

ANALYSE DES TENDANCES DE LA DISTRIBUTION RÉGIONALE ET DE L'INTENSITÉ DES PRÉCIPITATIONS : UTILISATION D'INDICES CLIMATIQUES DANS LE BASSIN DE LA CASAMANCE (SENEGAL)

ANALYSIS OF TRENDS IN REGIONAL DISTRIBUTION AND PRECIPITATION INTENSITY: THE USE OF CLIMATE INDICES IN THE CASAMANCE BASIN (SENEGAL)

C. FAYE

Département de Géographie / U.F.R. des Sciences et Technologies / Laboratoire de Géomatique et d'Environnement
Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal)
cheikh.faye@univ-zig.sn

RESUME

Cet article pour objectif d'analyser la tendance et la variabilité des cumuls annuels des précipitations, du nombre annuel de jours de pluies et de deux indices climatiques caractéristiques de changements nommés l'indice simple d'intensité quotidienne des précipitations (ISIP) et l'indice de concentration des précipitations (ICP). L'analyse est basée sur des données quotidiennes de pluies de huit (8) stations pluviométriques dans le bassin de la Casamance pour la période d'étude allant de 1960 à 2010. Le test de Mann-Kendall a été effectué pour détecter la tendance et la méthode de Pettitt pour déterminer la rupture sur deux séries (1960-2010 et 1970-2010). Les résultats indiquent généralement des tendances positives et négatives statistiquement non significatives au seuil de signification de 99%. Les années 1970 et 1995 apparaissent généralement comme étant les dates de rupture respectivement sur les séries 1960-2010 et 1970-2010. L'ICP indique une distribution des pluies sur l'année fortement irrégulière et l'ISIP une intensité des pluies généralement modérée dans le bassin.

MOTS CLES: Tendance, distribution, intensité, indices climatiques, bassin du fleuve Casamance.

ABSTRACT

Trend analysis of regional distribution and intensity of precipitation: use of climate indices in the casamance river basin

This article aims to analyze the trend and variability of annual rainfall totals, the annual number of rainy days and two climatic indices changes in the characteristics appointed simple index of daily rainfall intensity (ISIP) and precipitation concentration index (PCI). The analysis is based on daily rainfall data from eight (8) precipitation stations in the basin of Casamance for the study period from 1960 to 2010. The Mann-Kendall test was performed to detect the trend and Pettitt the method to determine the break on two series (1960-2010 and 1970-2010). The results generally indicate positive and negative trends statistically significant at the 99% significance level. The years 1970 and 1995 appear to be generally break dates respectively in 1960-2010 and 1970-2010 series. The ICP shows a distribution of rainfall over the year and the highly irregular ISIP intensity generally moderate rainfall in the basin.

KEYWORDS: Trend, distribution, intensity, climatic Indices, basin of the Casamance River.

1 INTRODUCTION

L'étude des séries météorologiques revêt une grande importance en climatologie. La sécheresse qui a débuté en Afrique de l'Ouest à la fin des années soixante a très rapidement attiré l'attention des chercheurs (Roche *et al.*, 1976; Nicholson *et al.*, 2000) et les a conduits à s'interroger sur la pertinence des modèles admis classiquement et en particulier sur les hypothèses de stationnarité du climat (Hubert et Carbonnel, 1993).

Diverses études mettent en évidence l'évolution des précipitations dans la zone ouest-africaine sur la période récente (Ardoin-Bardin, 2004 ; Ali et Lebel, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2009 ; Bodian, 2014 ; Faye *et al.*, 2015). L'ampleur et la réalité de cette évolution dépendent des régions et des conditions climatiques. Il n'est par ailleurs pas toujours facile d'établir si l'origine de l'évolution constatée est liée à des modifications climatiques ou à des évolutions de l'occupation des sols (imperméabilisation), des pratiques agricoles, etc. Dans le fleuve Casamance qui

constitue un énorme espoir de part sa vitalité pour les populations du Sud du pays, des études climatologiques et hydrologiques effectuées (Dacosta, 1989 ; Sané *et al.*, 2011) indiquent le bouleversement climatique depuis les années 1970 qui s'est traduit par une tendance générale à la baisse des ressources en eau.

Devant la succession d'épisodes extrêmes (inondations et sécheresse), il est fréquent d'invoquer le changement climatique pour expliquer leur augmentation, sans toujours se baser suffisamment sur l'analyse des données. Pour y remédier, cette étude se fonde sur une application de quelques indices existants qui permettent de caractériser la distribution régionale des pluies et l'intensité des précipitations dans le bassin. Ces indices sont soumis à deux tests statistiques et procédures utilisés : le test statistique de Pettitt, le test statistique de Mann-Kendall. Ces indices et tests permettent de déterminer la continuité de la forte irrégularité pluviométrique et/ou de la sécheresse

sur la période 1960-2014.

2 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin de la Casamance qui s'étend sur trois régions administratives (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda), au sud du Sénégal, est situé en latitude entre 12°20' et 13°21' Nord et en longitude entre 14°17' et 16°47' Ouest (Figure 1). Le bassin couvre environ une surface de 20150 km² s'étire d'Ouest en Est sur 270 km, et du Nord au Sud sur 100 km (Dacosta, 1989). Le climat de la Casamance, de type soudanien atlantique et sud soudanien (Sané *et al.*, 2011), subit fortement l'influence des facteurs géographiques et atmosphériques. Le bassin de la Casamance peut être subdivisé en trois parties : le haut bassin (Haute-Casamance), le bassin moyen (Moyenne Casamance) et le bassin inférieur (Basse-Casamance).

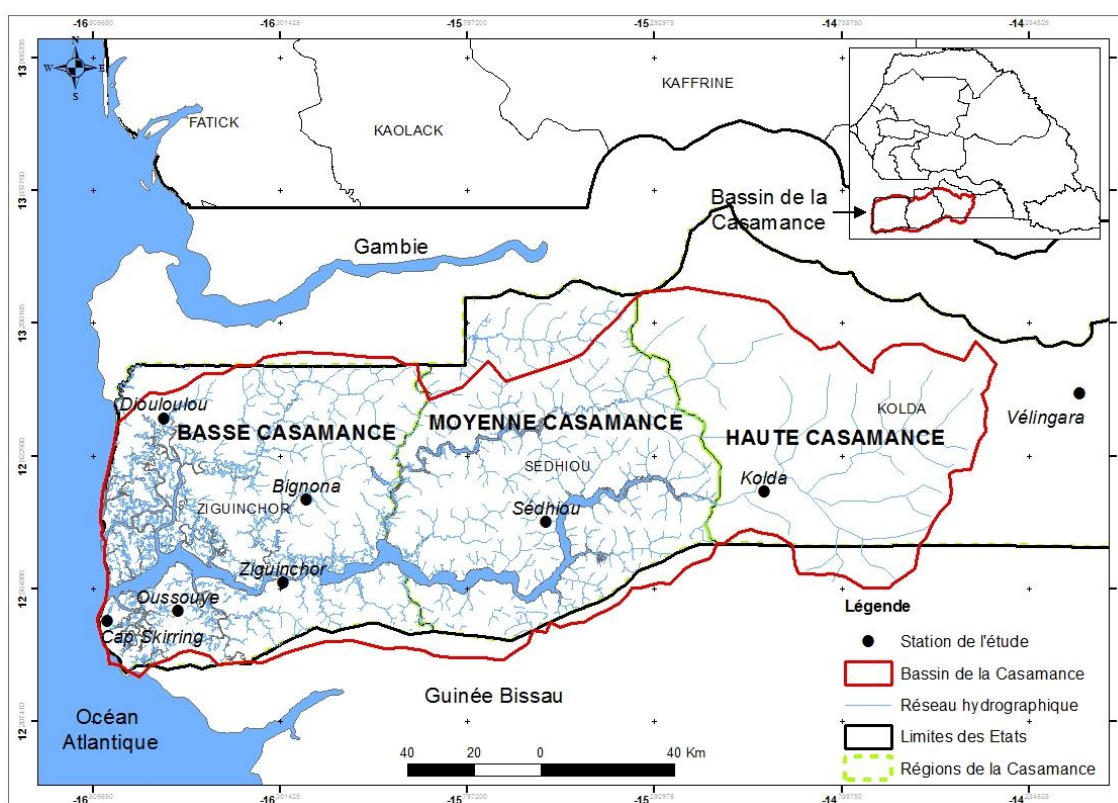


Figure 01: Localisation du bassin versant du fleuve Casamance et des stations de l'étude

3 DONNÉES ET MÉTHODES

3.1 Données

Les données utilisées et qui devaient respecter deux critères importants : la longueur des chroniques d'une part et la qualité des données d'autre part ont été mises à notre disposition par l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM). Ces données concernent les pluies journalières (de 1960 à 2014) à partir desquels sont

calculés les variables utilisés dans cet article.

3.2 Méthodes

Les méthodes utilisées sur cet article sont basées d'abord sur le calcul d'indices climatiques avec les séries de pluies journaliers.

3.2.1 Calcul de l'indice simple de l'intensité quotidienne des précipitations (ISIP)

L'indice simple de l'intensité quotidienne des précipitations est défini par Nastos *et al.* (2010) et Vincent *et al.* (2011) comme suit:

$$ISIP = \frac{\sum_{i=1}^i P Q_{ij}}{i}$$

Avec PQ_{ij} le total des pluies quotidiennes pour les jours de pluie ≥ 1 mm sur la période j et i le nombre de jours de pluie pendant cette période j .

3.2.2 Calcul de l'indice de concentration des précipitations (ICP)

L'indice de l'indice de concentration des précipitations ICP

(Murugan *et al.*, 2008) est proposé comme indicateur de la concentration des pluies et du pouvoir érosif de la pluie (Iskander *et al.*, 2014). Il a été développé pour quantifier la variabilité pluviométrique à des échelles de temps multiples et exprimé mathématiquement comme suit:

$$ICP = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(P_t)^2} \times 100$$

Avec P_i la pluie du mois dans l'année i , P_t le total de la pluie annuelle.

Cet indice traduit un excédent ou un déficit hydrologique pour le mois ou l'année considéré. Plusieurs auteurs (Murugan *et al.*, 2008 ; Nastos *et al.*, 2010 ; Vincent *et al.*, 2011) ont effectué une classification de l'intensité quotidienne et de la distribution de la pluviométrie (Tableau 1).

Tableau 01: Classification des valeurs de l'ISIP et l'ICP

Valeur	Signification de l'intensité	Valeur	Signification de la distribution
Moins de 15	faible intensité	Moins de 10	distribution uniforme
Entre 15 à 20	intensité modérée	Entre 10 à 15	distribution modéré
Entre 20 à 25	haute intensité	Entre 15 à 20	distribution irrégulière
Entre 25 à 30	forte intensité	Plus de 20	distribution fortement irrégulière
Plus de 30	Très forte intensité		

3.2.3 Détection de tendances et/ou ruptures au sein des séries

Le test de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975) a été utilisé pour analyser les tendances des cumuls annuels de pluies, du nombre de jours de pluies, de l'indice simple d'intensité quotidienne des précipitations et de l'indice de concentration des précipitations. En outre, la méthode de la pente de Sen a été appliquée pour déterminer l'ampleur du changement et le test de Pettitt (1979) pour examiner l'existence d'une rupture sur les séries des quatre variables. Le niveau de confiance de 99% a été pris comme seuil de significativité pour classer l'importance des tendances positives et négatives.

4 RÉSULTATS

Les valeurs de tendance et de rupture des tests de Mann-Kendall et de Pettitt pour les cumuls annuels de pluies, le nombre annuel de jours de pluies, l'ISIP et l'ICP sont

présentées sur la Figure 2. Pour la série 1960-2010, les résultats du test de Mann-Kendall montrent des tendances négatives sur les cumuls annuels de pluies (42,9%) et positives (57,1%). Ces tendances ne sont significatives que sur une seule station (Vélingara). Pour les jours de pluies, les tendances sont non significatives et sont plus négatives (60%) que positives (40%). Les tendances sont opposées entre l'ISIP (60% sont négatives) et l'ICP (85,7% sont positives) et non significatives. Généralement, les résultats sur cette première série mettent en évidence le la grande variabilité et le déficit pluviométrique noté dans le bassin depuis les années 1970, en illustrant les valeurs de la variation des moyennes des sous séries (1960-1969 et 1970-2010) de part et d'autre de l'année 1970. Ces valeurs sont généralement déficitaires pour les cumuls annuels de pluies, les jours de pluies et l'ISIP (70,6%), et totalement excédentaires pour l'ICP (100%). Ce déficit des années 1970 est mis en évidence dans divers travaux (Dacosta, 1989 ; Sané *et al.*, 2011 ; Faye *et al.*, 2015).

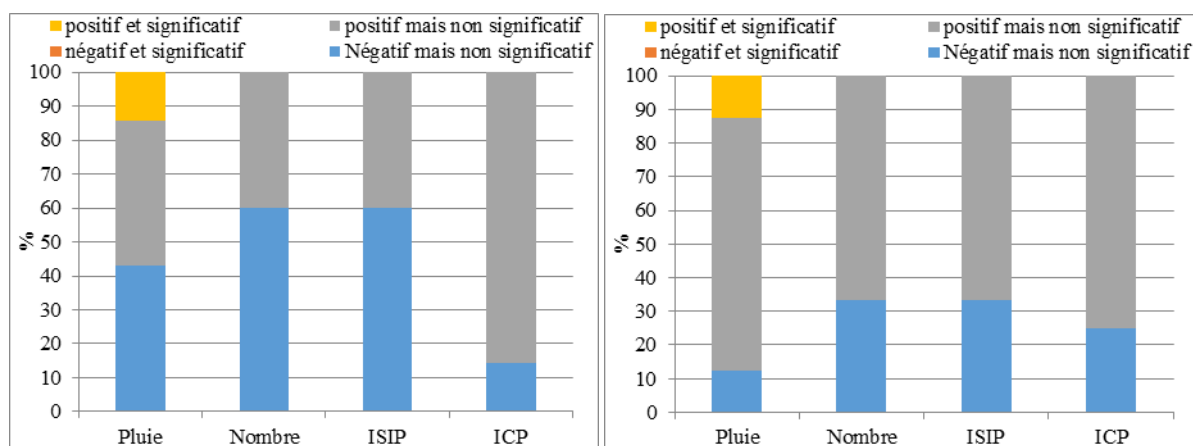


Figure 02: Représentation des fréquences des tendances des quatre paramètres de l'étude suivant le test de Mann-Kendall : a) Série 1960-2010 ; b) Série 1970-2010 ; Pluie : cumuls annuels de pluies en mm ; Nombre : Nombre de jours de pluies ; ISIP : indice simple d'intensité quotidienne des précipitations en mm/jour ; ICP : indice de concentration des précipitations

Pour la série 1970-2010, la tendance globale des variables change comparée à la première série. En effet, cette tendance est généralement à la hausse pour les cumuls annuels de pluies (87,5%), le nombre de jours de pluies (66,7%) et l'ISIP (66,7%). En plus pour l'ICP, le pourcentage des tendances positives connaît un recul au profit de celles négatives. Ces tendances à la hausse notées sur les variables caractérisent une situation à pluviométrie excédentaire comparée aux années de sécheresse (décennies 1970 et 1980). Cette situation est confirmée par le test de Pettitt qui indique une rupture non significative aux environs de 1995 et des valeurs de la variation des moyennes des sous séries (1970-1994 et 1995-2010) excédentaires à 75% pour les cumuls annuels de pluies, les jours de pluies et l'ISIP. Ce nouveau changement du régime

pluviométrique s'est encore produit au tournant du siècle comme indiqué par des certains travaux (Ali et Lebel, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2009 ; Bodian, 2014) qui suggèrent la fin de la sécheresse sahélienne durant les années 1990.

La distribution spatiale des tendances des cumuls annuels de pluies, du nombre annuel de jours de pluies, de l'ISIP et de l'ICP sur les deux séries (1960-2010 et 1970-2010) est illustrée par la Figure 3. Si les changements sont souvent mitigés sur les trois régions de la Casamance (haute, moyenne et basse), les tendances sur les cumuls annuels de pluies, le nombre annuel de jours de pluies et l'ISIP sont généralement négatives de 1960 à 2010 et positives de 1970 à 2010, par opposition à l'ICP dont l'évolution prend le sens inverse.

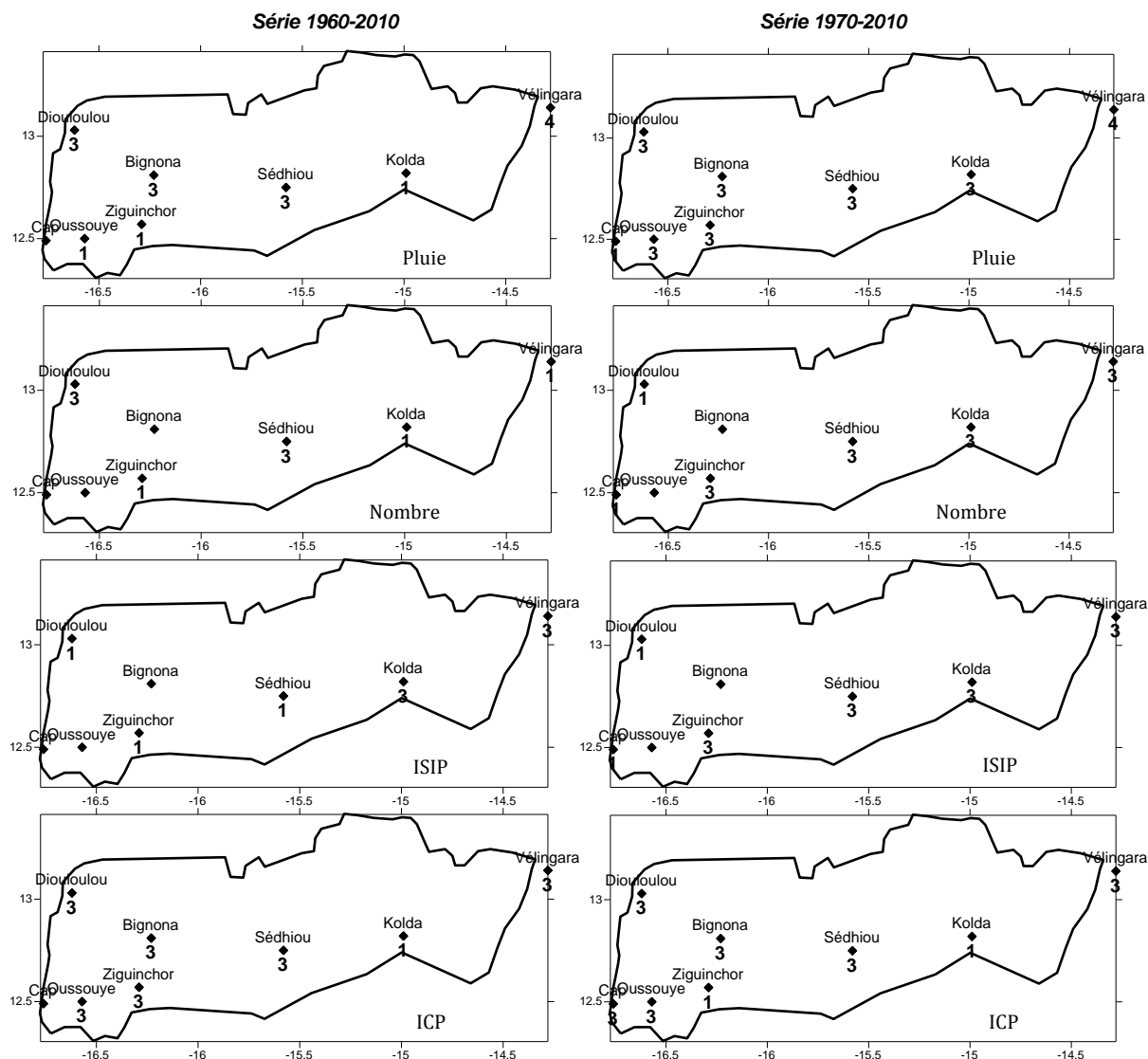


Figure 03: Distribution spatiale de tendances et ruptures : (1) tendance positive non significative ; (2) tendance positive significative ; (3) tendance négative non significative ; (4) tendance négative significative

L'intensité des précipitations peut être uniforme si elle se produit dans le laps de temps, mais si elle est étalée sur un long temps, alors sa distribution sera irrégulière. En conséquence, lorsque les deux indices ISIP et ICP montre des tendances similaires, les précipitations sont soit uniformes et moins intensives (si les tendances sont à la baisse), soit irrégulières et intensives (si les tendances sont à la hausse). Au contraire, lorsque les deux tendances (ISIP et ICP) sont opposées, les résultats peuvent être uniformes et intensifs ou irrégulière et moins intensive (Iskander *et al.*, 2014). Six cas de changement de tendance de l'ISIP liés à la tendance des cumuls annuels de pluies et du nombre annuel de jours de pluies sont détectés dans cette étude sur les deux séries (Tableau 2) : 4 cas sur la série 1960-2010 (du 1^{er} au 4^e cas) et 3 cas sur la série 1970-2010 (du 4^e au 6^e cas).

An 1^{er} cas, les tendances de l'ISIP augmentent

contrairement aux cumuls annuels de pluies et au nombre annuel de jours de pluies (station de Kolda). Au 2^e cas, les tendances de l'ISIP augmentent de même que les cumuls annuels de pluies bien que les tendances du nombre annuel de jours de pluies diminuent (station de Vélingara). Au 3^e cas, les tendances de l'ISIP diminuent contrairement aux cumuls annuels de pluies et au nombre annuel de jours de pluies (stations de Sédhiou et Diouloulou). Le 4^e cas, le seul partagé les deux séries, est marqué par une baisse généralisée des trois variables. Au 5^e cas, les tendances de l'ISIP diminuent en même temps que le nombre annuel de jours de pluies, alors que celles des cumuls annuels de pluies diminuent (stations de Diouloulou). Au dernier cas (6^e) à l'opposé du 4^e cas, les tendances de toutes les variables ont en hausse (Sédhiou, Kolda, Ziguinchor et Vélingara).

Tableau 02: Cas de changement de tendances de l'ISIP de 1960 à 2010

Séries	Cas	Tendance de l'ISIP (mm/jour)	Tendance des cumuls annuels de pluies (mm)	Tendance du nombre annuel de jours de pluies
Série 1960-2010	1	Hausse	Baisse	Baisse
	2	Hausse	Hausse	Baisse
	3	Baisse	Hausse	Hausse
	4	Baisse	Baisse	Baisse
Série 1970-2010	4	Baisse	Baisse	Baisse
	5	Baisse	Hausse	Baisse
	6	Hausse	Hausse	Hausse

Les fréquences des valeurs de l'ISIP et de l'ICP montrent la prédominance de l'intensité modérée sur l'ISIP et la distribution fortement irrégulière des précipitations sur l'ICP aux différentes stations de l'étude (Tableaux 3 et 4). L'intensité modérée et la distribution fortement irrégulière sont généralement homogènes sur toutes les trois régions. Toutefois, la distribution fortement irrégulière est plus

accentuée dans la haute et la basse Casamance (les fréquences atteignant 100%). Pour l'intensité modérée, le maximum atteint 66,7% à Ziguinchor. Des fréquences importantes sont également enregistrées pour l'intensité faible dans la haute Casamance (39,2% à Kolda et à Vélingara).

Tableau 03: Fréquence des caractères de signification des valeurs annuelles de l'ISIP et de l'ICP pour la période d'étude aux différentes stations de 1960 à 2010

	Intensité de l'ISIP					Distribution de l'ICP			
	faible	modérée	haute	forte	très forte	uniforme	modérée	irrégulière	fort. irrégulière
Kolda	39,2	52,9	5,9	0	2	0	0	0	100
Vélingara	39,2	52,9	7,8	0	0	0	0	5,9	94,1
Sédhiou	7,8	54,9	25,5	7,8	3,9	0	0	2	98
Ziguinchor	17,6	66,7	15,7	0	0	0	0	0	100
Diouloulou	11,4	50	25	13,6	0	0	0	0	100
Cap Skirring	12	44	28	8	8	0	0	0	100
Oussouye	-	-	-	-	-	0	0	0	100
Bignona	-	-	-	-	-	0	0	0	100

Fort.: Fortement

Tableau 04: Valeur moyenne de l'ISIP et de l'ICP pour la période d'étude aux différentes stations et leur signification

	Série 1960-2010				Série 1970-2010			
	ISIP (mm/jour)		ICP		ISIP (mm/jour)		ICP	
	Valeur	Intensité	Valeur	Distribution	Valeur	Intensité	Valeur	Distribution
Kolda	16,3	modérée	25,1	Fort. irrégulière	16,4	modérée	25,4	Fort. irrégulière
Vélingara	16,0	modérée	25,6	Fort. irrégulière	15,8	modérée	25,9	Fort. irrégulière
Sédhiou	19,6	modérée	26,2	Fort. irrégulière	18,4	modérée	26,4	Fort. irrégulière
Ziguinchor	17,6	modérée	26,7	Fort.	17,5	modérée	27,0	Fort.

				irrégulière				irrégulière
Diouloulou	19,7	modérée	31,7	Fort. irrégulière	18,6	modérée	32,4	Fort. irrégulière
Cap Skirring	-	-	-	-	24,0	haute	32,9	Fort. irrégulière
Oussouye	-	-	27,9	Fort. irrégulière	-	-	28,3	Fort. irrégulière
Bignona	-	-	27,4	Fort. irrégulière	-	-	27,8	Fort. irrégulière

Fort.: Fortement

Sur les deux séries, les valeurs moyennes de l'ICP sont maximales. Cette distribution fortement irrégulière est légèrement plus accentuée sur la deuxième série. L'impact de la variabilité sur la période 1970-2014 se traduit par une modification du régime pluviométrique aux stations de l'étude. Si les décennies 1970 et 80 présentent toutes des anomalies négatives de la pluviométrie correspondant aux périodes de sécheresse en Afrique tropicale, la période 1995-2010 marquée par un retour assez sensible à de meilleures conditions pluviométriques, en accord avec les travaux de Ali et Lebel (2009), de Bodian (2014), enregistre des excédents de la pluviométrie dans le bassin. Cette tendance à la hausse de la pluviométrie présage d'une amélioration du régime pluviométrique dans cet espace, par comparaison à la période de sécheresse. Toutefois, la persistance et la durabilité de la hausse restent encore à prouver.

5 DISCUSSION

À travers l'analyse des séries de cumuls annuels de pluies, de nombre annuel de jours de pluies et de deux indices climatiques de pluies fournies sur la période 1960-2014 par huit stations réparties sur le bassin de la Casamance, cet article s'est surtout attaché à caractériser la tendance récente de l'intensité des pluies et de la distribution de la pluviométrie dans ledit bassin. De façon générale, Les résultats de la synthèse des tableaux statistiques doublés de la représentation graphique et de la spatialisation des cumuls annuels de pluies, du nombre annuel de jours de pluie et des indices (ISIP et ICP) ont permis de mettre en évidence des variations régionales importantes et la succession trois périodes bien distinctes : une période d'années humides (1960-1969), une deuxième période d'années sèches (1970-1994) et une autre d'années humides (1995-2010) séparées par une double cassure non significatives (1970 et 1995).

La première cassure notée aux environs de 1970 au niveau des quatre variables est relative à une baisse de la pluviométrie, du nombre annuel de jours de pluie et de l'ISIP, et à une hausse de l'ICP. Elle vient confirmer souvent de nombreux travaux dans des bassins en Afrique de l'Ouest (Dacosta, 1989, Ardoin-Bardin, 2004 ; Ozer *et al.*, 2009 ; Sané *et al.*, 2011 ; Faye, 2013 ; Faye *et al.*,

2015). Par contre, ces tendances à la baisse sont opposées à celles notées sur dans d'autres bassins en Amérique du Sud (Callède *et al.*, 2004), en Chine (Tao et Simpson, 2003), en Finlande (Hyvarinen, 1998) sur lesquels, la pluie a connu une hausse.

La deuxième cassure notée aux environs de 1995 au niveau des quatre variables est relative à une hausse de la pluviométrie, du nombre annuel de jours de pluie et de l'ISIP, et à une baisse de l'ICP. Elle présage d'une amélioration du régime pluviométrique dans cet espace, par comparaison à la période de sécheresse bien que la persistance et la durabilité de la hausse restent encore à prouver. Elle est en concert avec des travaux de certains auteurs (Ali et Lebel, 2009 ; Ozer *et al.*, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2009 ; Panthou *et al.*, 2014 ; Bodian, 2014) qui suggérant la fin de la sécheresse sahélienne durant les années 1990. Néanmoins, elle est en contradiction avec d'autres travaux (L'Hôte *et al.*, 2002 ; Frappart *et al.*, 2009) qui estiment que la pluviométrie évolue peu depuis la fin des années 1960 et reste toujours déficitaire.

6 CONCLUSION

La présente étude vise à analyser les changements survenus dans l'intensité et la distribution temporelle des précipitations dans 8 districts du bassin de la Casamance, au Sénégal, pour une période de 1960 à 2010. Dans l'ensemble, elle montre une ligne directrice d'application des indices climatiques pour la détection de changements dans l'intensité et la distribution temporelle des précipitations à l'échelle régionale. L'analyse des données dans le bassin de la Casamance indique clairement des changements dans le régime des précipitations, d'abord sur la décennie 1970 et ensuite sur la décennie 1990. Au vu des résultats, l'indice simple d'intensité quotidienne des précipitations et l'indice de concentration des précipitations ont connu des variations régionales importantes de part et d'autre des années 1970 et 1995. L'analyse rapporte quelques résultats grimaçants sur des zones du bassin où la pluviométrie, de plus en plus intense et fortement irrégulière, impacte sur la dynamique fluvial car elle peut avoir un grand potentiel d'érosion (de fond et des berges) et de transport de sédiments.

REFERENCES

- [1] Ali A., Lebel T., 2009. The Sahelian standardized rainfall index revisited. *International Journal of Climatology*, 29 (12), 1705-1714.
- [2] Ardoin-Bardin, S., 2004. Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano sahélienne. Thèse de doct. Univ. Montpellier II. 440 p.
- [3] Bodian A., 2014. Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest)», *Physio-Géo* [En ligne], Vol 8 |, mis en ligne le 12 janvier 2014, Consulté le 17 février 2015. URL : <http://physio-geo.revues.org/4243> ; DOI : 10.4000/physio-geo.4243.
- [4] Callede J., Guyot J. L., Ronchail J., L'Hote Y, Niel H. and Eurides De Oliveira, 2004 : Evolution du débit de l'Amazone à Óbidos de 1903 à 1999 / Evolution of the River Amazon's discharge at Óbidos from 1903 to 1999, *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 85-97.
- [5] Dacosta H., 1989. Précipitations et écoulements sur le bassin de la Casamance. Dakar : ORSTOM, multigr. Thèse 3e cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 278 p.
- [6] Faye C., Sow A. A., Ndong J.B., 2015. Étude des sécheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 9, 17-35.
- [7] Faye C., 2013 : Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans un contexte de variabilité hydroclimatique : cas du bassin versant de la Falémé. Thèse de Doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 309 p.
- [8] Frappart F., Hiernaux P., Guichard F., Mougin E., Kergoat L., Arjounin M., Lavenu F., Koite M., Paturel J.E., Lebel T., 2009 : Rainfall regime across the Sahel band in the Gourma region, Mali. *Journal of Hydrology*, 375: 128-142.
- [9] Hountondji Y.C., Sokpon N., Nicolas J., Ozer P., 2009. Ongoing desertification processes in the sahelian belt of West Africa: an evidence from the rain-use efficiency. In : *Recent advances in remote sensing and geoinformation processing for land degradation assessment*, A. RÖDER et J. HILL édit., Édit. CRC Press, série ISPRS, 8, 173-186.
- [10] Hyvärinen V., 1998: Observed trends and fluctuations in hydrological time series in Finland - a review. *Proceedings of the Second International Conference on Climate and Water*, Espoo, Finland: 1064-1070.