

S. SANGARE

Direction Nationale de l'Hydraulique
BP 642 Conakry Guinée
E-mail : moussa_sang@yahoo.fr

G. MAHE

IRD 01 BP 182 - Ouagadougou
Burkina Faso
E-mail : mahe@hydro.ird.bf

J. E. PATUREL

IRD 01 BP 182 - Ouagadougou
Burkina Faso
E-mail : jean-mmanuel.paturel@hydro.ird.bf

Y. BANGOURA

Direction Nationale de la Météorologie
BP 566 Conakry
Guinée
E-mail : y_bangoura@yahoo.fr

Bilan hydrologique du fleuve Niger en Guinée de 1950 à 2000

Résumé

Dans cette étude on analyse les pluies et les débits sur les principaux cours d'eau du haut bassin-versant du fleuve Niger en Guinée durant la période 1950-2000 par rapport à la période 1950-1989. Les données manquantes sont reconstruites par corrélations entre stations proches.

Les pluies annuelles par bassin sont calculées par la méthode des polygones de Thiessen. Les résultats des calculs de la pluie annuelle par la méthode de Thiessen pour deux des stations seront comparés à ceux obtenus par la méthode automatique à l'aide d'un modèle hydrologique mensuel par deux types de grilles (0,5° x 0,5°) en utilisant la banque de données de la Climate Research Unit (CRU) de l'Université D'East Anglia à Norwich et la banque CRU complétée par celle de l'IRD. Une analyse statistique des séries chronologiques signale une rupture climatique vers 1970 sur tous les bassins aussi bien pour les pluies que pour les débits. Cette rupture persiste durant les années 90. Les séries de pluies et de débits sont moins déficitaires durant cette dernière décennie, mais présentent toujours un caractère déficitaire marqué, malgré une certaine reprise des pluies pour certaines stations à partir des années 1994.

Les ressources souterraines de certains affluents semblent toujours très déficitaires, et continuent à influencer négativement les écoulements qui pourraient être plus élevés si les nappes avaient un niveau plus haut.

Mots-clés : Guinée, Pluies, Débits, Rupture climatique

HYDROLOGICAL STATEMENT OF NIGER RIVER IN GUINEA FROM 1950 TO 2000

In this paper we analyse rainfall and runoff series of the main rivers of the upper Niger River in Guinea, over the period 1950-2000, in regard to the period 1950-1989. Missing data are reconstructed by correlations between close stations.

Average rainfall per basin are calculated according to the method the polygons of Thiessen. A statistical analysis of the time series shows a discontinuity around 1970 for runoff and rainfall series and for all basins. This discontinuity persists during the 1990s, but rainfall and runoff series show a smaller deficit during this period, although all the series still show a marked deficit overall. Rainfall tend to be over the average during several years in some basins.

The groundwater resources of some rivers seem to be still very low, that being possibly responsible for the annual runoff of these rivers being still low although rainfall have reach over average values for some years over these basins.

Key words : Guinea, Rainfall, Runoff, Climatic discontinuity

INTRODUCTION

Depuis plus de trois décennies, le climat des pays de l'Afrique de l'Ouest et Centrale a été affecté par une sécheresse sévère, qui s'est traduite par des déficits pluviométriques et hydrométriques très importants dont les conséquences ont été dévastatrices pour la sous région.

Les travaux réalisés dans le cadre de l'étude des variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale depuis 1951 par Sircoulon (1976), Olivry (1983), Mahé et Olivry (1995), Bricquet *et al.*, (1997), Servat *et al.*, (1997), Paturel *et al.* (1998), Mahé et Olivry (1999), Mahé *et al.*, (2001), L'Hôte *et al.*, (2002) et ceux réalisés dans le cadre de FRIEND-AOC (Thème Variabilité des ressources en Eau) (AISH, 1998) ont tous montré que dans les régions climatiques humides, situées au sud du Sahel, la sécheresse s'est fait sentir avec des répercussions généralement moins sévères que dans les régions sahélo-sahariennes.

La présente étude est une mise à jour réalisée sur le bassin du fleuve Niger en Guinée, faisant suite à des travaux sur des séries limitées à des périodes plus courtes ne dépassant pas 1990.

La Haute Guinée située au Nord-Est de la Guinée, avec une superficie de 104 600 km², correspond au haut plateau du bassin du Niger (y compris le Sankarani et la Fié), et a une frontière au Nord et à l'Est avec le Mali. D'une altitude moyenne de 400 m, le plateau s'appuie sur les contreforts

du Fouta-Djalon et sur la dorsale guinéenne au Sud, et s'étale de façon quasi horizontale vers l'Est. Le bassin concerné par l'étude est limité à celui du cours principal du Niger et de ses principaux affluents (Niandan, Milo et Tinkisso) avec une embouchure en territoire guinéen d'une superficie totale de 71 142 km² et d'une longueur de 661 km.

La monotonie du relief n'est affectée que par l'écoulement du Niger et de ses affluents qui continuent à creuser et à déposer des alluvions récentes en terrasses étagées le long de leurs cours. La végétation de la région est essentiellement composée de savane légèrement boisée.

Le climat est de type sub-soudanien. Les précipitations annuelles moyennes varient de 1 300 à 2 000 mm, les isohyètes devenant plus faibles vers le Nord. Au cours de l'année, deux saisons se succèdent, l'une sèche prononcée de 6 à 7 mois entre novembre et mai et l'autre pluvieuse de juin à octobre ; les températures moyennes annuelles varient jusqu'à 38°C. L'humidité est généralement inférieure à celle des autres régions de la Guinée.

D'après un rapport réalisé dans le cadre des études de vulnérabilité et d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques (Kaba *et al.*, 2000), il est apparu clairement que le régime d'écoulement des principaux cours d'eau du bassin fluvial du Niger est déficitaire depuis les années 70 et qu'il s'agit d'une région particulièrement vulnérable aux changements climatiques compte

tenu de sa position géographique.

ORIGINE ET TRAITEMENT DES DONNEES DE BASE

Les données nécessaires pour le calcul du bilan hydrologique sont les précipitations et les écoulements. La présente étude est une mise à jour de travaux précédents sur la région par Bamba *et al.*, (1996, 1997), Bricquet *et al.*, (1996), Mahé *et al.*, (2000).

Les séries chronologiques de débits sont généralement de courte durée par rapport aux séries de pluies, ainsi pour les besoins de cette étude, les échantillons annuels de pluie et de débit ont été constitués sur la période concomitante 1950 à 2000 pour l'ensemble des stations retenues dans le haut bassin du Niger en Guinée.

Données pluviométriques

Dix postes pluviométriques (*tab. 1*) ont été retenus pour le calcul de la pluviométrie moyenne annuelle sur les bassins drainés par les stations hydrométriques du Niger à Kouroussa, du Niger à Siguiri, du Niandan à Baro, du Milo à Kankan et du Tinkisso à Tinkisso.

Reconstitution des données manquantes

Les valeurs annuelles manquantes ont été reconstituées par régression linéaire entre stations voisines. Pour les coefficients de détermination faibles ($R^2 < 0,6$), un coefficient régional a été utilisé et calculé comme le rapport de la moyenne inter-annuelle de la pluie sur la période observée à la station à reconstituer et celle des

stations voisines sur la période concomitante. Ainsi la pluie annuelle reconstituée sera le produit du coefficient régional par la moyenne annuelle de la pluie aux stations voisines pour la période non concomitante. La formule de calcul est ainsi illustrée :

$$P_r = (P_m/P_{mc}) \times P_{ma}, \text{ où}$$

- P_m/P_{mc} est le coefficient régional ;
- P_r , la pluie annuelle reconstituée ;
- P_m , la pluie moyenne inter-annuelle à la station avec lacunes ;
- P_{mc} , la pluie moyenne inter-annuelle aux stations observées concomitamment avec la station à compléter ;
- et P_{ma} , la moyenne de la pluie annuelle aux stations voisines pour les années non observées.

Le coefficient régional P_m/P_{mc} , est le facteur qui minimise les écarts entre la pluie reconstituée et celle observée à la station.

Calcul de la pluie annuelle moyenne sur les bassins

L'analyse des pluies tombées sur le bassin versant drainé par chacune des stations hydrométriques du Niger supérieur est basée sur les relevés des pluies effectués aux postes pluviométriques (tab. 1). Compte tenu du fait que la variation des précipitations d'une station à l'autre est importante et que la répartition des stations sur les bassins n'est pas uniforme, les pluies moyennes annuelles sur les bassins aux stations hydrométriques retenues pour cette étude ont été calculées en utilisant la méthode de Thiessen.

Ainsi le poids de chaque poste pluviométrique situé dans le bas-

sin ou aux alentours, est représenté par le coefficient de Thiessen. Les coefficients ainsi déterminés et présentés dans le tableau 1, sont calculés par le rapport de la superficie de la portion du bassin influencée par chaque poste pluviométrique et par celle du bassin drainé par la station hydrométrique.

La pluie moyenne annuelle a été calculée à chaque station hydrométrique par la somme de la pluie annuelle à chaque poste affectée du coefficient de Thiessen.

DONNEES HYDROLOGIQUES

Pour l'analyse des termes du bilan hydrologique du bassin du

Milo à Kankan : Superficie du bassin versant 9 900 km ²		
Poste pluviométrique	Superficie (km ²)	Coefficient
Beyla	484	0,049
Kérouané	5648	0,570
Macenta	797	0,081
Kankan	2971	0,300
Niandan à Baro : superficie du bassin 12 770 km ²		
Kérouané	1089	0,085
Kankan	1993	0,156
Faranah	283	0,022
Macenta	79	0,006
Kouroussa	1894	0,148
Kissidougou	7433	0,582
Niger à Kouroussa : superficie du bassin 16 560 km ²		
Faranah	5144	0,311
Dabola	1247	0,075
Kouroussa	5192	0,314
Kissidougou	1816	0,110
Kankan	1993	0,120
Macenta	79	0,005
Kérouané	1089	0,066
Niger à Siguiri : superficie du bassin 67 600 km ²		
Dabola	6778	0,100
Kouroussa	12138	0,180
Tinkisso	10482	0,155
Faranah	5144	0,076
Kankan	8853	0,131
Siguiri	5755	0,085
Kérouané	6737	0,100
Beyla	484	0,007
Macenta	876	0,013
Kissidougou	10353	0,153
Tinkisso à Tinkisso : superficie du bassin 6 370 km ²		
Dabola	3173	0,498
Tinkisso	3197	0,502

Tableau 1 : Liste des stations pluviométriques par bassins versants et Coefficients de Thiessen

Niger en Guinée, les stations suivantes ont été retenues

- **Niger à Kouroussa** : Superficie du bassin versant : 16560 km², latitude : 10° 39'00"N et longitude de 9° 53'00" W

- **Niger à Siguiri** : Superficie du bassin versant : 67600 km², latitude 11° 22'02"N et longitude 9° 10'01" W

- **Niandan à Baro** : Superficie du bassin versant de 12770 km², latitude 10°37'00"N et longitude 9°42'00"W

- **Milo à Kankan** : Superficie du bassin versant de 9900 km², latitude 10° 23'00"N et longitude 09°18'00"W

- **Tinkisso à Tinkisso** : Superficie du bassin versant : 6370 km², latitude 11° 14'40"N et longitude 10°35'30"W

Débits moyens annuels

Une série chronologique de débits annuels a été constituée aux différentes stations après reconstitution par régression entre stations. Pour les stations du Niger à Kouroussa et du Niandan à Baro, les données du Milo à Kankan ont servi pour la reconstitution des valeurs manquantes, et pour celles du Niger à Siguiri, les valeurs manquantes ont été reconstituées à partir des données de la station de Banankoro sur le Niger en République du Mali. Les données manquantes à la station de Tinkisso à Dabola n'ont pu être reconstituées, à cause des nombreuses lacunes d'observations.

Les précédentes études déjà réalisées par l'IRD et dans le cadre du programme FRIEND-AOC ont mis en exergue l'hétérogé-

néité de la série 1951-89 et un changement climatique autour de 1970 grâce à des procédures de segmentation des séries chronologiques (Hubert *et al.*, 1989 ; Hubert *et al.*, 1998 ; Lubes *et al.*, 1998). Ainsi pour la recherche d'une meilleure régression linéaire entre les débits aux différentes stations, nous avons considéré deux périodes distinctes de calcul de la régression 1950-69 et 1970-2000.

Principaux termes du bilan hydrologique

D'après la formule simplifiée du bilan hydrologique annuel nous avons $P = L_{an} + E$ où

- **P** est la précipitation annuelle sur le bassin drainé par la station hydrologique en mm ;

- $L_{an} = Q/S_{bv} \times T \times 10^{-6}$, la lame annuelle écoulée sur du bassin en mm (Q : module annuel (m³/s), S_{bv} : Superficie du bassin versant en km², T : temps en secondes. Pour tenir compte des mois de 31, 29 et 28 jours nous avons calculé la lame mensuelle pour chaque année) ;

- **E**, l'évapotranspiration annuelle sur le bassin ou déficit d'écoulement ($D_e = P - L_{an}$) en mm

L_{an} et D_e sont les principaux termes du bilan calculés à partir de la pluie annuelle sur le bassin et le débit moyen annuel à son exutoire.

Coefficient d'écoulement

En considérant que les variations interannuelles du stock souterrain sont négligeables dans le bassin, on déduit le coefficient d'écoulement donné par la formule : $C_e = L_{an}/P$.

ANALYSE DE LA VARIABILITE DU REGIME

Analyse des séries chronologiques

Les séries chronologiques ainsi constituées (pluie, débits et déficit d'écoulement) ont été analysées avec le logiciel ChronoStat (IRI, 1998). Ce logiciel permet

de tester la normalité des séries chronologiques, condition nécessaire pour l'application des autres tests ci-dessous ;

- de tester le caractère aléatoire des séries chronologiques ;

- de tester l'existence ou non de la présence de rupture (changement de la loi de probabilité et de la moyenne de la série plus particulièrement) au sein des séries chronologiques.

Les méthodes de détection de ruptures utilisées sont les suivantes : test de BUSHAND, méthode non paramétrique de PETTITT, méthode bayésienne de LEE et HEGHIAN et la méthode de segmentation de HUBERT. Toutes ces méthodes font l'hypothèse de la stationnarité de la variance de la série et sont adaptées à la détermination d'une rupture unique à l'exception de la méthode de HUBERT.

Les résultats de l'analyse avec ChronoStat ont permis de constater que les séries suivent une loi normale et présentent toutes des ruptures. Les résultats présentés dans le tableau 2 sont ceux obtenus par la méthode de HUBERT qui a été retenue et qui propose plusieurs dates de ruptures, permettant l'interprétation plus aisée des résultats de l'analyse des séries.

cours d'eau Stations	Série de pluie annuel				Série de débits moyens annuels				Déficit et excédent annuel			
	Début	Fin	Moy	Ecart type	Début	Fin	Moy	Ecart type	Debut	Fin	Moy	Ecart type
Niger à Siguiri	1950	1969	1659,7	149,5	1950	1969	125,6	209,4	195	1969	576,8	97,4
	1970	1993	1384,5	119,1	1970	1979	90,7	168,7	197	1981	406,3	82,9
	1994	2000	580,6	171,2	1980	1993	584	84,6	198	1993	263,4	25
Niger à Koulikoro	1950	1971	1423,3	111,1	1950	1975	200	66,9	195	1975	388,4	73,1
	1956	1982	1573,8	157,7	1976	1983	232	62,1	197	1982	388,4	95,6
	1983	1993	1329,6	107,9	1984	2000	133	94,5	198	2000	274,3	81,2
	1994	2000	1672,1	132								
Niandan à Baro	1950	1960	2109,5	257,8	1950	1960	258	80	195	1960	730,8	124,2
	1956	1976	1811	167,1	1961	1981	221	53,4	196	1981	372,1	100,2
	1980	2000	1678,3	117,6	1982	2000	169	40,3	198	2000	419,1	100,3
Milo à Kankan	1950	1959	1973,6	198,5	1947	1960	218	38,4	195	1955	770,6	134,4
	1960	2000	1784,9	151,9	1961	1985	180	38,3	195	1979	611,5	113,6
					1986	2000	136	27,9	198	2000	448,6	87,7
Tinkisso à Tinkisso	1950	1957	1694,4	168,5	Les séries de pluie et de débit ont été complétées par régression linéaire avec les autres stations du bassin, avec $R^2 > 0,6$.							
	1958	1976	1425,5	138,4								
	1977	1993	1186,4	97,6								
	1994	2000	1503,7	132,6								

Tableau 1. Résultats du test de HLB pour les séries de pluie (mm), débit (m³/s) et déficit (d'écoulement) (mm) de 1950 à 2000

L'analyse des résultats de ce tableau montre que l'ensemble des séries chronologiques des stations retenues pour l'étude, présentent des ruptures. D'une rupture à l'autre la moyenne et l'écart type des séries diminuent, traduisant ainsi la diminution de la valeur des termes du bilan hydrologique et par conséquent des ressources en eau de surface à ces stations engendrée par la grande sécheresse qui sévit dans la région depuis les années 1970.

Par contre, aux stations du Niger à Siguiri et de Tinkisso à Tinkisso, cette diminution de la moyenne et de l'écart type est obtenue pour les deux premières ruptures ; à partir de 1994, dernière année de rupture, la valeur de ces paramètres augmente, tra-

duisant ainsi des écoulements excédentaires au niveau de ces stations.

Variabilités des régimes pluviométriques et hydrologiques

Pour l'analyse de la variabilité des régimes d'écoulement sur le bassin du haut Niger aux exutoires retenus pour l'étude, nous avons calculé le module standard et la pluviométrie standard. Ces paramètres sont des variables centrées réduites qui traduisent l'excédent ou le déficit de l'écoulement annuel et de la pluviométrie annuelle sur un bassin, dont les formules de calcul sont données ci-après. Pour l'analyse du régime hydrologique, l'hydraulicité est toujours calculée comme le rapport du module annuel de l'année considérée à la moyenne

Débit moyen annuel standard

$$I_q = (Q_i - Q_m) / s_q$$

où :

Q_i : Module annuel pour l'année i en m³/s

Q_m : Débit moyen inter-annuel sur la période de référence 1950-2000 en m³/s

s_q : écart- type des débits sur la période de référence 1950 - 2000 en m³/s

I_q : Module standard

Pluviométrie annuelle standard

$$I_p = (P_i - P_m) / s_p$$

où

P_i : pluviométrie de l'année i en mm

P_m : pluviométrie moyenne inter-annuelle sur la période de référence 1950-2000 en mm

s_p : écart- type de la pluviométrie inter-annuelle sur la période de référence 1950-2000 en mm

I_p : Indice pluviométrique.

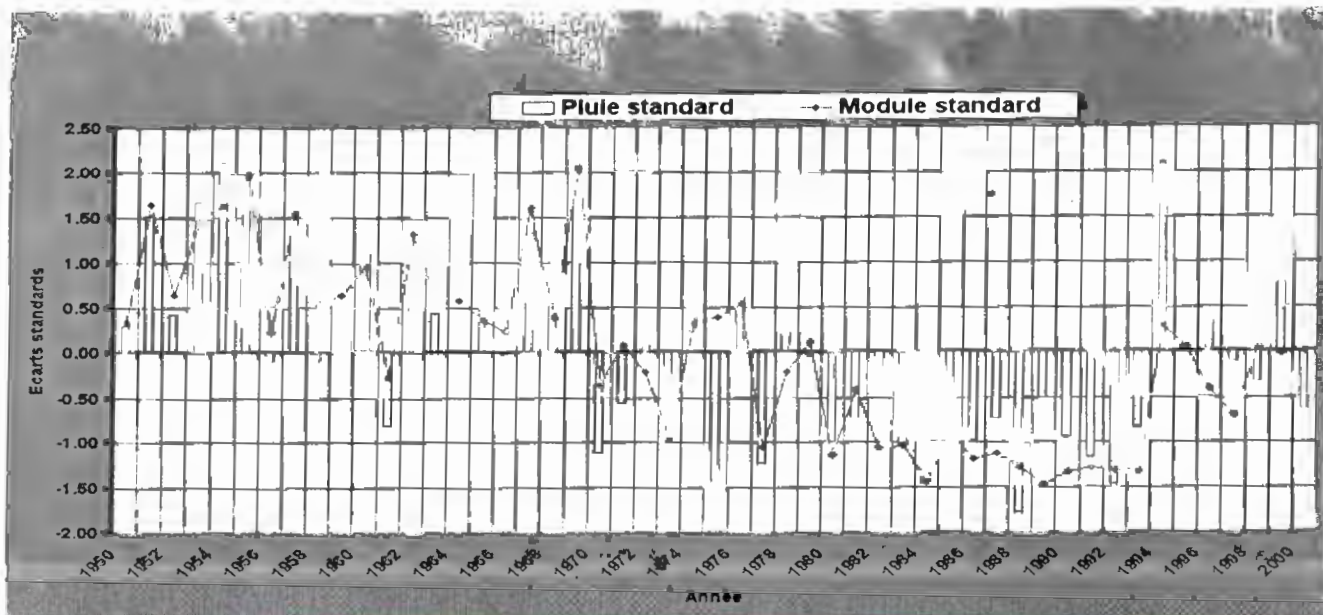


Figure 1. Module et pluie (annuels) standards (Niger à Siguiri)

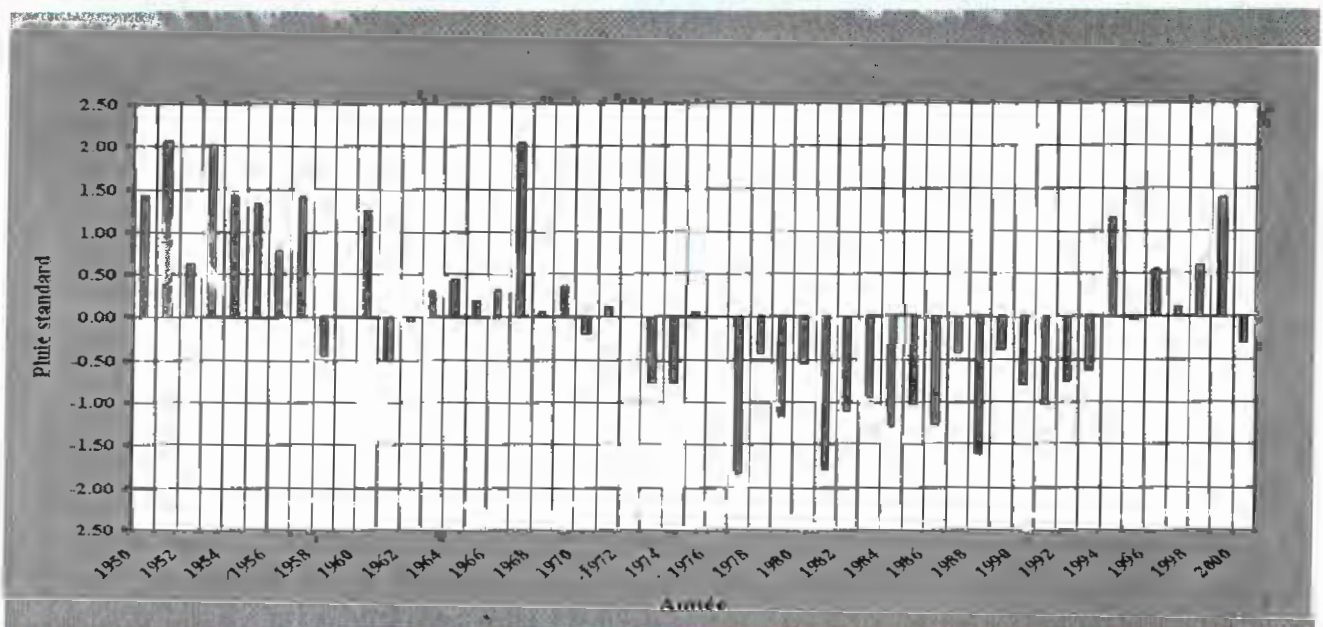


Figure 2. Pluie annuelle standard (Tinkisso à Dinguiraye)

interannuelle, caractérisant ainsi une année de forte, moyenne ou faible hydraulicité.

Les résultats du calcul des débits et pluviométries standards I_q et I_p (encadré), ont permis d'établir pour chaque station le graphique de ces paramètres caractéristiques du régime d'écoulement et pluviométrique sur leur bassin.

Ces graphiques (fig. 1 à 5) permettent d'apprécier le degré de variabilité des régimes d'écoulement et pluviométrique dans le haut bassin du Niger en Guinée pour la période 1950-2000.

Il apparaît clairement à l'examen de ces graphiques que le régime pluviométrique du Tinkisso à la station de Tinkisso est similaire à

celui de Siguiri sur le Niger. Les graphiques de la pluviométrie annuelle et du coefficient d'écoulement à chaque station ont été établis en guise de comparaison de la variation du coefficient d'écoulement et de la pluviométrie sur le bassin durant la période d'étude (fig. 6 à 9). Les graphiques ainsi représentés traduisent effectivement la tendance

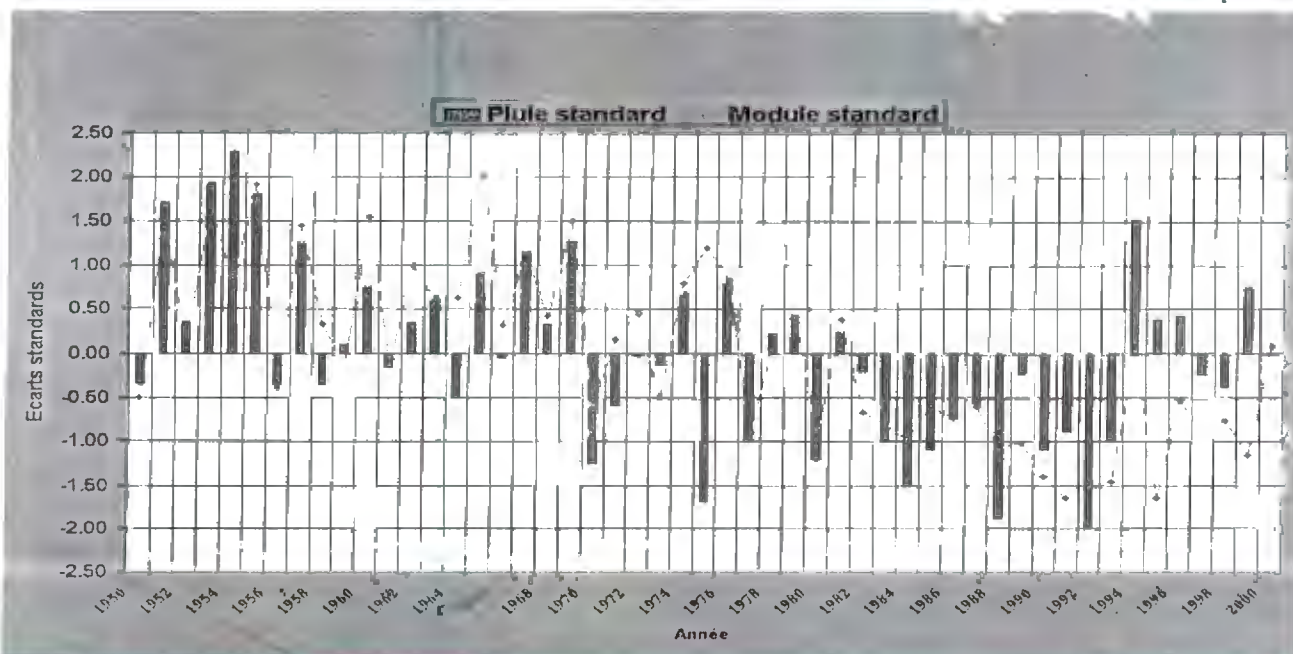


Figure 3. Module et pluie (annuels) standards (Niger à Kouroussa)

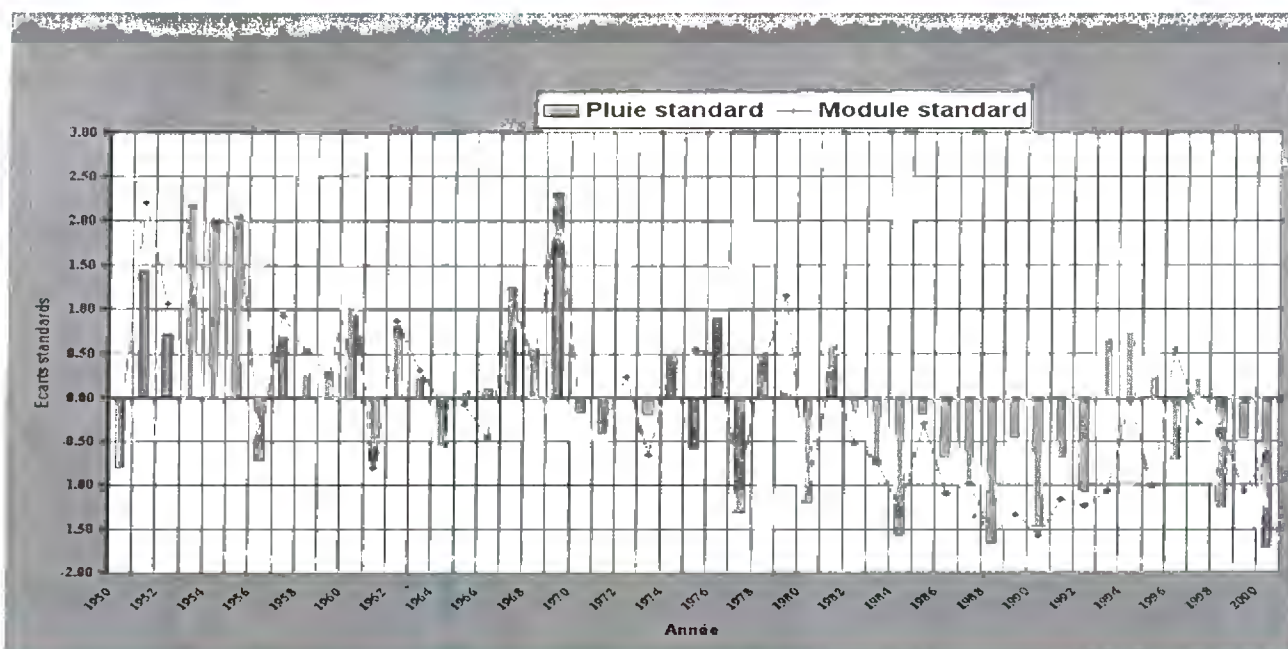


Figure 4. Module et pluie (annuels) standards (N'Ho à Kankon)

généralisée à la baisse des ressources en eau dans le bassin du Niger en Guinée et confirment les résultats des études précédentes réalisées dans le cadre du thème « Variabilité des Ressources en Eau » du programme FRIEND AOC ou celui des travaux de recherche réalisés

par l'IRD dans le bassin.

D'après ces graphiques, nous constatons que de 1950 à 1993 la baisse des précipitations est répercutée identiquement sur le coefficient d'écoulement ; mais depuis 1994 pour les stations de Siguiri et Kouroussa où la plu-

viométrie est excédentaire, le coefficient d'écoulement est faible traduisant les effets très marqués des grandes sécheresses sur le niveau des nappes d'eau souterraine dans ces portions du bassin, dont la recharge influence négativement l'écoulement. Cette situation excédentaire des pluies

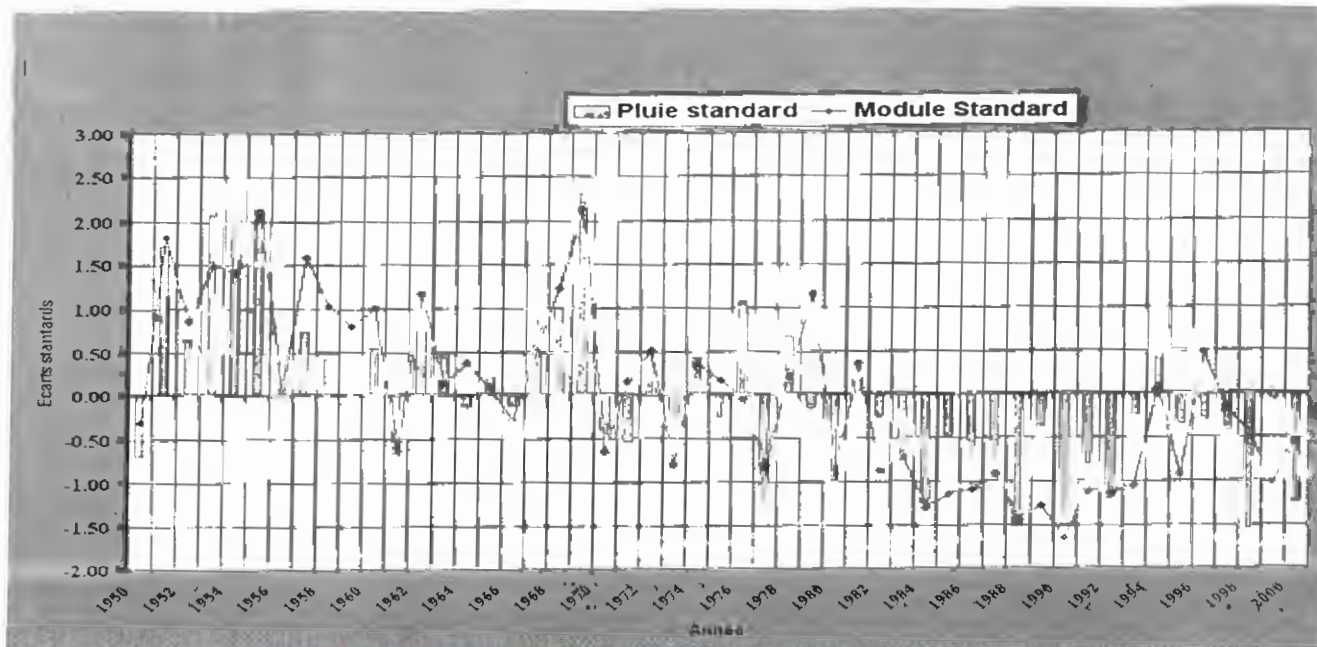


Figure 5. Module et pluie (annuels) standards (Niandan à Baro)

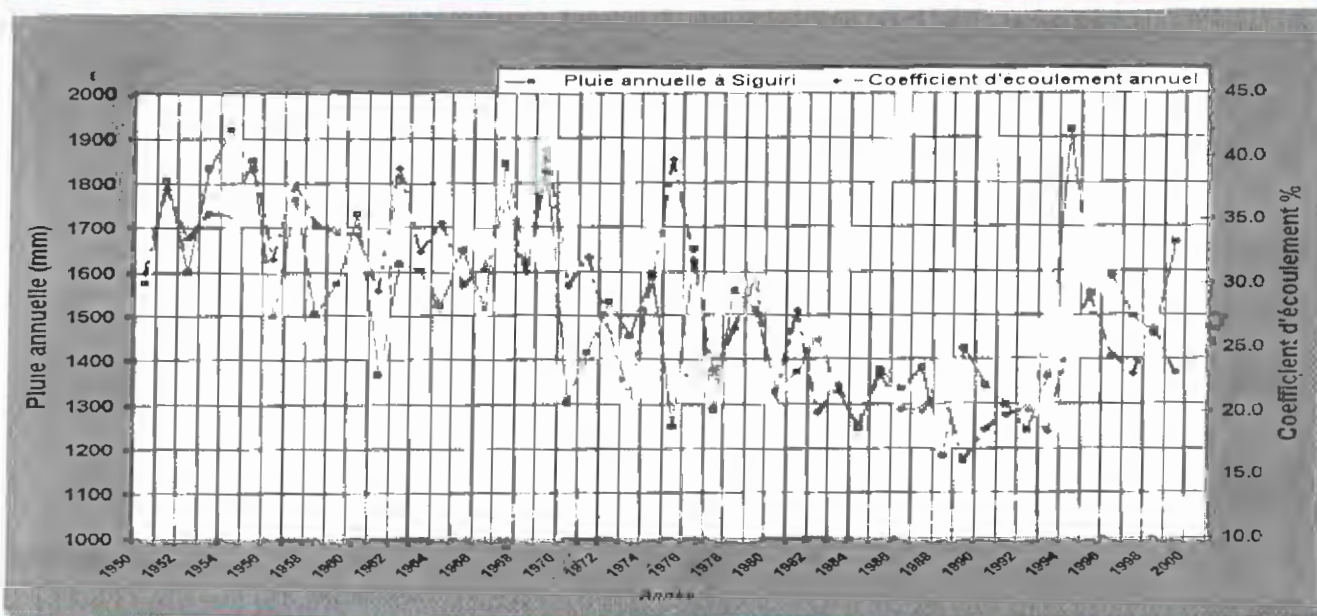


Figure 6. Pluie et coefficient d'écoulement annuels à Siguiri

sur le bassin du Niger à Siguiri est identique à celle observée sur le bassin du Tinkisso à Tinkisso, affluent principal du Nord.

Par contre, dans les bassins du Niandan à Baro et du Milo à Kankan, où le niveau des nappes

souterraines n'a pas autant été fortement affecté par ces intempéries, depuis la même période la pluviométrie continue à être déficitaire avec des coefficients d'écoulement élevés.

GRILLES DE PLUIE CRU ET CRU-IRD

La pluie annuelle moyenne a été calculée sur le bassin du Niger en Guinée aux stations hydrométriques du Niandan à Baro et

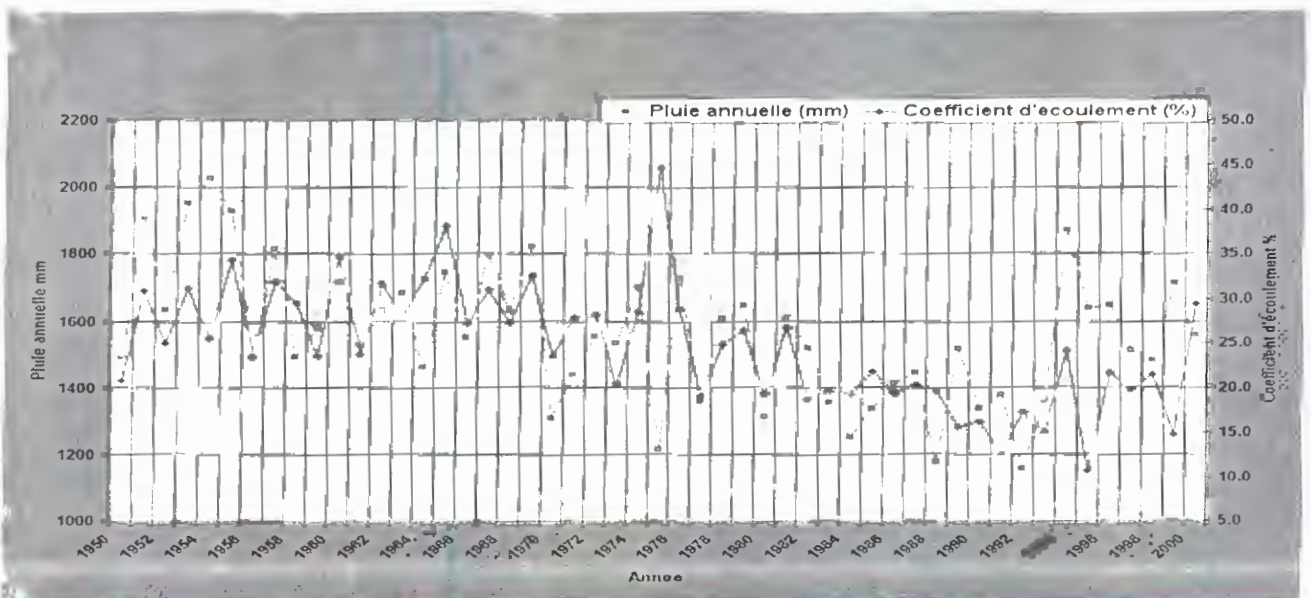


Figure 3. Pluie et coefficient d'écoulement annuels à Kouroussa

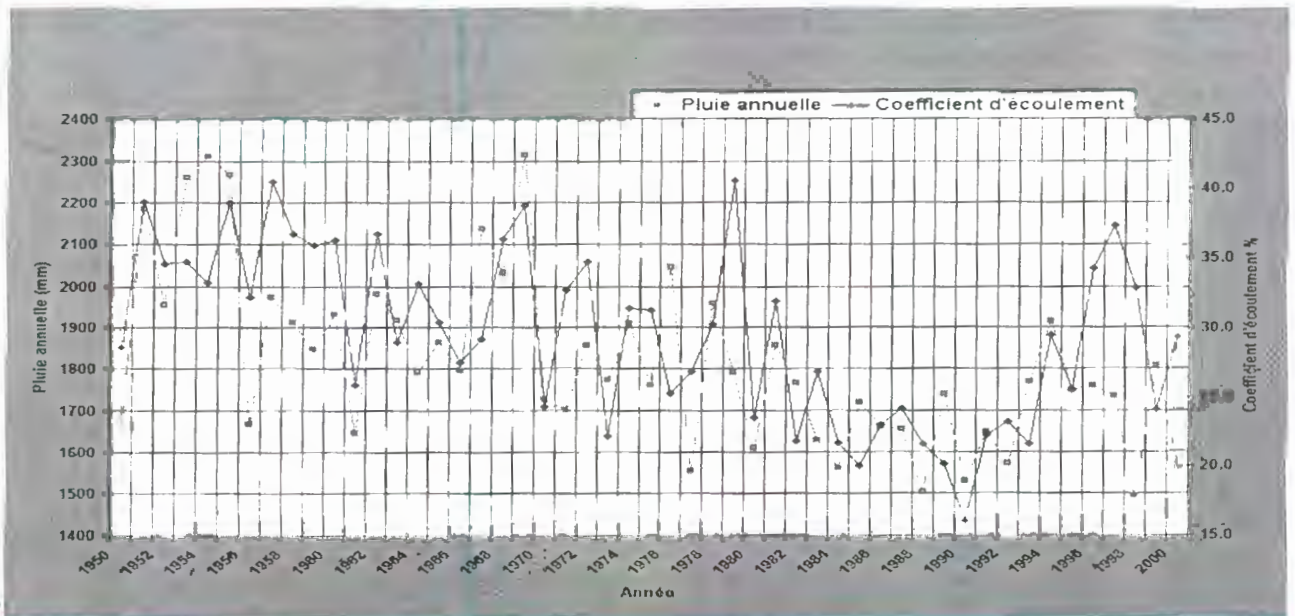


Figure 4. Pluie et coefficient d'écoulement annuels à Milo

Milo à Kankan à partir de grilles de pluie issues de 2 sources de données : CRU (Banque de la Climate Research Unit de l'Université d'East Anglia à Norwich) et CRU-IRD (Banque du CRU complétée par des données de l'IRD). Ces grilles de pluie de 1950 à 1995 sont constituées de mailles régulières de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ (Conway et Mahé, sous presse ; Mahé *et al.*, 1999 ;

Mahé *et al.*, 2002).

La pluie annuelle moyenne a également été calculée aux stations hydrométriques retenues, en utilisant la méthode de Thiessen de 1950 à 2000, qui a servi au calcul de tous les paramètres liés au régime d'écoulement sur le bassin (indice pluviométrique, déficit d'écoulement, module standard, lame écoulée et

coefficient d'écoulement) en vue de l'analyse de la variabilité du régime hydrologique du Niger en Guinée.

La comparaison des résultats obtenus par ces deux méthodes, devra permettre d'apprécier l'efficacité de chacune d'elles. Il est ressorti que les pluies CRU et CRU-IRD sont de 25 % et 12,4% plus élevées que celles calculées

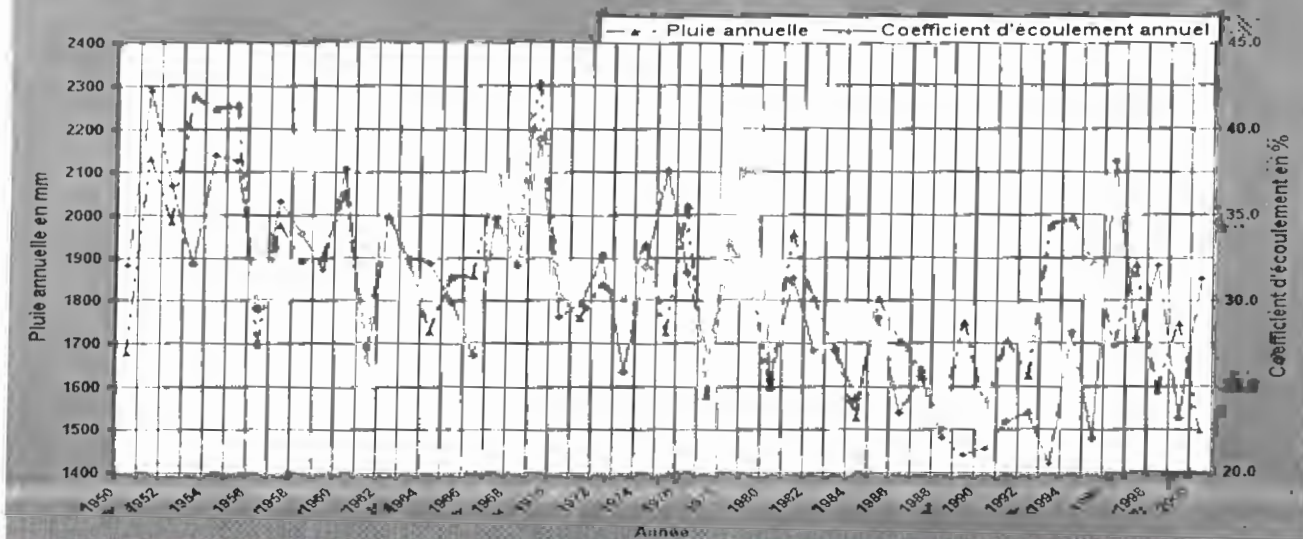


Figure 9. Pluie et coefficient d'écoulement annuels à Kankan

par la méthode de Thiessen respectivement à Baro et à Kankan, les résultats sont présentés sur les figures 10 et 11.

Le paramètre de comparaison utilisé, une variable sans dimension et ayant servi à l'établissement des graphiques est donnée par la formule : $\rho P = (P_{CRU} - P_{th})/P_{CRU^m}$ en %, traduisant l'écart entre les résultats obtenus par les modèles et la méthode de Thiessen, où ρP est la valeur de l'écart relatif entre la pluie P_{CRU} ($P_{CRU-IRD}$) et la pluie P_{th} (Thiessen) ; P_{CRU^m} ($P_{CRU-IRD^m}$) est la moyenne inter-annuelle de P_{CRU} ($P_{CRU-IRD}$) ; et P_{CRU} , $P_{CRU-IRD}$ et P_{th} sont les pluies annuelles calculées par les modèles CRU, CRU-IRD et Thiessen en mm.

La méthode de Thiessen donne des résultats obtenus à partir de calculs manuels et laborieux qui généralement peuvent être entachés d'erreurs. Ce qui nous a

amené à faire une comparaison entre les résultats des calculs par ce modèle hydrologique (CRU et CRU-IRD) et ceux de la méthode manuelle de Thiessen utilisée par l'équipe de la présente étude, dans le but de mettre en évidence l'efficacité de cette méthode automatique par rapport à la celle manuelle.

D'après le résultat des calculs, l'utilisation de la méthode automatique pour le calcul des pluies moyennes sur les bassins fluviaux est à vulgariser pour suppléer aux méthodes manuelles, même si les écarts relatifs moyens déterminés pour cette étude entre ces pluies CRU et CRU-IRD et celles de Thiessen soient de 25 % pour le Niandan à Baro et 12,4 % pour le Milo à Kankan en utilisant ces grilles. Ces écarts peuvent provenir des erreurs de construction des polygones de Thiessen ou de calculs des coefficients de pondération.

CONCLUSION

Cette étude a permis de confirmer les résultats des études précédentes réalisées dans la sous-région dans le cadre du programme FRIEND-AOC en particulier.

L'analyse des différents graphiques établis sur la base des principaux termes du bilan hydrologique, montre la sévérité de l'impact des changements climatiques sur les régimes hydrologiques des cours d'eau régionaux. Des études antérieures ont déjà mis en évidence le glissement des isohyètes vers le Sud, traduisant ainsi la diminution des hauteurs annuelles précipitées qui varient selon les régions climatiques. Le régime climatique sub-guinéen qui dominait dans la zone d'étude est devenu de plus en plus sec (soudanien).

L'étude a montré que depuis 1970 la sécheresse est continue,

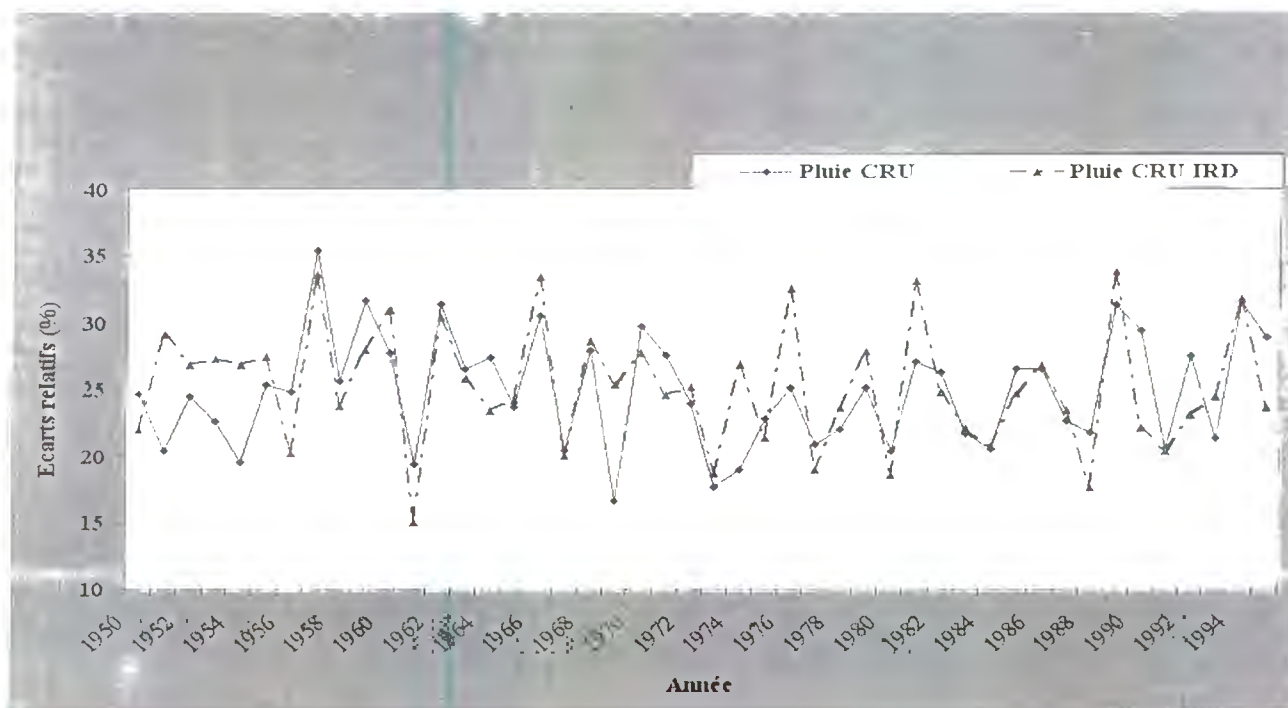


Figure 10. Comparaison des pluies CRU Thiessen et CRU-IRD Thiessen pour le Niandan à Baro

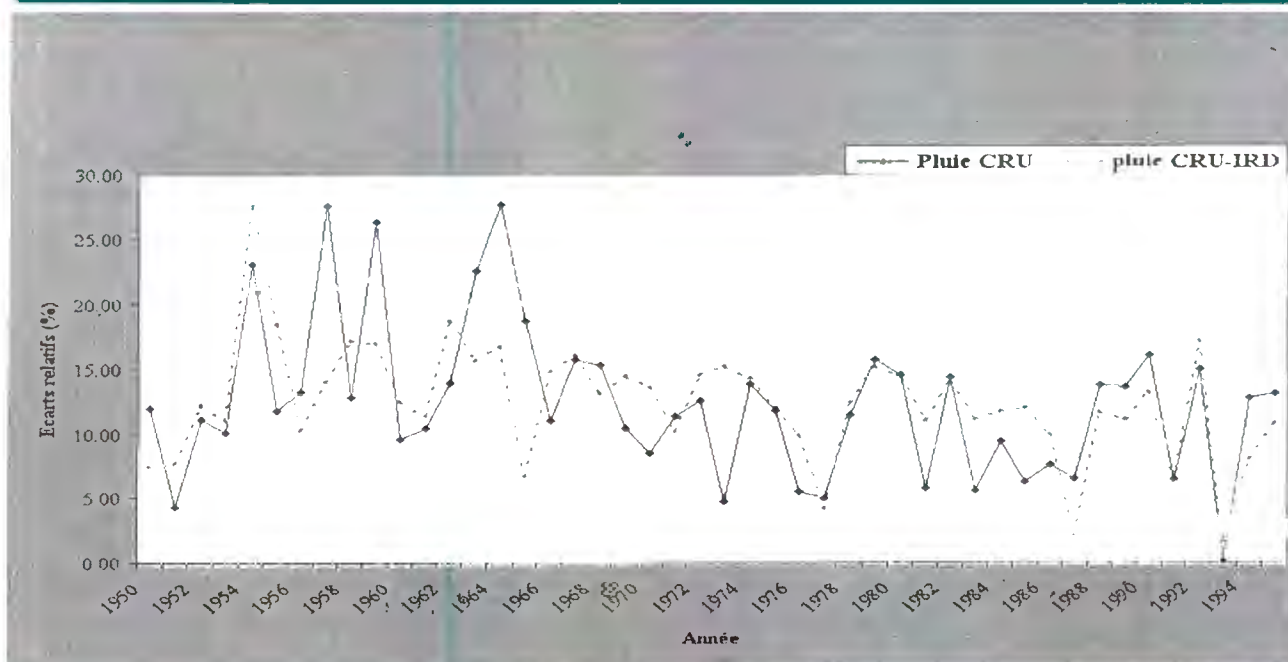


Figure 11. Comparaison des pluies CRU Thiessen et CRU-IRD Thiessen pour le Milo à Kankan

même si durant les années 90 certaines stations ont enregistré une petite reprise des pluies et parfois aussi des écoulements durant quelques années. Les modules standards et les indices

pluviométriques, paramètres qui caractérisent l'abondance ou l'excédent de l'écoulement à la station et de la pluviométrie sur le bassin drainé par celle-ci, évoluent de façon déficitaire à toutes les sta-

tions depuis les années 70 jusqu'en 1994. A partir de 1994, aux stations de Niandan à Baro, Milo à Kankan et Niger à Kouroussa les modules restent déficitaires avec des fluctuations vers des

valeurs moyennes, et ils redeviennent excédentaires quelques années à Siguiri. La pluviométrie a une tendance excédentaire à Siguiri, Kouroussa et Tinkisso alors qu'à Baro et Kankan elle est déficitaire.

La pluviométrie moyenne annuelle et le coefficient d'écoulement sur l'ensemble des bassins étudiés suivent le même rythme d'évolution de 1950 à 1993. A partir 1994, la pluviométrie a eu une tendance excédentaire aux stations de Siguiri, Kouroussa et Tinkisso, avec des coefficients d'écoulement correspondants faibles, qui s'expliqueraient par l'influence du mécanisme de recharge des nappes souterraines profondes à ces stations. Par contre à Kankan et Baro, la pluviométrie continue à baisser ($I_p < 0$) alors que le coefficient d'écoulement reste élevé. Le module standard à toutes les stations reste en général inférieur à zéro pour la même période sauf à Siguiri dont les apports sont soutenus par ceux venant du Tinkisso à Tinkisso.

Cette tendance à la hausse de la pluviométrie ne doit pas nous amener à des conclusions hâtives sur l'évolution à la hausse de la valeur des termes du bilan hydrologique dans les années à venir.

L'ajout de la série 1990-2000 à celle 1951-1989, a permis de constater que le déficit persiste effectivement, mais à des degrés moindres par rapport à celui de la période 1951-89, à certaines stations comme Siguiri, Kouroussa et Tinkisso où la pluviométrie a

une tendance à la hausse alors qu'elle baisse à Baro et Kankan bien que les bassins supérieurs du Niandan et du Milo soient soumis au régime équatorial plus pluvieux du sud de la Guinée ■

BIBLIOGRAPHIE

AISH (1998). Water Ressources Variability in Africa during the XXth Century. Servat E., Hugues D., Fritsch J.M. & Hulme M. (Eds) : Proceedings de la conférence ABIDJAN'98, ORSTOM/AISH/UNESCO. Pub. AISH no 252.

AISH, Publ. 238. Chevallier P. & Pouyaud B. (ed). IAHS. Wallingford (UK), P. 157-166.

Bamba F., Mahé G., Bricquet J.P., Olivry J.C. (1996). Changements climatiques et variabilité des ressources en eau des bassins du Haut Niger et de la Cuvette Lacustre. In : Fritsch J.M., Paturel J.E. & Servat E. (Eds) : Réseaux hydrométriques, réseaux télématiques, réseaux scientifiques : nouveaux visages de l'Hydrologie Régionale en Afrique. XIIèmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM. Montpellier, CD-Rom

Bamba F., Diabaté M., Mahé G., Diarra M. (1997). Bilans hydrologiques pour des affluents majeurs du fleuve Niger : le Bani, le Sankarani, le Tinkisso et le Milo. Atelier Scientifique FRIEND-AOC UNESCO/PHI. Cotonou, 14-15 déc. 1995. Documents Techniques en Hydrologie. UNESCO PHI-V. n°16, pp. 65-82.

Bricquet J.P., Mahé G., Bamba F., Olivry J.C. (1996). Changements climatiques récents et modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro (Mali). Conférence à la Mémoire de Jean Rodier - L'Hydrologie Tropicale. Géoscience et outil pour le développement. Mélanges à la mémoire de Jean Rodier (1914-1994). Paris 3-4 mai 1995.

Bricquet J.P., Bamba F., Mahé G., Touré M., Olivry J.C. (1997). Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. Revue des Sciences de l'eau, 3, 321-337.

Conway D., Mahé G. (sous presse). Riverflow modelling in two large river basins : the Parana (subtropical) and the Niger (tropical). Hydrological Processes Journal.

Hubert P., Carbonnel J.P., Chaouche A. (1989). Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* 110, 349-367.

Hubert P., Servat E., Paturol J. E., Kouamé B., Bendjoudi J.P., Carbonnel J.P., Lubes-Niel H. (1998). La procédure de segmentation dix ans après. In : *Water Resources Variability in Africa during the XXth Century*. (Proc. Abidjan Symp., November 1998), 267-273. IASH Publ. n° 252.

IRD-Orstom (1998) *KhronoStat* version 1.0. Logiciel, Orstom, Montpellier.

Kaba M., Mara F., Songare S., Baro T. (2000). Etude de vulnérabilité et d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques. Projet Changements Climatiques, GUL/97/G33, Direction Nationale de l'Environnement, Ministère des Mines de la Géologie et de l'Environnement Conakry, Rép. de Guinée.

L'Hôte Y., Mahé G., Some B., Triboulet J.P. (2002). Analysis of a Sahelian annual rainfall index updated from 1896 to 2000 : the drought still goes on. *Hydrological Sciences Journal*. vol 47, N° 3 ou 4 (sous presse).

Lubès Niel H., Masson J. M., Paturol J. E., Servat E. (1998). Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Rev. Sci. Eau*, 11-3, 383-408.

Mahé G., Olivry J.C. (1995). Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse*, n° 1, vol 6, 109-117.

Mahé G., Olivry J.C. (1999). Assessment of freshwater yields to the ocean along the intertropical Atlantic coast of Africa. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series IIa*, vol. 328, 621-626.

Mahé G., Olivry J.C., Dessouassi R., Orange D., Bamba F., Servat E. (2000). Relations eaux de surface – eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Série IIa*, 330, 689-692.

Mahé G., L'Hôte Y., Olivry J.C., Wolling G. (2001). Trends and discontinuities in regional rainfall of west and central Africa – 1951-1989. *Hydrological Sciences Journal*, 46, 2, 211-226.

Mahé G., Conway D., Bamba F. (1999). Modélisation du bilan hydrique mensuel du bassin du fleuve Niger. *Séminaire Scientifique FRIEND/AOC-ZTH*, Yaoundé, Cameroun, 30 nov.-2 dec. 1999, 8 p, Edn. UNESCO.

Mahé G., Dray A., Paturol J.E., Cres A., Kone F., Manga M., Cres F.N., Djoukari J., Maïga A.H., Ouedraogo M., Conway D., Servat E. (2002). Climatic and anthropogenic impacts on the flow regime of the Nakambe River in Burkina In : *FRIEND 2002 Regional Hydrology : Bridging the gap between research and practice* (H. Van Lannen and S. Demuth Sci. Eds.), Proc. Friend Conf., Cape Town, South Africa, 2002, IAHS Pub. n° 274, 69-76.

Olivry J. C. (1983). Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégambie et aux Iles du Cap Vert. Examen de quelques séries de longue durée (débits et précipitations). *Cah Orstom, sér Hydrol*, XX-1, 47-69.

Paturol J.E., Servat E., Delattre M.O., Lubes-Niel H. (1998). Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrol. Sci. J.*, 43(6), 937-946.

Strougon J. (1976). Les données hydropluviométriques de la sécheresse régionale en Afrique Inter-tropicale. Comparaison des sécheresses 1913 et 1940. *Cah Orstom, sér Hydrol*, XIII-2, 75-174.