



LES CAHIERS DE L'ACAREF

REGARDS PLURIDISCIPLINAIRES SUR LA RECHERCHE
FRANCOPHONE ET FRANCOPHILE D'AFRIQUE

Cordonné par

Koffi Ganyo AGBEFLE & Jean-Philippe ZOUOGBO

LES CAHIERS DE L'ACAREF



***Sous la Direction de Jean-Michel ELOY,
Université de Picardie, France***

Domaines:

Langues

Histoire

Géographie

Droit

Science politique

Sciences sociales



Volume 1 No 3, Décembre 2019 ISBN 9782953729962

***REGARDS PLURIDISCIPLINAIRES SUR LA RECHERCHE
FRANCOPHONE ET FRANCOPHILE D'AFRIQUE***

Coordonné par Koffi Ganyo AGBEFLE & Jean-Philippe ZOUOGBO

Numéro dirigé par

Jean-Miche ELOY

Décembre 2019/ version numérique

N°2020/1 (version papier)

Volume 1 No 3, Décembre 2019 ISBN 9782953729962

LES CAHIERS DE L'ACAREF

Volume 1 No 3, Décembre 2019

ISBN 9782953729962

SOMMAIRE

<p>La dynamique de l'occupation du sol urbain de Bouaké à l'épreuve des contraintes environnementales, Abe Pierre Achoukou, Bazoumana Diarrassouba & Noël Kpan VEI, <i>Université Alassane Ouattara (Côte d'Ivoire)</i>.....</p>	14
<p>Systèmes de transport urbain collectifs dans le grand Cotonou ouest (Cotonou et Abomey-calavi) : approche cartographique, <i>Auguste Tognidé HOUINSOU, Clément ADJIRE, José Edgard GNELE, & Vincent O. A. OREKAN P(Bénin)</i>.....</p>	30
<p>La représentation de l'islam dans <i>Ousmane Dan Fodio, serviteur d'Allah</i> d'André Salifou et <i>El hadj Omar</i> de Gérard Chenet, Chaïbou DAN-INNA, <i>Université d'Abdou Moumouni (Niger)</i>.....</p>	46
<p>Analyse comparée du nombre de jours pluvieux et/ou secs (non pluvieux) sur deux régions du Sénégal, Cheikh FAYE, Djibrirou Daouda BA, Arona SOW (Sénégal).....</p>	61
<p>Gestion environnementale des projets de transport d'énergie électrique par la communauté électrique du Bénin, Codjovi MINGNANNOU, Sotelle HOUÉSSOU, Euloge OGOUWALE & Christophe S. HOUSSOU (Bénin).....</p>	82
<p>Motivations des étudiants pour les zones faiblement desservies en côte d'ivoire, Daouda DOUKOURE, Kobenan ADJOURMANI, Aminata Soltié COULIBALY-KONE, Sassor Odile Purifine AKE-ODILE & Dinard KOUASSI (<i>Côte d'Ivoire</i>).....</p>	94
<p>Le fonctionnement des échanges frontaliers dans la ville frontalière de niablé à l'est de la cote d'ivoire, Datté Anderson KOUADIO, <i>Université Félix Houphouët Boigny Abidjan-Cocody (Côte d'Ivoire)</i>.....</p>	107
<p>Black Characters in the California Fiction, Didier Arcade LOUMBOUZI, <i>Université Marien Ngouabi - Brazzaville (Congo)</i>.....</p>	122
<p>Conquête du pouvoir politique et récompenses du pouvoir : une étude du règne du roi mbagaan nduur (1493 -1513) du saalum, Diome FAYE, <i>Université Cheikh Anta DIOP, Dakar (Sénégal)</i>.....</p>	137
<p>Projet pilote de cogestion et gestion durable de la pêche lacustre à Kossou (Côte d'Ivoire), SEKONGO LARGATON Guénolé, DOSSO Yaya & ABOYA Narcisse (<i>Côte d'Ivoire</i>).....</p>	146

Les illusions de la coopération bénino-soviétique 1974 à 1989, <i>Ebénezér</i> Korè SEDEGAN, <i>Université d'Abomey-Calavi(Bénin)</i>	164
Abobo, un quartier abidjanais presque en marge de la politique ivoirienne de "butanisation", Fernand Séka AYENON, Thérèse Alida Gngangoran ADOU, Solange Chibou ADOU & Axel Désiré Dabié NASSA, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire).....	178
L'initiation dans l'épopée : de la fonction utilitaire à la culture négro-africaine, Gabriel Tiegnon TOLA, Ecole Normale Supérieure (E.N.S.) Abidjan(Côte-d'Ivoire).....	194
Contraintes pluviométriques aux développements de la culture du maïs au cours de la seconde saison des pluies dans les plateaux Batéké en république du Congo, Guy Aymar MIAME MOUELO, Destyles Van KOMBYLA & Thierry Rolland ITOUA, <i>Département de Géographie, faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines</i>	205
Problématique de l'accès des partis politiques de l'opposition aux medias publics sous boni yayi : 2006-2016, Hermann W. ADIMOU, Rogatien M. TOSSOU, Raoul F. HOUINDO, Gédéon R. KIKI, <i>Université d'Abomey-Calavi(Bénin)</i>	220
Mutations urbaines et mobilités résidentielles à Lomé, Iléri DANDONOUGBO, Lamourджа BIALI, N'KERE Komi, Université de Lomé(Togo).....	239
Pression foncière et production agricoles dans la commune de Klouekanme au Bénin, Josias ADEGNANDJOU, <i>Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (Bénin)</i>	254
Installation et organisation de la colonie du Dahomey par l'administration française de 1894 à 1960, KOCHARE O. Placide, TOSSOU M. Rogatien, Université d'Abomey-Calavi (Bénin).....	283
Stratégies de survie des ménages pauvres pour un développement spatial équitable et durable à Abidjan, l'exemple du quartier biabou à abobo, Konakou Martin DIBY, <i>Université Félix Houphouët Boigny Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire)</i>	295
La démocratie providentielle en Afrique centrale entre contraintes internationales et contradictions nationales : quelle gouvernance pour les états en quête de développement? Marc Luciani EWODO, Université de Yaoundé II (Cameroun)	312
La coopération décentralisée à Akpro-Misséréte au Bénin, entre mobilisation de ressources et dépendance, Marius K. VODOUNNON TOTIN, Emilia AZALOU-TINGBE & Lucerno T.	

ANALYSE COMPAREE DU NOMBRE DE JOURS PLUVIEUX ET/OU SECS (NON PLUVIEUX) SUR DEUX REGIONS DU SENEGAL

Cheikh FAYE

Département de Géographie, U.F.R. Sciences et Technologies, UASZ, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, BP 523 Ziguinchor (Sénégal). cheikh.faye@univ-zig.sn

Djibrirou Daouda BA

Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis, (Sénégal). djibrirouba@yahoo.fr

Arona SOW

Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis, (Sénégal). sowarona2005@yahoo.fr

Résumé

Ces dernières années, le territoire sénégalais est confronté à des inondations de plus en plus fréquentes et dommageables. Dans ce contexte, les tendances des précipitations qui ont été observées sur le dernier siècle dans beaucoup de parties du globe ont très rapidement attiré l'attention des chercheurs. Cet article analyse les variations climatiques à travers le nombre de jours pluvieux et/ou secs (non pluvieux) sur deux régions du Sénégal (le bassin de la Casamance et le littoral nord sénégalais) aux caractéristiques climatiques différentes. Les données de précipitations journalières de 1970 à 2012 ont été utilisées. Pour l'examen des tendances du nombre de jours pluvieux et/ou secs, le test non-paramétrique de Mann-Kendall a été utilisé sur huit stations (quatre par région) et la méthode de la pente de Sen appliquée pour l'ampleur de la tendance. L'indice standardisé des précipitations (SPI) a aussi été analysé et l'autocorrélation adoptée au niveau de chaque station pour vérifier la cohérence et l'homogénéité des précipitations. Les résultats montrent des tendances des jours pluvieux en hausse dans l'espace (sur les deux régions) et dans le temps (de 1970 à 2012) contrairement à celles des jours secs qui sont en baisse. Toutefois, aucune station n'a indiqué une tendance statistiquement significative au niveau de signification de 1 % malgré les valeurs de SPI généralement positives sur les décennies récentes, ce qui laissant supposer une augmentation sensible du risque d'inondation

Mots-clés: Mann-Kendall, Pente de Sen, Tendence, Jours pluvieux, Jours secs

Abstract

These last years, Senegalese territory is confronted with more and more frequent and harmful floods. In this context, the trends of the precipitation which were observed over the last century in many parts of the globe very quickly drew the attention of researchers. This article analyzes the climatic variations through the number of rainy and/or dry days (not rainy) on two regions of Senegal (the basin of Casamance and the Senegalese north coast) in the different climatic characteristics. The data of daily precipitation from 1970 till 2012 were used. For

the examination of the trends of the number of rainy and/or dry days, the test not - paramétrique of Mann-Kendall was used on eight stations (four by region) and the method of Sen's slope applied for the scale of trend. The standardized precipitation index of the (SPI) analyzes and autocorrelation adopted at the level of every station to verify the coherence and the homogeneity of precipitation. Results show trends of increasing rainy days in space (on both regions) and in time (from 1970 till 2012) contrary to those of dry days which are decreasing. However, no station indicated a statistically significant trend at the level of 1 % meaning in spite of generally positive values of SPI on the recent decades, what suggesting a sensitive increase of the flood risk.

Keywords: Mann-Kendall, Sen's Slope, Trend, Rainy days, Dry days

Introduction

L'étude des séries météorologiques revêt une grande importance en climatologie. Les tendances des précipitations ont été observées sur le dernier siècle dans beaucoup de parties du globe et ont très rapidement attiré l'attention des chercheurs (Rodier et Roche, 1973 ; Roche *et al.*, 1976 ; Nicholson *et al.*, 2000). Au cours de cette période, surtout à partir des années 1990, les précipitations ont augmenté significativement dans la zone sahélienne (Ali *et al.*, 2008 ; Niang, 2008 ; Ali et Lebel, 2009 ; Ozer *et al.*, 2009 ; Ouoba, 2013). L'intensité croissante de précipitations en termes de nombre de jours pluvieux et/ou non-pluvieux est une grande préoccupation pour les chercheurs sur le changement climatique (Gocic et Trajkovic, 2013 ; Sayemuzzaman *et al.*, 2014 ; Islam, 2015).

Diverses études mettent en évidence l'évolution des précipitations dans la zone ouest-africaine sur la période récente (Ardoin-Bardin, 2004 ; Sow, 2007 ; Ali et Lebel, 2009 ; Ozer *et al.*, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2009 ; Faye, 2013 ; 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 par sa vitalité pour les populations du Sud du pays (**Erreur ! Source d u renvoi introuvable.**), des études climatologiques et hydrologiques effectuées (Albergel, 1987 ; 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. Toutefois, des études mettant en évidence l'idée d'un retour à des conditions climatiques plus humides, comparables à la situation des années 1950 et 1960 dans le bassin de la Casamance, sont très rares.

Dans un contexte d'installation d'une phase d'abondance pluviométrique à partir de la décennie 1990, cette étude a été initiée au Sénégal, dans le littoral nord sénégalais et le bassin de la Casamance, sur les récentes variations spatio-temporelles des paramètres pluviométriques, d'intérêt hydrologique et agronomique. Dans ce contexte dont il est toujours difficile d'affirmer la durabilité, l'identification d'une nouvelle rupture sur les séries pluviométriques

est d'une importance capitale. Pour cela, des tests statistiques permettant de détecter des tendances linéaires à la baisse ou à la hausse et d'évaluer si les évolutions sont statistiquement significatives, sont indispensables.

Les données de pluies journalières sur huit stations (quatre dans le littoral nord sénégalais et quatre dans le bassin de la Casamance) ont donc été analysées afin d'obtenir des premiers éléments de réponse à ces questions. Ainsi, cette étude se fonde sur une application de quelques indices existants qui permettent de caractériser la tendance de la pluie dans le bassin. Ces indices sont soumis à des tests statistiques dans le but de déterminer la continuité de la forte irrégularité pluviométrique et/ou de la sécheresse sur la période 1970-2012. De plus, cette détection des tendances des séries de précipitations est cruciale pour la planification et la gestion des ressources en eau régionale. L'objectif de cette étude est d'analyser la tendance spatiale et temporelle des jours pluvieux et non pluvieux à l'échelle annuelle dans le littoral nord sénégalais et le bassin de la Casamance sur la période 1970-2012. Le test non paramétrique de Mann-Kendall (MK) et le test de pente Sen ont été appliqués pour détecter la tendance et la pente respectivement.

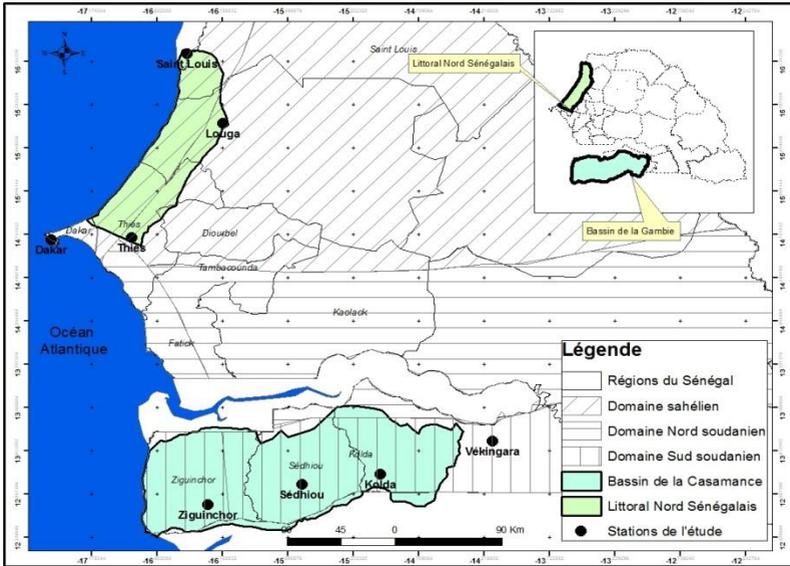
1. Zones d'étude

Pour mener cette étude, deux zones aux caractéristiques climatiques différentes sont choisies au Sénégal : le littoral nord sénégalais au climat sahélien et le bassin de la Casamance au climat sud soudanien (Figure 1).

Le littoral nord sénégalais est situé entre 14°3' et 16° Nord, et entre 16° et 17°5' Ouest et couvre une superficie d'environ 2300 km². Elle est limitée au Nord par le Delta du fleuve Sénégal et à l'Ouest par l'océan Atlantique (Faye, 1995 ; Aguiar, 2009). La limite Est correspond à l'axe Thiès -Louga qui est parallèle à la côte et qui se situe à une vingtaine de kilomètres de celle-ci. La topographie est marquée par la présence de dunes sableuses entre lesquelles s'étendent les Niayes qui sont des dépressions interdunaires comblées de matière organique où la nappe est affleurante à subaffleurante. Sur les marges de ces dépressions humides se pratiquent les cultures maraîchères. Dans cette zone, la dynamique spatio-temporelle de la nappe affleure au niveau des dépressions interdunaires des Niayes.

Le bassin de la Casamance est situé en latitude entre 12°20' et 13°21' Nord et en longitude entre 14°17' 1 et 16°47' Ouest. Le bassin couvre environ une surface de 20150 km² et 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). 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) (PADERCA, 2008). Le fleuve Casamance qui draine le bassin est formé, entre Fafakourou et Vélingara, par la réunion de plusieurs petits marigots qui sont souvent à sec en saison sèche, et reçoit un ensemble d'affluent comme le Tiango1 Dianguina (815 km² à Saré-Sara), le Dioulacou1on (200 km² à Sara Kéita), le Soungrougrou, (affluent le plus important).

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (littoral nord sénégalais et bassin de la Casamance) et des stations de l'étude



2. Données et méthodes

2.1. Données

Afin de caractériser le régime pluvial du littoral nord sénégalais et le bassin de la Casamance dominé comme dans le reste du Sahel par de petits nombres d'événements pluvieux à caractère convectifs, une étude détaillée des précipitations à l'échelle a été proposée. Elle est faite *via* l'analyse des tendances et des anomalies de quelques indices de variabilité de précipitation pour les quatre stations météorologiques dites synoptiques de la région des Niayes (Dakar, Thiès, Louga et Saint-Louis) et du bassin de la Casamance (Ziguinchor, Sédhiou, Kolda et Vélingara). Les valeurs annuelles ont été utilisées dans les analyses statistiques et ont été calculées à partir d'observations mensuelles. En plus des relevés annuels des précipitations, l'indice de normalisé des précipitations (SPI) a été choisi comme principale variable de précipitation dans les modèles.

Tableau 3 : Caractéristique des stations climatiques retenues dans les zones étude.

Zones	Stations	Latitudes	Longitudes	Période étudiée
Littoral nord sénégalais	Dakar	14,74	-17,1	1970-2012
	Thiès	15,62	-16,22	1970-2012
	Louga	14,80	-16,95	1970-2012
	Saint-Louis	16,01	-16,51	1970-2012
Bassin de la Casamance	Ziguinchor	12,55	-16,26	1970-2012
	Sédhiou	12,78	-15,55	1970-2012
	Kolda	12,88	-14,96	1970-2012
	Vélingara	13,15	-14,1	1970-2012

2.2. Méthodes : Analyses statistiques

2.2.1. Test de tendance de Man Kendall

Le test de Mann-Kendall est un test statistique non-paramétrique pour détecter la présence d'une tendance monotone au sein d'une série chronologique en absence de toute saisonnalité ou autres cycles. Ce test de tendance non paramétrique a d'abord été étudié par Mann (1945) puis repris par Kendall (1975a). Il est par la suite amélioré par Hirsch *et al.* (1984) qui ont permis de prendre en compte une composante saisonnière à partir de la variabilité mensuelle des données de la qualité de l'eau.

Avec le test de Mann-Kendall, des tendances ont été détectées dans les différentes séries et sur tous les indices de tendance analysés par Mann(1945) et Kendall (1975b). Ce test est un test de corrélation statistique de rang basé sur la comparaison du nombre de discordances observé et la valeur de la même quantité attendue à partir d'une série aléatoire. La méthode de Mann-Kendall a été suggérée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) pour évaluer l'évolution des séries chronologiques de données environnementales (Yu *et al.* 2002). Le test de Mann-Kendall consiste à comparer chaque valeur de la série chronologique avec les autres valeurs restantes, toujours dans un ordre séquentiel. Le nombre de fois que les termes restants sont plus grand que ceux analysés est compté (Lettenmaier *et al.* 1994 ; Burn et Elnur2002). La statistique de Mann-Kendall est donnée par l'équation (1) :

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign} (x_i - x_j) \quad (1)$$

Où n est la longueur de la série, x_i et x_j deux valeurs génériques de données séquentielles et la fonction $sign(x_i - x_j)$ défini par l'équation (2) :

$$sign(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{si } (x_i - x_j) > 0, \\ 0, & \text{si } (x_i - x_j) = 0, \\ -1, & \text{si } (x_i - x_j) < 0. \end{cases} \quad (2)$$

La statistique S représente donc le nombre de différences positives moins le nombre de différences négatives trouvées dans les séries chronologiques analysées. Si l'hypothèse est nulle, il n'y a pas de tendance dans les données de corrélation entre les variables considérées et le temps, chaque ordre de l'ensemble des données étant également probable. Dans cette hypothèse, la statistique S est environ une distribution normale avec la moyenne $E(S)$ et la variance $Var(S)$ définies respectivement sur les équations (3) et (4) suivantes:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (4)$$

Où n est le nombre de données non manquantes, t_p le nombre de valeurs dans le $p^{i\text{ème}}$ groupe et q le nombre de rang ex aequo. Le second terme représente un ajustement de données liées ou censurées. La valeur de S et de $Var(S)$ servent au calcul du test statistique standardisé Z qui s'écrit sous la formule de l'équation (5) suivante:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S > 0, \\ 0 & \text{si } S = 0, \\ \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{si } S < 0. \end{cases} \quad (5)$$

La présence d'une tendance statistiquement significative est évaluée en étudiant la valeur de Z . L'hypothèse nulle (H_0) indique l'absence d'une tendance et l'hypothèse alternative (H_a) la présence d'une tendance dans la série. Une valeur de Z positive indique une tendance à la hausse dans le temps, tandis qu'une valeur de Z négative une tendance à la baisse. En cas de hausse ou de baisse de la tendance monotone par rapport à un seuil de signification p , l'hypothèse nulle (H_0) est rejetée. Dans ce travail, le seuil de signification 0,01, le plus élevé pour ce test, (il est traditionnellement favorisé car correspondant à la probabilité d'erreur la plus faible : une chance sur 100 de se produire) a été appliqué et une plus valeur a été obtenue pour chaque série analysée.

2.2.1. Pente de Sen

Le test de Mann-Kendall ne fournit pas une estimation de l'ampleur de la tendance. Pour ce faire, nous utilisons une méthode non paramétrique appelée de la pente de Sen (Sen, 1968). Cette approche fournit une estimation de la pente plus robuste que la méthode des moindres carrés car elle est insensible aux

valeurs aberrantes ou extrêmes et concourt bien avec les moindres carrés simples, même pour les données normalement distribuées dans la série chronologique (Fan et Yao, 2003). Cette méthode a été largement utilisée par les chercheurs pour la prédiction de la prévalence de la tendance dans les séries temporelles hydro-météorologiques. Cette étude utilisant l'ampleur de la tendance suit les étapes ci-dessous.

1. L'intervalle entre les points de données de la série temporelle doit être également espacé.
2. Les données doivent être triées en ordre croissant selon le temps, puis l'équation suivante (6) est appliquée pour calculer la pente de Sen (Q_k) :

$$Q_k = \left[\frac{(X_j - X_i)}{(j - i)} \right], \text{ pour } k = 1, \dots, N \quad (6)$$

Où Q_k est la pente entre les points de données X_j et X_i mesuré au temps j et i respectivement.

Dans la matrice vectorielle de Sen, les membres sont de taille $N = \frac{(n-1)}{n}$ où n est le nombre de périodes. Les valeurs totales N de Q_k sont classées du plus petit au plus grand, et la médiane de la pente ou de l'estimateur de la pente de Sen est calculée comme suit:

$$Q_{med} = \begin{cases} Q_{[N+1/2]}, & \text{Si } N \text{ est impair} \\ \frac{Q_{[N/2]} + Q_{[N+2/2]}}{2}, & \text{Si } N \text{ est pair} \end{cases} \quad (7)$$

Avec le signe Q_{med} qui reflète la direction des tendances des données, alors que sa valeur indique la pente de la tendance.

2.2.3. Effet de l'autocorrélation

L'autocorrélation, également connue sous le nom de corrélation en série, est la corrélation d'un signal avec lui-même à différents moments. De façon informelle, c'est la similitude entre les observations en fonction du décalage temporel entre elles. L'analyse de l'autocorrélation est un outil mathématique pour trouver des motifs répétitifs, tels que la présence d'un signal périodique obscurci par le bruit, ou l'identification de la fréquence fondamentale manquante dans un signal impliqué par ses fréquences harmoniques. Il est souvent utilisé dans le traitement du signal pour analyser des fonctions ou des séries de valeurs, comme les signaux de domaine temporel. Les étapes adoptées avec les échantillons de données (X_1, X_2, \dots, X_n) sont les suivantes:

- 1) Le coefficient r_1 des données d'échantillon X_i , dérivé de Salas *et al.*(1980) et utilisé fréquemment, est donné par l'équation (7) :

$$r_1 = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - E(x_i)) \cdot (x_{i+1} - E(x_{i+1}))}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - E(x_i))^2} \quad (8)$$

$$E(x_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

Où $E(x_i)$ est la moyenne des données de l'échantillon et n le nombre d'observations.

2) Pour caractériser le coefficient r_1 , des études récentes (Gocic et Trajkovic, 2013 ; Sayemuzzaman *et al.*, 2014 ; Islam, 2015) ont indiqué l'équation suivante :

$$\frac{-1-1,645\sqrt{n-2}}{n-1} \leq r_1 \leq \frac{-1+1,645\sqrt{n-2}}{n-1} \quad (10)$$

Le test de l'autocorrélation a été utilisé sur l'ensemble des données de la série. Si r_1 est à l'intérieur de l'intervalle indiqué ci-dessus, les données des séries temporelles sont des observations indépendantes. Dans les cas où r_1 est en dehors de cet intervalle, les données sont corrélées en série.

3) Si l'ensemble des séries temporelles sont indépendantes, le test de Mann-Kendall et la pente de Sen peuvent être appliqués aux valeurs originales des séries temporelles.

4) Si l'ensemble des données de séries temporelles sont corrélées en série, alors la série temporelle "pré-blanchiment" peut être obtenue comme $(x_2 - r_1 x_1, x_3 - r_1 x_2, \dots, x_n - r_1 x_{n-1})$ (Sayemuzzaman *et al.*, 2014 ; Islam, 2015).

3. Résultats

Cette section analyse successivement la distribution spatiale des moyennes annuelles des pluies, le nombre annuel de jours de pluie et de jours secs. L'analyse des moyennes annuelles sur la période 1970 à 2012 fait apparaître une inégalité dans la distribution spatiale de la pluviométrie au Sénégal. Les hauteurs annuelles des pluies et le nombre des jours de pluies sont observés suivant un gradient pluviométrique Sud-Nord, du bassin de la Casamance au littoral nord sénégalais. En revanche, le nombre des jours secs augmente du Sud au Nord, du bassin de la Casamance au littoral nord sénégalais.

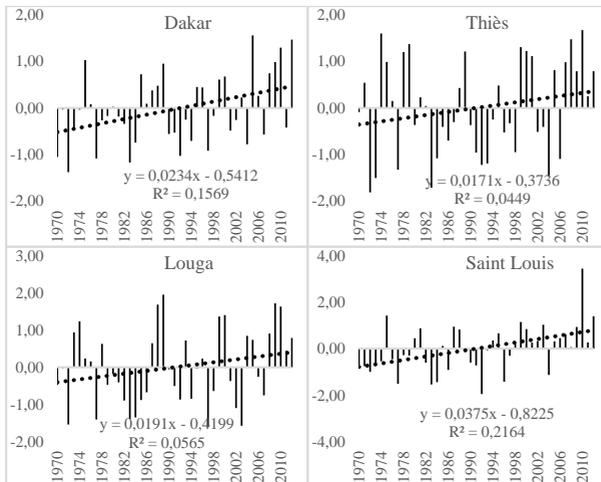
3.1. Tendances annuelles des précipitations

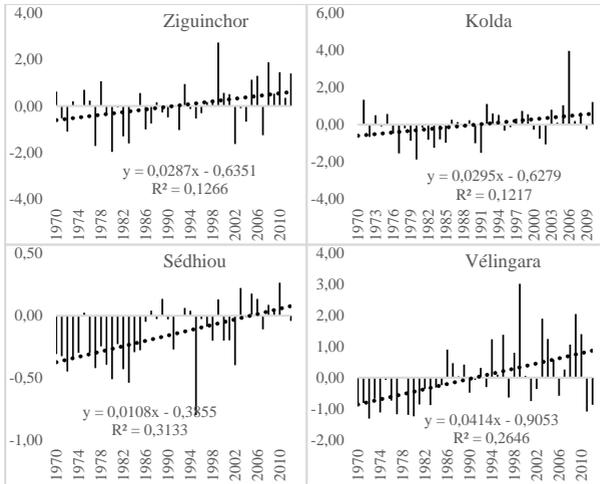
L'analyse du cumul annuel des précipitations est pertinente pour effectuer une étude de variabilité. La figure 2 met en évidence non seulement l'alternance d'excédents et de déficits pluviométriques annuels, mais aussi la variabilité annuelle des précipitations, en attestent les coefficients de variation variant entre 0,21 à Ziguinchor (dans le bassin de la Casamance) et 0,4 à Saint Louis (sur le littoral nord sénégalais). En comparant ces valeurs de cumul moyen annuel des précipitations entre les deux régions de l'étude (bassin de la Casamance et littoral nord sénégalais) de 1970 à 2012, on remarque que l'appartenance des stations à des zones climatiques différentes traduit systématiquement l'importance de la variation et de la pluviométrie annuelle. Ziguinchor en domaine climatique sud soudanien enregistre pluie moyenne de 1236 mm contre 250 mm pour la station de Saint Louis en domaine climatique sahélien.

Dans cette étude, les indices standardisés des précipitations (Balme *et al.*, 2005) ont été calculés pour les stations retenues dans le bassin de la Casamance et sur le littoral nord sénégalais de 1970 à 2012 (Figure 2). Ces indices standardisés des précipitations permettent de comparer les deux régions concernées. Dans les

deux cas, on observe d'abord la longue période sèche. Toutefois, les deux régions se distinguent par le fait que la remontée se manifeste plutôt au Sud (après 1993) aux stations plus continentales que sur le littoral (après 1999). Cette remontée est confirmée par Panthou *et al.* (2014) et Descroix *et al.* (2015) qui signalent son caractère significatif dans la bande soudano-sahélienne. L'analyse montre une même dynamique d'ensemble de la courbe de tendance des précipitations annuelles (partout ascendante) et de l'équation de la droite de régression (au coefficient directeur positif sur toutes les stations) dans le bassin de la Casamance et sur le littoral nord sénégalais. La reprise des pluies, sur ces dernières années, s'est faite sur tout le territoire sénégalais, du Sud au Nord. Dans les deux régions, l'évolution est globalement la même sur ces deux régions, malgré le gradient pluviométrique latitudinal. Toutefois, les indices négatifs, synonymes de la sécheresse, sont généralement plus faibles dans le bassin de la Casamance (-4,09 à Kolda et -1,97 à Ziguinchor) que sur le littoral nord sénégalais (-1,38 à Dakar et -1,61 à Louga). Il en est aussi de même pour les indices positifs, synonymes de l'humidité, qui sont généralement plus élevés dans le bassin de la Casamance (3,96 à Kolda, 3,03 à Vélingara et 2,73 à Ziguinchor) que sur le littoral nord sénégalais (1,56 à Dakar, 1,68 à Thiès et 1,95 à Louga).

Figure 2: Indices standardisés des précipitations annuelles aux stations retenues de 1970 à 2012





Si l'analyse de l'indice standardisé de précipitations révèle une alternance entre les années déficitaires et celles qui sont excédentaires sur le territoire sénégalais, cette alternance sur ces dernières années est beaucoup plus notée sur le littoral nord sénégalais que dans le bassin de la Casamance où globalement la hausse de la pluviométrie se fait continuellement. Si les décennies 1970 et 80 sont fortement déficitaires, en revanche la période 1995 à 2012 est marquée par son caractère humide, même si les degrés d'humidité est variable d'une année humide à une autre (humidité extrême, forte et modérée). La diminution (1970-1990) (Dacosta *et al.*, 2002) puis la remontée (après 1995) des précipitations apparaît plus marquées sur la zone littorale que sur la zone continentale du pays. Dans le cas de la station de Dakar, la baisse de la pluviométrie est bien plus marquée que celle de la station de Ziguinchor, la remontée étant par contre moins prononcée. Les mêmes tendances sont notées sur les autres stations du littoral nord sénégalais (Thiès, Louga et Saint-Louis) comparées à celles du bassin de la Casamance (Kolda, Sédhiou et Vélingara).

De façon générale, il est observé dans un premier temps une série d'années déficitaires soit de 1970 à 1993 et dans un second temps une série d'années excédentaires (1993 à 2012). A l'échelle interannuelle, l'indice standardisé de précipitations présente un caractère irrégulier de la pluviométrie au niveau des deux régions de l'étude. Ces périodes excédentaires et déficitaires sont dues à des manifestations des phénomènes exceptionnels tels que les sécheresses et les excédents de pluies.

3.2. Tendances annuelles du nombre de jours pluvieux et secs

Par rapport au nombre de jours de pluie, il est intéressant de remarquer leur proportionnalité aux hauteurs d'eau précipitées annuellement de 1970 à 2012. Suivant le gradient pluviométrique croissant, les valeurs maximales varient entre un maximum de plus de 107 jours de pluie à Ziguinchor et 94 jours à Kolda dans le bassin de la Casamance, à un minimum relatif de 38 jours de pluie à Louga et 39 à Saint Louis sur le littoral nord sénégalais. Ces stations du littoral nord sénégalais enregistrent donc les valeurs moyennes de nombre de jours secs les plus élevées (340 à Saint Louis, 339 à Louga, 331 à Dakar et 328 à Thiès) que les stations du bassin de la Casamance (307 à Vélingara, 306 à Sédhiou, 285 à Kolda et 280 à Ziguinchor). Les valeurs minimales du nombre de jours pluvieux sont très faibles pour des stations sur le littoral nord sénégalais (12 jours à Saint Louis, 15 à Louga et Thiès 16 à Dakar). Autant que la quantité de pluie reçue, le nombre de jours pluvieux, dans le bassin de la Casamance, connaît une distribution longitudinale hétérogène entre la partie littorale et celle à l'intérieur du continent. D'une manière globale, l'examen de l'homogénéité des séries journalières présente un caractère non aléatoire qui est confirmé par l'application du test de Man Kendall qui révèle l'existence des tendances à la hausse du nombre de jours pluvieux pour les stations retenues (Tableau2).

Tableau 2: Résultats des tests de Mann-Kendall sur le nombre de jours pluvieux et secs aux stations retenues de 1970 à 2012

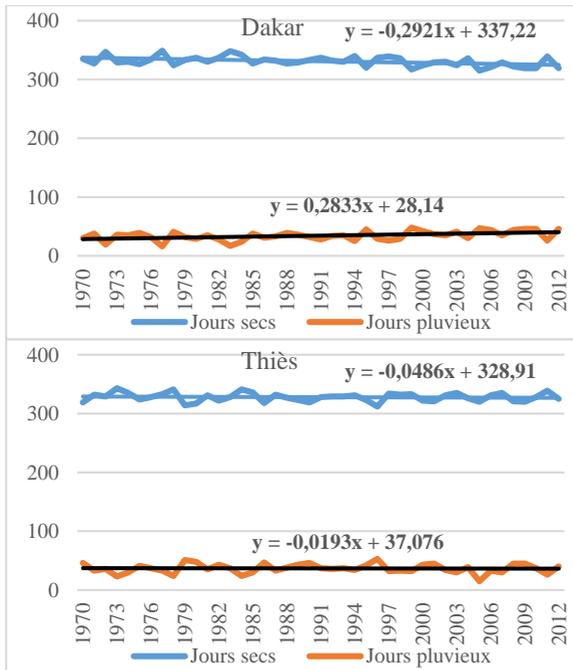
	Nombre de jours pluvieux		Nombre de jours secs	
	p-value		p-value	
Dakar	τ de Kendall	0,012	τ de Kendall	0,010
	Pente de Sen	+0,269	Pente de Sen	-0,276
		+0,277		-0,296
Thiès	p-value	0,874	p-value	0,674
	τ de Kendall	-0,018	τ de Kendall	-0,046
	Pente de Sen	0	Pente de Sen	-0,045
Louga	p-value	0,752	p-value	0,891
	τ de Kendall	+0,035	τ de Kendall	+0,015
	Pente de Sen	0	Pente de Sen	0
Saint Louis	p-value	0,007	p-value	0,007
	τ de Kendall	+0,289	τ de Kendall	-0,289
	Pente de Sen	+0,241	Pente de Sen	-0,230
Ziguinchor	p-value	0,013	p-value	0,021
	τ de Kendall	+0,266	τ de Kendall	-0,248
	Pente de Sen	+0,342	Pente de Sen	-0,333
Kolda	p-value	0,177	p-value	0,018

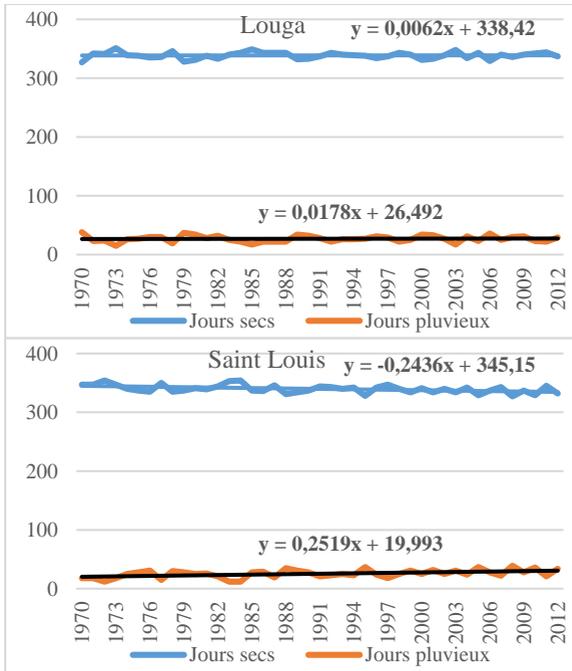
	τ de Kendall	+0,149	τ de Kendall	-0,258
	Pente de Sen	+0,181	Pente de Sen	-0,444
Sédhiou	p-value	0,644	p-value	0,644
	τ de Kendall	+0,050	τ de Kendall	-0,050
	Pente de Sen	+0,062	Pente de Sen	-0,062
Vélingara	p-value	0,528	p-value	0,469
	τ de Kendall	-0,069	τ de Kendall	+0,078
	Pente de Sen	-0,071	Pente de Sen	+0,1

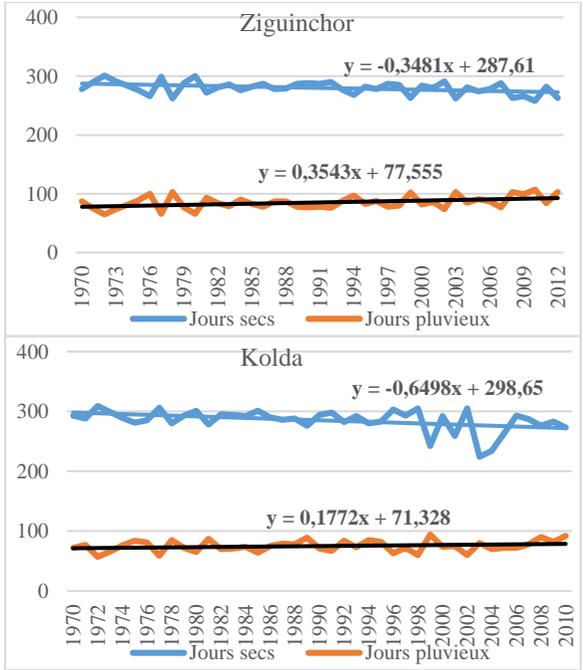
(-) : tendance négative ; (+) : tendance positive ;(*) : tendance significative

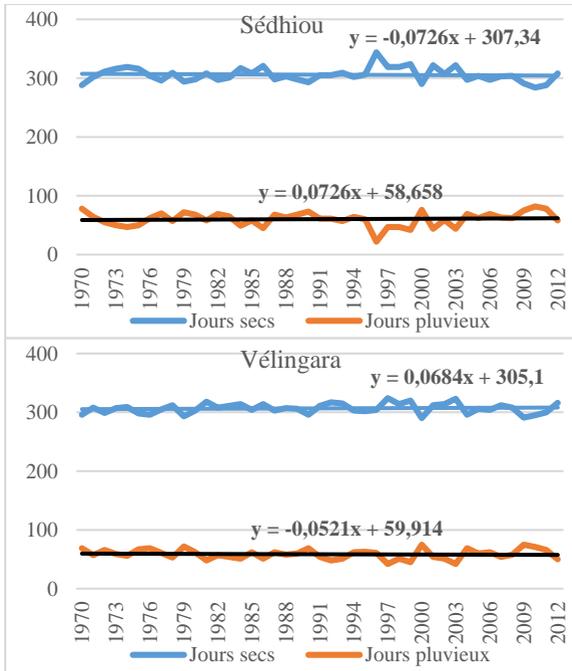
Le tableau 2 indique les résultats des tests de Mann-Kendall sur le nombre de jours pluvieux et secs en termes de signification et d'ampleur (jours /année) aux stations sélectionnées dans le bassin de la Casamance et sur le littoral nord sénégalais de 1970 à 2012. L'étude approfondie des données pluviométriques des huit stations sur une longue série chronologique s'étalant sur un peu plus d'un demi-siècle (1970-2012), révèle des changements dans son ensemble. L'intérêt de cette analyse réside dans le fait que les tendances calculées sur six des huit stations sont généralement à la hausse pour les totaux pluviométriques annuels et le nombre de jours pluvieux, bien que celles-ci ne soient pas statistiquement significatives. Les tendances à la hausse du nombre de jours pluvieux sont donc plus importantes que les tendances à la baisse au niveau de signification de 1%. Seules deux des stations analysées (Vélingara dans le bassin de la Casamance avec un *Tau* de Kendall de -0,069 et Thiès sur le littoral nord sénégalais avec un *Tau* de Kendall de -0,018) présentent une tendance du nombre de jours pluvieux à la baisse. Ces tendances à la hausse du nombre de jours pluvieux sont fortement notées à la fois dans le bassin de la Casamance (avec un *Tau* de Kendall de +0,266 à Ziguinchor, +0,149 à Kolda et +0,050 à Sédhiou) et sur le littoral nord sénégalais (avec un *Tau* de Kendall de +0,269 à Dakar, +0,035 à Louga et +0,289 à Saint Louis).

Figure 3: Evolution du nombre de jours pluvieux et secs aux stations retenues de 1970 à 2012









On note en moyenne pour les deux régions et pour les stations prises individuellement une diminution de nombre de jours secs (jour avec pluie inférieure ou égale à 1 mm) allant de la période de sécheresse (décennies 1970 et 1980) aux deux dernières décennies (décennies 1990 et 2000) où l'on note une reprise des précipitations. Ce qui confirme les fortes précipitations tombées (en termes de quantité) durant cette période au Sénégal. Mais si la pluie semble reprendre dans les deux régions, sa répartition durant la saison de pluie reste problématique en ce que le début semble être instable voire retardé pendant que ces dernières années. Le nombre de jours pluvieux est donc majoritairement à la baisse sur les décennies 1970 et 1980, et à la hausse sur les décennies 1990 et 2000, ce qui illustre bien le retour de la pluie sur ces dernières années dans la zone. Grâce à la recrudescence du nombre des jours pluvieux, l'ampleur de la tendance à la hausse du nombre des jours pluvieux varie de +0,342 jour / an à Ziguinchor) à +0,062 jour / an à Sédhiou. En revanche, pour le nombre de jours secs, la tendance est généralement négative et varie de -0,444 jour /an à Kolda à -0,045 jour /an à Thiès. Toutefois, des stations comme Vélingara (+0,1 jour /an) enregistrent exceptionnellement une tendance du nombre de jours secs à la hausse.

4. Discussion

Le « principe de précaution », appliqué à la qualité des données, nous a conduit à limiter l'examen des précipitations dans deux régions du Sénégal (le bassin de la Casamance et le littoral nord sénégalais) de 1970 à 2012. Pour les indices standardisés de précipitations et le nombre de jours pluvieux et secs, l'analyse confirme la très grande variabilité de ces paramètres mais ne permet pas de discerner de tendances particulières sur le long terme.

Du fait que nous nous sommes limités à la série 1970-2012, nos résultats sont nécessairement différents et difficilement comparables aux études dont les séries ont pris en compte la période humide des décennies 1950 et 60 et qui ont mis en évidence des tendances à la baisse significative des précipitations dans la zone ouest-africaine et donc la grande sécheresse des années 1970 et 80 (Ardoin-Bardin, 2004 ; Sow, 2007 ; Ozer *et al.*, 2009 ; Hountondji *et al.*, 2009 ; Faye, 2013 ; Faye *et al.*, 2015). Dans ces études, les séries analysées présentent toutes une hausse. Hausse certes, mais une hausse qualifiée.

L'ampleur de la tendance à la hausse du nombre des jours pluvieux (+0,342 jour / an à Ziguinchor ; +0,181 jour / an à Kolda ; +0,241 jour / an à Saint Louis) viennent confirmer la nette tendance croissante qui est en moyenne de + 0,478 mm/an sur l'ensemble du 20^{ème} siècle parle Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat(GEIC) (Houghton *et al.*, 2001). Elle est en adéquation avec les tendances des précipitations qui ont été observées ces dernières décennies dans certaines régions du Sénégal (Ba, 2018 ; Ba *et al.* 2018 ; Ba *et al.* 2019) et dans beaucoup de parties du globe (Rodier et Roche, 1973 ; Roche *et al.*, 1976 ; Nicholson *et al.*, 2000). Au cours de cette période, particulièrement à partir des années 1990, les précipitations et le nombre de jours pluvieux ont augmenté significativement dans la zone sahélienne (Ali *et al.*, 2008 ; Niang, 2008 ; Ali et Lebel, 2009 ; Ozer *et al.*, 2009 ; Ouoba, 2013). Toutefois, bien qu'une hausse du nombre de jours pluvieux soit notée, les tendances au niveau des stations analysées ne pas statistiquement significatives au seuil de confiance de 99%.

Bien que nous nous sommes limités à la période 1970-2012, notre analyse comparée sur l'évolution du climat, entre deux régions à climat différent, est à nuancer en raison des modifications géographiques d'échelle locale qui peuvent altérer progressivement l'homogénéité temporelle des mesures. Au regard de l'évolution annuelle des précipitations et tenant compte du retour de pluies normales, on peut comprendre les récentes inondations dans les villes et l'amplification des ravinements. En effet, de nombreuses zones du Sénégal sont confrontées à des inondations de plus en plus fréquentes. Ces inondations sont à la base des désolations à la suite de l'importance des dégâts causés. Cependant, même si de tels épisodes identiques ont eu lieu par le passé, il convient de souligner que les événements climatiques actuels ont des conséquences plus dramatiques qu'autrefois car ils se produisent dans un contexte de plus grande vulnérabilité de nos sociétés face aux aléas atmosphériques (Lamarre et Pagney, 1999). L'impact psychologique de ces catastrophes est d'autant plus fort qu'il

remet en cause la certitude de notre civilisation moderne dans sa capacité à « gérer » l'environnement (Cantat, 2004), d'où l'importance d'analyser de longues séries climatiques.

Conclusion

A la lumière des analyses effectuées en vue de caractériser le climat actuel du bassin de la Casamance et du littoral nord sénégalais de 1970 à 2012, on peut retenir qu'après les années de déficit de 80, on assiste à une forte variabilité inter annuelle de la pluie dans l'ensemble de la zone d'étude avec une tendance globale à la hausse des précipitations ces dernières décennies. Les nombres de jours de pluies ont augmenté sur les décennies 1990 et 2000 par rapport aux décennies 1970 et 80 contrairement aux nombres de jours secs, ce qui conforte la tendance à la hausse des précipitations de façon générale. L'analyse statistique du Taux de Kendall met en évidence cette forte variabilité et/ou hausse du nombre de jours pluvieux. Si la pluviométrie des deux sous-espaces étudiés ici a recommencé à augmenter au milieu ou à la fin de la décennie 1991-2000, suivant les stations analysées, cependant elle n'a nulle part atteint les valeurs annuelles très excédentaires des décennies 1950 et 60. Elle s'est accompagnée d'une augmentation plus prononcée de l'occurrence des jours de pluie, et cela dans les deux sous-régions étudiées (bassin de la Casamance et littoral nord sénégalais). Une analyse des séries chronologiques révèle début de la grande période sèche (décennies 1970 et 80) dans toutes les stations à une date plus précise. En revanche, la fin de la sécheresse est moins nette et moins marquée par une rupture. Quoiqu'il en soit, le retour des pluies n'est peut-être pas aussi bénéfique en termes de ressources en eau et en termes de rendements cultureux. Cela explique peut-être la raison pour laquelle beaucoup d'acteurs (agriculteurs, éleveurs, autres acteurs du monde rural) n'ont toujours pas réellement perçu le retour à une pluviométrie plus élevée.

Références

- Ba D. D. (2018), Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal (Région de Matam), Thèse de doctorat unique, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Section de géographie, 196 p.
- Ba D. D., Diop T. et Ndiaye P. M. (2019). « Impact de la variabilité pluviométrique sur la dynamique spatio-temporelle des surfaces agricoles dans le delta du fleuve Sénégal » *Ahobo*, juin 2019, p. 126-136
- Ba D. D., Ndiaye P. M et Faye C. (2018), « Variabilité pluviométrique et évolution de la sécheresse climatique dans la vallée du fleuve Sénégal », *Revue Togolaise des Sciences*, Vol 12, n°1, Lomé, p. 57-71.
- Aguiar L. A. A. (2009), Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004. Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, 208 p.

- Albergel J. (1987), *Expertise hydrologique sur 11 sites de Basse et Moyenne Casamance – Rapport ORSTOM/DAKAR* - 24 p.
- Ali A. et Lebel T. (2009), «The Sahelian Standardized Rainfall Index Revisited». *International Journal of Climatology*, 29 (12), 1705-1714.
- Ali A., Lebel T. et Amami A. (2008), « Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel », *Sécheresse*, 19 (4), 227-235.
- Ardoïn-Bardin, S. (2004), *Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano sahélienne*. Thèse de doctorat Université Montpellier II. 440 p.
- 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.
- Burn H. B. and Elnur M. A. H. (2002), « Detection of Hydrologic Trends and Variability ». *Journal of Hydrology*, 255, 107-122.
- Cantat O. (2004), « Analyse critique sur les tendances pluviométriques au 20ème siècle en Basse-Normandie : réflexions sur la fiabilité des données et le changement climatique », *Climatologie*, 11-32.
- 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.
- Dacosta H., Konate Y.K., Malou R. (2002) « La variabilité spatio-temporelle des précipitations au Sénégal depuis un siècle. Friend 2002 – Regional hydrology: Bringing the Gap between Research and Practice, Cape Town, South Africa », *The International Association of Hydrologists*. N° 274, 499-506.
- Descroix L., Niang A. D., Panthou G., Bodian A., Sane Y, Dacosta H., Abdou M. M., Vandervaere J-P et Quantin G. (2015), « Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'ouest à travers deux régions : la Sénégambie et le Bassin du Niger Moyen ». *Climatologie*, 2015, p. 25-43.
- Fan J.Q. and Yao Q.W. (2003), « Nonlinear Time Series: Nonparametric and Parametric Methods (Springer Series in Statistics) ». *Springer-Verlag*, New York.
- 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.
- Faye C., Sow A. A. et 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.
- Faye S (1995), Modélisation hydrodynamique des nappes du littoral nord entre Kayar et Saint-Louis. Impact des futurs prélèvements envisagés dans le cadre de l'approvisionnement en eau de Dakar et de ses environs ». Thèse de doctorat, dép. de Géologie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 176 p.
- Gocic M. and Trajkovic S. (2013), Analysis of Changes in Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's

Hirsch R.M. and Slack J. R. (1984), « A non parametric trend test for seasonal data with serial dependence. » *Water Resources Research*, 20, 727-732.

Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van Der Linden P. J., Xiaosu D. (2001), *Climate Change 2001 : The scientific basis. Contribution of working group 1 to the third assessment report of /PCC*, Cambridge University Press, 944 p.

Hountondji Y.C., Sokpon N, Nicolas J. et Ozer P. (2009), “Ongoing desertification processes in the sahelian belt of West Africa: an evidence from the rain-use efficiency, 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.

Islam, A.W. (2015), « Rainy/Non-Rainy Day Pattern Analysis for North Carolina. American Journal of Climate Change, 4, 1-8.

Kendall M. G., (1975)b, *Rank Correlation Measures*. Charles Griffin. London.

Kendall M., 1975a. *Multivariate Analysis*. Charles Griffin and Company. London.

Lamarre D., Pagney P. (1999), *Climats et sociétés*, Paris, Colin, 272 p.

Lettenmaier D. P., Wood E. F. and Wallis J. R. (1994), Hydroclimatological Trends in the Continental United States 1948-1988, *Journal Climate*, 7, 586-607.

Mann H. B. (1945), « Nonparametric Tests against Trend. » *Econometrica*, 13 (3), 245-259.

Niang A.J., (2008), *Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le Sud-Ouest de la Mauritanie. Approche par analyse multisource. Thèse de Doctorat*, Université de Liège (Belgique), 286 p.

Nicholson S.E., Some B., Kone B., (2000), “An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 E1 Nino and the 1998 La Nina years”. *Journal of Climate*, 13, 2628–2640.

Ouoba A.P., (2013), *Changements climatiques, dynamique de la végétation et perception paysanne dans le Sahel burkinabè. Thèse de Doctorat Unique*, Université de Ouagadougou (Burkina Faso), 305 p.

Ozer P, Hountondji Y.C. et LaminouManzo O. (2009), Évolution des caractéristiques pluviométriques dans l'Est du Niger de 1940 à 2007. *Geo-Eco-Trop*, Revue de Géographie et d'Écologie Tropicale, 33, 11 - 30.

Panthou G., Vischel T., Lebel T., 2014: Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *International Journal of Climatology*, 34, 3998-4006.

Projet d'Appui au Développement Rural en Casamance (PADERCA), (2008), *Etablissement de la situation de référence du milieu naturel en basse et moyenne Casamance*. République du Sénégal Ministère de l'Agriculture Rapport final, 201 p.

Roche M., Rodier J. ET Sircoulon J., 1976 : Les aspects hydrologiques de la sécheresse récente en Afrique de l'Ouest. *Hydrol. Sci. Bull.* 21(2), 315–332.

Rodier J. ET Roche M., 1973 : La sécheresse actuelle en Afrique tropicale – quelques données hydrologiques. *Hydrol. Sci. Bull.* 18(4), 411–418.

Salas J.D., Delleur J.W., Yevjevich V.M. and Lane W.L., 1980 : *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. WaterResources Publications, Littleton

Sané T., Sy O. et Dieye E. H. B., 2011 : Changement climatique et vulnérabilité de la ville de Ziguinchor. Actes du colloque "Renforcer la résilience au

changement climatique des villes : du diagnostic spatialisé aux mesures d'adaptation" (2R2CV) 07 et 08 juillet 2011, Université Paul Verlaine - Metz, France, 1-14.

Sayemuzzaman M., Jha M.K. and Mekonnen A., 2014 : Spatio-Temporal Long-Term (1950-2009) Temperature Slope Estimator Statistical Tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, **100**, 172-182.

Sen P.K., 1968 : Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, **63**, 1379-1389.

Sow A. A. (2007), « L'hydrologie du Sud-est du Sénégal et de ses Confins guinéo-maliens : les bassins de la Gambie et de la Falémé », Thèse doctorat d'Etat Es lettres et sciences humaines, UCAD, FLSH, Département de Géographie, 1232 p.

Trend Analysis in North Carolina, United States. *Theoretical and Applied Climatology*, **116**, 3-4.

Yu P. S., Yang T. C. and Wu C. K., (2002) « Impact of Climate Change on Water Resources in Southern Taiwan », *Journal of Hydrology*, 260, 161-175.