

Figure n° 3

*Histogrammes des précipitations mensuelles interannuelles sur le bassin du Niger (en mm).*

Le régime des précipitations commande la grande variabilité saisonnière des débits du fleuve. Pendant 6 mois, de janvier à juin, les débits des basses eaux représentent moins de 7% du débit annuel. La remontée des débits s'annonce en mai, mais ne devient vraiment significative qu'au mois de juillet. Le coefficient mensuel du mois d'août est de 17%, il passe à 30% en septembre et 25% en octobre ; le maximum de la crue a lieu

généralement dans la seconde quinzaine de septembre. La décrue est rapide et dès la fin novembre, on se trouve en phase de vidange des réserves souterraines.

Le barrage hydro électrique de Sélingué sur le Sankarani - avec une réserve de  $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$  (moins de 5% de l'écoulement total interannuel) - n'affecte pas de manière significative le régime des hautes eaux ; en revanche, les étiages se trouvent renforcés.

La dernière station du Niger avant son entrée dans la cuvette lacustre est celle de Ké-Macina (dont le bassin est de  $141\,000 \text{ km}^2$ ). Les modules ont perdu de 250 à  $50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  suivant les années ; le prélèvement naturel (évaporation) et celui dû aux irrigations (Office du Niger en particulier) serait en moyenne de  $135 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit près de 10% de l'apport hydrique initial. Le module interannuel est de  $1207 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  sur la période 1952-1990.

En rive droite du Niger, le Bani draine les eaux d'un bassin versant à peine moins important que celui du Niger. Le bassin du Bani dont les limites Sud se situent près d'Odienné et Boundiali en Côte d'Ivoire est nettement moins arrosé (1200 mm) que le Haut Niger guinéen. Il est soumis au climat tropical pur. Le bassin a une superficie de  $101\,600 \text{ km}^2$  à la station de Douna, observée de manière fiable depuis le début des années 50. Sur la période 1953-1990, le module interannuel est de  $419 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit un module spécifique de  $4,12 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  ce qui correspond à une valeur presque trois fois plus faible que celle du Niger calculée sur la même période ( $11,2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ). La lame écoulée est de 130 mm, soit un coefficient d'écoulement de 10,8%. La variabilité saisonnière des débits montre une longue période de faibles écoulements (moins de 5% de l'écoulement annuel transite à Douna sur 6 mois). A l'étiage, on a pu observer dans les années récentes un arrêt de l'écoulement. Le tiers de l'écoulement annuel transite en septembre, près des quatre cinquièmes d'août à octobre. La crue du Bani atteint le plus souvent son maximum dans la seconde quinzaine de septembre ou début octobre ; il n'y a pas coïncidence de date entre les maximums du Niger et du Bani. La variabilité saisonnière interannuelle des débits mensuels observés aux trois stations est indiquée dans le tableau 2.

**Tableau 2 :**

Débits moyens mensuels interannuels à Koulikoro (1), Ké-Macina (2) et Douna (3) sur la période 1953-91 en  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$

	M	J	Jt	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Année
1	97	321	1105	2931	4878	4178	1912	779	348	172	96	68	1342
2	46	182	889	2500	4077	3490	1653	711	321	151	79	51	1207
3	16	31	133	780	1712	1564	699	244	111	60	24	17	419

Dans le tableau 3, on a réuni quelques valeurs significatives de l'étude statistique des modules de Koulikoro, de Ké-Macina et Douna pour ce qui caractérise les entrées dans le Delta Central ; les maximums de crue ont été également étudiés. On verra plus loin que ces distributions montrent le regroupement des valeurs actuelles dans une gamme très déficitaire. Le tableau 3 est complété par les résultats de l'analyse fréquentielle des modules de Diré et Tossaye, à l'aval du Delta et celle de la hauteur maximum de crue à Mopti.

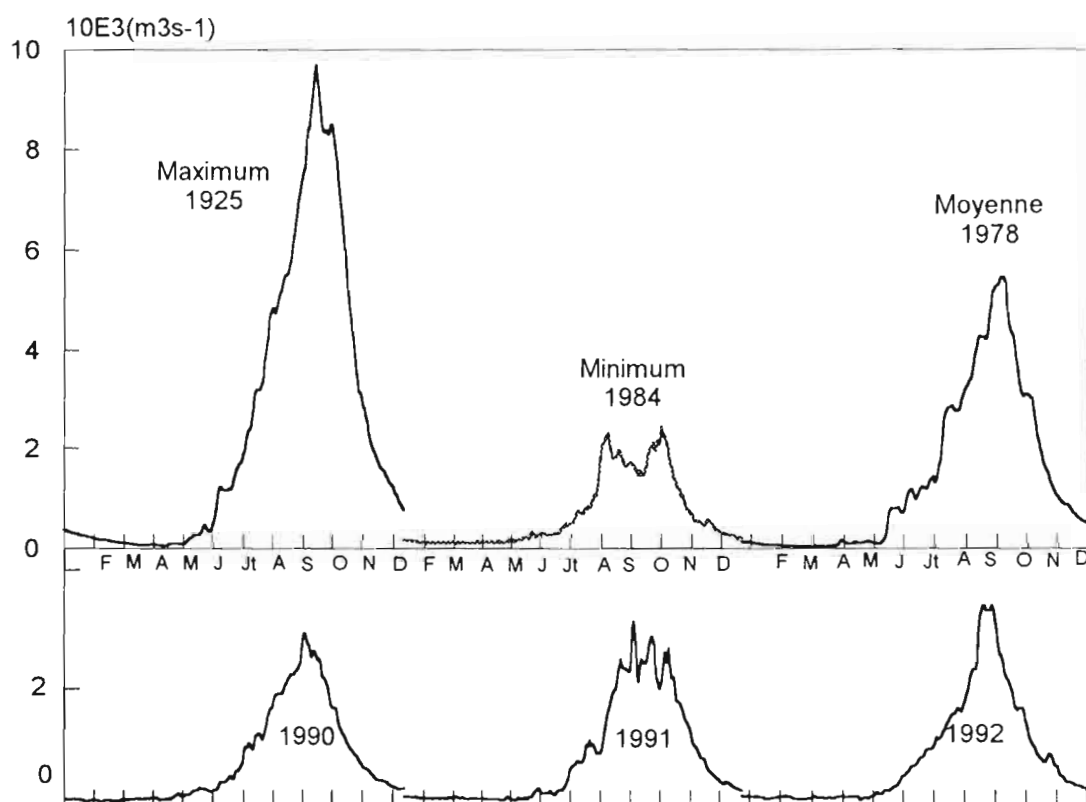
La figure 4 propose trois hydrogrammes caractéristiques de la série des observations du Niger à Koulikoro (maximum, minimum et année moyenne) ; les trois hydrogrammes les plus récents correspondant aux années d'étude du Projet Environnement et Qualité

des apports du Niger au Sahel (EQUANIS) y ont également été représentés. Les hydrogrammes du Bani de 1990, 1991 et 1992 sont donnés dans la figure 5.

**Tableau 3 :**

Analyse fréquentielle de quelques paramètres hydrologiques observés sur le bassin du Niger (modules et maximums)

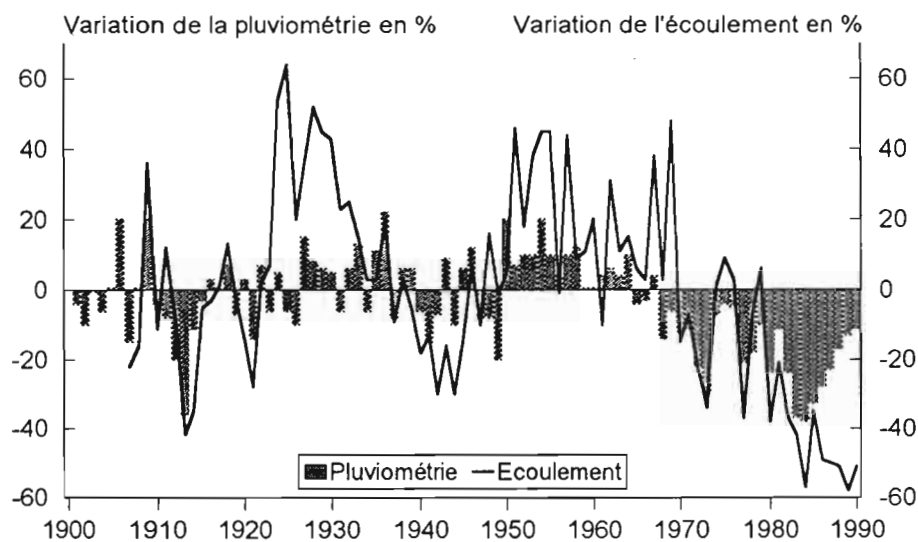
Période de retour en années	Années humides			Médiane	Années sèches		
	100	20	10	2	10	20	100
<b>Modules en m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup></b>							
KOULIKORO (NIGER)	2366	2089	1940	1419	898	750	472
KE MACINA (NIGER)	2259	1985	1838	1322	807	661	387
DOUNA (BANI)	918	854	827	419	153	84	70
DIRE (NIGER)	1753	1521	1399	979	574	462	255
TOSSAYE (NIGER)	1596	1395	1287	908	528	421	219
<b>Maximum de crue en m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup></b>							
KOULIKORO (NIGER)	9330	8290	7735	5590	3800	3300	2260
KE MACINA (NIGER)	6534	6240	6060	5470	2950	2590	1990
DOUNA (BANI)	4460	3560	3480	2425	806	565	364
Hauteur Max à Mopti (cm)	759	745	733	655	527	483	394



**Figure n°4**  
Hydrogrammes caractéristiques du Niger à Koulikoro

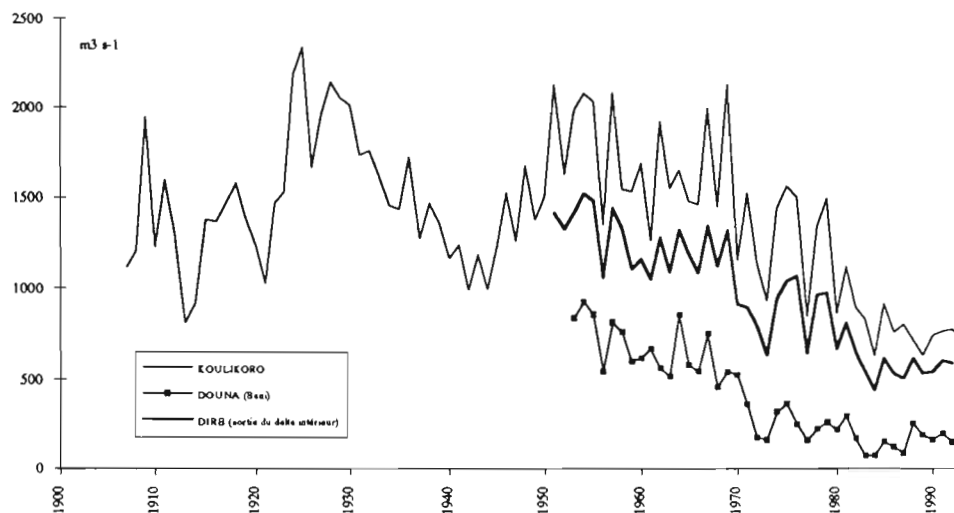


catastrophique, puis de manière plus dramatique encore dans les années 1983 et 84. La figure 7 reproduit la chronique des modules du Niger à Koulikoro et Diré et du Bani à Douna.



**Figure n°6**

*Index pluviométrique et variation de l'écoulement sur le bassin du Niger exprimés en écart à la moyenne (d'après Nicholson, 1988 et Olivry, 1992).*



**Figure n°7**

*Evolution des modules annuels, depuis l'origine des observations, du Niger à Koulikoro et Diré et du Bani à Douna*

Soulignons qu'après le "minimum minimorum" de 1984, le module le plus bas est celui de 1989 sur le Niger.

Les fluctuations récentes montrent que la ressource en eaux de surface a diminué de moitié sur la dernière décennie.

Les lames écoulées moyennes des quatre dernières décennies ont été indiquées dans le tableau 4 en regard des précipitations. Cette tendance persistante à la baisse doit être soulignée car elle montre une dégradation durable du système hydrologique malgré un retour assez sensible à de meilleures conditions de précipitations.



**Tableau 4 :**  
Pluviométrie, lame écoulée et Coefficient d'écoulement du bassin du Niger pendant les quatre dernières décennies.

	1951 -1960	1961 - 1970	1971 - 1980	1981 - 1990
P mm	1649	1527	1403	1315
He mm	472	420	326	218
Ke %	28.6	27.5	23.2	16.6

Le régime hydrologique des fleuves d'Afrique intertropicale est directement influencé par celui des précipitations mais subit aussi, avec un effet retard, l'incidence du cumul de déficits pluviométriques répétés.

Les apports des fleuves de l'Afrique sèche (Sénégal, Gambie...Niger et Bénoué...) totalisent en moyenne 235 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> (275 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> avec le système Chari, tributaire du lac Tchad). L'appauvrissement de la ressource en eau est pour la décennie 1971-80, de 30 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> en Afrique sèche atlantique. Pour la décennie 1981-90, le déficit est de 65 km<sup>3</sup> an<sup>-1</sup> (Olivry et al, 1993 ; Mahé, 1993).

## 2.2- La maladie des basses eaux et l'hypertarissement

Le régime naturel des basses eaux sur le Niger à Banankoro et le Bani à Douana est très gravement affecté par la sécheresse actuelle. Les étiages absolus des deux dernières décennies sont systématiquement les plus faibles de la série avec même arrêt complet de l'écoulement sur le Bani. L'évolution de la phase de tarissement constitue le processus majeur responsable de l'appauvrissement des basses eaux.

Après transfert à la station d'observation des écoulements rapides (ruissellements), on observe à partir d'un certain stade de la décrue de l'hydrogramme annuel, une décroissance régulière des débits ou phase de tarissement. Celle-ci correspond à la période où la vidange des nappes souterraines constitue la seule contribution à l'écoulement des cours d'eau de la région.

Pour les cours d'eau tropicaux, cette décroissance des débits suit une loi exponentielle classique :

$$Q_i = Q_0 e^{-\alpha (t_i - t_0)}$$

avec  $Q_i$  et  $Q_0$ , débits aux instants  $t_i$  et  $t_0$  exprimés en jours et  $\alpha$ , coefficient de tarissement dépendant des caractéristiques physiques et géométriques de l'aquifère qui a la dimension de l'inverse d'un temps.

Le tarissement principal, par les volumes qu'il implique et sa représentativité de l'ensemble des aquifères du bassin, constitue une caractéristique importante du régime hydrologique des fleuves soudano-sahéliens. L'étude des coefficients de tarissement montre jusqu'aux années 1972-73 une relative régularité des valeurs.

Les choses changent du tout au tout au cours des années les plus récentes ; on observe alors un véritable bond des valeurs de  $\alpha$  (Fig. 8).



la notion de largeur moyenne des interfluves. Des interfluves, on passe naturellement au concept de nappes phréatiques de versant.

L'alimentation des basses eaux des rivières apparaît comme principalement due au cumul des vidanges de petites nappes de versant assez semblables et caractéristiques de la géomorphologie générale de l'Afrique intertropicale. Ceci explique la similitude des tarissements pour des cours d'eau d'importance très variable.

D'après la loi de Darcy, le coefficient de tarissement est directement proportionnel à la conductivité hydraulique (perméabilité), à la porosité, à la surface d'échanges nappe-rivière et inversement proportionnel aux dimensions de l'aquifère. Pour un même bassin, les trois premiers termes ne varient pas ou peu, la surface d'échange nappe-rivière étant davantage liée à la largeur de la section du cours d'eau qu'à son niveau. L'augmentation considérable du coefficient de tarissement dans la période sèche correspond donc essentiellement à une réduction de l'extension des aquifères et donc de la largeur des nappes de versant.

La baisse importante du niveau piézométrique est une constante des observations hydrogéologiques des régions soudano-sahéliennes. L'augmentation considérable de l'épaisseur de la tranche aérée du sol au dessus de la surface piézométrique ne permet pas une réalimentation facile des nappes. Les eaux infiltrées connaissent un long cheminement interstitiel qui n'aboutit pas toujours à la nappe. La zone non saturée peut piéger l'ensemble de la lame d'eau infiltrée de l'année. Celle-ci pourra être reprise par évaporation ou rester en partie en attente d'apports complémentaires des années suivantes. Ceux-ci, s'ils sont assez abondants, et donc que l'on observe de bonnes précipitations, finiront, (effets pistons successifs), par aboutir à une recharge de la nappe.

C'est dans la partie amont de la nappe de versant que l'épaisseur de la zone aérée est la plus grande et donc que les problèmes de réalimentation sont les plus cruciaux. La sécheresse en privant l'aquifère amont des apports de l'infiltration a conduit à une réduction de l'extension de la nappe de versant soit par épuisement des réserves de l'amont, soit par coupure des liaisons entre les aquifères des parties aval et amont. La recharge éventuelle de l'aquifère amont reste dépendante d'un fonctionnement hydrogéologique pluriannuel et, dans la période actuelle, on observe bien un effet mémoire de la sécheresse inscrit dans l'évolution des réserves souterraines.

### **2.2.2 Les perspectives**

Le retour à des débits plus soutenus en saison sèche suppose d'abord la reconstitution des aquifères. Celle-ci ne peut-être immédiate et cela s'est bien vu dans la faible incidence d'une meilleure pluviométrie sur le tarissement. Il n'y a pas concordance entre les variations de l'indice pluviométrique de Lamb et celles du coefficient de tarissement. Du fait même des aquifères, les réactions sont plus lentes dans la restitution des basses-eaux ; elles nécessitent un temps de réponse de plusieurs années et ne sont effectives qu'avec le cumul de variations climatiques de même sens.

A la sécheresse climatique se surimpose avec un décalage pluriannuel une sécheresse spécifique aux cours d'eau qu'on pourrait appeler "sécheresse phréatique". Les lois de l'hydrogéologie sont telles que, dans de bonnes conditions de pluviosité, l'amélioration du régime de basse-eaux pourrait demander un temps comparable à celui qui a conduit à son actuelle dégradation.

Le moteur des évolutions possibles reste bien évidemment l'évolution climatique des prochaines décennies.

Plusieurs scénarios sont possibles :

- poursuite ou aggravation de l'état de sécheresse : les processus mis en évidence sont exacerbés ; les fleuves cesseront assez rapidement d'être pérennes en saison sèche par suite de l'épuisement des réserves. C'est le schéma qui conduit au régime des cours d'eau sahéliens et subdésertiques et, à long terme, aux réseaux hydrographiques fossiles du Sahara.

- apparition d'une longue période humide, comparable en durée à la période déficitaire actuelle : un retour progressif aux basses eaux antérieures est prévisible, avec une abondance retrouvée des ressources en eau dans ces régions au terme de dix ou quinze ans dans le contexte actuel.

- reprise momentanée de la pluviosité excédentaire (moins de dix années consécutives) : on observera une légère amélioration, mais le retour aux basses eaux antérieures sera interrompu par de nouveaux épisodes secs ; de la durée de ceux-ci dépendra l'évolution future du régime des cours d'eau. Alternant avec des épisodes humides, ce scénario conduit à une stabilisation des coefficients de tarissement à un niveau supérieur à celui observé lors des décennies antérieures à 1975, et donc à un appauvrissement durable des ressources de saison sèche.

Sans s'attarder aux conséquences du scénario le plus pessimiste, il convient de souligner que l'occurrence d'une situation climatique médiane conduit à pérenniser la dégradation du régime hydrologique des fleuves de la région et que dans la perspective la plus optimiste, les effets de l'actuelle sécheresse se feront encore sentir pendant plusieurs années (Olivry et al, 1992).

Le déficit d'alimentation des fleuves par les nappes souterraines, apparent en saison sèche et étudié ici, est bien entendu sous-jacent en période de crue et ceci explique aussi la faible hydraulicité et les modestes maximums de crue que l'on continue d'observer malgré une certaine reprise de la pluviosité.

### 2.3. Evolution de la puissance des maximums de crue annuels

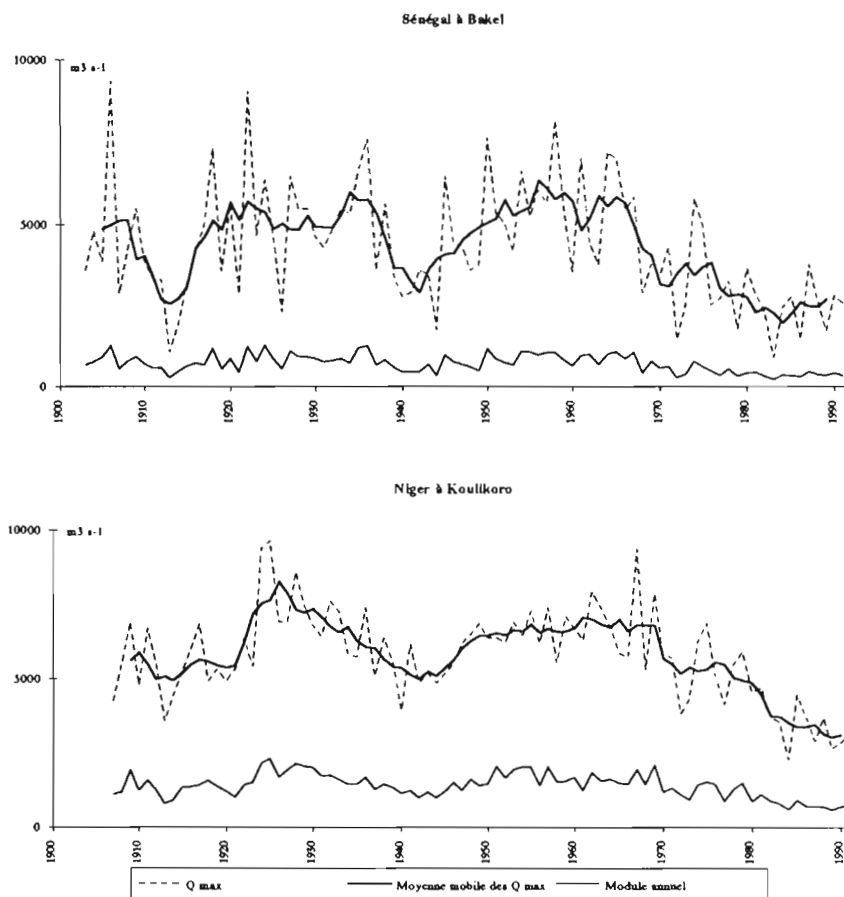
Sur la base du calcul du coefficient de crue défini par P. Myer, A. Coutagne et M. Pardé ( $A : Q / S^{0,5}$  en  $m^3 s^{-1} km^{-2}$  où  $Q$  est le débit et  $S$  l'aire du bassin versant), les valeurs extrêmes des maximums annuels de crue ont des coefficients de 28 à 6 pour le Niger, 35 à 4 pour le Bani, 20 à 2 pour le Sénégal, ce qui traduit la médiocrité de la puissance des crues en Afrique tropicale.

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.

Les chroniques de débits maximums annuels du Niger à Koulikoro et du Sénégal à Bakel montrent des variations globalement très voisines (Fig. 9).

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 72 et 73, 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, 84 mais l'évolution ultérieure montre globalement une stagnation de l'amplitude des crues.



**Figure n° 9**

*Variations des débits maximums de crue et des modules pour le Sénégal et le Niger (en trait fort, moyenne mobile sur 5 ans des Qmax).*

Sur le plan statistique, le Niger montre sur les 25 dernières années, 19 années à maximum inférieur à la médiane ; pour les onze dernières années, dix ont un maximum inférieur à la valeur décennale sèche.

Par opposition à l'étude des étiages ou de l'écoulement annuel pour lesquels 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, pour la seule période actuelle, une sous-estimation pour les crues exceptionnelles de 24% pour le Niger. 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 5)

**Tableau 5**

Etude fréquentielle des maximums annuels du Niger à Koulikoro pour différentes périodes

Echantillon Statistique	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

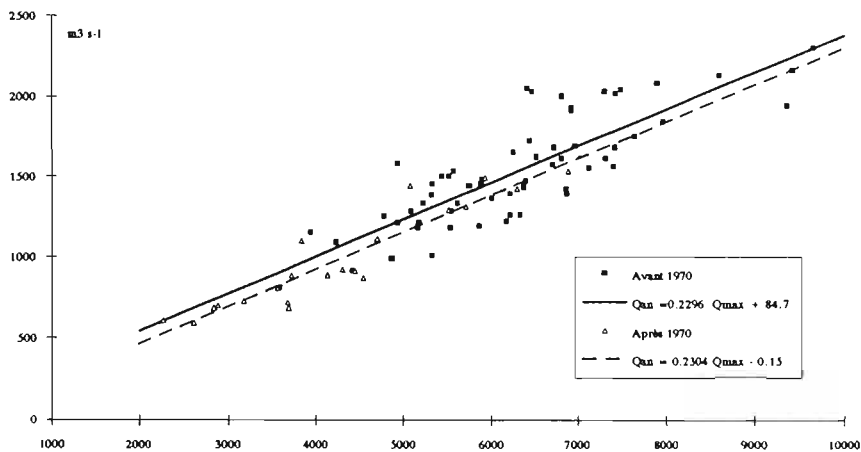
La comparaison des hydrogrammes de crue des différents fleuves étudiés montre dans la période actuelle deux types de situation :

- un hydrogramme tronqué sans maximum nettement affirmé correspondant à une saison des pluies normale en durée mais très déficitaire au coeur de la saison.
- 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 Niger de 3,8 à 4,9.

La mise en régression des variables, modules/maximum annuel sur l'ensemble de la période d'observation, avec deux séries bien individualisées (avant et après 1970) aboutit à de bonnes relations globales (Fig. 10).

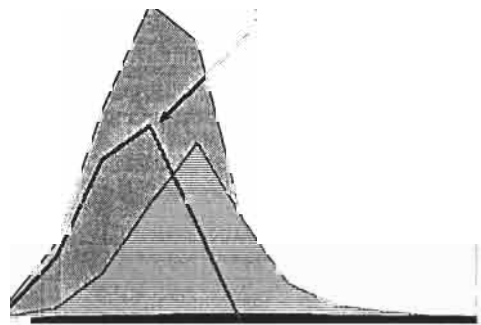
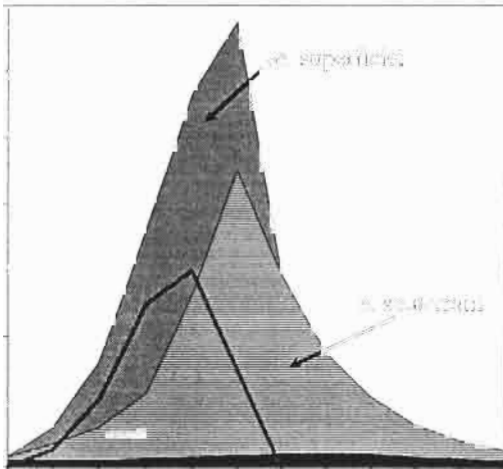


**Figure n° 10**

*Relations des modules annuels en fonction des  $Q_{MAX}$*

La persistance de faibles maximums annuels malgré un certain retour à de meilleures conditions de pluviosité constitue un fait d'observation pour l'ensemble de la sous-région (Olivry, 1993 b).

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. Ainsi, sur le bassin du Niger, les précipitations se sont rapprochées de la normale en 1991 pour la



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.

## 2.4. - Conclusions

On a montré que l'appauvrissement des ressources en eau de l'Afrique intertropicale résultait à la fois de la crise climatique que connaît le continent Africain et de l'effet cumulé des déficits pluviométriques. La persistance de déficits hydriques aigus, au delà des crises majeures des précipitations, indique que les fluctuations hydrologiques ne peuvent être traitées au seul pas de temps annuel.

L'implication des aquifères des bassins - leur épuisement, la réduction de leur extension - à travers la contribution des écoulements de base, conduit à une minoration durable de l'abondance de la ressource hydrologique dans la région. Un éventuel retour à des conditions de précipitations excédentaires devra être soutenu sur plusieurs années pour permettre la reconstitution des aquifères et un retour à des conditions hydrologiques "normales".

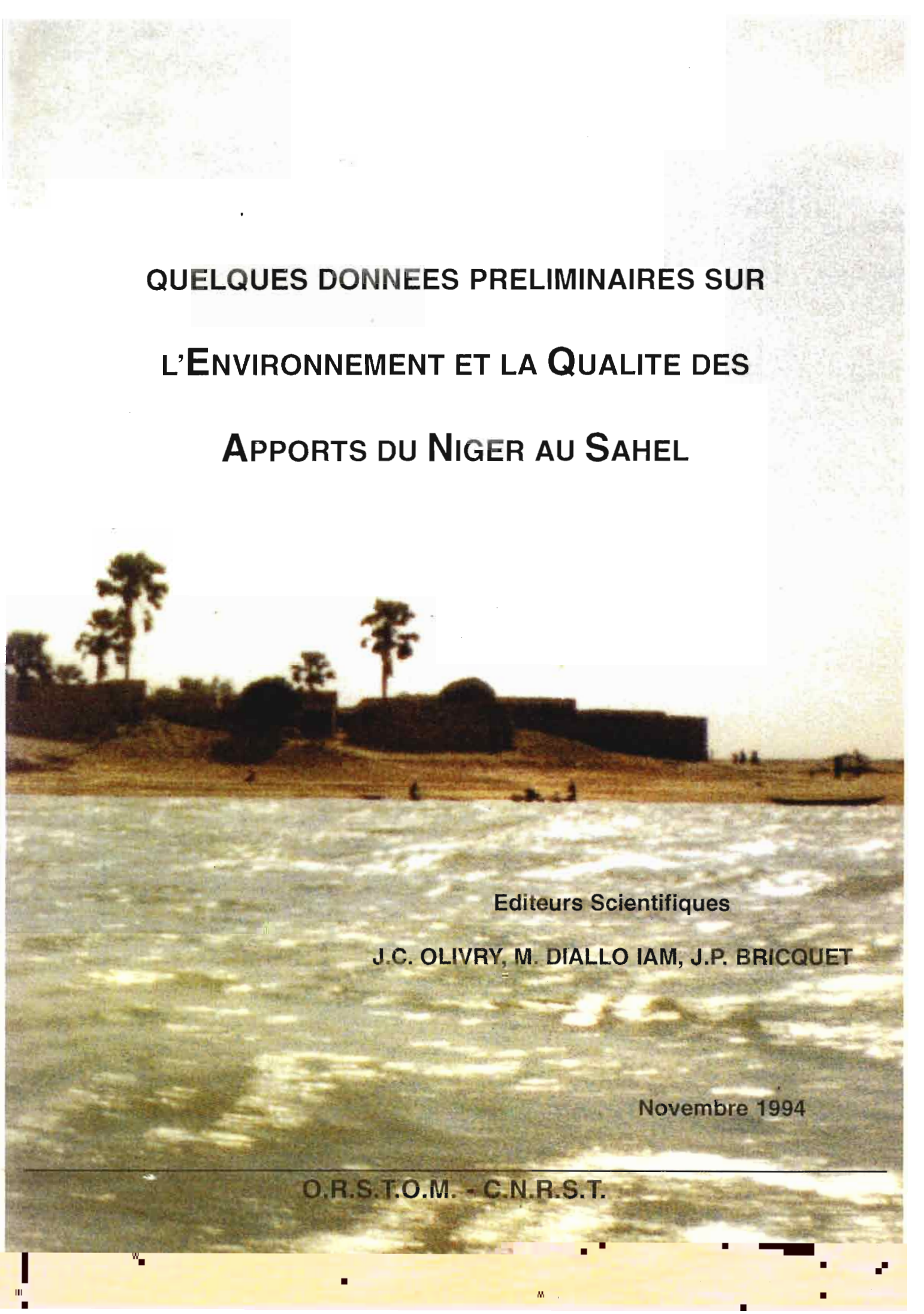
Pour revenir au cadre plus étroit de cette étude, aux régions soudano-sahéliennes et aux "fleuves malades de l'Afrique sèche", il semble qu'un minimum de dix années de bonnes conditions climatiques soit nécessaire pour cette "normalisation". Dans l'attente d'un changement climatique favorable, l'appauvrissement des ressources en eau de l'Afrique sèche a donc toutes chances de rester une constante de l'hydrologie régionale jusqu'à la fin du XXème siècle.

## BIBLIOGRAPHIE

- BRUNET - MORET Y., CHAPERON P., LAMAGAT J.P. et MOLINIER M. (1986) Monographie hydrologique du fleuve Niger, Tome I : Niger supérieur 396 p., Tome II Cuvette Lacustre et Niger moyen 506 p., Coll. Monog. Hydrol. n° 8, ORSTOM, Paris.
- CARBONNEL J.P. et HUBERT P. (1985) Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex. Haute Volta). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, t; 301, série II, n° 13, pp. 941 - 944.
- JOIGNEREZ A. et OLIVRY J.C. (1992) Régionalisation des écoulements non pérennes sur petits bassins au Mali. In Colloques et Séminaires ORSTOM. VIIIèmes Journées hydrologiques de Montpellier Sept 1992.
- LAMB, P. (1985) Rainfall in subsaharian West Africa during 1941-83. *Zeit. Gletscherk Glazialgeologie*, 21 : 131-139.
- 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. (1976) Régimes hydrologiques en pays bamiléké (Cameroun). *Cahiers ORSTOM Paris, série hydrologie, Vol. XIII, n° 1, pp. 37 - 71.*



- OLIVRY J.C. (1983) Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). Cahiers ORSTOM, Paris, Vol. XX, n°1, pp. 47 - 70
- OLIVRY J.C. (1987) Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation 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*.
- OLIVRY J.C. (1993a) Evolution récente des régimes hydrologiques en Afrique intertropicale. In "l'eau, la terre et les hommes, hommage à René Frécaut". Madeleine Griselin Ed. Presses Universitaires de Nancy. pp. 181 - 190.
- OLIVRY J.C. (1993b) De l'évolution de la puissance des crues des grands cours d'eau intertropicaux d'Afrique depuis deux décennies. in Journées hydrologiques de Grenoble ; Centenaire Maurice Pardé ; 22/24 Septembre 1993.
- PARDE M. (1933) Fleuves et rivières. 5ème édition. *Lib. A. COLIN*. 241 p. PARIS
- SIRCOULON J. (1987) Variation de débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'ouest depuis le début du 20ème siècle. (*Proc. Vancouver Symp. Août 1987*) 13 - 25, *IAHS Publ. no168*.
- SIRCOULON J. (1989) Bilan hydropluviométriques de la sécheresse 1968 - 84 au Sahel et comparaison avec les sécheresses des années 1910 à 1916 et 1940 à 1949. in "Les hommes face aux sécheresses". Nordeste brésilien. Sahel africain. Coll. Travaux et Mémoires de l'**IHEAL** numéro 42, pp. 107 - 114.

A photograph of a riverbank with palm trees and a building. The image is the background of the cover, showing a wide river in the foreground with some white foam or rapids. In the middle ground, there is a sandy bank with several palm trees and a large, dark, rectangular building. A few small figures of people are visible on the bank. The sky is bright and clear.

**QUELQUES DONNEES PRELIMINAIRES SUR  
L'ENVIRONNEMENT ET LA QUALITE DES  
APPORTS DU NIGER AU SAHEL**

**Editeurs Scientifiques**

**J.C. OLIVRY, M. DIALLO IAM, J.P. BRICQUET**

**Novembre 1994**

---

**O.R.S.T.O.M. - C.N.R.S.T.**

## SOMMAIRE

Avant propos	p. 5
Le régime hydrologique du Niger supérieur et le déficit des deux dernières décennies.	p. 9
Le fonctionnement hydrologique de la Cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du delta intérieur.	p. 27
Premiers résultats sur la mesure des flux de matières dissoutes et particulaires dans les apports du Niger au Sahel.	p. 43
Premiers résultats sur la distribution et le bilan des éléments majeurs dissous dans la Cuvette lacustre du fleuve Niger (année 1990-1991).	p. 57
Les apports détritiques terrigènes dans la Cuvette lacustre entre Mopti et Konna (Rép. du Mali).	p. 71
Changement climatique au Mali et tendance à la désertification.	p. 83
Données sur les transports du Niger moyen entre Kandadji et Niamey	p. 93
Liste des annexes	p. 111