

## **Vulnérabilité climatique et ses conséquences sur les écoulements du Fleuve Sénégal**

**ALIOUNE KANE**

*Université Cheikh Anta DIOP, BP 5005, Dakar-Fann, Sénégal*  
[akane@ucad.sn](mailto:akane@ucad.sn)

**Résumé** Il s'agit de comprendre les mécanismes de quelques paramètres du climat et les conséquences durables de la vulnérabilité climatique sur le régime hydrologique du Fleuve Sénégal. La persistance de conditions climatiques défavorables, la station de Saint-Louis est analysée pour donner un aperçu des variations annuelles de la pluviosité, et la sévérité de la sécheresse actuelle sont nettement perceptibles sur les débits du Sénégal. Les écoulements à Bakel sont pris comme exemple depuis le début du siècle pour illustrer la vulnérabilité des ressources en eau en domaine tropical sec. De grands programmes d'aménagements hydro-agricoles ont été développés dans le but de se libérer de ces contraintes naturelles.

**Mots clés** abondance fluviale; barrage; débit; écoulement; Fleuve Sénégal; irrégularité; péjoration climatique; sécheresse; variabilité climatique

### **The climatic vulnerability of flows on the Senegal River and the consequences thereof**

**Abstract** The paper concerns the understanding of the influence of several climatic parameters and the long-term consequences of climatic vulnerability on the hydrological regime of the Senegal River. Rainfall data at the Saint-Louis station were analysed to give a rough estimate of the annual variation of the rainfall. The persistence of unfavourable climatic conditions and the severity of the current drought are clearly perceptible in the Senegal flow record. The flows at Bakel from the beginning of the century were taken as an example to illustrate the vulnerability of water resources in a dry tropical area. The object of the major programme of agricultural water management that is being developed is to alleviate the problems due to these natural constraints.

**Key words** climate variability; dam; drought; flows; Senegal River

Le Fleuve Sénégal est classé dans les "régimes pluviaux tropicaux humides" qui suivent le rythme pluviométrique saisonnier en mimant avec un faible décalage la répartition des précipitations sur les zones amont d'alimentation. L'irrégularité dans les écoulements constitue la caractéristique principale des fleuves sahéliens, et le Sénégal n'échappe pas à cette règle.

A l'irrégularité interannuelle, s'ajoute celle des débits mensuels, et depuis 1968 (début de la péjoration climatique actuelle), le débit moyen interannuel du Fleuve Sénégal n'a cessé de diminuer avant d'amorcer une remontée avec les grands aménagements sur le fleuve (barrages de Diama et de Manantali).

## ETUDES DE QUELQUES PARAMETRES POUR LE SUIVI DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE

Les variables retenues pour suivre l'évolution climatique dans la vallée du Fleuve Sénégal sont essentiellement les précipitations et l'évaporation.

### Les précipitations sur le bassin versant du Sénégal

Le bassin versant du Fleuve Sénégal se divise en quatre domaines climatiques parallèles, d'orientation est-ouest. On distingue du sud au nord:

- (a) le domaine guinéen:  $P > 1500 \text{ mm an}^{-1}$ ,  $T = 22/24^\circ\text{C}$ ,  $H > 50\%$  et une saison des pluies de huit mois (d'avril à novembre). Le domaine guinéen englobe la quasi-totalité du Fouta Djallon jusqu'à Daïkka-Saïdou.
- (b) le domaine sud-soudanien:  $1500 \text{ mm} < P < 1000 \text{ mm an}^{-1}$ ,  $T > 27^\circ\text{C}$ ,  $H > 50\%$  et une saison des pluies de 6 à 8 mois. Il englobe les contreforts septentrionaux du Fouta Djallon et la partie occidentale des plateaux Mandingues;
- (c) le domaine nord-soudanien:  $1000 \text{ mm} < P < 500 \text{ mm an}^{-1}$ ,  $T > 27^\circ\text{C}$ ,  $H < 50\%$  et une saison des pluies qui dure de 4 à 6 mois. Il s'étend dans la partie restante du haut-bassin jusqu'à la station de Bakel;
- (d) le domaine sahélien:  $P < 500 \text{ mm an}^{-1}$ ,  $T > 30^\circ\text{C}$ ; l'humidité relative généralement comprise entre 40% et 50% pendant la saison sèche, puis augmente et atteint 70–80% dans la saison des pluies. La saison des pluies dure trois mois. Ce domaine climatique s'étend au nord de Bakel et à l'ensemble de la vallée du Sénégal (à l'exception de la zone littorale) et il s'apparente depuis ces quelques 15 dernières années au domaine saharien avec des précipitations inférieures à  $200 \text{ mm an}^{-1}$  (Equesen, 1993).

Le bassin du Fleuve Sénégal est soumis à de grands contrastes sur le plan des précipitations moyennes annuelles. Le gradient climatique est très marqué en latitude par une baisse constante des précipitations: les moyennes interannuelles vont de 1650 mm à Labé et 1900 mm à Mamou, dans le cours supérieur au Fouta-Djallon, à 500 mm à Bakel, 350 mm à Podor et Saint-Louis.

La Fig. 1 qui matérialise les isohyètes moyennes annuelles montre que dans cette région, la pluviométrie est globalement fonction de la latitude. Elle montre:

- (a) La translation méridienne des isohyètes dessinée pour les normales 1931–1960 et 1961–1990.
- (b) Le déplacement vers le sud de l'isohyète 400 mm sur près de 100 km.

Le régime des précipitations se caractérise par une diminution de leur intensité et de leur durée du sud au nord (Kane, 1985). La pluviosité se caractérise par une très grande hétérogénéité spatiale et annuelle. L'irrégularité interannuelle est de règle sur l'ensemble du bassin. Cependant, elle est plus marquée dans la partie la plus septentrionale. Carn (1993) note que les totaux annuels extrêmes ont varié dans un rapport de 1 à 21 à Saint-Louis, de 1 à 4 à Bakel et de 1 à 1.8 à Labé.

Les trois mois d'hivernage (juillet–août–septembre) recueillent près de 85% du total pluviométrique dans le delta et la basse vallée, par contre cette quantité est enregistrée sur une période de cinq à six mois à Bakel et de huit à neuf mois à Labé et

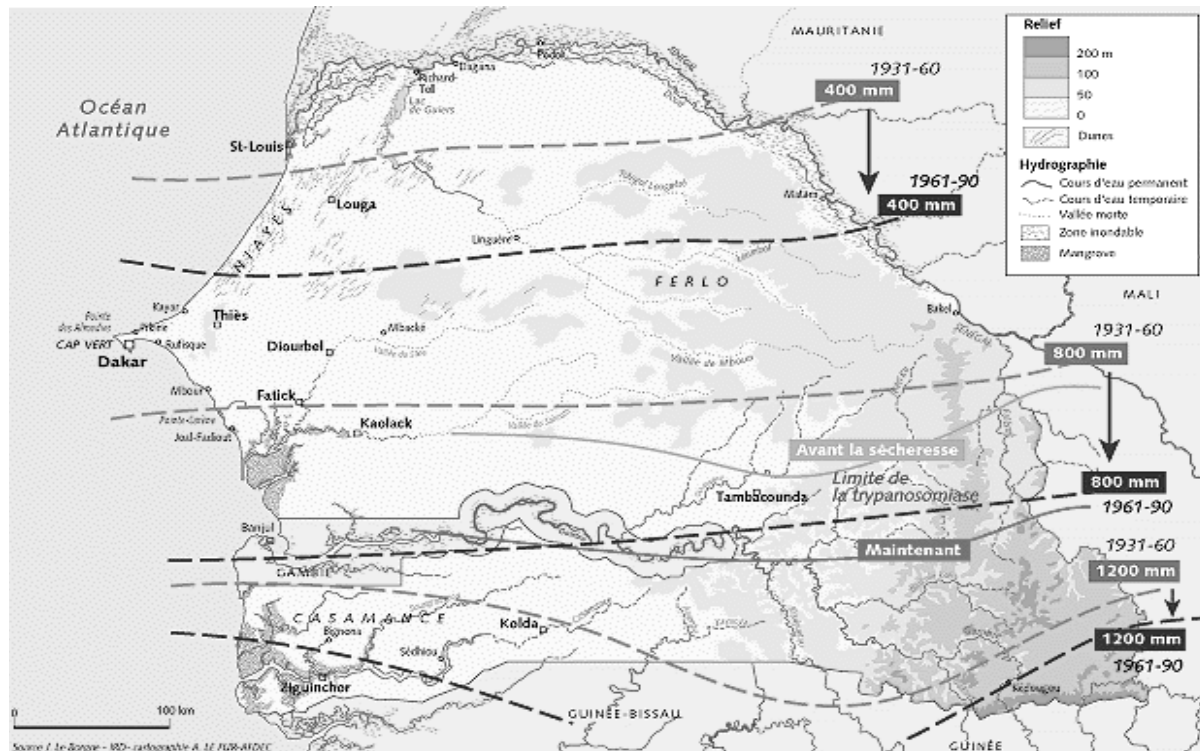


Fig. 1 Carte de translation des isohyètes au Sénégal (IRD 2003).

Mamou. Août est le mois le plus humide pour l'ensemble du bassin: il recueille les 2/5 (entre 35 et 45%) des précipitations des stations sahéniennes et entre 21 et 22% dans les stations du haut-bassin. Ainsi à Saint-Louis, le maximum du mois d'août a été observé en 1949 avec 290.2 mm (maximum absolu) et le minimum se chiffre à 11.6 mm en 1984, pour Bakel, le maximum est relevé en 1957 avec 384.8 mm de pluie et le minimum en 1978 avec 33.3 mm, à Mamou avec 625 mm en août 1922 pour le maximum et 250 mm pour le minimum en 1931. Septembre est le second mois le plus arrosé.

## LA DEGRADATION DES PRECIPITATIONS AUX DIFFERENTES STATIONS DU BASSIN VERSANT

Les données rassemblées ici sont tirées des travaux de Olivry (1982), Kane (1985), Leborgne (1988), et des relevés fournis par les services de la météorologie nationale.

A la station de Saint-Louis, "on dispose de la plus longue série chronologique d'observation des précipitations au Sénégal et en Afrique de l'Ouest". La période d'enregistrement commence en 1854, comprend quelques lacunes et est malheureusement interrompue dans les années 1880. Elle reprend de manière continue de 1892 à nos jours.

La période de 1854 à 1991 est globalement humide avec une moyenne autour de 400 mm, les minima se situent en 1863 avec 141 mm et 1872 avec 182 mm. Une séquence déficitaire de courte durée, en 1888–1889 où Saint-Louis avec 250 mm enregistre un déficit de 28% (Leborgne, 1988).

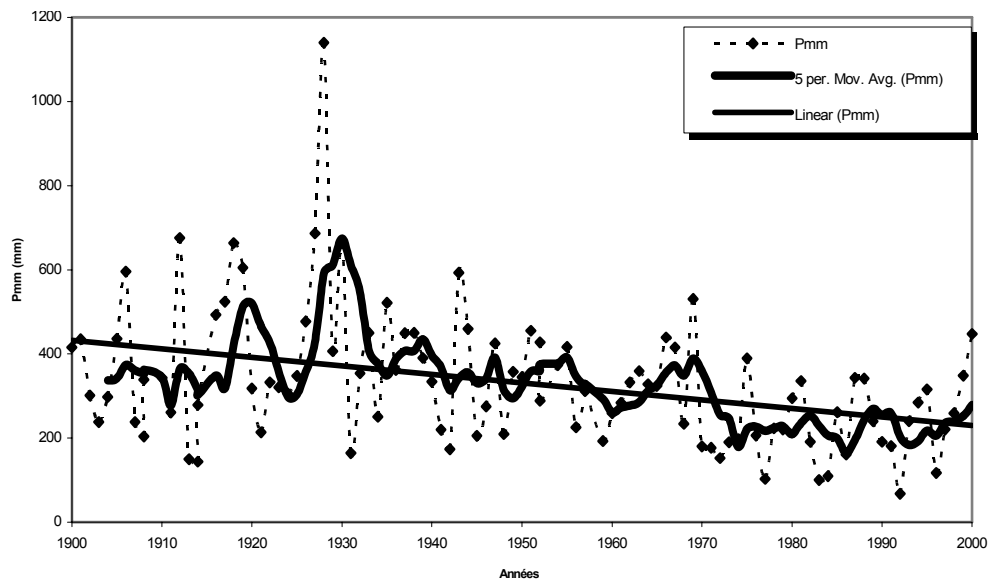


Fig. 2 Pluviométrie et moyennes mobiles annuelles à Saint-Louis (1900–2000).

L'évolution de la pluviométrie montre une très grande irrégularité dans la distribution des précipitations; elle montre plusieurs séquences sèches et humides:

- (a) 1892: à partir de cette date, on dispose de manière continue (à l'exception de quatre années) d'une série complète, soit un siècle d'enregistrement (1892–1992).
- (b) Les 20 années suivantes sont assez fluctuantes avec une moyenne annuelle de 300–350 mm de précipitations. Cependant des années déficitaires s'intercalent dans la période avec 1903 (238 mm) et 1904 (298.1 mm). Une phase excédentaire est notée de 1905 à 1909 (Saint-Louis avec 596 mm en 1906 et un excédent de 71%).
- (c) Une séquence sèche 1910–1914 de très faible pluviométrie ou les pluies tombent au niveau de 150 mm par an entraînant des déficits importants: pour Saint-Louis, les déficits sont de 57% en 1913 et de 59% en 1914. Cette période correspond à une sécheresse de courte durée.
- (d) Une phase excédentaire de 1915 à 1918, Saint-Louis connaît des excédents de 42 à 91%.
- (e) A partir de 1920, des stations sont installés dans le bassin, avec un meilleur suivi de la pluviométrie.
- (f) 1921–1929: on enregistre une diminution relative des précipitations.
- (g) 1922–1938: est une longue série d'années, avec une courte séquence sèche qui culmine en 1931. Les déficits sont de 40% à Podor, 53% à Saint-Louis. Trois années sont fortement excédentaires: 1927, 1933 où Podor enregistre 88%, 1936 avec des excédents de 107 à Matam qui enregistre son record absolu.
- (h) 1939–1949: c'est une décennie sèche: des déficits de 60 à 70% sont enregistrés dans la vallée du Sénégal, 71% à Podor avec 98 mm de précipitations, 50% à Saint-Louis.
- (i) 1950–1958: c'est une période humide, 1950, 1955: Podor enregistre 793 mm, Dagana 630 mm en 1958. Ce sont des années caractérisées par de hautes pluies enregistrées importantes.

- (j) 1964–1967: ce sont des années excédentaires dans l'ensemble.
- (k) La sécheresse des années 1968–à nos jours

La récente sécheresse, selon Frecaut (1981), tire son originalité de trois caractères: une rigueur exceptionnelle entraînant un déficit pluviométrique lui-même exceptionnel en Afrique de l'Ouest, une extension planétaire, et une durée "anormalement" longue sur plus de 30 ans.

A partir de 1970, la sécheresse est quasi-générale. Le déficit pluviométrique est modéré et varie de 10 à 30% dans les régions septentrionales (avec des pointes à Saint-Louis, 180 mm de pluie soit 55% de la normale, et Matam: 280 mm soit 52% de la normale).

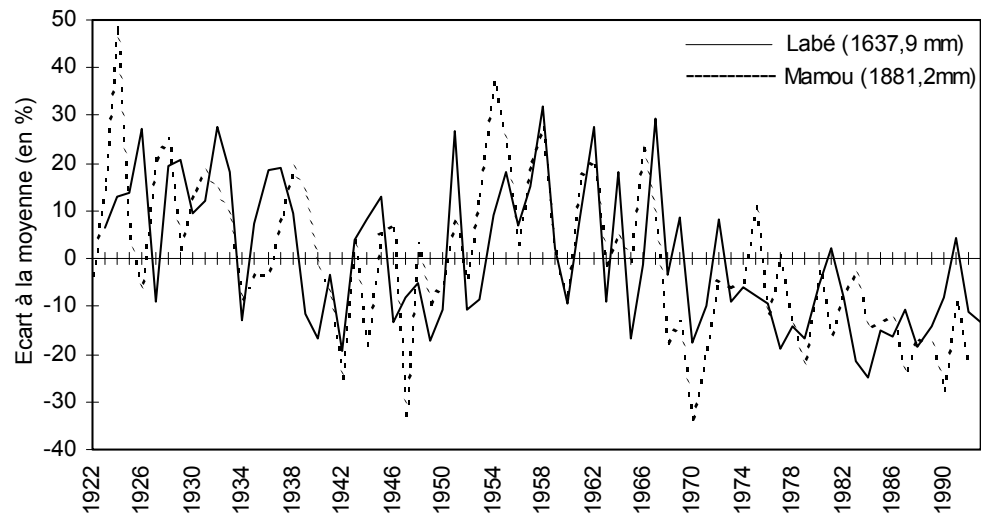
Pour les années récentes, nous avons établi pour sept stations de la vallée l'évolution de la pluviométrie:

- (a) A Saint-Louis, seules deux années (1969 et 1975) sont excédentaires. Les écarts à la normale sont importants (–39% en 1979, –44% en 1982) et les périodes de récurrences sont comprises entre 8 et 12 ans, moins sévères que celle de l'année 1972 qui est de 20 ans.
- (b) A Podor, l'année 1972 constitue également le cœur de la sécheresse. L'année 1981 (écart à la normale –52%) a une période de 20 ans, tandis que 1982 (–41% d'écart à la normale) a une fréquence décennale sèche.
- (c) A Matam, le déficit est sévère pour les dernières années, mais en comparaison il est plus important en 1972 (écart à la normale de –62%). L'année 1980 est l'une des plus faibles (écart à la normale –52%) avec une période de retour de 20 ans. Le déficit est élevé en 1982 (–39% par rapport à la normale).
- (d) A Bakel, 1976 (écart à la normale de –35%) avec 1984 (écart à la normale de –49%) et 1992 (écart à la normale de –33%) font partie des années du plus important déficit pluviométrique de toute la période d'observation de cette station. On note cependant une diminution des déficits au cours de ces dernières années (écart à la normale de –17% en 1981 et de –10% en 1982, de –2% en 1991 et même des années excédentaires comme 1988 avec +33%).
- (e) Sur l'ensemble du bassin du Fleuve Sénégal, la sécheresse persiste en 1983 et 1984 avec une forte intensité; le taux du déficit à toutes les stations est de 20 et 50% de la situation normale, les isohyètes sont décalées par rapport à la moyenne de 50 à 150 km vers le sud.
- (f) L'année 1983 est qualifiée par Leborgne (1988), "d'année d'anomalies climatiques dans le monde entier et dans la vallée": soit des déficits de 77% à Podor. L'isohyète 100 descend de 400 à 500 km et passe en deçà de Saint-Louis, Dagana et Podor.
- (g) En 1984, l'isohyète 100 mm se maintient toujours au nord de la vallée: Podor enregistre 81% de déficit.

Les hauteurs annuelles des précipitations annuelles montrent une tendance à la baisse généralisée, particulièrement accusée depuis 1968, avec des valeurs presque toujours inférieures aux médianes selon Olivry (1982). Saint-Louis enregistre son maximum de déficit en 1992 soit –82.5% beaucoup plus élevé que les déficits de 1983 et de 1977 (–70%). Les années les plus sèches à Dagana et à Podor ont été respectivement 1984 (–79%) et 1972 (–62%). Pour la station nord-soudanienne de Bakel le

**Tableau 1** Evolution récente des hauteurs de précipitations annuelles (mm) sur quelques stations du Fleuve Sénégal.

Stations	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	An
Saint-Louis	1.82	2.09	0.49	0.07	1.27	13.1	51	139	99.8	24	1.46	2.64	337
Dagana	0.75	1.33	0.1	0.1	1.8	12.3	45.95	114.9	80.64	19.5	1.2	1.48	280
Podor	0.75	1.47	0.57	0.12	1.46	13.40	54.4	105.6	76.27	17.61	1.57	1.20	274.8
Matam	3.74	6.51	3.56	10.7	7.84	38.16	105.7	174.2	105.3	28.44	2.47	11.12	450.6
Bakel	0.80	0.43	0.04	0.20	5.9	46.2	114.9	176.6	116.3	27.3	2.5	1.6	492.7
Labé	1.85	2.51	9.26	41.2	141.4	243.4	332.4	360	296.3	165.0	37.03	7.74	1638
Mamou	4.44	6.1	33	89	172	220.6	314	421	351	220	56.2	7.2	1881

**Fig. 3** Variations pluviométriques dans le haut bassin du Fleuve Sénégal.

déficit maximum est relevé en 1984 soit  $-49\%$  tandis que dans les stations du domaine guinéen les minimum n'atteignent jamais  $30\%$  soit encore 1984 pour Labé ( $-25\%$ ) et  $-28\%$  pour Mamou en 1991.

## VARIATIONS INTERANNUELLES DES PRÉCIPITATIONS

La Fig. 3 illustre les variations des déficits où des excédents pluviométriques mesurés par rapport à la moyenne pour les deux stations du haut bassin (Labé, 1637,9 mm et Mamou, 1881,2 mm).

On distingue nettement deux périodes: la première, de 1951 à 1968, contient un grand nombre d'années excédentaires, la seconde, de 1969 à nos jours, est quasiment toujours déficitaire. La station de Saint-Louis qui dispose de la plus longue série d'observation montre des déficits importants entre 1900 et 1915. Les déficits sont plus accusés dans le nord que dans le sud du bassin. La variabilité interannuelle de la précipitation est d'autant plus forte que la station est au nord. Les déficits pluviométriques annuels sont plus importants dans la région sahélienne, les valeurs maximales sont enregistrées à Saint-Louis en 1983 avec  $-70.41\%$  et  $-82.49\%$  en 1992,

−79.32% en 1984 à Dagana, −74.75% en 1983 et −75.51% en 1984 à Podor. Dans la moyenne et la haute vallée, les déficits avoisinent les 50%; le maximum pour Matam est de −63.22% en 1991 et pour Bakel de −52.88% en 1921 et −52.65% en 1958. Les plus importants déficits dans le haut bassin sont enregistrés à Labé en 1983 soit −25.12% et à Mamou en 1970 soit −34.19%. Pour Olivry (1993), certains indices régionaux (Lam, 1985; Nicholson *et al.*, 1988) montrent également cette dégradation constante. Une amélioration récente a été observée mais reste encore très relative puisque les précipitations annuelles sont toujours déficitaires.

### L'évaporation

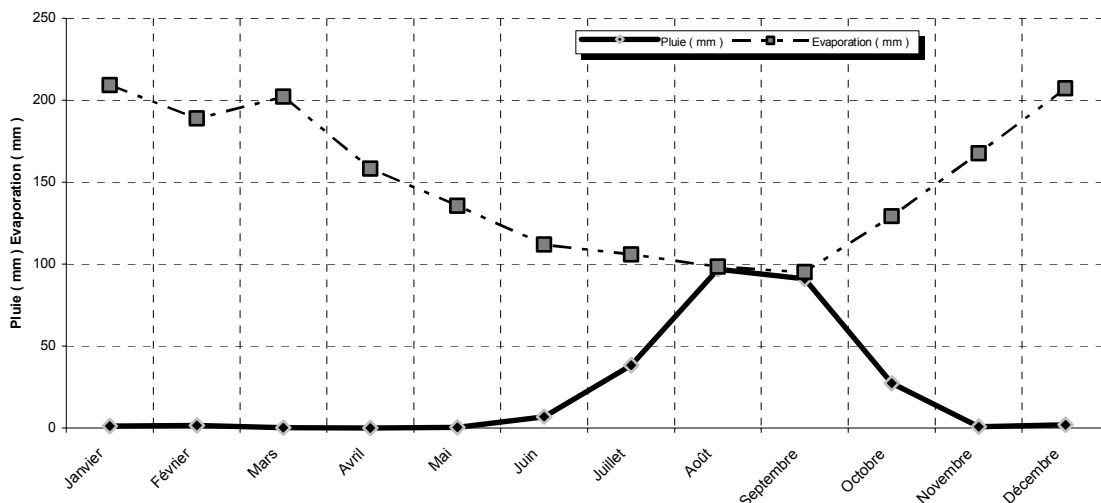
Le climat du bassin du Sénégal est fortement nuancé depuis les marges atlantiques jusqu'au coeur du continent vers Podor et Bakel. L'évaporation annuelle sur l'ensemble de la vallée est de l'ordre de 3000 mm, la tranche d'eau évaporée est importante: 1809 mm à Saint-Louis; 2904 mm à Podor, 3450 mm à Guédé; 3200 mm à Matam; 3854 mm à Kaédi (Kane, 1997).

L'évaporation est minimale pendant la saison des pluies en raison de l'importante couverture nuageuse, de l'humidité de l'air élevée correspondant à une pénétration maximale de la mousson, de la baisse des températures, et de l'insolation faible. L'évaporation augmente et décroît en sens inverse des précipitations: elle n'est compensée par les pluies que pour les seuls mois d'août et de septembre aux seules stations de Matam, Podor et de Saint-Louis.

Le bilan de l'eau est donc négatif, partout les quantités d'eau précipitées sont inférieures et de loin d'ailleurs, à la normale de l'évaporation (Kane, 1985).

### L'INSTALLATION DE L'ARIDITE DANS LA VALLEE

L'indice de sécheresse s'obtient à partir du rapport entre le total pluviométrique et l'évapotranspiration. Il permet de caractériser la détérioration climatique d'une zone. Sa



**Fig. 4** Moyennes mensuelles de l'évaporation et de la pluviométrie à Saint-Louis (1951–1996).

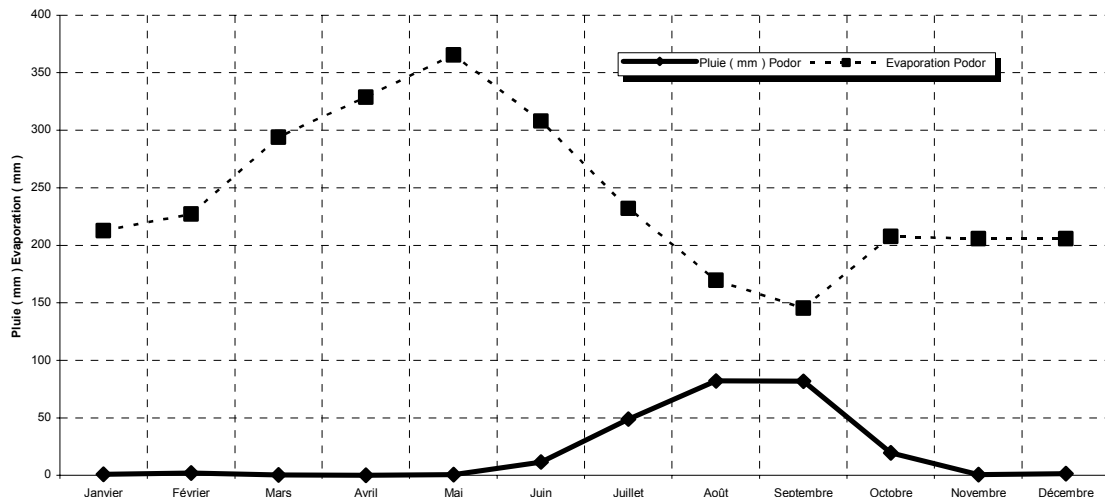


Fig. 5 Moyennes mensuelles de l'évaporation et de la pluviométrie à Podor (1951–1996).

Tableau 2 Indice de sécheresse de quelques stations du bassin du Fleuve Sénégal.

Station	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–1996	1961–1996
Bakel	0.28	0.25	0.24	0.26	0.25
	Semi-aride	Semi-aride	Aride	Semi-aride	Semi-aride
Matam	0.24	0.15	0.18	0.17	0.19
	Aride	Aride	Aride	aride	aride
Podor	0.13	0.09	0.08	0.09	0.10
	Aride	Aride	Aride	Aride	Aride

Source: Projet Ecossen, janvier 2000.

formule s'écrit comme suit:

$$IS = (P)/ETP$$

$P$  est précipitation annuelle (mm); et  $ETP$  est l'évapotranspiration potentielle annuelle selon la formule de Penman.

L'indice de sécheresse reflète ainsi l'évolution de la pluviométrie. La vallée du Fleuve Sénégal reste marquée par l'aridité qui évolue parfois en hyper aridité (cas de Podor en 1983). La réduction des précipitations, la disparition de la végétation, le passage à un régime torrentiel sont autant de facteurs annonciateurs d'un dessèchement progressif et de modification des conditions climatiques. Ils entraînent: la diminution des eaux de surface, la transformation du réseau hydrographique, autrefois étendu, fonctionnel et régulièrement alimenté, en vallées asséchées livrées au colmatage par l'avancée des sables, la réduction des réserves souterraines, la recharge des nappes est insuffisante et leur niveau baisse, la disparition de la biodiversité.

## VARIABILITE DES ECOULEMENTS DU FLEUVE SENEGAL

La persistance de conditions climatiques défavorables et la sévérité de la sécheresse actuelle sont nettement perceptibles sur les écoulements du Sénégal. Cette variabilité



spatio-temporelle des précipitations est corrélative à une variabilité des écoulements qui est surtout visible à travers une comparaison interannuelle.

A Bakel, les écoulements les plus abondants ont été observés en 1924–1925 ( $39.3 \times 10^9 \text{ m}^3$  à Bakel), les plus faibles ont été enregistrés au cours des cycles 1983–1984 ( $6.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ ) et en 1984–1985, l'écoulement est le plus faible du siècle avec un module moyen annuel de  $218 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , soit 6.4 milliards de  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Bakel.

## VARIABILITE DE L'ABONDANCE FLUVIALE A BAKEL

La variabilité interannuelle sera analysée à la station hydrométrique de Bakel, station de référence. En effet, les apports en aval de cette station sont négligeables, les principaux affluents (Bafing, Falémé, Baoulé et Bakoye) se rejoignent en amont, les précipitations locales sont relativement faibles dans la vallée.

La Fig. 6 présente les débits moyens annuels du Fleuve Sénégal à Bakel (1904–2003) et est caractérisée par une forte variabilité interannuelle qui dégage une impression globale de baisse des écoulements illustrée par la courbe des moyennes mobiles sur 10 ans, avec une forte baisse des débits moyens à partir de 1950 et qui s'est aggravée dans es années 70, avant de subir une légère remontée vers les années 90.

Les variations observées dans les écoulements du Sénégal depuis le début du 20ème siècle mettent en évidence, à l'amont comme à l'aval la succession de périodes humides (avant 1910, de 1919 à 1939, et de 1950 à 1967) et des périodes arides (de 1911–1918, 1940–1949 et depuis 1968) et depuis 1986, les effets des barrages avec les crues artificielles.

Les valeurs maximales des modules annuels ont été observées à Bakel au cours des cycles hydrologiques 1967–1968 ( $1327 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) et 1924–1925 ( $1281 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Les modules les plus faibles ont été enregistrés depuis le début des enregistrements à Bakel au cours des cycles 1984–1985 ( $218 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) et 1983–1984 ( $220 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), et sont

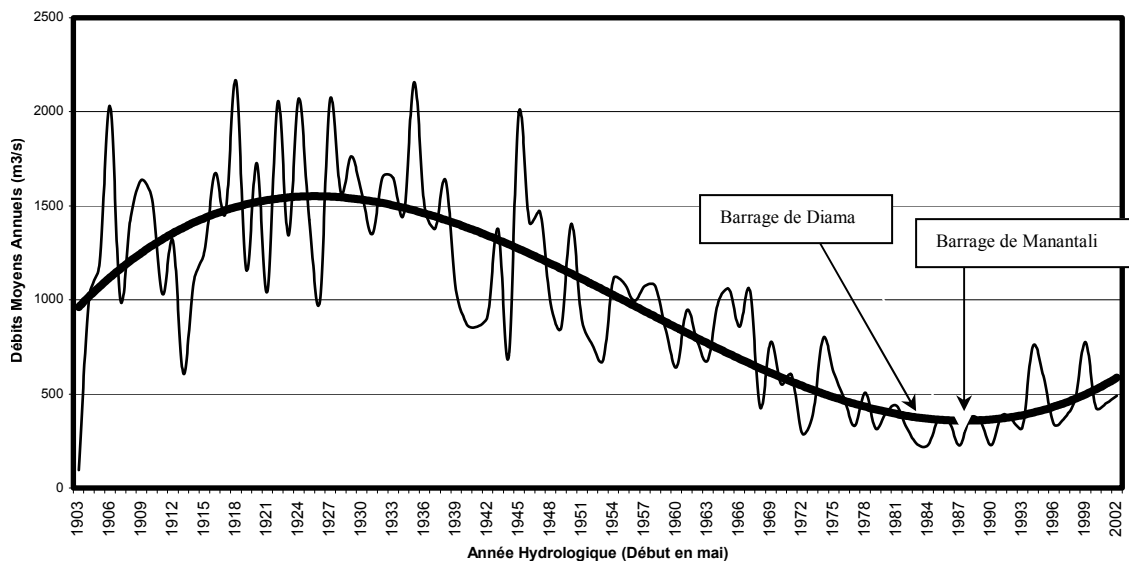


Fig. 6 Débits moyens annuels du Fleuve Sénégal à la station de Bakel (1903–2003).

comparables à ceux de 1987–1988 ( $221 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) et 1990–1991 ( $235 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) suite à la rétention des eaux dans le lac de retenue de Manantali.

Depuis le début du siècle, en 1903–1904 jusqu'à nos jours, le module moyen annuel à Bakel est de  $672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , représentant un écoulement moyen annuel de 22 milliards de  $\text{m}^3$ ; 94% de cet écoulement transite de juillet à novembre.

### L'ANALYSE DES DEBITS (MOYENNE MOBILE DE 10 ANS) DU SENEGAL A BAKEL

Depuis le début des enregistrements, les débits moyens à Bakel ont varié dans un rapport de 1 à 6, les valeurs maximales ont été observées au cours des cycles 1967/68 ( $1325 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) et 1924/25 ( $1275 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Les écoulements les plus faibles ont été enregistrés au cours des cycles 1984/85 ( $216 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) et 1983/84 ( $218 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) (Gac & Kane, 1986).

L'évolution des écoulements du Fleuve Sénégal depuis le début du siècle montre:

- (a) les séquences humides se détachent avec trois périodes: avant 1910, de 1916 à 1938, et de 1948 à 1970
- (b) trois épisodes secs apparaissent: de 1911 à 1917, de 1939 à 1947 et de 1971 à nos jours.

Cette dernière remarquable par la durée (plus de 30 ans) et par l'ampleur du déficit (module moyen de  $379 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  contre  $675 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  pour la période 1904–1992, soit un déficit de 41%, concentre 18 des 20 plus faibles modules annuels observés entre 1903 et 2003. Depuis 1968 (Kane & Gac, 1985) ont montré que le module moyen interannuel du Fleuve Sénégal n'a pas cessé de diminuer: de  $771 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1968, il est successivement passé à  $765 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1971, à  $747 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1975, à  $736 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1977, à  $733 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1979 (Faure & Gac, 1987), pour s'établir à  $715 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1983,  $705 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1989, à  $680 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1992 soit après un siècle d'enregistrement des débits,  $675 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1994, et enfin à  $672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1995/96. Cependant, depuis quelques années, on assiste à des conditions climatiques beaucoup plus clémentes.

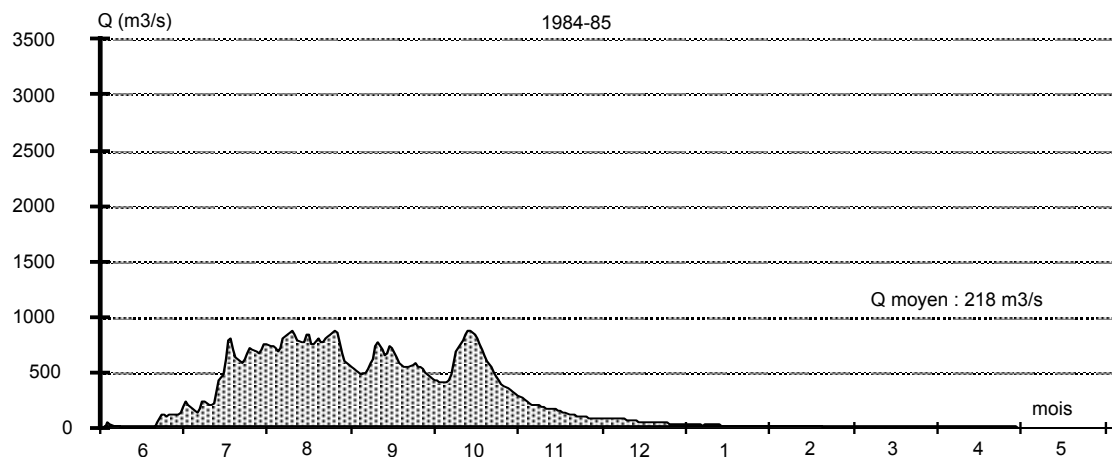


Fig. 7 Les débits du Fleuve Sénégal à Bakel en 1984–1985.

## GRANDS AMENAGEMENTS ET DISPONIBILITE DES RESSOURCES EN EAU

Afin d'atténuer cette variabilité et d'utiliser au mieux les ressources en eau du Fleuve Sénégal, l'Organisation pour la Mise en valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) s'est dotée de nombreux aménagements, dont deux majeurs: les barrages de Diama et de Manantali.

Le barrage de Diama réalisé de 1981 à 1986 a pour effet d'empêcher la remontée de l'eau de mer. De plus, les endiguements réalisés en rives droite et gauche ont permis de créer une retenue importante (250 millions de m<sup>3</sup> à la cote 1.5 m) et d'améliorer sensiblement le remplissage des lacs de Guiers (Sénégal), de R'kiz ainsi que de la dépression de l'Aftout-es-Sahel en Mauritanie.

Le barrage de Manantali, assure le stockage de 11.5 milliards de m<sup>3</sup>, et a actuellement un rôle régulateur. Il permet de maintenir toute l'année, un débit supérieur à 200 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> nécessaire aux besoins de l'agriculture irriguée et assure un soutien à la crue naturelle des affluents non régularisés.

Dans le régime régularisé du Fleuve Sénégal, le fonctionnement du système est désormais tributaire de la pluviométrie dans le haut bassin, mais aussi des options de gestion des barrages.

La gestion artificielle des écoulements du Bafing et du réservoir de retenue a une incidence sur les valeurs mensuelles des débits à Bakel. Des "anomalies" sont particulièrement visibles à la décrue et à l'étiage où apparaissent de petites pointes de crue dues aux lâchers du barrage: elles sont tributaires de la gestion du barrage, à cette époque il n'y a pratiquement pas d'écoulements dans les autres collecteurs.

Les importants déficits du Fleuve Sénégal au cours des dernières années sont relevés, mais aussi "la particularité (étiages soutenus) des crues artificielles engendrées par le barrage de Manantali". Les débits moyens mensuels du Fleuve Sénégal à Bakel

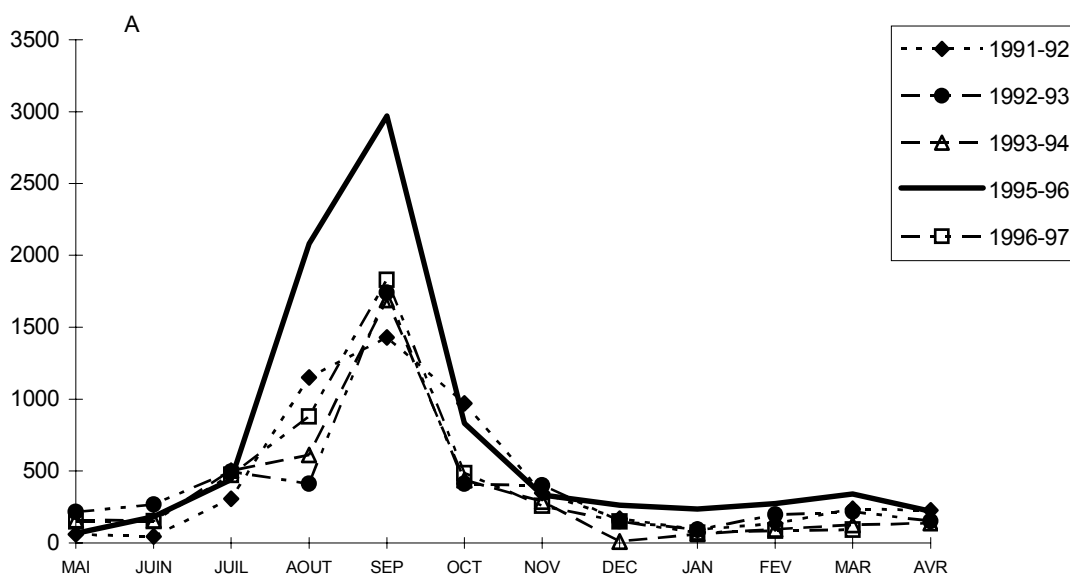


Fig. 8 Evolution de l'hydrogramme de crue à Bakel après la mise en service du barrage de Manantali.

se présentent ainsi: de 1903 à 1995: ensemble des observations (module interannuel =  $672 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ); de 1972 à 1995: 24 cycles hydrologiques ( $473 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ : déficit moyen de 30%); de 1988 à 1995: huit crues artificielles ( $541 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ : déficit moyen de 20%).

Il faut souligner que le caractère exceptionnel de la sécheresse actuelle qui dure depuis 1968 à nos jours à l'exception de quelques années, transparait dans les écoulements: les années sont largement déficitaires et depuis 1979, le déficit à l'amont comme à l'aval du bassin est supérieur à 40%. La situation est plus sévère pour les années 1983–1987, classées parmi les dix années les plus déficitaires du siècle.

## CONCLUSION

Le régime hydrologique du fleuve garde ses caractéristiques moyennes définies pour la période récente de sécheresse. Les écoulements ne sont pas exceptionnels mais simplement mieux répartis sur l'année. L'artificialisation du régime du fleuve, s'est traduite entre autre par une amélioration de la disponibilité des ressources en eau avec des conséquences bénéfiques sur l'ensemble de l'hydrosystème. La gestion artificielle des écoulements depuis le haut bassin a une incidence notable sur les hauteurs d'eau et les débits à Bakel et dans toutes les stations de la vallée. Un soutien conséquent et continu des débits est assuré depuis l'avènement des barrages, avec un écoulement garanti toute l'année à Bakel.

## BIBLIOGRAPHIE

- EQUESEN (1993) Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal, Rapport final, 6 Tomes 12 chap., Projet CEE/ORSTOM/UCAD/ISRA, Dakar, Senegal. *Doc. Multigr.*
- ECOSSEN (2000) Ecographie du Sénégal subsaharien et développement; dynamique des espaces ruraux des années 1950 à 2015. IFAN/UCAD.
- Gac J. Y. & Faure, H. (1987) Le "vrai" retour à l'humide au Sahel est il pour demain? *CR Acad. Sciences* **305**, sér. II, 777–780.
- Gac J. Y. & Kane, A. (1986) Le fleuve Sénégal. I: Bilan hydrologique et flux continentaux de matières particulaires à l'embouchure. *Sciences Géologiques* **39**(1), 99–130.
- Kane, A. (1985) Le bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particulaires. Invasion marine dans la vallée du fleuve. Contribution à l'hydrologie fluviale en milieu tropical humide et à la dynamique estuarienne en domaine sahélien. Thèse Doctorat 3ème cycle, Univ. Nancy II, France.
- Kane, A. (1997) L'après-barrages dans la vallée du fleuve Sénégal: Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Dakar, Sénégal.
- Leborgne, J. (1988) La pluviométrie au Sénégal et en Gambie. UCAD, Département de Géographie, Laboratoire de climatologie.
- Olivry, J. C. (1982) Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux Iles du Cap-Vert. Orstom, Dakar, Sénégal.
- 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). *Cah. Orstom sér. Hydrologie* **20**(1), 47–70.