7 pour l'Oubangui et 1,2 pour le Congo où la variabilité inter-annuelle est moindre.

L'examen des chroniques de débits maximums annuels montre une évolution historique pratiquement calquée sur celle de l'écoulement annuel (figure 2).

Pour l'Afrique soudano-sahélienne de l'Ouest, la baisse des maximums de crue paraît intervenir dès 1968 pour le Sénégal après une séquence de fortes crues pratiquement continue depuis 1950 ; la tendance s'accroît dans les années 1972 et 1973, années où elle apparaît sur le Niger, le Bani et l'ensemble des cours d'eau de la région. Une reprise en 1974 et 1975 laisse supposer un temps que l'épisode déficitaire est comparable à ceux déjà observés dans le siècle en 1913 et au début des années 40, mais la tendance à la baisse reprend dès 1976 attestant d'un phénomène climatique majeur dans les années qui suivent. Le creux de la vague paraît atteint dans les années 1983, 1984, mais l'évolution ultérieure montre globalement une stagnation de l'amplitude des crues. Sur le Chari plus à l'est, et hormis les faibles crues 1972 et 73, la tendance à la baisse est plus tardive (1979-1980) mais particulièrement marquée et continue jusqu'à nos jours à l'exception de la crue de 1990 qui atteint la valeur moyenne de toute la série.

En passant en Afrique Centrale, plus vers le sud et des régions plus arrosées, 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.

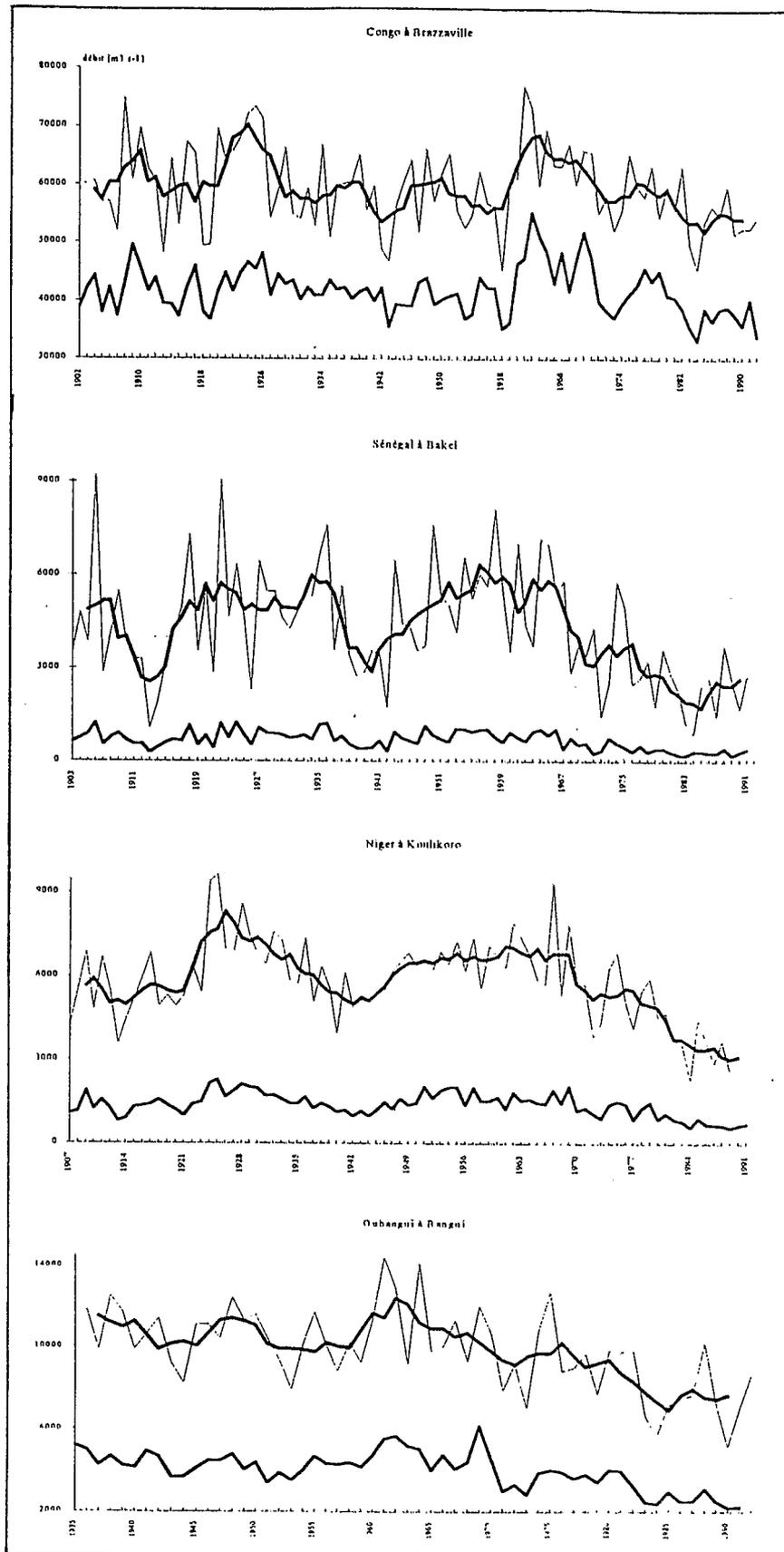


Figure 2 : Variations des débits maximums de crue et des modules sur quatre grands fleuves d'Afrique intertropicale (en trait fort, moyenne mobile sur 5 ans des Q_{max})

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 m³/s jusqu'aux années 1950 puis de 2000 m³/s jusqu'au milieu des années 1970 et passe à 3000 m³/s dans la dernière décennie pour un maximum d'automne ayant peu varié et d'environ 10000 m³/s. 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.

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 une vingtaine d'années en Afrique soudano-sahélienne et plus d'une dizaine d'année en Afrique humide.

Au plan statistique, le Sénégal montre sur les 25 dernières années, 22 années à maximum inférieur à la médiane. Le nombre tombe à 19 pour le Niger, mais pour les onze dernières années, dix ont un maximum inférieur à la valeur décennale sèche. 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.

Par opposition à l'étude des étiages ou de l'écoulement annuel où l'évaluation du risque se situe en termes de potentialités des ressources en eau, les études de prédétermination des crues s'intéressent principalement à l'évaluation du risque de fortes crues ; cependant pour nombre d'hydrosystèmes où la crue annuelle est, avec l'inondation de plaines, promesse de cultures de décrue ou de ressources halieutiques, l'analyse statistique des événements de période sèche est tout aussi importante. La tentation est forte, en parlant de rupture climatique, de traiter deux populations différentes : avant et depuis la « grande sécheresse ». 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 : 35% de sous estimation pour le Sénégal, 24 % pour le Niger, 14 % pour l'Oubangui, 9 % pour le Congo 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. Bien évidemment, pour ce qui est de la prévision des faibles crues, la série actualisée à 1992 donne des valeurs nettement inférieures à celle qui s'arrête en 1970 (tableau 1).

Hydrogrammes de crue et écoulements annuels

La comparaison des hydrogrammes de crue des différents fleuves étudiés montre dans la période actuelle deux types de situation :

— un hydrogramme tronqué sans maximum nettement affirmé correspondant à une saison des pluies normale en durée mais très déficitaire au coeur de la saison ;

	Période de retour sèche (ans)				Médiane	Période de retour humide (ans)			
	100	50	20	10		2	10	20	50
1907 1992	2260	2680	3300	3800	5590	7735	8290	8910	9330
1907 1970	3400	3730	4240	4690	6290	7880	8330	8840	9180
1971 1992	1340	1680	2200	2660	4280	5900	6360	6870	7220

Tableau 1 : Exemple de prédétermination des maximums annuels de crue sur le Niger à Koulikoro pour trois séries de valeurs

— un hydrogramme réduit en durée correspondant à une saison des pluies tardive ou écourtée. Dans les deux cas, le volume de la crue et le maximum sont faibles.

Les coefficients de pointe, évalués ici comme le rapport du débit maximum au module annuel, montrent que la tendance générale de la période actuelle est caractérisée par des hydrogrammes de crue plus étroits. Ainsi par rapport à la moyenne de ce coefficient calculé sur les 40 dernières années, on observe des coefficients moyens qui augmentent sur les deux dernières décennies. On passe sur le Sénégal de 5,6 à 7,1 et 7,6, sur le Niger de 3,8 à 4,9, sur l'Oubangui de 2,5 à 2,7 et 3.

L'approche graphique qui consiste à mettre en relation le débit maximum de crue avec le module conduit au même type de conclusions. Si on traite séparément les deux échantillons (avant, après 1970), les relations obtenues ont des droites de régression à pente plus forte 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, mais cela ne concerne qu'un champ de faibles valeurs. Les coefficients de corrélation de ces relations apportent une information complémentaire.

Ils sont plus élevés et montrent pour la plupart des fleuves des relations plus étroites entre les variables de la période actuelle, ce qui traduit encore la concentration de l'écoulement annuel sur l'hydrogramme de crue, sans les apports annexes qui donnaient des hydrogrammes plus irréguliers et étalés dans le temps dans la période antérieure (figure 3).

La mise en régression des variables de l'ensemble de la période d'observation, avec deux séries qui élargissent considérablement l'amplitude de variation des paramètres, aboutit à de bonnes relations globales. Dans la plupart des cas étudiés le module apparaît comme une fonction exponentielle du débit maximum de crue.

La persistance de l'amoindrissement de la puissance des crues

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

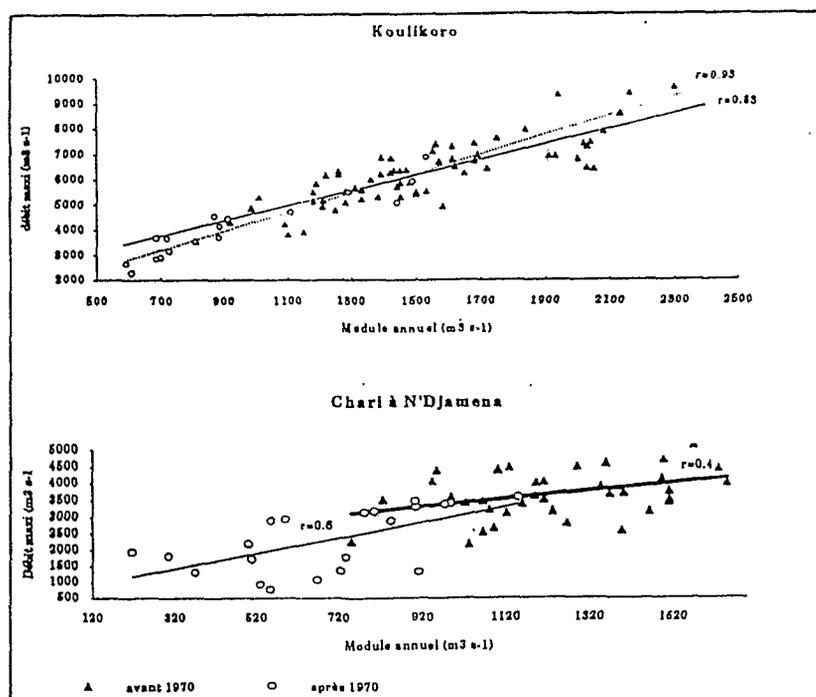


Figure 3 : Exemples de relations entre modules annuels et débits maximums de crue (Niger et Chari)

actuelle reste nettement plus faible que dans le passé. Ainsi, sur le bassin du Niger, les précipitations se sont rapprochées de la normale en 1991 pour la plus grande satisfaction des populations rurales dont les cultures pluviales ont été de bon niveau, mais le fleuve lui-même n'a pas marqué de réaction très sensible.

La même année, des études du ruissellement sur petits bassins représentatifs au Mali 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. Ces observations rejoignent les conclusions de nombreux auteurs. Il arrive même parfois en zone soudano-sahélienne que la dégradation du milieu ait entraîné de meilleures conditions de ruissellement et des débits de pointe de crue plus élevés pour le même type d'averse. 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, les observations effectuées sur le tarissement principal de ces grands fleuves ont montré une vidange des aquifères beaucoup 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 importante 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. On a reconstitué le schéma théorique de composition de ces écoulements pour deux hydrogrammes de crue correspondant aux périodes étudiées et à des conditions pluviométriques identiques. Le volume « ruisselé » est le même ; le volume d'origine phréatique (« écoulement de base ») est déduit de la courbe du tarissement principal. Les hydrogrammes montrent un maximum de crue nettement plus faible dans la situation actuelle (figure 4). Un retour à la normale nécessitera une reconstitution des aquifères superficiels qui suppose plusieurs années consécutives de bonnes précipitations.

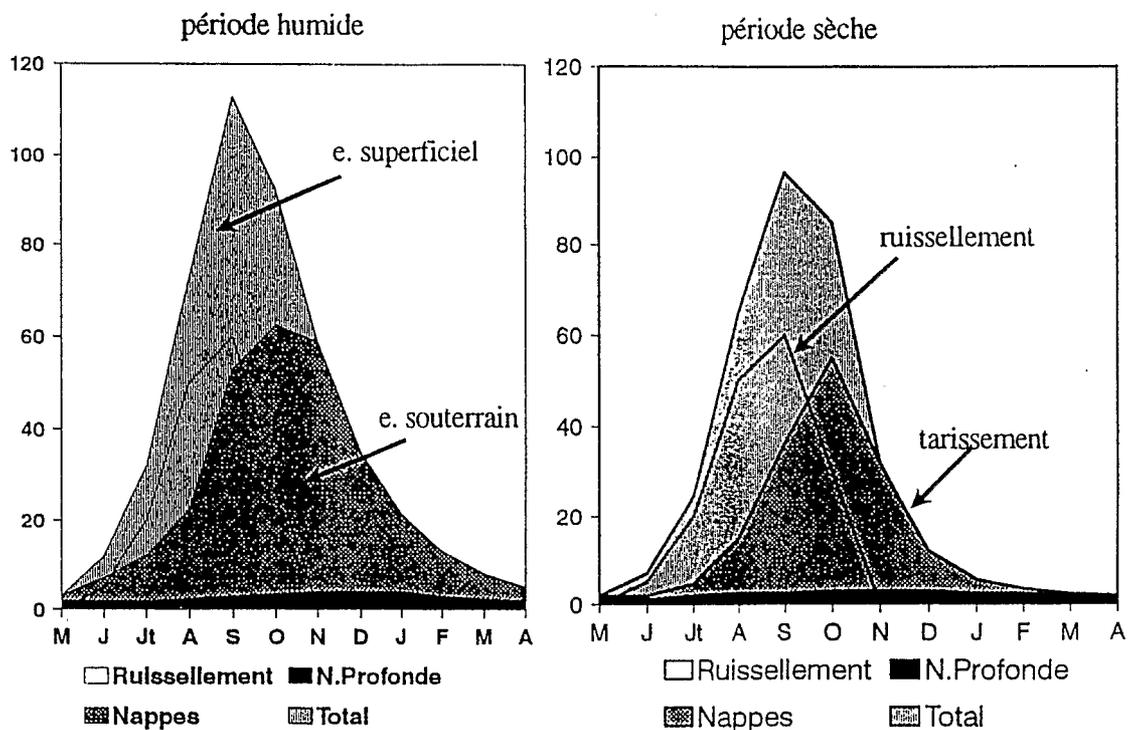


Figure 4 : Contribution de l'écoulement de base à l'hydrogramme de crue expliquant la persistance du déficit hydrologique (débits fictifs en ordonnées)

Conclusions

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. Deux remarques en conclusion :

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 ?

A 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.

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'hypersalinisation de la basse Casamance, In : *The influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proc. Vancouver Symp., Août 1987), 501512, IAHS Publ. n° 168.

— Olivry J.C., Dricquet J.P. & Mahé G. (1993) : Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l'Afrique humide ? (In : *Colloque AISH - Yokohama*), pp. 67-78, Publ. n° 216.

— Olivry J.C., Sircoulon J. & Touré M. (1992) : The ill rivers of Africa. (*Colloque ICID - Fortaleza*).

— Pardé M. (1933) : *Fleuves et Rivières*, 5ème édition, Librairie Armand Colin, 241 p., Paris.

Références bibliographiques

— Bricquet J.P. (1990) : Régime et bilan hydrologique de l'Afrique Centrale, In : *Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale Atlantique* (ed par R. Lanfranchi & D. Schwartz), pp. 42-51, Ed. Publ. ORSTOM, Collection Didactiques, Paris

— Carbonnel J.P. & Hubert P. (1995) : Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest, Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute-Volta), *C. R. Acad. Sc. Paris*, 301, série ii, n° 13, pp. 941-944

— Frécaut R. (1982) : *Eléments d'hydrologie et de dynamique fluviale*, Tome 1, 147 p., Publ. Université Nancy

— Lamb P. (1985) : Rainfall in subsaharian West Africa during 1941-83, *Z. Gletscherk Glazialgeologie*, 21, pp. 131-139.

— Mahé G., Lérique 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, pp. 105-124

— 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. by F.H.M. Van de Ven, D. Gutnecht, D. P. Loucks & K.A. Salewitz) (Congrès AISH Vienne, Autriche, Août 1991), pp. 163-172, IAHS Publ. n° 201

— Nicholson S.E., Kim J & Hoopingarner J. (1988) : *Atlas of African rainfall and its interannual variability*.

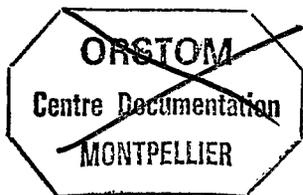


POTAMOLOGIE D'HIER ET D'AUJOURD'HUI AMENAGEMENTS ET COURS D'EAU

Actes des Journées Hydrologiques — Centenaire Maurice Paré
Grenoble, 22-24 Septembre 1993



LES DOSSIERS DE LA REVUE DE GEOGRAPHIE ALPINE



1994

- 5 DEC. 1994

F 40600

N° 12

B