

# Variabilité hydroclimatique en Basse-Casamance : tendances et perceptions communautaires

---

**Bouly SANE**

[b.sane79@ziq.univ.sn](mailto:b.sane79@ziq.univ.sn)

**Yancoba SANE**

Université Assane Seck de Ziguinchor (Sénégal)

## Résumé

En zone soudanienne, les épisodes climatiques dégradantes des quatre dernières décennies continuent d'engendrer des contraintes socioéconomiques et environnementales dans les territoires. On parle de séquences de sécheresse pluviométrique, des températures extrêmes et des variations du régime hydrologique. La Basse-Casamance, dépendante globalement des apports pluviométriques, subit considérablement les impacts de ces derniers, surtout dans le secteur agricole. Cette étude a pour objectif d'étudier la dynamique hydroclimatique actuelle, ses impacts et les stratégies d'acteurs en Basse-Casamance. Une démarche méthodologique mixte a été adoptée dont l'utilisation de données de pluies des postes de Bignona, Ziguinchor, Oussouye, Nyassia et Niaguis comprise entre 1951 et 2019. Pour la tendance thermique, les données de température de la station synoptique de Ziguinchor de 1960 à 2019 ont été utilisées. Des tests statistiques de Pettitt (1979), de Buishand et de Mann-Kendall (1975), la corrélation de Pearson entre les SPI et les températures ont été appliquées pour déterminer l'évolution climatique. Elles ont été complétées par les enquêtes socioéconomiques conduites auprès de 321 ménages pour recueillir les perceptions sur l'évolution climatique, ses impacts et les réponses communautaires pour y faire face. Les résultats indiquent une variabilité pluviométrique à toutes les échelles entre 1983 et 1993, dont deux ruptures enregistrées en 1969 et 1967 dans les postes étudiés. Des hausses de températures de l'ordre de 0,455°C/an (mai) ; 0,587°C/an (août) et 0,575°C/an (octobre) ont été observées entre 1960 et 2019. Cette variabilité climatique a entraîné une modification des calendriers culturales et une adoption de nouvelles pratiques agricoles selon les populations interrogées dans la zone d'étude.

**Mots clés** : Basse-Casamance, impacts, stratégies de résiliences, variabilité hydroclimatique

## Hydroclimatic variability in Basse-Casamance: trends and community perceptions

### Abstract

In the Sudanian zone, the degrading climatic episodes of the last four decades continue to generate socio-economic and environmental constraints in the territories. These include sequences of drought, extreme temperatures and variations in the hydrological regime. Basse-Casamance region, which is generally dependent on rainfall, suffers considerably from the impact of the latter, especially in the agricultural sector. The aim of this study is to examine current hydroclimatic dynamics, their impacts and the strategies of stakeholders in Basse-Casamance. A mixed methodological approach was adopted, using rainfall data from stations in Bignona, Ziguinchor, Oussouye, Nyassia and Niaguis between 1951 and 2019. For the thermal trend, temperature data from the Ziguinchor synoptic station from 1960 to 2019 were used. Statistical tests of Pettitt (1979), Buishand and Mann-Kendall (1975), and Pearson's correlation between SPI and temperature were applied to determine climatic trends. These were supplemented by socio-economic surveys of 321 households to gather perceptions of climate change, its impacts and community responses to cope with them. The results indicate rainfall variability at all scales between 1983 and 1993, with two breaks recorded in 1969 and 1967 in the stations studied. Temperature increases of around 0.455°C/year (May); 0.587°C/year (August) and 0.575°C/year (October) were observed between 1960 and 2019. This climatic variability led to a change in crop calendars and an adoption of new agricultural practices according to the informants in the study area.

**Keywords** : Basse-Casamance, hydroclimatic variability, impacts, resilience strategies

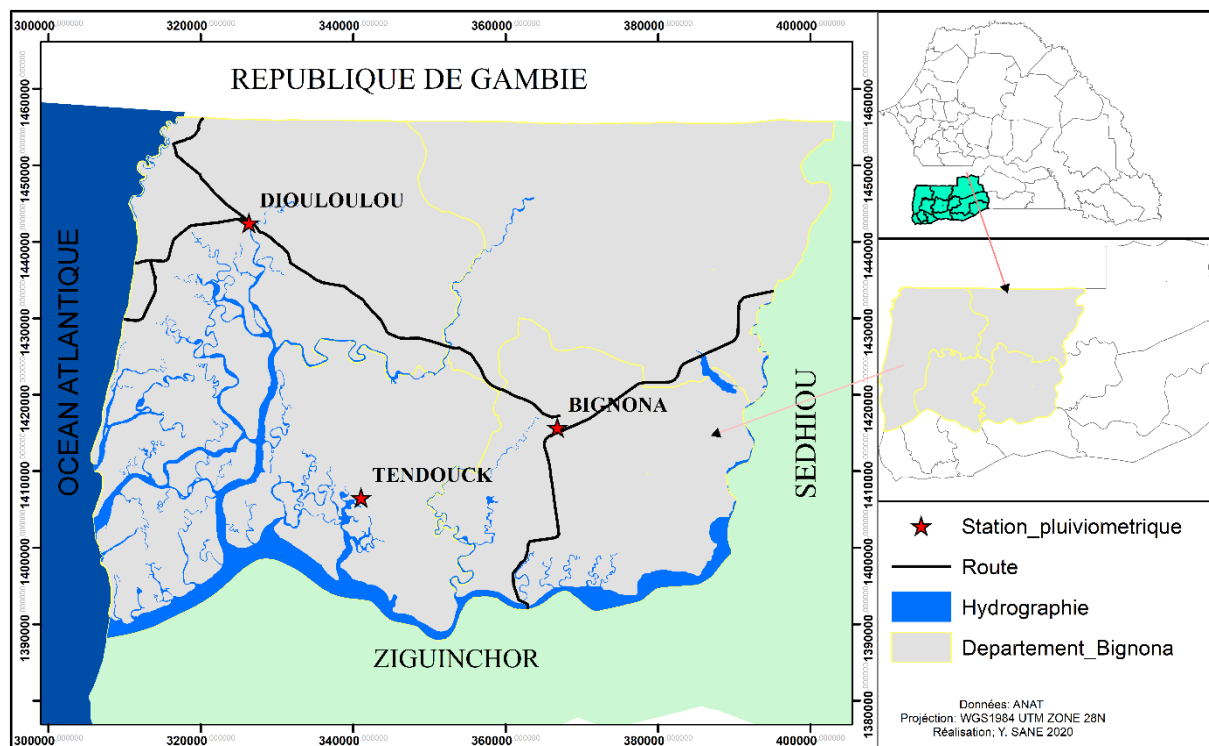
## Introduction

La variabilité climatique en Afrique subsaharienne a toujours été sujette de diverses analyses et d'interprétations, que ce soit des causes et des conséquences qui en découlent. Cette situation n'est pas un fait isolé, mais intéresse toute l'Afrique occidentale, avec cependant des variantes selon les zones. Les études de déficits ont toujours montré une dynamique de péjoration climatique importante (Olivry, 1983). Elle s'accompagne d'une modification climatique généralisée et caractérisée notamment par une tendance à la hausse des températures et de la pression de surface (Sagna, 1995). Les déficits pluviométriques les plus chroniques sont notés pendant les années hydrologiques 1970-1971, 1976-1977 et 1983-1984 (Sircoulon, 1986 ; Dacosta 1989 ; Roquet, 2008 ; Mahé, 2006). Dans les années 80, il est observé une généralisation et une intensification du phénomène déficitaire qui touche désormais l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest et une partie de l'Afrique centrale et qui présente des valeurs d'indices pouvant atteindre -1,4 (Paturel *et al.*, 1998 ; Thao, 2006). Dans le golfe de Guinée, Amoussou *et al.*, 2012, ont effectué une étude sur la variabilité pluviométrique indiquant des variations importantes des cumuls de pluies annuelles. Depuis ces dates d'épisodes extrêmes, il n'y a pas eu de retour à une situation supérieure à la normale (1931-1960). Des auteurs sont revenus largement sur cette non-stationnarité de série de données pluviométriques annuelles dans toute l'Afrique tropicale après le dernier épisode de sécheresse 1969-1986 (Albergel, 1987 ; Paturel, 1998 ; Amoussou *et al.*, 2012, Sagna *et al.*, 2015). Cette modification du régime pluviométrique en Afrique subsaharienne notée entrainera ainsi des mutations importantes sur l'environnement. Cette crise climatique a touché le Sénégal qui est, pour une partie de son territoire est un pays du Sahel (Roquet, 2008). Depuis la sécheresse des années 1970, la tendance générale est à la diminution des précipitations (Ndong, 1995). Une analyse de l'évolution des précipitations au Sénégal de 1921 à 2014 montre des fluctuations importantes. La période 1921-1967 enregistre une moyenne de 803,2 mm, contrairement à la période caractérisée de sèche de 1968-2014, 613,8 mm, soit un déficit de 26,3% par rapport à la période précédente (Sagna *et al.*, 2015). La partie septentrionale du bassin de la Casamance a été fortement touchée par ces impacts. La diminution des précipitations et du débit du fleuve a eu des effets négatifs tel que : L'intrusion d'eau de mer dans tout le réseau hydrographique, une baisse générale des niveaux des eaux souterraines ainsi que la salinisation et l'acidification des vasières, qui ont conduit à une diminution progressive de la mangrove. (Albergel *et al.*, 1987 ; Fall et Sané, 2020).

Cette étude donne sa logique d'intervention en mettant l'accent sur les tendances des paramètres climatiques, ses impacts et des stratégies de résiliences développées par les acteurs.

## Le terrain d'étude

Situé sur la rive droite du fleuve Casamance, la Basse-Casamance fait partir intégrante du domaine sud-soudanien. Elle s'étend sur une superficie de 5295 km<sup>2</sup> entre les coordonnées 12°45'00" nord latitude et de longitude 16°30'00" ouest et compte une population estimée à 224.617 habitants en 2013 soit 42 hbts/km<sup>2</sup> (ANSD, 2013). Le réseau hydrographique est caractérisé par le fleuve Casamance et ses émissaires dont les bolongs et marigots qui alimentent les vallées à l'intérieur des terres. La zone enregistre des précipitations moyennes supérieures à 1000 mm/an. D'après les études récentes de Sané *et al.*, 2010, la Basse-Casamance est caractérisée par des situations climatiques contraignantes cela depuis les années 1980. Cette variation de la situation climatique s'est exacerbée sur les activités socioéconomique des habitants de la zone pour la plupart composées de ruraux.



**Figure 1 :** Situation des stations d'étude

## 1. Données et méthodes

Plusieurs données et méthodes ont été appliquées pour déterminer l'évolution climatique et les impacts sur la Basse-Casamance.

### 1.1. DONNEES UTILISEES

Les données des séries pluviométriques sont celles de Bignona, Ziguinchor, Oussouye, Nyassia et Niaguis. Les postes retenus sont celles qui détiennent des données complètes. Par soucis d'utiliser des données lacunaires et de qualité, les postes de Bignona, Tendouck et Diouloulou ont été choisis. Ces postes disposent de données de longues séries pouvant faciliter l'analyse.

**Tableau 1 :** Poste pluviométrique d'étude et périodes retenues

Postes	Période
Bignona	1951-2019
Ziguinchor	1951-2019
Oussouye	1951-2019
Nyassia	1980-2019
Niaguis	1980-2019

Dans la dynamique d'analyse de la variabilité hydroclimatique, nous avons fait recours aussi aux données de températures (max, min et moy). Les données de températures de la station

synoptique de Ziguinchor sont utilisées dans ce travail pour déterminer leur tendance évolutive et les variables hydrologiques. Elles seront appliquées aux tests de Pettitt et de Man Kendall et corrélées avec les données des indices pluviométriques.

## 1.2. METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES

En analyse hydrologique, diverses approches ou méthodes de traitement sont utilisées pour analyser la pluviométrie. Dans cette section, nous annonçons les différentes méthodes de traitement statistique permettant de comprendre l'évolution journalière, mensuelle et annuelle à travers des indices, des tests de statistiques (d'évolution, de rupture et de corrélation, etc.).

### 1.2.1. La détection des ruptures dans les séries de pluies

Une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique d'un instant donné, le plus souvent inconnu (Diouf, 2011 ; Bodian, 2014 ; Koumassi, 2014). Pour une meilleure appréciation de l'évolution de la pluviométrie sur une échelle donnée, on préfère appliquer les lois statistiques. Ainsi, le traitement et l'analyse ont été faits à l'aide du logiciel xlstat. Ce logiciel regroupe plusieurs tests de vérification des séries de données pluviométriques. Le programme XLSTAT est un logiciel dont l'interface est entièrement basée sur Microsoft Excel, tant pour la récupération des données que pour la restitution des résultats (Doukpolo, 2013). Les Test de Pettitt (1979) et de Man Kendall ont été appliqués à l'aide de ce logiciel.

#### ▪ Test de Pettitt

Le test de Pettitt (1979) examine l'existence d'une cassure à une date inconnue de la série à partir d'une formulation dérivée de celle du test de Mann-Whitney (Servat *et al.*, 1998 ; Fall *et al.*, 2018). Ce test est sensible aux changements de moyenne. Si l'hypothèse nulle d'homogénéité des séries est rejetée, une estimation de la date de rupture est proposée (Diouf, 2011). Le test de Pettitt (1979) est un test non paramétrique de détection d'une rupture unique à une date inconnue dans les séries pluviométriques et hydrologiques (Karambiri, 2017 ; Faye, 2019). Une rupture est définie comme un changement dans la loi de probabilité d'une variable aléatoire, dont les réalisations successives définissent la série temporelle étudiée (Servat *et al.*, 1998 ; Kouassi *et al.*, 2017 ; Kaboré *et al.*, 2017).

Le test de Pettitt permet de mettre en évidence des points de changement en vérifiant si les moyennes de deux périodes sont différentes (Sané *et al.*, 2020). De plus, ce test permet de renforcer la fiabilité de la sélection de l'année d'interruption ou d'interruption dans la série de données. Il s'agit d'un test bien connu et robuste développé par Lobes *et al.* (1994), Bissin *et al.* (2003) ; automne 2014) ; Nascimento *et al.* (2015) ; Faye (2019) ; Diomé (2019), Sané *et al.* (2020).

Pour les tests, les paramètres retenus pour les calculs sont : hypothèse alternative  $\neq 0$  ; niveau significativité de 5% ; nombre de simulations de 10000, avec une durée maximale de 180 secondes (Nascimento *et al.*, 2015).

#### ▪ Test de Buishand

Le test de Buishand est paramétrique, supposant la normalité de la série, non autocorrélation et constance de la variance de part et d'autre du point de rupture éventuel. Ce test est performant pour détecter une rupture en milieu de série ; mais il ne fournit pas d'estimation du point de rupture (Diouf, 2011).

### 1.2.2. Utilisation du test d'évolution de Mann Kendall

Le test non paramétrique de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975) a été utilisé pour déterminer la tendance à l'assèchement ou au mouillage de la zone d'étude sur la base du SPI. Pour déterminer l'ampleur du changement, la méthode de la pente de Sen (1968), disponible pour le test de Mann-Kendall dans XLstat, a été utilisée. La robustesse du test a été confirmée par plusieurs études menées par Yue *et al* (2004). Les tests comparatifs effectués ont été vérifiés par Yue *et al.* (2004) Faye (2015) ; Nascimento *et al.* (2015) ; Sané *et al.* (2020). Ceci est appliqué à un niveau de signification de 5 %. Ce test produit les statistiques suivantes : statistique S, tau ou coefficient de rang de Kendall ou coefficient de rang de Kendall et valeur p ou variable réduite (Karambiri, 2017).

Pour fournir des informations fiables sur les performances du SPI, une analyse de corrélation de Pearson (r) a également été réalisée entre le SPI et les données de température mensuelles. Les coefficients de corrélation ont été déterminés durant la saison des pluies (mai à octobre) de 1951 à 2019 (Sané *et al.*, 2020).

### 1.2.3. Détermination des indices pluviométriques

Cette méthode a l'avantage de mettre en évidence les périodes de surplus et de déficit (Kouassi *et al.*, 2010). Plusieurs auteurs ont appliqué cet indice à l'étude des séries chronologiques de précipitations à différentes échelles géographiques. Ndong *et al.*, (2015); Mendy *et al.* (2018); Sane *et al.*, (2020).

Le SPI est exprimé mathématiquement comme suit :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{S}$$

Pour  $P_i$  : Pluie dans un mois ou une année  $i$ .  $P_m$  : Série de quantités moyennes de précipitations sur l'échelle de temps considérée.  $S$  : écart type de la série à l'échelle de temps considérée (Sané *et al.*, 2020 ; Mballo *et al.*, 2021).

**Tableau 2** : Nomenclature de l'indice SPI (MKee, 1993 ; Faye, 2017)

Valeurs de l'ISP	Séquences de sécheresses	Valeurs de l'ISP	Séquences humides
0,99 < ISP < -0,00	Légèrement sèche	0,00 < ISP < 0,99	Légèrement humide
-1,49 < ISP < 1,00	Modérément sèche	1,00 < ISP < 1,49	Modérément humide
-1,99 < ISP < -1,50	Sévèrement sèche	1,50 < ISP < 1,99	Sévèrement humide
ISP < -2,00	Extrêmement sèche	2,00 < ISP	Extrêmement humide

## 2. Résultats

Les méthodes et données mobilisées ont permis de déterminer la variabilité pluviométrique à l'échelle mensuelle, annuelle et décennale, de déterminer la variation thermique, l'évolution des variables hydrologiques, et de comprendre les tendances hydrologiques, ses impacts environnementaux et socioéconomiques ainsi que les stratégies d'acteurs.

### 1.1. VARIABILITE MENSUELLE DE LA PLUVIOMETRIE A OUSSOUYE, ZIGUINCHOR ET BIGNONA

Nous observons une baisse des pluies à la Station de Ziguinchor, Oussouye et Bignona sur pratiquement toute la série. Dans nos différentes séries de données, la variation est plus observée au courant des mois de juin et juillet, marquant le début de la saison des pluies pratiquement au sud.

Pendant la saison des pluies, on enregistre d'importantes volumes d'eau dans les postes pluviométriques d'Oussouye, Ziguinchor et Bignona. Les mois d'août, septembre et juillet enregistrent pratiquement les totaux de pluies les plus élevés. Cette période correspond à la l'installation de la mousson en Basse-Casamance.

En calculant le coefficient de variation à partir de l'écart-moyen mensuel, une variabilité élevée est observée entre les moyennes mensuelles. La plus importante variation est observée en début de saison des pluies et vers la fin (1,94 et 4,6), et celle plus faible au mois de juillet, août et septembre. Toutefois, les valeurs des coefficients, au mois de juin, sont soit supérieurs ou égales à 0,5. Elle s'explique par le retard actuel de la saison des pluies en Basse-Casamance. Le tableau 3 indique les écarts mensuels et des coefficients de variation de la pluviométrie à la station de Bignona, Oussouye et Ziguinchor de 1951 à 2019.

**Tableau 3** : Ecarts-moyens mensuels et variations des cumuls moyens mensuels des précipitations

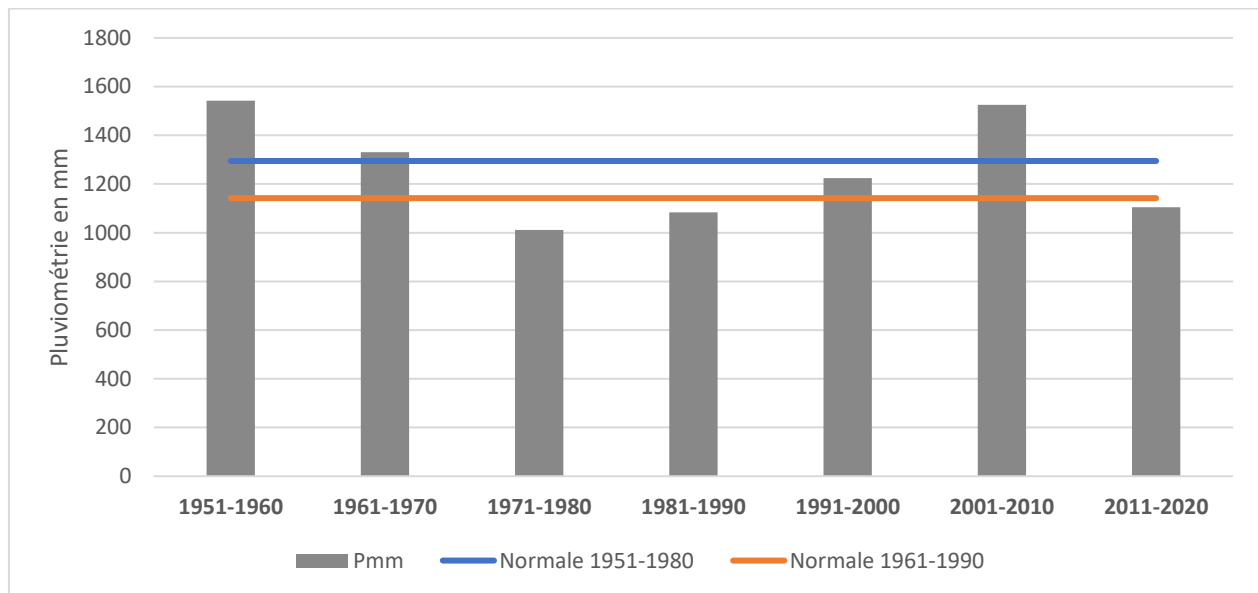
Bignona												
Mois	J	F	M	Av	M	Ju	Jui	Aoû	Sept	Oct	No	Déc
<b>Ecart-type</b>	0,8	0,54	0,07	0,12	11,75	56,06	109,8	151,2	104,6	62,65	15,17	272,3
<b>Coef. vari</b>	7,3	6,86	4,18	7,57	1,94	0,57	0,39	0,37	0,36	0,69	2,73	3,59
Oussouye												
Mois	J	F	M	Av	M	Ju	Jui	Aoû	Sept	Oct	No	Déc
<b>Ecart-type</b>	1,4	0,42	3,85	8,065	7,74	73,12	131,7	163,1	104,2	74,99	51,09	2,84
<b>Coef. Vari</b>	7,5	3,91	8,25	8,25666	1,65	0,79	0,39	0,36	0,32	0,69	3,92	4,00
Ziguinchor												
Mois	J	F	M	Av	M	Ju	Jui	Aoû	Sept	Oct	No	Déc
<b>Ecart-type</b>	1,1	0,80	0,14	0,02054	7,84	63,32	134,2	161,2	108,3	73,54	15,32	2,07
<b>Coef. vari</b>	4,4	3,38	5,33	4,7247	1,70	0,62	0,40	0,36	0,32	0,65	2,14	4,07

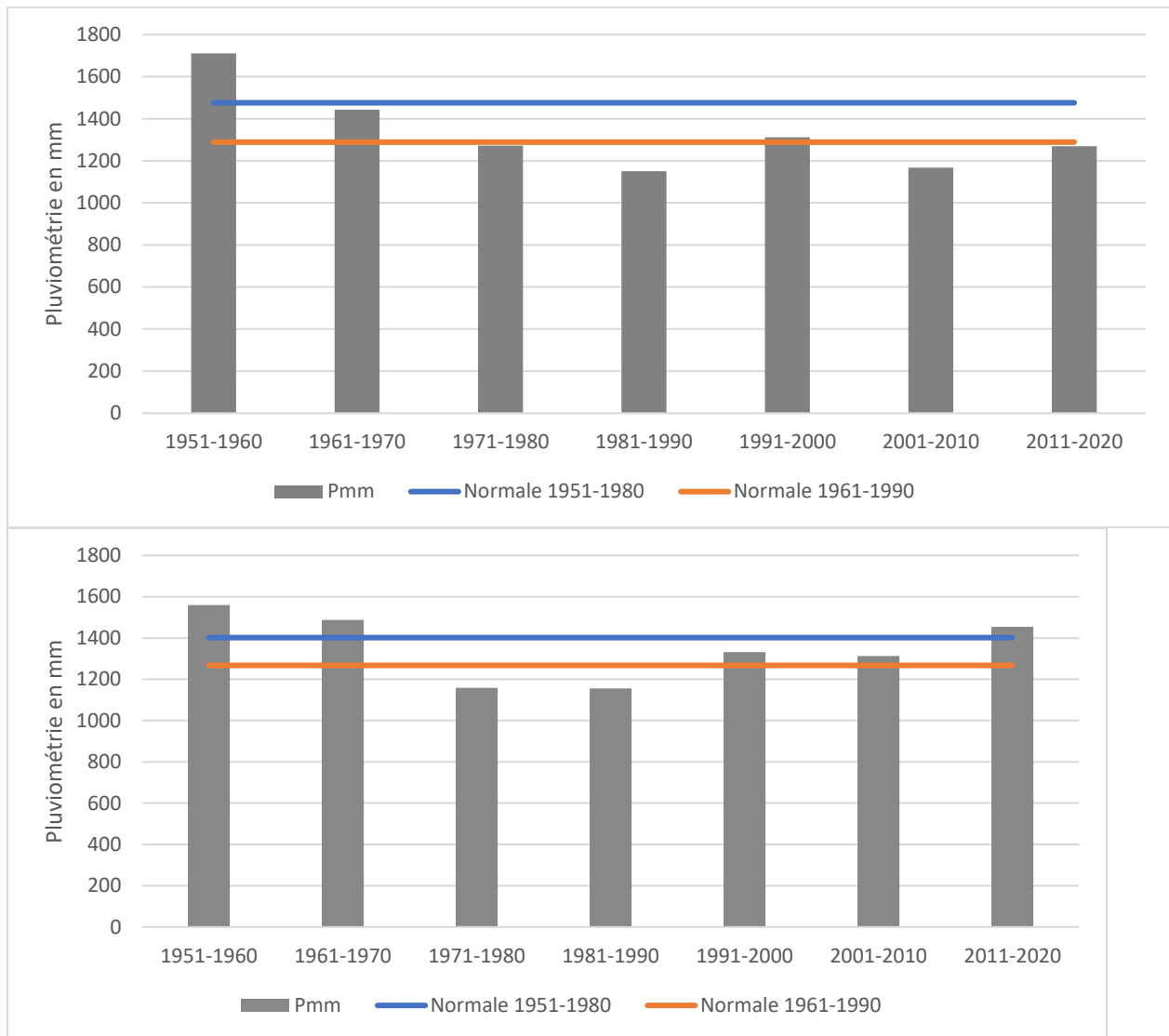
Le taux de variation entre les moyennes mensuelles tend à décroître entre les stations d'Oussouye, Ziguinchor et Bignona. Cette répartition inégale de la pluviométrie à l'échelle

mensuelle indique une variation considérable au niveau des stations étudiées. Des changements qui peuvent impacter voire influencer la disponibilité de l'eau et retarder le début des activités des populations en grande partie dépendantes de l'agriculture sous pluie.

## 2.2. EVOLUTION DE LA PLUVIOMETRIE A L'ECHELLE DECENNALE

Les tendances à l'échelle décennale précisent la variabilité dans les séries des précipitations au niveau de stations retenues. Pratiquement, les moyennes décennales (1951-1960) et (1961-1970) renvoient à une situation humide. Au courant de ces décennies, les précipitations dépassent largement 1300 mm dans les stations de Bignona, Oussouye et Ziguinchor. Particulièrement, la décennie (1951-1960) est considérée comme pluvieuse et humide. Les trois (3) stations étudiées ont des moyennes décennales qui dépassent les normales de références 1951-1980 et 1961-1990 (fig.2). La décennie 1961-1970, est moins humide comparée à la normale 1951-1960. Les décennies 1971-1980 et 1981-1990, enregistrent en moyenne des volumes d'eau précipités faible comparée à la normale de référence 1951-1960. La baisse maximale des précipitations est observée à la décennie 1981-1990 dans les stations étudiées. Cette décennie est considérée comme sèche. La reprise des quantités de précipitations relativement importantes est observée au courant des décennies 1991-2000 et 2001-2010. Contrairement aux deux décennies précédentes, elles sont relativement humides dans les stations de référence. Les écarts de précipitations comparée à la normale de référence (1951-1980) sont compris entre 200 et 250mm dans toutes les stations (fig.2).





**Figure 2 :** Evolution de la pluviométrie décennale à Bignona, Oussouye et Ziguinchor

### 2.3. VARIABILITE INTERANNUELLE DE LA PLUVIOMETRIE A BIGNONA, OUSSOUYE ET ZIGUINCHOR

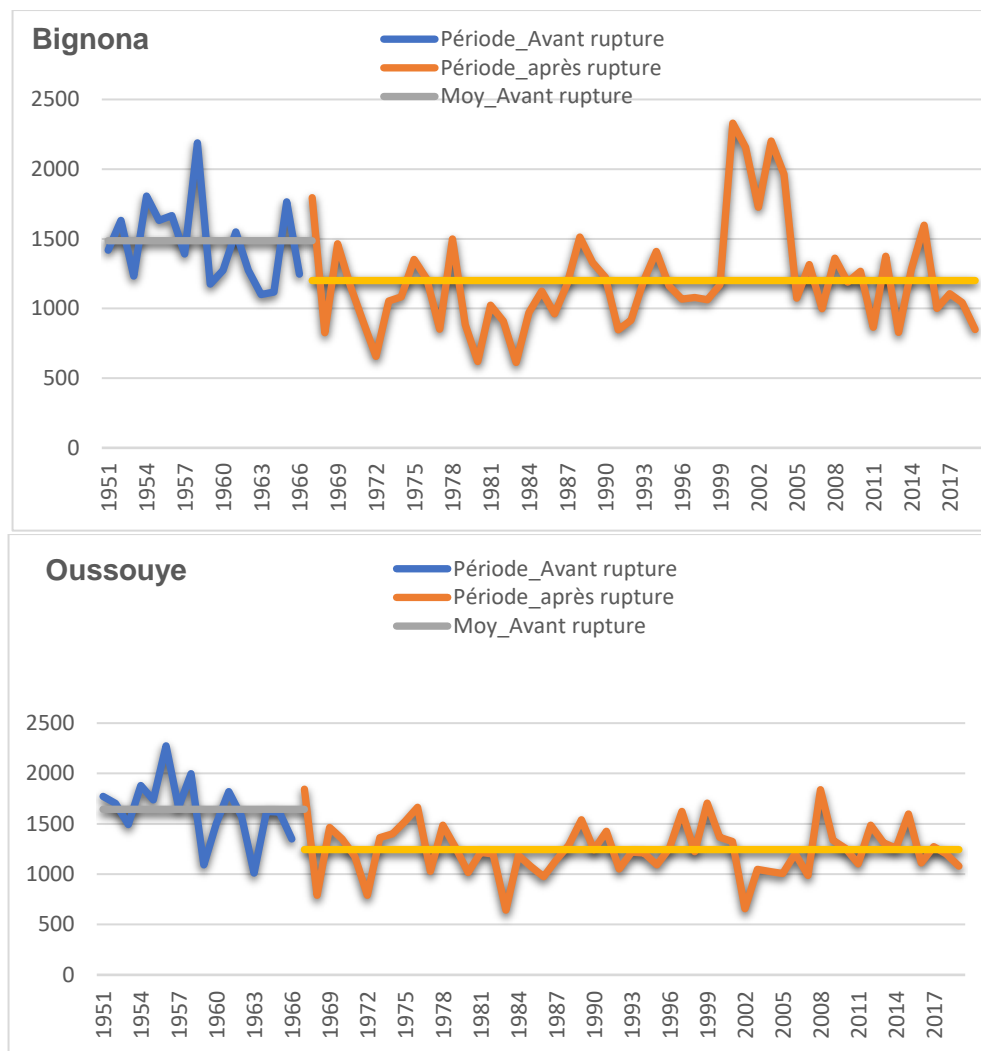
L'observation de la figure 3 montre que les précipitations connaissent un recul en Basse-Casamance depuis le début des années 1970. Au niveau des postes étudiés, le test de Pettitt (1979) indique l'année 1967, comme la date de rupture de la série de précipitations. D'après les résultats du test, deux périodes se dégagent : une période avant rupture et une période après rupture.

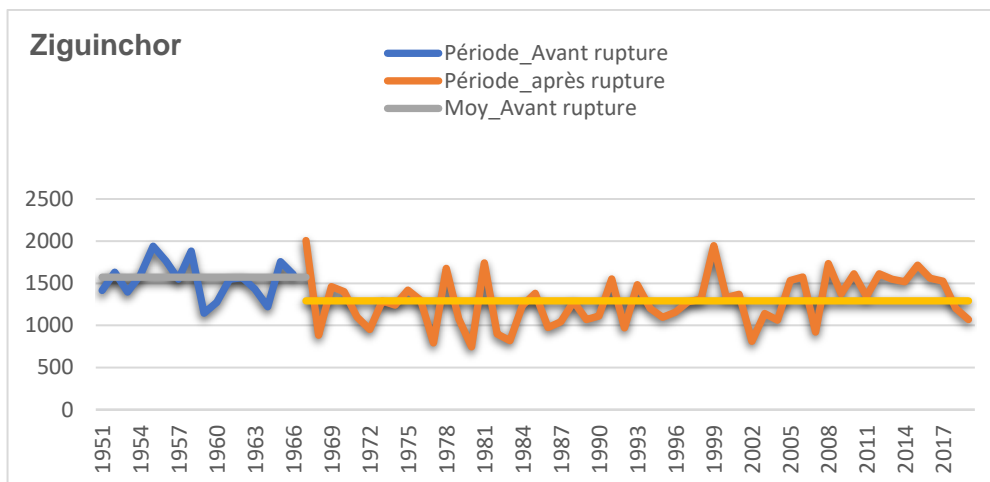
Selon Pettitt (1979), la période avant rupture est considérée comme humide ou fortement pluvieuse. Au courant de cette période, les précipitations moyennes annuelles enregistrées sur tous les postes sont comprises entre 1400 et 2000 mm. Le volume pluviométrique le plus élevé est enregistré en 1958 (2188,5mm) à Bignona, en 1967 (2006,9 mm) à Ziguinchor et en 1956 (2274,7 mm) à Oussouye (fig. 3). À la station de Ziguinchor, la moyenne avant rupture (1572,1 mm) est largement supérieure à celle de la période après rupture (1291,1mm), soit un écart de 281 mm. La variation est notée aussi au poste d'Oussouye où la période avant rupture (1644,2

mm) est supérieure à celle après rupture (1244,4 mm), soit un déficit de 399,8 mm (fig.3). Pratiquement la période avant rupture, même si toutefois, elle semble être trop courte (16 années) détient les cumuls moyens pluviométriques les plus élevés, d'où son caractère humide.

La période après rupture (1967-2019) est faiblement pluvieuse. Durant cette période, de faibles quantités de pluies par rapport à la période avant rupture sont enregistrées sur tous les postes (fig. 3). La moyenne des précipitations est de 1291,1mm (Ziguinchor), 1244,4 mm (Oussouye) et 1200,6 mm (Bignona). Les précipitations n'ont cessé de varier à l'échelle annuelle depuis cette cassure. Une chronique de la quantité moyenne de la pluviométrie s'est installée en Basse Casamance. Les baisses des volumes pluviométriques les plus marquantes ont été notées en 1972 (655,5 mm), 1980 (618,7 mm) et 1983 (612,6 mm) au poste de Bignona. Au poste de Ziguinchor, le déficit est plus senti durant les saisons des pluies de 1968, 1977, 1980,1983 et 2002, où respectivement les totaux 882,5 ; 790,3 ; 745,6 ; 817,9 ; 811,7 mm ont été enregistrés.

Une lecture des données pluviométriques sur les stations étudiées permet de dire qu'il y'a effectivement une variabilité de celle-ci pratiquement entre la période 1951-2019. Ainsi, en affectant le cycle interannuel, des conséquences sont perceptibles sur le comportement hydrologique des bassins, entièrement dépendante de la pluviométrie.





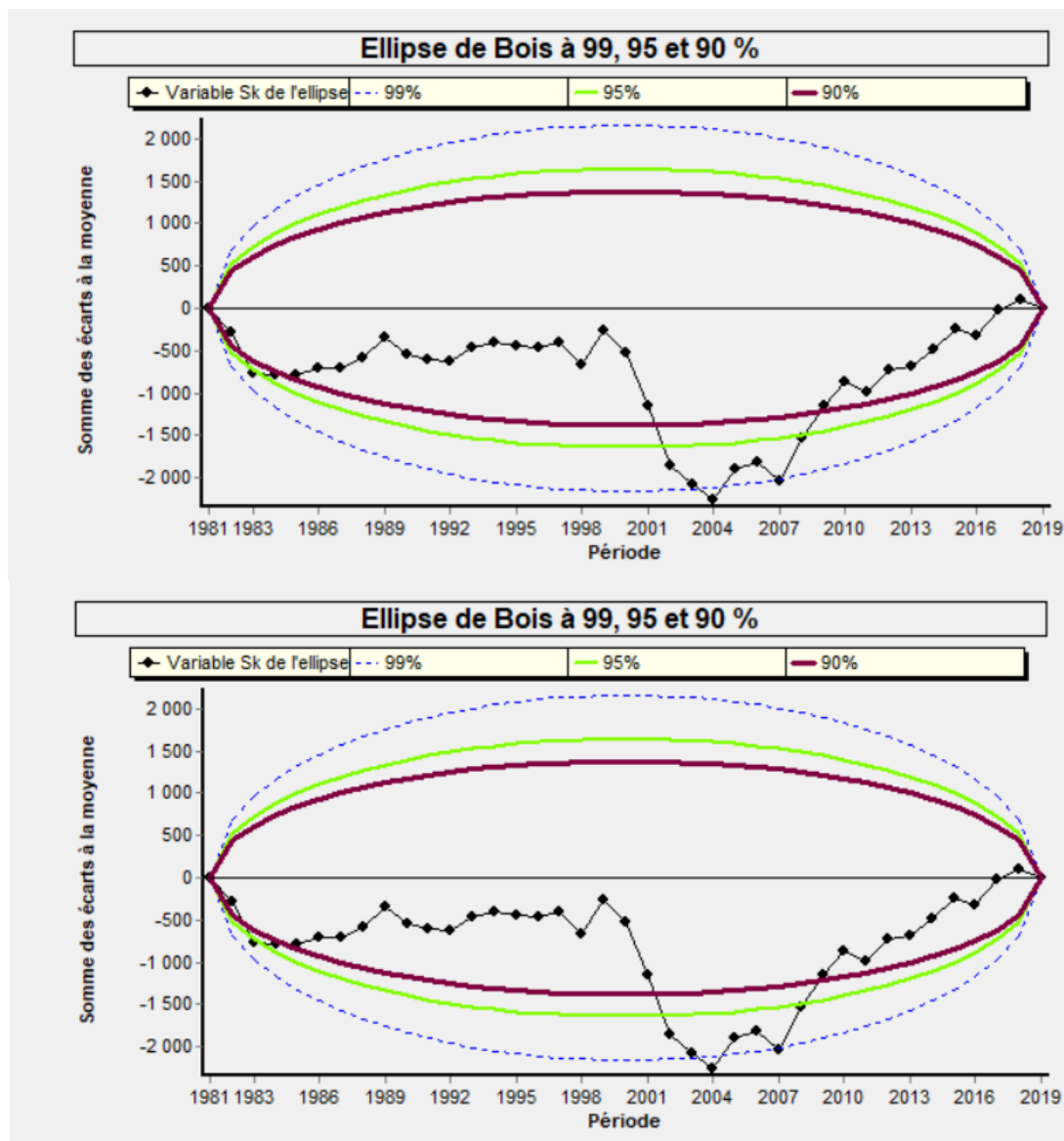
**Figure 3** : Évolution de la pluviométrie par le test Pettitt (1979) pour quelques stations de la Basse-Casamance de 1951 à 2019

## 2.5. VARIABILITE INTERANNUELLE DE LA PLUVIOMETRIE A NYASSIA ET NIAGUIS

L'application du test de Buishand a permis de détecter une présence de rupture pluviométrique dans la série de pluies des stations de Nyassia et Niaguis de 1981 à 2019. Celle-ci intervient en 2004 dans les deux stations.

La période avant-rupture (1981-2004), est la période qui enregistre des précipitations relativement faibles. Cette période a une moyenne de 1145,8 mm à Niaguis et 1151,7 à Nyassia (fig.4). Une moyenne relativement faible comparée à la normale humide de 1951-1980 qui est de 1401,76 mm à Ziguinchor.

La période après-rupture de la série traitée, est comprise entre 2004 et 2019 (fig.4). Pendant cette période de légères séquences de reprises de la pluviométrie sont observées en 2015, 2016, 2017 et 2018 dans les deux stations. Cette période a une moyenne de 1371,1 mm à Nyassia et 1366,7 mm à Niaguis, qui est toutefois relativement humide comparée à la période précédente et à la normale (1951-1980) à Ziguinchor.

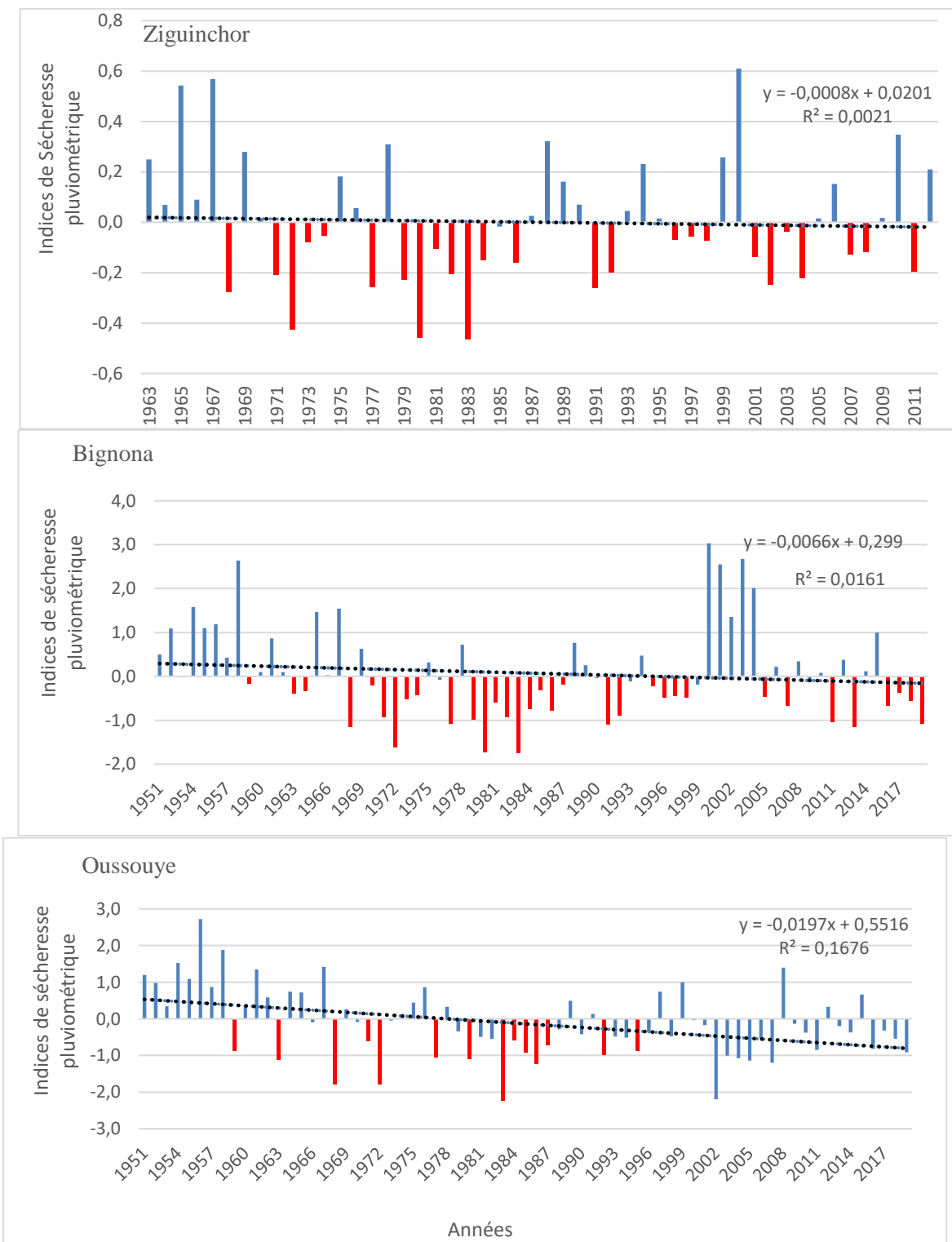


**Figure 4 :** Mise en évidence de la rupture par le test de Buishand dans les séries pluviométriques des stations de Nyassia et Niaguis

## 2.5. VARIABILITE DES INDICES PLUVIOMETRIQUES ANNUELS A ZIGUINCHOR, OUSSOUYE ET BIGNONA

Les indices de sécheresse pluviométrique sont utilisés pour caractériser l'évolution de la pluviométrie entre 1968 et 2019 pour les stations retenues. Les excédents constituent les années où les indices sont supérieurs à 0 et le sens inverse pour les déficits. Au niveau des données traitées, on observe une variation importante de 1968 à 2002. L'analyse de ces indices montre dans la globalité une tendance vers une sécheresse pluviométrique, vingt-quatre années humides contre vingt-six sèches. La période 1968-1982 constitue la période où les déficits chroniques de pluviométrie ont été enregistrés. Nous notons dans la série de données des déficits élevés enregistrés durant l'année 1970, coïncidant avec le début de la sécheresse pour plusieurs stations ouest-africaines. De même, les années 1972, 1980, 1982 et 1983 ont enregistré les indices les plus faibles (fig. 5). Ces périodes de variabilité séquentielle de la pluviométrie concernent l'ensemble de la Casamance. Elles sont en phase

avec les périodes où la sécheresse s'est manifestée en Basse-Casamance occasionnant un changement abrupt des régimes d'écoulement des cours d'eau (Dacosta, 1989).



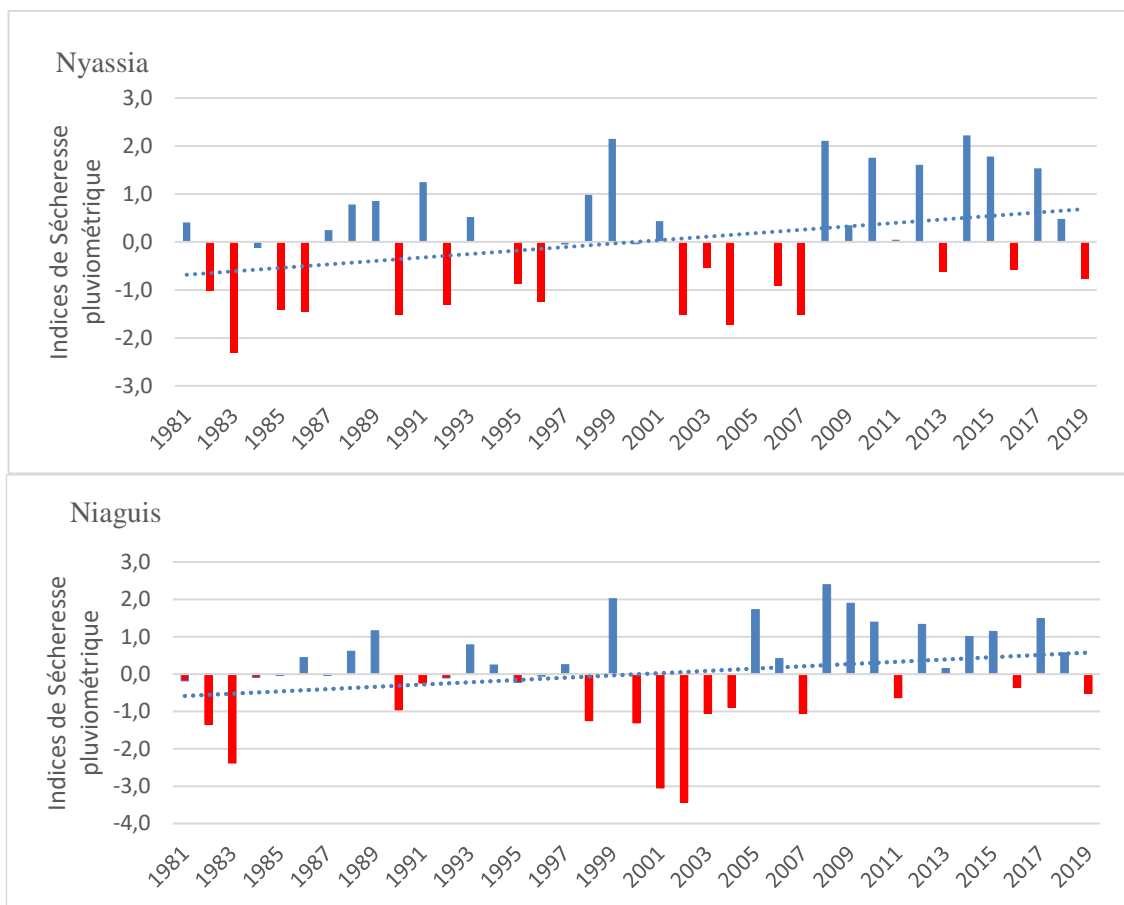
**Figure 5 :** Indices pluviométriques de 1951 à 2019 à Ziguinchor, Bignona, Oussouye

## 2.6 VARIABILITE DES INDICES PLUVIOMETRIQUES A NIAGUIS ET NYASSIA

La figure 6 indique trois périodes dans la série des indices pluviométriques dans les deux stations.

A la station de Nyassia, les trois périodes obtenues après la segmentation de Hubert sont : 1981 à 1999 ; 2000-2004 et 2005 à 2019. Les deux premières périodes sont relativement sèches trois années de sécheresse chroniques à savoir 1983, 1985 et 1986. La période 2000-2004 est également sèche avec des indices de sécheresse comprise entre -2 et -3 (fig.6). La dernière est relativement humide et compte 15/19 années humides. Les années 2014 et 2015 sont considérées comme les plus humides avec des indices de 1,6 et 2 (fig.6)

A la station de Niaguis, les trois périodes sont : 1981-1998 ; 1999-2003 et 2004-2019. La première période est relativement sèche avec trois années de chroniques pluviométriques (1983, 1985 et 1986). La seconde période (1999-2003) est également relativement sèche. Toutefois, on note pendant cette période de petites séquences humides en 1999 et 2001(fig.6). La troisième période 2004-2019, est mieux arrosée par les précipitations. Elle a enregistré plus d'années humides.



**Figure 6 :** Indices pluviométriques à Nyassia et Niaguis de 1981 à 2019

## 2.7. VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE SUR LA BASSE DES NORMALES

Nous avons travaillé sur quatre normales pluviométriques à savoir la normale 1951-1980 ; 1961-1990 ; 1971-2000 et 1981-2010. La méthode du krigeage a été appliquée dans cette analyse. Elle consiste à générer la pluie à l'échelle spatio-temporelle sur un territoire ou un espace paramétré manuellement. Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale

stochastique qui tient compte à la fois de la configuration géométrique des points observés et de la structure spatiale propre à la variable estimée (Diouf, 2011). Nous avons appliqué cette méthode vue qu'aucun poste ou station pluviométrie n'est disponible sur l'étendue des bassins. La méthode a été appliquée par Thauvin, (1992). Les données obtenues indiquent que la normale 1951-1980 est la plus humide dans toutes les stations étudiées (fig. 7). Elle est plus humide aux stations d'Oussouye et Bignona.

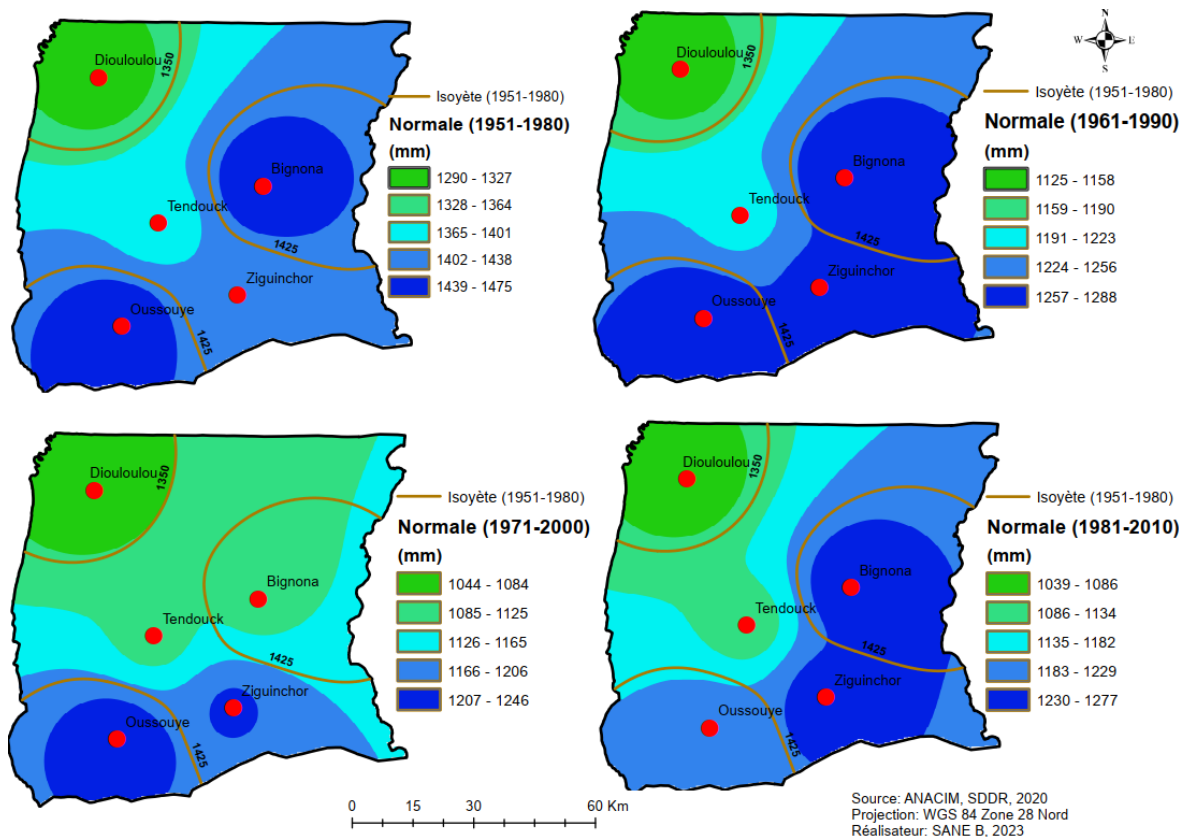
A la normale (1951-1980), une forte présence de l'isohyète 1400mm est notée sur l'étendue de la Basse Casamance. Pendant cette période, les normales pluviométriques étaient respectivement de 1475,88 mm à Oussouye, 1401,76 mm à Ziguinchor et 1294,37 mm à Bignona. De ce fait, plusieurs localités de la Basse-Casamance étaient relativement humide.

A la normale (1961-1990), les précipitations étaient relativement faibles, et la partie nord de la Basse-Casamance étaient plus concernée par ce rétrécissement de l'isohyète humide (1951-1980). Toutefois, les stations d'Oussouye et Ziguinchor, ont enregistré respectivement des normales pluviométriques modérément humide de 1288,9 mm et 1267,4 mm (fig. 7).

A la normale (1971-2000), relativement sèche, les précipitations ont considérablement baissé. Elle se manifeste par un retrait de l'isohyète humide (1951-1980) vers la partie méridionale de la Basse-Casamance. Par conséquent, les normales pluviométriques de toutes stations étudiées sont inférieures à la normal humide de la série (1951-1980).

La dernière normale de la série (1981-2010), est faiblement humide comparée à la normale 1971-2000. Les stations situées plus au sud et sud-est de la Basse-Casamance à savoir Oussouye, Ziguinchor et Bignona, ont enregistré des précipitations plus importantes, et indiquent de ce fait, une situation modérément humide.

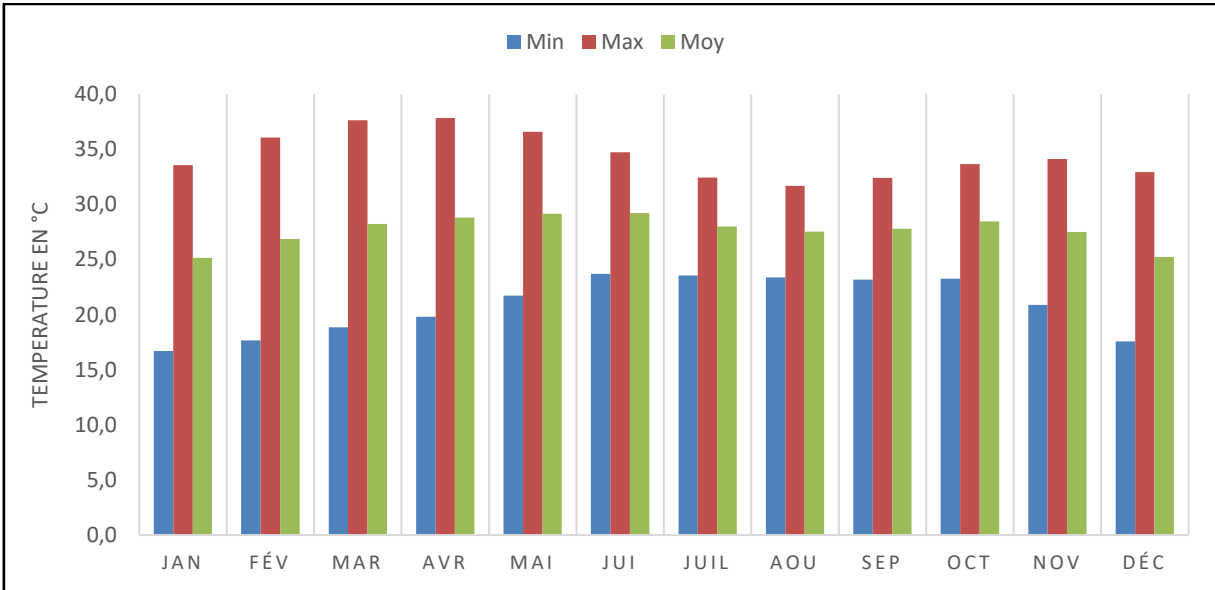
Au regard de l'évolution des normales pluviométriques dans les stations étudiées, on peut retenir que les normales 1961-1990 et 1971-2000 ont été plus affecté par la sécheresse en Basse-Casamance. Toutefois, la dernière normale de la série (1981-2010) semble être relativement humide comparée aux deux précédentes. Cette analyse de la pluviométrie par le système d'interpolation permet de situer les bassins dans leur contexte spatio-temporel. A cet égard, les résultats du krigeage ou interpolation ont montré l'hétérogénéité de la répartition spatio-temporelle de la pluviométrie sur la Basse-Casamance.



**Figure 7 :** Distribution spatiale des normales et migration des isohyètes en Basse-Casamance de 1951 à 2019

## 2.8. ÉVOLUTION DES TEMPERATURES MENSUELLES DE 1960 A 2019

Les températures moyennes faibles minimales sont enregistrées au mois de décembre, janvier et février. Les plus faibles valeurs sont notées aux mois de janvier (16,7°C), décembre, (17,6°C) et février (17,7°C). Les valeurs thermiques les plus élevées sont enregistrées aux mois de mars, avril et mai. C'est des mois pendant lesquels, une forte sensation de chaleur se précise, et la température oscille entre 34,7°C et 37,8°C en avril (fig.8). Ainsi, il faut dire qu'au sud du pays, la situation thermique de ces dernières années a connu d'importants changements. Elle se manifeste par des variations de chaleur et de fraîcheur à l'échelle mensuelle.



**Figure 8 :** Variations des températures mensuelles de 1960 à 2019

Les résultats du test sur les températures précisent la tendance ascendante de la température de 1960 à 2019. Dans la série de données traitées, les températures annuelles les plus faibles ont été ressenties dans la zone en 1960 avec 26, 12°C (température moyenne) ; 32, 9°C pour (la température maximale) et 19°C pour la température minimale. Les températures maximales sont observées en 2019, que ce soit pour les max (37,9°C), min (22,53°C) et moy (29,9°C). Au cours des 30 dernières années, les températures mesurées à la station de Ziguinchor ont connu une augmentation significative sur tous les mois avec un niveau de confiance de 95 % (Sané et al., 2020). La hausse est plus sentie pendant les mois de juin (0,621°C), juillet (0,610°C) et septembre (0,634°C) (tableau 3). On note une évolution au courant des mois de mai (0,455°C par an), août (0,587°C par an) et octobre (0,575°C par an). Toutefois, la hausse n'est pas très significativement pendant les mois de janvier (0,267) et février (0,289) à la station de Ziguinchor de la période 1960 à 2019 (tableau 4).

**Tableau 4 :** Tendence statistique de la température moyenne mensuelle de 1960 à 2019

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	juin
<b>Tau de Kendall</b>	0,267	0,289	0,412	0,437	0,455	0,621
<b>P-value</b>	0,016	0,011	0,012	< 0,024	0,070	0,017
Mois	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<b>Tau de Kendall</b>	0,610	0,587	0,634	0,575	0,440	0,435
<b>P-value</b>	< 0,021	0,013	0,015	0,016	< 0,033	< 0,012

Le degré de signification de la liaison entre les variables est évalué par le coefficient de corrélation de Pearson (r) dont la valeur absolue varie de 0 (absence totale de liaison) à 1 (une très forte liaison). Les données SPI corrélées aux températures moyennes mensuelles sur la même série temporelle indiquent une situation très dégradante des conditions thermiques en Basse-Casamance. Des corrélations élevées sont observées au mois de mars (0,77), avril (0,79), mai (0,81) et juin (0,89) cf. tableau 5. Pratiquement, les corrélations tendent vers une

signification d'une liaison entre les SPI et les températures pour tous les mois. Une tendance qui explique une évolution liée aux modifications des paramètres climatiques. Globalement, la lecture des résultats donne une idée sur les conditions d'humidité qui sont relativement faibles en Basse-Casamance, et celle-ci à toutes les échelles temporelles.

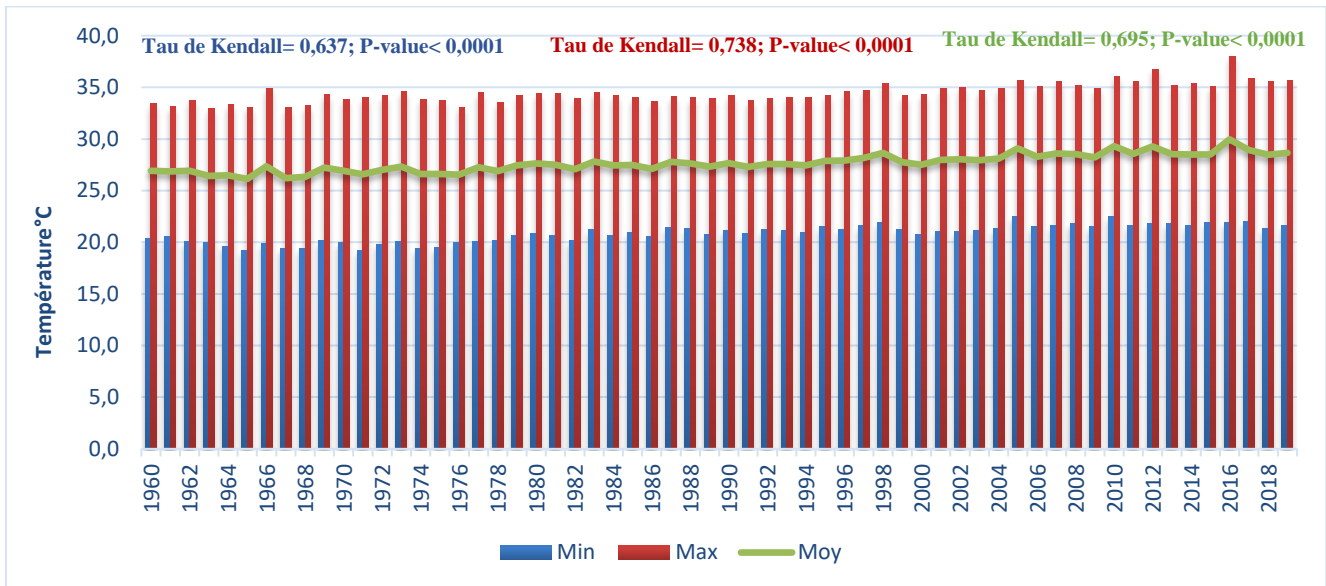
**Tableau 5 :** Corrélation entre les données SPI mensuelles et températures moyennes mensuelles de 1960 à 2019

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr.	Mai	Ju	Jui	Ao	Sept	Oct	Nov	Déc
Coef.	0,21	0,27	0,77	0,79	0,81	0,89	0,26	0,34	0,41	0,29	0,23	0,24

\*Coef. =Coefficient

## 2.9. ÉVOLUTION DES TEMPERATURES ANNUELLES DE 1960 A 2019

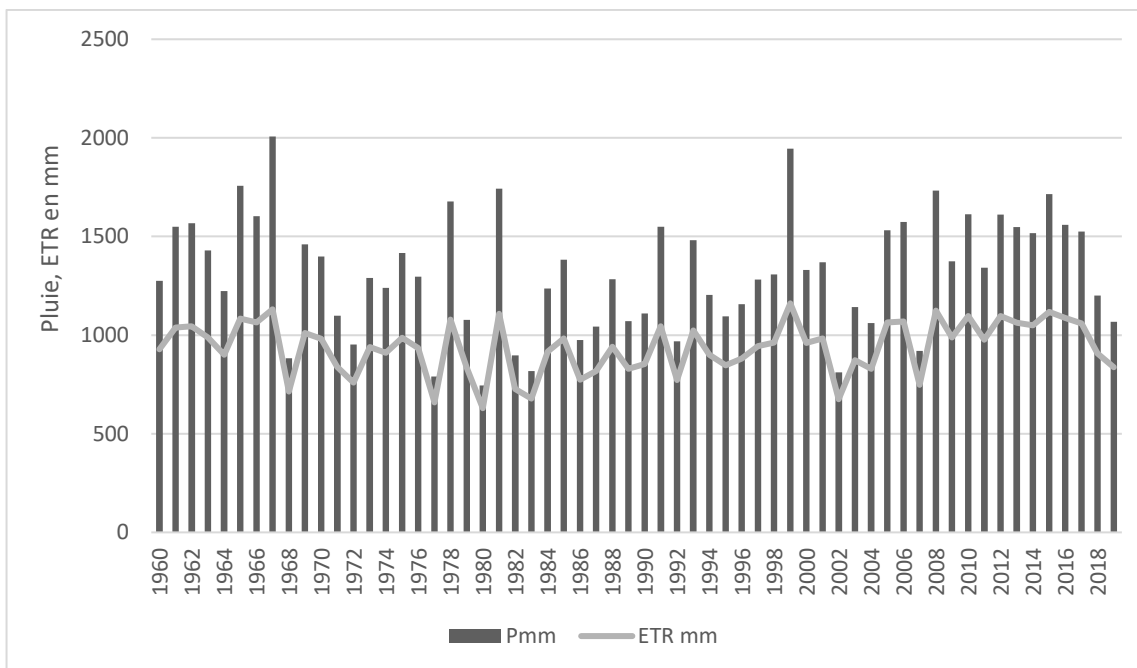
À l'échelle annuelle, la même tendance à la hausse significative est observée (fig.9) sur les températures maximales (0,637°C par an), minimales (0,695°C par an) et moyennes (par 0,738°C an). Cette évolution des températures est notée à la station synoptique de Ziguinchor sur la période 1960-2019. L'augmentation de la température chaque année a accentué les conditions d'assèchement dans la zone d'étude.



**Figure 9 :** Evolution des températures minimales, moyennes et maximales à la station de Ziguinchor de 1960 à 2019

## 2.10. VARIABILITE DES TERMES DU BILAN HYDROLOGIQUE

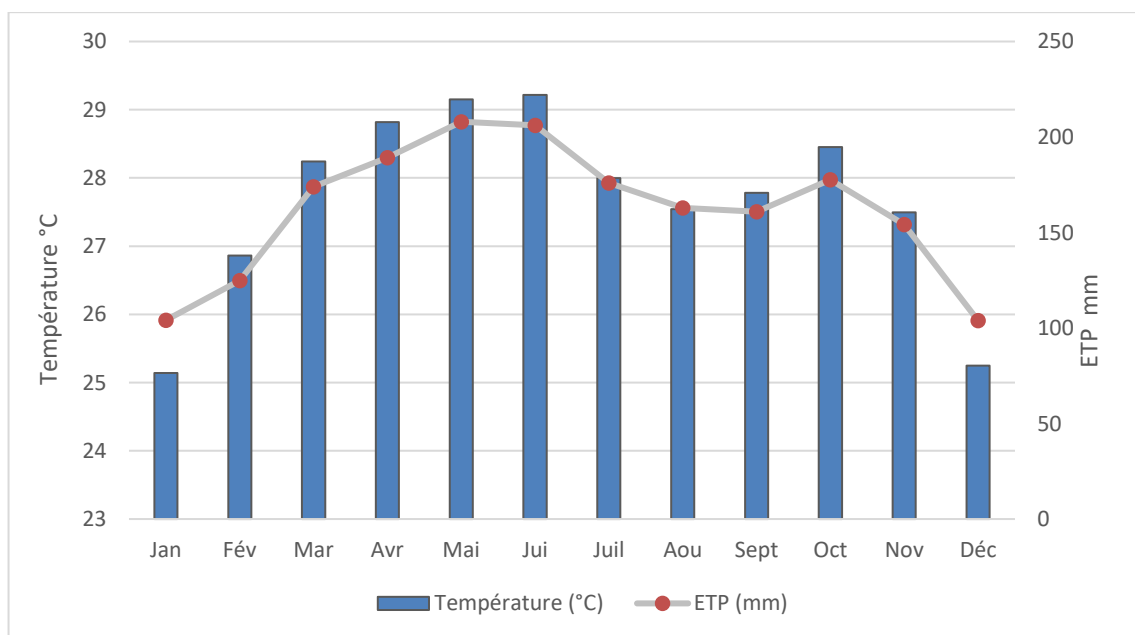
La tendance interannuelle du bilan hydrologique indique une évolution des précipitations et de l'ETR. La quantité d'eau susceptible de contribuer au ruissellement est presque égale à 200 mm sur toute la série retenue (fig.10). La figure 10 montre qu'à chaque période où de fortes quantités de pluies sont enregistrées, la quantité d'eau évaporée augmente également. L'Évapotranspiration réelle représente plus de 80% du volume d'eau précipité sur toute la série retenue. La partie restante (20%) constitue le faible volume qui contribue au ruissellement appelé la pluie efficace.



**Figure 10 :** Evolution interannuelle des précipitations et de l'ETR en Basse-Casamance

### 2.11. UNE TENDANCE IRREGULIERE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

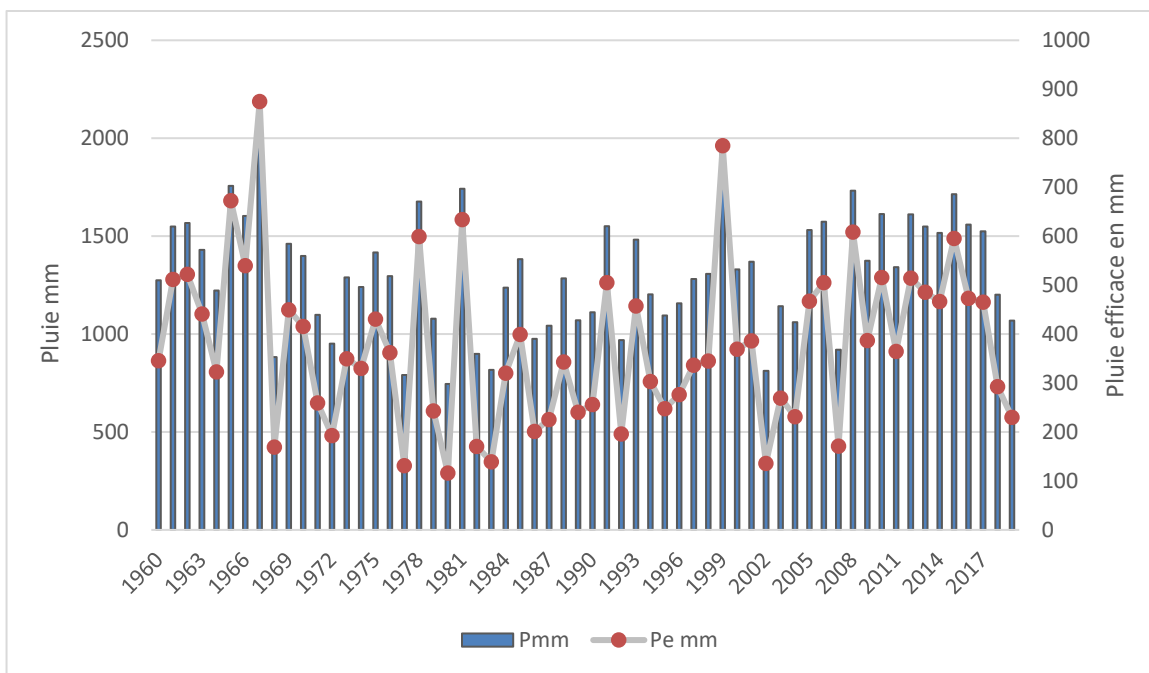
Les valeurs de l'ETP mensuelle sont en relation avec celles des températures à la station de Ziguinchor. À la période où on observe une hausse des températures, l'évapotranspiration potentielle augmente en même temps. Pratiquement, les mois d'avril, de mai, et de juin à températures élevées enregistrent respectivement des valeurs d'ETP de 189,8 mm, 208,1 mm et 206,1 mm (fig.11). Les valeurs deviennent faibles pendant les mois de décembre (103,9 mm) et janvier (104,2 mm) correspondant à la période de fraîcheur à Ziguinchor.



**Figure 11 :** Evolution mensuelle des températures et de l'évapotranspiration potentielle

### 2.13. UNE DIMINUTION DE LA CONTRIBUTION A L'ÉCOULEMENT

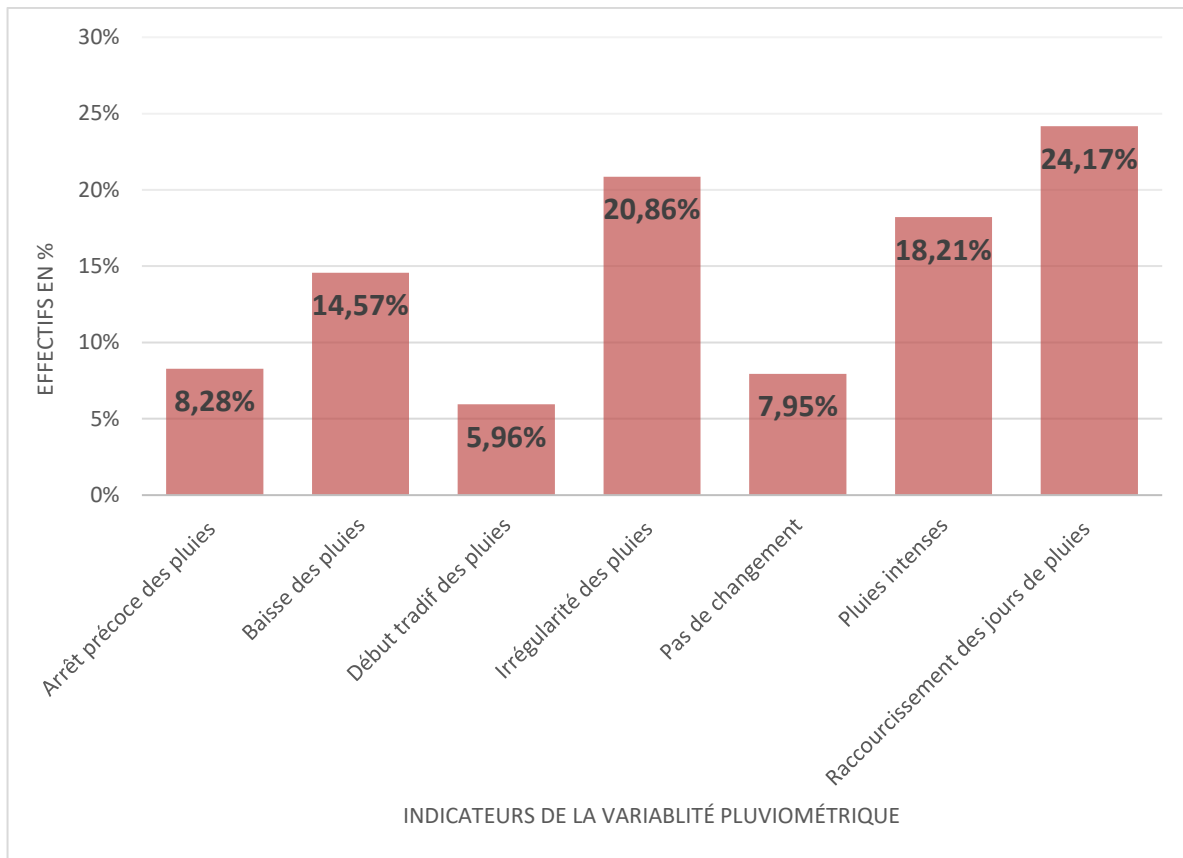
Sur la figure 12, nous avons mis en rapport la pluviométrie annuelle et la pluie efficace pour mieux estimer le potentiel en eau disponible ou susceptible de contribuer à l'écoulement et au ruissellement. Ainsi, on constate à travers les données de la figure 12 une évolution du volume d'eau précipité et du module d'eau écoulé de 1960 à 2019. Durant le quinquennat 1963-1967, de fortes pluies ont été enregistrées à la station de Ziguinchor associés à un volume d'eau écoulée fort. Les années où les quantités de pluies semblent diminuées, on constate concomitamment une réduction du volume susceptible de contribuer à l'écoulement.



**Figure 12 :** Variations de la pluviométrie et de la pluie efficace de 1960 à 2019 à la station de Ziguinchor.

## 2. Une pluviométrie irrégulière, comme facteur des mutations

Les perceptions des populations ont été recueillies pour déterminer la tendance de la pluviométrie dans les localités étudiées de manière globale. Les réponses reçues indiquent une variabilité de la pluviométrie comme facteurs des mutations environnementales et socioéconomiques observées dans les villages enquêtés. 14,57% des populations interrogées trouvent que la pluviométrie a baissé comparée aux années précédentes. Elle arrive de manière tardive 5,96% et d'une intensité forte, selon 18,21% des populations interrogées (fig.13). Les activités agricoles sont au ralenti et le calendrier agricole complètement modifié chez une bonne partie d'exploitant agricole. Certains évoquent, le retrait précoce, comme facteur de pertes de récoltes et baisse de leurs rendements agricoles. Cette perception *précoce* est donnée par 8,28% des populations rencontrées. Le raccourcissement des jours de pluies comme facteurs destructeurs de récoltes est évoqué par 24,17% des populations (fig.13). Ces perceptions sur les indicateurs de la variabilité pluviométrie indiquées ont entraîné globalement les changements actuels des pratiques agricoles dans la zone d'étude.



**Figure 13** : Perceptions des populations sur la tendance de la pluviométrie

### 3. Discussion

Après avoir bien démontré la variabilité hydroclimatique avec les tests de tendance et de ruptures, une analyse de statistiques a été effectuée à travers les tests de corrélation et de modélisation statistiques. Les résultats des données traités confortent notre hypothèse de départ sur le déficit chronique des séries pluviométriques. Les résultats assortis de l'analyse de la série de données pluviométrique (1951-2019), montre un déficit chronique des données interannuelles. Ils confortent les conclusions de l'étude de Vissin *et al*, 2003, « *La tendance générale des précipitations et du ruissellement est à la baisse.* » Les résultats des tests de Pettitt et de Man Kendall montrent une non-stationnarité des quantités de pluies depuis 1951. Les cassures notées dans les séries au niveau des postes de Bignona, Ziguinchor et Oussouye prouvent la variation des pluies. Les déficits de pluies restent constants dans la basse Casamance septentrionale. Toutefois, il existe de légères alternances entre les différentes années. Notamment, trois périodes qui se sont distinguées après traitement des données statistiques.

Une période 1951-1967 essentiellement excédentaire qui répondent aux années pluvieuses, c'est-à-dire période avant l'installation de la sécheresse. Un groupe d'années humides a été observé jusqu'à la fin de la décennie comme partout en Afrique de l'Ouest (Morel, 1995). À la fin des années 1968, un début d'alternance d'années humides à sèches sera observé pour toutes les séries de données pluviométriques.

Une longue période déficitaire (de 1968 jusqu'à la fin des années 2000) avec quelques années excédentaires. Cette période, correspond à celle des années de sécheresses mêmes si certains

chercheurs comme Descroix, (2015) ; Maléki. B. H, (2014) ont montré dans leurs études que la situation pluviométrique s'est améliorée en Afrique de l'Ouest depuis les années 1990. Néanmoins, cette amélioration, la situation ne semble pas revenir à la normale (1951-1960). Dans cette même logique SANE. T (2017) également prudent, indique une nuance pour annoncer la fin de la sécheresse en Basse Casamance. Les conditions pluviométriques semblent être améliorées, mais elles ne se sont pas manifestées partout dans la zone sud-soudanienne. En effet, la tendance est confirmée dans les résultats des travaux de Panthou. G. 2013 ; Bodian. A 2014 et Sambou. S & al (2018). L'analyse de la tendance des précipitations et leurs probabilités de retour met en évidence la variabilité des cumuls et des indices pluviométriques en basse Casamance septentrionale. Par conséquent, le caractère de ces déficits, sa tendance modérément chronique durant la période 1968 à 1995 montre bien que c'est une dégradation pluviométrique qu'il s'agit. Les températures aussi connaîtront sensiblement les mêmes variations. Ces éléments ont une ponction directe sur le climat. Dans ces conditions, ils peuvent traduire la sensation d'une sécheresse qui continue de perdurer dans la zone.

## **Conclusion**

Cette étude a montré l'évolution climatique dans la moyenne Casamance, qui se caractérise par une distribution spatio-temporelle irrégulière. Les tendances déterminées à l'échelle mensuelle indiquent des totaux pluviométriques importantes pendant les mois de septembre, août et juillet dans les stations d'Oussouye, Ziguinchor, Bignona, Nyassia et Niaguis. On note, sur la période 1951-2019, une tendance à la hausse des précipitations entre 1951 et 1968, qui est la période considérablement humide, et une tendance à la baisse, marquée par des variabilités entre 1970 et 2019. Une reprise pluviométrique a été enregistrée à partir de la décennie 1991-2000, avec quelques variabilités au courant des décennies 2001-2010 et 2011-2020. Ces variabilités sont observées aussi, sur les normales pluviométriques 1971-2000 et 1981-2010, qui sont, moins humides que les normales 1951-1980 et 1961-1990 dans les stations d'Oussouye, Ziguinchor et Bignona. La situation thermique a connu également des variabilités temporelles de 1960 à 2019. Le test de Kendall indique des hausses de températures au courant des mois de mai (0,455°C par an), août (0,587°C par an) et octobre (0,575°C par an). Ces variations temporelles des précipitations et des températures impactent sur les paramètres hydrologiques en Basse-Casamance.

Les précipitations, qui constituent la principale source d'alimentation des hydrosystèmes, se dégradent et impactent le cours normal des sources d'eau existantes. En Basse-Casamance, cette variabilité n'est pas sans conséquence sur les ressources en eau de surfaces et souterraines.

## **Références bibliographiques**

Amoussou E, 2010. Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest), thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Bourgogne, centre de recherches de la climatologie (CRC), CNS-UMR 5210, 313 pages.

ALBERGEL J., Brunet D., Dubée G., Marieu B., Montoroi J.P., Pépin Y., Zanté P., 1991. Projet Pilote Bas-fond de Djiguinoum. Rapport de Synthèse: Hydrologie-Hydrogéologie, ORSTOM, 43 pages.

Amoussou E, Camberlin P et Mahé G, (2012). Impact de la variabilité climatique et du barrage Nangbéto sur l'hydrologie du système Mono-Couffo en (Afrique de l'Ouest), Journal des Sciences hydrologiques, 57 (4) pp. 805-807.

Bodian A, 2014. Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest), Physico-géo, Vol 8, pp.297-312.

Descroix. L., Niang. A. D & al, (2015). Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'ouest à travers deux régions : la Sénégambie et le bassin du Niger moyen. Journal de l'association internationale de climatologie, vol. 12, pp. 25 - 43.

Gueye D et Sow S.A, (2019). Variabilité pluviométrique au Sahel sénégalais : Evaluation du retour progressif à la normale, Revue ivoirienne des Sciences et technologie, n°33, pp.84-105.

Fall C.A.L, Sané Y., 2020. Diagnostic des Contraintes de Mise en Valeur Rizicole des Sols Fluvio-Marins du Marigot de Bignona, Basse Casamance, Sénégal, European Journal, Vol.16, No.3 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, pp.359-377.

Faye C, (2019). Changements climatiques observés sur le littoral sénégalais (Région de Dakar) depuis 1960 : Etude de la variabilité des tendances sur les températures et la pluviométrie, Nature et Technologie, EISSN 2437-0312, pp.65-78.

Faye Mb., Fall A., Faye G., Hecke E.V., 2018. La variabilité pluviométrique et ses incidences sur les rendements agricoles dans la région des Terres Neuves du Sénégal oriental, Belgeo, <https://doi.org/10.4000/belgeo.22083>, 16 pages.

Kaboré P.N, Ouédraogo A., Sanon M., Yaka P., Somé L. 2017. Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du centre-nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015, Climatologie, vol. 14, pp.82-95.

Karambiri C., 2017. Variabilité Climatique et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin-versant du Sourou au Burkina-Faso, thèse de doctorat unique de géographie, Université Ouaga1/Professeur Joseph Ki-Zerbo, 237 pages.

Kouassi A.M., Assoko A.V.S, Kouakou K.E., Djie K.B, Kouamé K.F, Biemi J, 2017. Analyse des impacts hydrologiques de la variabilité climatique en Afrique de l'Ouest : Cas du bassin versant du BANDAMA en Côte d'Ivoire, Larhyss journal, ISSN 1112-3680, n°31, sept 2017, pages.19-40.

Kouassi D.H., 2014. Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de Coubéri. Thèse de doctorat en Géoscience de l'environnement et Aménagement de l'espace, 245 pages.

Sircoulon J, 1986. Bilan hydropluviométrique de la sécheresse 1968-1984 au sahel et comparaison avec les sécheresses des années 1910 à1916 et 1940 à1949, ORSTOM, pp.107-114.

Ndong J.B, (1995). L'évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l'environnement, Revue de géographie de Lyon, vol. 70, n°3-4, 1995. Sahel, la grande sécheresse. pp. 193-198

OLIVRY J.C (1987). Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la basse-Casamance, ORSTOM, 213 rue La Fayette 75010 Paris, France n°27, pp.501-512pages.

J.E. Paturel, E. Servat, M.O. Delattre et H. Lubes-Niel (1998). Analyse des séries pluviométriques de longues durées en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique, Journal des Sciences hydrologiques, 43 (6) pp.936-946.

Maléki.B.H. Wala Kpérkouma, Batawila Komlan, Akpagana Koff, (2014). Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques du nord du Togo entre 1960 et 2010, European Scientific Journal April 2014 éditions vol.10, No.11 ; ISSN : 1857 –7881 (Print) e -ISSN 1857-7431

Mballo I., Sy O., Barry B., 2021. Vulnérabilités et stratégies d'adaptation des paysans face aux changements socio-environnementaux en Haute Casamance (Sud-Sénégal), <https://doi.org/10.4000/belgeo.48429>, 23 pages.

Morel Robert. La sécheresse en Afrique de l'Ouest / The drought in West Africa. In : Revue de géographie de Lyon, vol. 70, n°3-4, 1995. Sahel, la grande secheresse. pp. 215-222 ;

NASCIMENTO Jr. L., SANT'ANNA NETO, J. L., DUBREUIL, V. (2015). Tendances, ruptures et variabilité et hydroclimatique dans l'état du PARANA-BRESIL, acte du XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, pp.567-572.

PANTHOU G. (2013). Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années. Thèse de l'Université Grenoble 1, 282 p.

Sagna P, Ndiaye O, Diop C ; Ndongue A ; Sambou P. C (2015). Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC, Pollution atmosphérique, N°26, 17 pages.

Sambou S, Dacosta H et Paturel J.E., (2018). Variabilité spatio-temporelle des pluies de 1932 à 2014 dans le bassin versant du fleuve Kayanga/Gêba (République de Guinée, Sénégal, Guinée-Bissau).

Sané B ; Cissé A ; Faye C et Sané T, (2020). Utilisation de l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) de 1950 à 2018 pour caractériser les tendances de la sécheresse sur la Basse Casamance, Revue Espace Géographique et Société Marocaine, n°32, pp. 107-133.

Sané T., Benga A. et Sall O., 2010. La Casamance face aux changements climatiques : enjeux et perspectives, 23<sup>ème</sup> de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes, pp.559-564.

Sané T., 2017. Vulnérabilité et adaptabilité des systèmes agraires à la variabilité climatique et aux changements sociaux en Basse-Casamance (Sud-Ouest du Sénégal), Thèse de doctorat de Géographie et Environnement, Université Sorbonne Paris Cité, 376 pages.

Stângă I. C, 2009. Quantifier la sécheresse. Durée, Intensité, Fréquence, ANALELE ȘTIINTIFICE ALE UNIVERSITĂȚII „AL I. CUZA” IAȘI, Tom LV s. II – c, pp. 31-46.

Thao Do T Thi Phuong, 2006. Apport de la télédétection spatiale pour l'étude multiscalaire des interactions climat - surface en Afrique de l'Ouest : Etude du bassin versant de l'Ouémé supérieur (Bénin), Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 219 pages.

Vissin E., Boko M., Perard G., Houndenou C., 2003. Recherches de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest), Association Internationale de Climatologie, Vol.15, pp.368-375.