

Influence de la manifestation climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du Sénégal

Influence of climate on seasonal rainfall patterns in the upper watershed of Senegal

Abdoulaye Faty, Alioune Kane and Amadou Lamine Ndiaye

Volume 30, Number 2, 2017

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1042915ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1042915ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Faty, A., Kane, A. & Ndiaye, A. L. (2017). Influence de la manifestation climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du Sénégal. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 30(2), 79–87. <https://doi.org/10.7202/1042915ar>

Article abstract

Climate variability, particularly rainfall in West Africa in general and in the Sahel-Saharan region in particular, is well established. However, variables related to rainfall such as the frequencies of rain days and the durations of wet seasons have generally been very little studied. This study aims to investigate the influence of climatic events on seasonal rainfall patterns in the upper watershed of the Senegal River. Firstly, this involves the characterization of the overall situation from an analysis of the air temperature, the relative humidity of the air and the variation of rainfall indexes, and secondly the comparison of normal monthly rainfall over the period 1955-2014 in order to identify the behaviour of seasonal rain patterns in the context of climate variability. The conclusion is that air temperature and relative humidity are factors in the temporal variability of seasonal rainfall patterns in the upper watershed of the Senegal River.

INFLUENCE DE LA MANIFESTATION CLIMATIQUE SUR LES RÉGIMES PLUVIOMÉTRIQUES SAISONNIERS DANS LE HAUT BASSIN VERSANT DU SÉNÉGAL

Influence of climate on seasonal rainfall patterns in the upper watershed of Senegal

ABDOULAYE FATY^{1*}, ALIOUNE KANE¹, AMADOU LAMINE NDLAYE²

¹Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, BP 5005 Dakar, Sénégal

²Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal, Rocate FANN Bel-Air, Cerf-volant, BP 3152, Dakar, Sénégal

Reçu le 15 septembre 2015, accepté le 7 décembre 2016

RÉSUMÉ

La variabilité climatique, notamment pluviométrique, en Afrique de l'Ouest en général et en zone sahélo-saharienne en particulier, présente d'énormes conséquences pour le développement socio-économique. Cependant, des variables de pluie, de températures, d'humidités relatives et de débits constituent les données à étudier dans le cadre de la variabilité du climat. Cette étude a pour objectif de rechercher l'influence de la manifestation climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal. D'une part, il s'agit de caractériser la manifestation climatique à partir de l'analyse de la température de l'air, l'humidité relative de l'air, la variation des indices pluviométriques et, d'autre part, il est question de comparer les normales pluviométriques mensuelles sur la période 1955-2014 afin de dégager le comportement des régimes pluviométriques saisonniers dans le contexte de variabilité climatique. On conclut que la température de l'air et l'humidité relative de l'air sont des facteurs de la variabilité temporelle des régimes pluviométriques saisonniers dans le

haut bassin versant du fleuve Sénégal.

Mots-clés: *Haut bassin versant, variabilité climatique, indice standardisé des précipitations, régime pluviométrique, hydrologie.*

ABSTRACT

Climate variability, particularly rainfall in West Africa in general and in the Sahel-Saharan region in particular, is well established. However, variables related to rainfall such as the frequencies of rain days and the durations of wet seasons have generally been very little studied. This study aims to investigate the influence of climatic events on seasonal rainfall patterns in the upper watershed of the Senegal River. Firstly, this involves the characterization of the overall situation from an analysis of the air temperature, the relative humidity of the air and the variation of rainfall indexes, and secondly the comparison of

normal monthly rainfall over the period 1955-2014 in order to identify the behaviour of seasonal rain patterns in the context of climate variability. The conclusion is that air temperature and relative humidity are factors in the temporal variability of seasonal rainfall patterns in the upper watershed of the Senegal River.

Key Words: *Upper watershed, climate variability, standardized precipitation index, rainfall patterns, hydrology.*

1. INTRODUCTION

Le cycle de l'eau étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de ses changements sur les régimes pluviométriques sont importantes. Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur les autres paramètres du climat. Caractériser l'impact de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers devient alors indispensable pour proposer des solutions adaptées aux projets de développement. D'après ARDOIN *et al.* (2003) et BODIAN *et al.* (2011), la variabilité des conditions climatiques en Afrique de l'Ouest et Centrale en général, et dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal en particulier, n'est plus à démontrer. Elle a d'abord affecté le Nord puis progressivement s'est étendue vers le Centre et enfin sur la zone guinéenne. Ces anomalies pluviométriques constatées depuis près de quatre décennies ont engendré d'énormes problèmes socio-économiques dans les régions nord et centre du bassin. Mais en réalité, l'ensemble du bassin présente une vulnérabilité importante aux déficits pluviométriques. Les études récentes de KOUASSI *et al.* (2011) montrent la variabilité climatique en tant que phénomène qui a été étudié et caractérisé. La question la plus importante, tant pour l'Afrique de l'Ouest que dans les autres régions du monde, est la recherche de facteurs explicatifs. La plupart des études climatiques réalisées se sont limitées à l'analyse des données pluviométriques annuelles ou mensuelles. Compte tenu des difficultés d'acquisition des données quotidiennes dans le bassin, l'étude des fréquences de jours de pluie est quasi absente. En effet, le bassin versant, étiré en latitude, est une zone de transition entre des climats différents.

La zone d'étude est le haut bassin versant du fleuve Sénégal (Figure 1) compris entre les longitudes $-12^{\circ}30'$ et $-9^{\circ}30'$ O et les latitudes $10^{\circ}30'$ et $12^{\circ}30'$ N. Le haut bassin versant du fleuve Sénégal occupe une superficie de 218 000 km². De par sa configuration géographique allongée, le bassin versant est

représentatif des grands ensembles climatiques de la Guinée, du Mali et une partie du Sénégal. Il est caractérisé par des précipitations moyennes annuelles entre 1 400-2 000 mm (zone sud du bassin) et 500-1 400 mm (zone nord). Cet article est divisé en trois parties. Les données sont présentées dans un premier temps. Ensuite, les méthodes utilisées sont décrites et explicitées. Enfin, les résultats obtenus utilisant ces données et méthodes sont présentés.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 Matériels

Les données utilisées doivent respecter deux critères importants : d'une part, la longueur des chroniques (couvrir la plus longue période de temps possible) et, d'autre part, la qualité des données. Ainsi un certain nombre de stations pluviométriques a été retenu. Elles présentent des séries de données recueillies sur plus de 50 ans (de 1955 à 2014) et assurent une bonne couverture du bassin. On s'intéresse tout particulièrement au haut bassin du Sénégal en amont de la station hydrométrique de Bakel (Figure 1). Ce secteur est considéré comme représentatif des zones guinéennes, soudaniennes, sahéliennes et subsahéliennes. Les données ont été homogénéisées par la méthode des doubles cumuls de BRUNET-MORET (1977) et les lacunes comblées en utilisant les régressions linéaires entre postes voisins.

Quatre stations hydrométriques ont été utilisées : Oualia sur le Bakoye, Bafing-Makana sur le Bafing, Kidira sur la Falémé et Bakel sur le Sénégal. Les débits sur le Bafing et le Sénégal sont influencés par le barrage de Manantali. La méthode du double cumul a permis d'obtenir des données de débits de très bonne qualité. L'ensemble des données nous a été fourni par l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal.

2.2 Méthodes

Trois approches ont été appliquées pour apprécier la sécheresse dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal, soient l'Indice standardisé des précipitations (SPI), l'Indice d'humidité climatique (CMI) et la segmentation d'Hubert, qui permettent d'avoir un rapide aperçu des phénomènes aussi complexes que la variabilité hydroclimatique.

D'après ERIKSEN *et al.* (2006), les trois approches facilitent la comparaison des situations à différentes périodes et donc la mise en évidence d'éventuelles évolutions. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel Khronostat. Les résultats ont été spatialisés avec le logiciel Surfer.

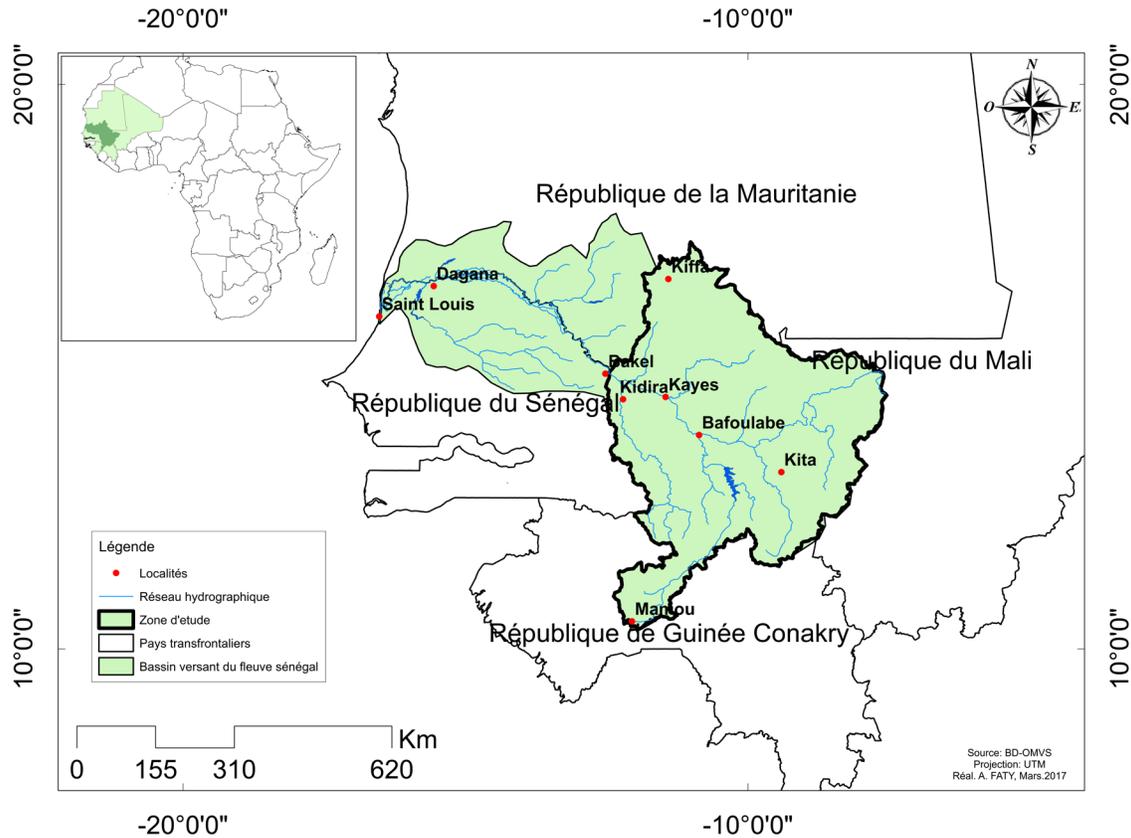


Figure 1. Localisation du haut bassin versant du fleuve Sénégal.
Location of the upper Senegal River Watershed.

2.2.1 Indice standardisé des précipitations (SPI)

L'Indice standardisé des précipitations (SPI) créé par MCKEE *et al.* (1993) répond à la formule suivante :

$$SPI = \frac{X_i - X_m}{S_i} \tag{1}$$

où X_i est le cumul de la pluie pour une année i , X_m et S_i sont respectivement la moyenne et l'écart-type des pluies annuelles observées pour une série donnée.

D'après BERGAOUI et ALOUINI (2001), ARDOIN-BARDIN *et al.* (2004) et ALI et LEBEL (2009), cet indice pluviométrique définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (Tableau 1). Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie et les valeurs positives, une situation humide.

2.2.2 Indice d'humidité climatique (CMI)

Pour une compréhension du stress hydrique dans le bassin, nous avons utilisé les jeux de données d'évapotranspiration de pluies mensuelles, afin d'en extraire une information grâce au CMI (Tableau 2). Pour compléter l'analyse de la sécheresse réalisée à l'aide du SPI et du CMI, nous avons appliqué la méthode de segmentation d'Hubert (HUBERT *et al.*, 1989).

Tableau 1. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice standardisé des précipitations (SPI).

Table 1. Classification of the drought in relation to the value of the Standardized Precipitation Index (SPI).

Classes du SPI	Degré de la sécheresse
SPI > 2	Humidité extrême
1 < SPI < 2	Humidité forte
0 < SPI < 1	Humidité modérée
-1 < SPI < 0	Sécheresse modérée
-2 < SPI < -1	Sécheresse forte
SPI < -2	Sécheresse extrême

Tableau 2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice d'humidité climatique (CMI).

Table 2. Classification of the drought relation to the value of the Climate Moisture Index (CMI).

Classes du CMI	Degré de sécheresse
CMI > 0	Zone humide
-0,6 < CMI < 0	Zone semi-aride
CMI < -0,6	Zone aride

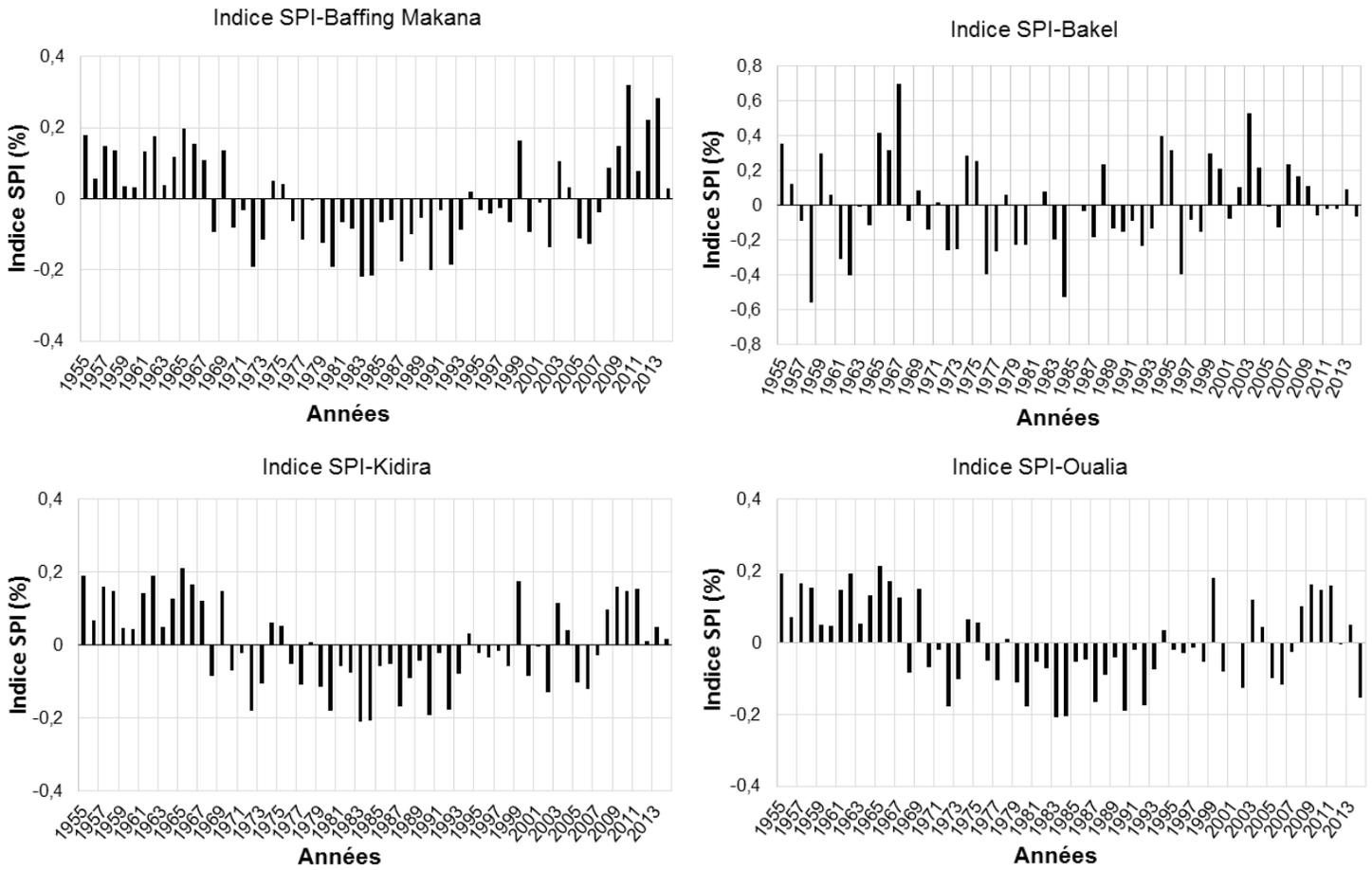


Figure 2. Valeurs annuelles de l'Indice standardisé des précipitations (SPI) pour la période 1955-2014.
 Annual values of the Standardized Precipitation Index (SPI) for the period 1955-2014.

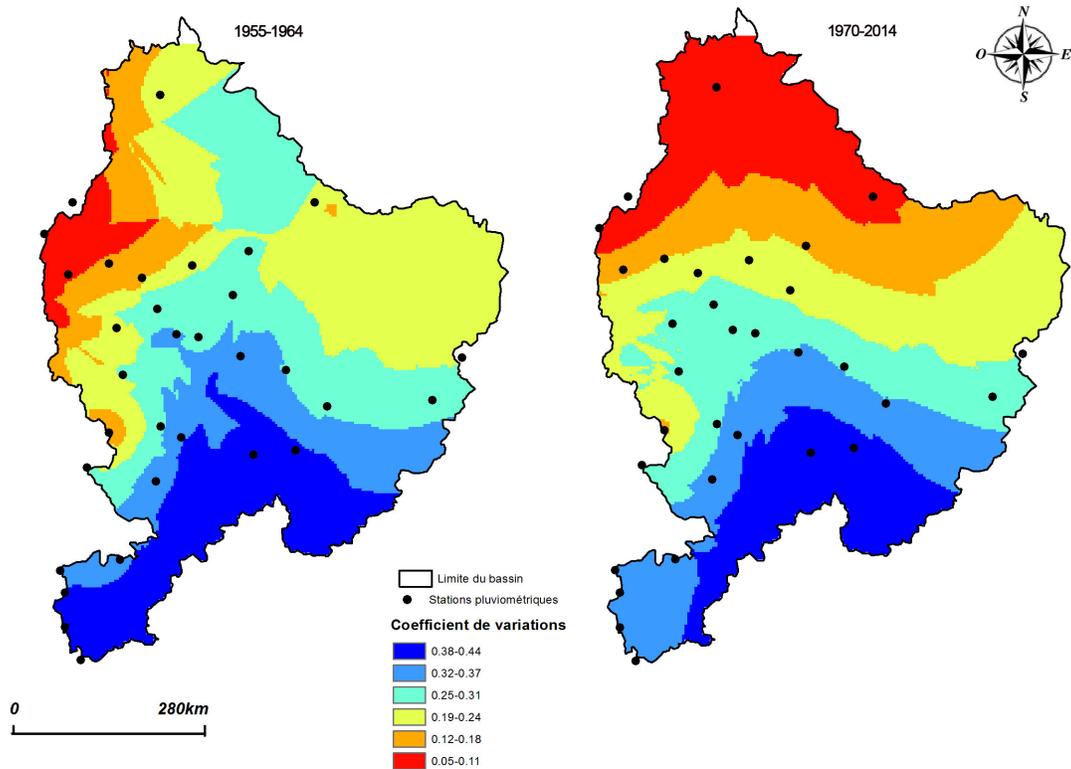


Figure 3. Carte de variation des Indices standardisés des précipitations pour la période 1955-2014.
 Map of variation of the Standardized Precipitation Index for the period 1955-2014.

Du point de vue spatial et temporel, la sécheresse est plus persistante dans la zone nord que dans celle du sud.

Le CMI met lui aussi en évidence une situation majoritairement sèche. L'analyse du tableau 5 confirme effectivement le caractère de sécheresse dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal. Pour l'ensemble des stations, les valeurs moyennes passent de -0,16 et -0,27 sur les décennies de la période 1955-1974 à des valeurs inférieures à -0,35 (-0,36 à -0,49) sur les décennies de 1975 à 2014.

Des valeurs supérieures à 0 (caractérisant des conditions humides) se retrouvent sur toute la période d'observation, mais leur occurrence est très faible (45 apparitions au total, sur 645 données). Leur plus grande fréquence décennale se place dans les années 1955-1964 (27,7 %), devant 1965-1974 (16,0 %). La plus faible concerne les années 2005-2014 (2,6 %, soit une seule apparition) (Tableau 6). La plupart des valeurs du CMI se rangent dans la plage des conditions semi-arides ($-0,6 < \text{CMI} < 0$), le pourcentage le plus faible étant de 43,8 % en 1995-2004 (Tableau 6). Enfin, les conditions arides sont beaucoup moins fréquentes. Cela rejoint les résultats trouvés dans la littérature (PATUREL *et al.*, 1996; SERVAT *et al.*, 1999; ARDOIN-BARDIN *et al.*, 2004; ALI et LEBEL (2009).

3.1.2 Analyse de débits annuels

En zone tropicale, les écoulements sont une réponse directe aux impulsions pluviométriques dont le transfert peut être soumis à diverses modalités selon la taille, la configuration, le

relief, la géologie et les sols du bassin. L'augmentation des débits est consécutive à l'amélioration de la pluviométrie qui reste cependant très fluctuante d'une année à une autre de telle sorte que la tendance à une reconstitution des ressources demeure très aléatoire et rend plus difficile la prévision des disponibilités. Sur la figure 4, on constate une variation des débits moyens annuels. La station de Bakel enregistre $558,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ alors qu'à la station de Sokotoro, le débit moyen annuel ne représente que $32,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

3.1.3 Analyse synthétique

La baisse de la pluviométrie dans le bassin est accompagnée d'une diminution comparable de l'hydraulicité du fleuve. Le débit moyen annuel du fleuve s'inscrit dans un cycle continu de baisse depuis le début du siècle dernier, ce qui explique le caractère du régime d'alimentation du fleuve. Ce régime est unimodal à cause d'une seule saison pluvieuse. La pluie baisse au même moment avec l'humidité relative alors que la température augmente.

Outre la tendance à la baisse des débits à long terme, le régime hydraulique du fleuve se caractérise par sa forte variabilité interannuelle (d'une année à l'autre) et annuelle (d'un mois à l'autre et au cours de la même année). L'évolution en dents de scie des facteurs climatiques et des débits moyens annuels rappelle celle de la pluviométrie (Figures 5). Que l'on soit dans une séquence sèche ou humide, une année de forte hydraulicité peut être suivie d'une année de déficits sévères. On est dans le domaine de l'imprévisibilité.

Tableau 5. Valeurs moyennes de l'Indice d'humidité climatique (CMI) pour la période 1955-2014.
Table 5. Average annual values of the Climate Moisture Index (CMI) for the period 1955-2014.

Paramètres	Périodes humides	Périodes sèches				
		1965-1974	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
Années	1955-1964					
Moyenne	-0,16	-0,27	-0,40	-0,36	-0,46	-0,42
Maximum	-0,11	-0,20	-0,29	-0,29	-0,39	-0,37
Minimum	-0,25	-0,38	-0,48	-0,42	-0,53	-0,50
Écart type	0,045	0,058	0,072	0,058	0,055	0,054
Écart moyen	0,16	0,074	0,092	0,052	0,14	0,10

Tableau 6. Fréquences (en % des stations/années) des classes de l'Indice d'humidité climatique (CMI) sur la période 1955-2014.

Table 6. Frequencies (% of stations/year) of the Climate Moisture Index (CMI) classes for the period 1955-2014..

Paramètres	Périodes humides	Périodes sèches				
		1965-1974	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
Années	1955-1964					
Humide (%)	27,7	16,0	7,2	6,8	4,7	2,6
Semi-aride (%)	71,5	79,8	76,2	83,8	43,8	73,6
Aride (%)	0,85	4,3	16,6	9,4	51,5	23,8
Total (%)	100	100	100	100	100	100

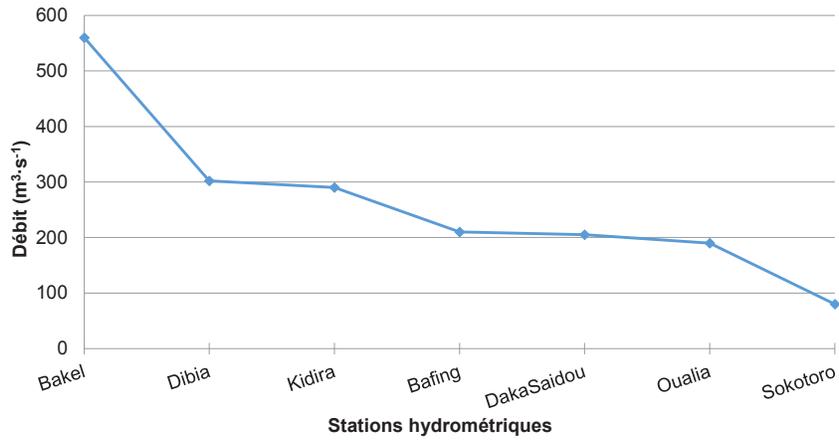


Figure 4. Valeurs des débits moyens annuels du haut bassin du fleuve Sénégal. *Average annual flows for the upper Senegal River Basin.*

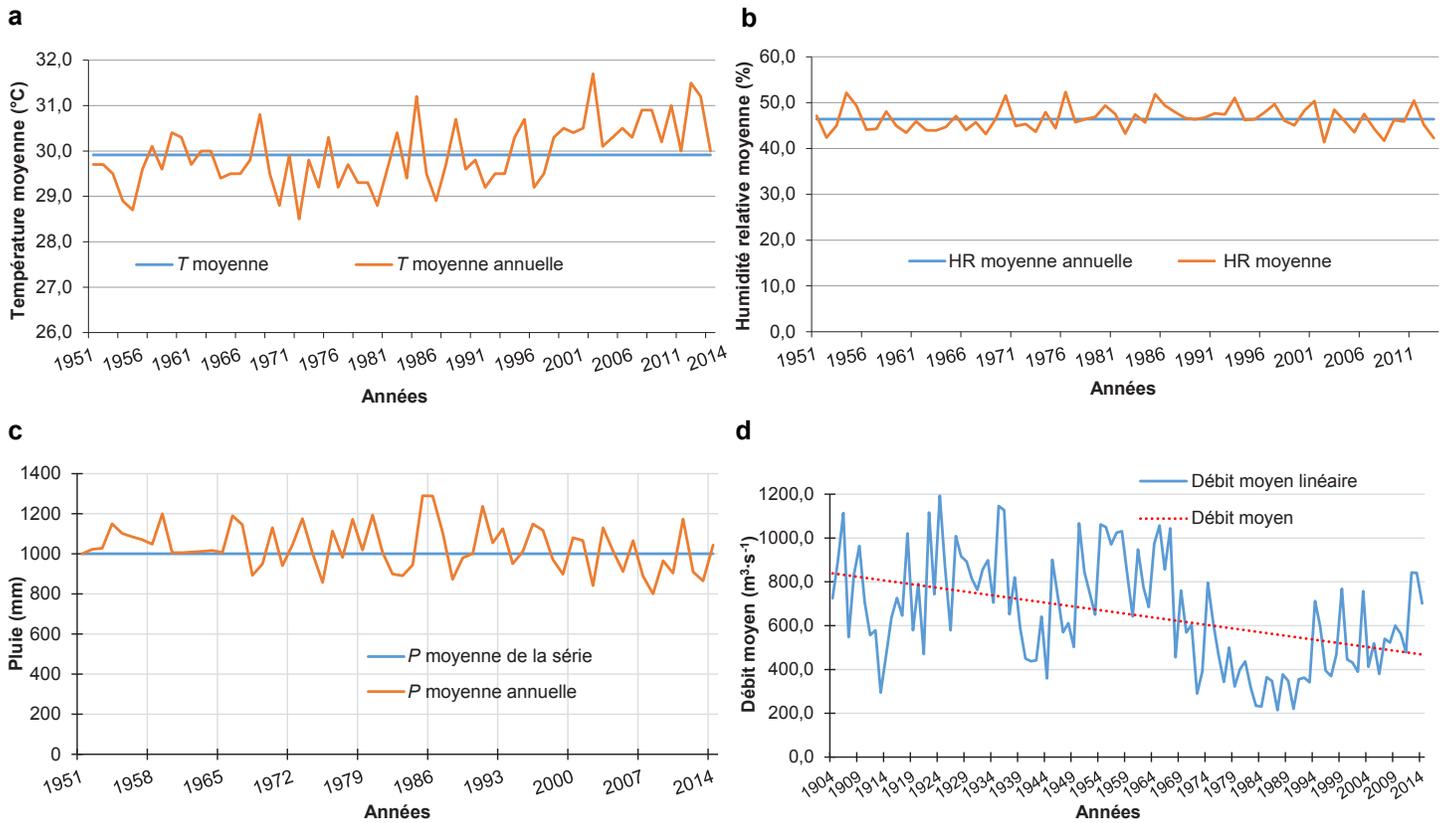


Figure 5. Variations des moyennes de a) température, b) humidité relative, c) pluie, d) débits. *Changes in mean a) temperature, b) relative humidity, c) rain, d) flows.*

À travers ces graphiques, nous pouvons constater qu'à partir de 2002, il y a une baisse de l'humidité relative, de la pluie moyenne et du débit moyen du bassin. Cette situation de baisse des apports hydrologiques explique principalement l'avènement d'un nouveau cycle de sécheresse.

3.2 Discussion

Les différentes méthodes mises en exergue ont permis de mettre en évidence la tendance générale à la baisse de la pluviométrie à partir de la décennie 1961-1970 qui s'est aggravée au cours des décennies suivantes. Cependant, l'ensemble du bassin n'a pas été touché de la même manière compte tenu de l'influence des climats locaux. Ce résultat est en accord avec les résultats des tests statistiques appliqués aux pluies annuelles. La variabilité climatique se manifeste par une baisse de l'humidité relative et une hausse des températures de l'air. Elle affecte sévèrement le cycle hydrologique. Dans les régions tropicales forestières où les surfaces forestières sont très étendues et sensibles aux états de surfaces, l'humidité atmosphérique a une origine continentale marquée (FONTAINE et JANICOT, 1992). L'augmentation des surfaces sèches doit provoquer une hausse des températures de l'air par transfert de chaleur. D'après SULTAN *et al.* (2001), la diminution de la couverture forestière, qui absorbe naturellement du gaz carbonique contenu dans l'atmosphère, va contribuer à augmenter la teneur atmosphérique de ce gaz à effet de serre.

La procédure de segmentation d'Hubert a permis de mettre en évidence une importante baisse des fréquences des jours pluvieux dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal à partir de la fin des années 1970. La variabilité climatique constatée dans le bassin est liée en partie à la baisse des fréquences de jours pluvieux en général et aux pluies journalières des hauteurs pluviométriques comprises entre 10 et 50 mm en particulier. En effet, la baisse des fréquences de jours pluvieux est synchrone avec celle des hauteurs de pluies annuelles. Les travaux de PATUREL *et al.* (1996) et SERVAT *et al.* (1998), ont montré que le nombre de jours de pluie a diminué en Afrique de l'Ouest alors qu'il semble être plus stable sur l'Afrique centrale.

Il apparaît que la température et l'humidité relative de l'air sont des facteurs de la variabilité temporelle des régimes pluviométriques saisonniers dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal. En effet, ces paramètres atmosphériques influencent fortement la distribution spatiotemporelle de la pluviométrie. Or, les résultats précédents de l'étude montrent une baisse des variables pluviométriques et de l'humidité relative alors qu'on note une hausse des températures moyennes au cours de la même période dans le bassin versant. Partant de ces constats, on peut dire que la variabilité des régimes pluviométriques saisonniers dépend d'une part de la baisse de l'humidité relative et d'autre part, de la hausse de la température de l'air.

Dans une perspective de hausse de la température de l'air, on est en droit de redouter une modification des régimes climatiques saisonniers dans le bassin versant. Les résultats obtenus peuvent être mis en relation avec d'autres travaux dans le monde. D'après les résultats des travaux de RICHARD *et al.* (2002), les événements d'El Niño postérieurs à 1970 s'inscrivent dans une série chaude avec des amplitudes très élevées. Selon le même auteur, sur la fenêtre Afrique australe, les effets de la sécheresse sont devenus plus accentués et étendus dans l'espace. Ces résultats peuvent être mis en relation avec l'augmentation de la magnitude des variations décrites aux environs de 1970.

4. CONCLUSION

Les traitements réalisés mettent en évidence une diminution persistante des pluies sur les décennies 1970, 1980 et 1990 par rapport aux années antérieures (1955-1964). D'après les résultats de SPI, la sécheresse garde généralement un caractère modéré et n'est que très rarement extrême dans le haut bassin versant du fleuve Sénégal. Ainsi, ce travail a permis d'avoir une idée des impacts potentiels des changements climatiques sur l'évolution des précipitations dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Les données hydrologiques mettent très logiquement en lumière une variation des écoulements et des précipitations (Figures 5c et 5d). Cette sécheresse hydrologique a dû provoquer l'arrêt de la navigation pour les gros navires sur le fleuve Sénégal (CITEAU *et al.*, 1988). Il apparaît que la sécheresse hydrologique est encore effective en 2013, même si elle s'est atténuée au cours des dernières années.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient remercier le Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) d'Abidjan et l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) pour toute leur aide et la mise à notre disposition des différentes données et matériels.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALI A. et T. LEBEL (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990-2007). *J. Hydrol.*, 375 (1-2), 52-64.
- ARDOIN S., H. LUBÈS-NIEL, É. SERVAT, A. DEZETTER, J.E. PATUREL, G. MAHÉ et J.F. BOYER (2003). Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest : caractérisation de la situation de la décennie 90. Dans : *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions*. SERVAT É., W. NAJEM, C. LEDUC et S. AHMED (Éditeurs), IAHS Publication, No 278, Montpellier, France, p. 223-228.
- ARDOIN-BARDIN S. (2004). *Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*. Thèse de Doctorat, Univ. Montpellier II, France, 440 p.
- BERGAOUI M. et A. ALOUINI (2001). Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sècheresse*, 12 (4), 205-213.
- BODIAN A., H. DACOSTA et A. DEZETTER (2011). Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique. *Physio-Géo*, 5, 107-124.
- BRUNET-MORET Y. (1977). Test d'homogénéité. *Cahier ORSTOM*, série Hydrol. XIV, 2, 119-129.
- ERIKSEN, S., K. BROWN, P.M. KELLY (2005). The dynamics of vulnerability: locating coping strategies in Kenya and Tanzania. *Geogr. J.*, 171, 287-305.
- FONTAINE B. et S. JANICOT (1992). Wind-field coherence and its variations over West Africa. *J. Clim.*, 5 (5), 512-524.
- HUBERT P., J.P. CARBONNEL et A. CHAOUCHE (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.
- KOUASSI M., T.D. SORO, N. SORO, Y.M.S. OGA, T. LASM, G. SORO, K.E. AHOUSI et J. BIÉMI (2011). La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo*, 5, 55-73.
- MCKEE, T.B., N.J. DOESKEN et J. KLEIST (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, 17 au 22 janvier, Anaheim, CA, États-Unis, pp. 179-184.
- PATUREL J.E., É. SERVAT, B. KOUAMÉ, J.F. BOYER, H. LUBES et J.M. MASSON (1996). Procédures d'identification de "ruptures" dans des séries chronologiques; modification du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest non sahéenne. Dans : *L'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement*. P. CHEVALIER et B. POUYAUD (Éditeurs), IAHS Publication, No 238, France, pp. 99-110.
- RICHARD Y., P. CAMBERLIN et N. FAUCHEREAU (2002). El Nino-la Nina : cohérence intrasaisonnière de la variabilité pluviométrique interannuelle en Afrique du Sud, *L'Espace géographique*, 1, 63-72.
- SERVAT É., J.E. PATUREL, H. LUBES-NIEL, B. KOUAMÉ, J.M. MASSON, M. TRAVAGLIO et B. MARIEU (1999). De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahéenne. *J. Water Sci.*, 12 (2), 363-387.