



HAL
open science

VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET ÉVOLUTION DE LA SÉCHERESSE CLIMATIQUE DANS VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

Djibrirou Daouda Ba, Papa Malick Ndiaye, Cheikh Faye

► **To cite this version:**

Djibrirou Daouda Ba, Papa Malick Ndiaye, Cheikh Faye. VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET ÉVOLUTION DE LA SÉCHERESSE CLIMATIQUE DANS VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL. *Etudes togolaises : revue togolaise des sciences*, 2018, *Revue Togolaise des sciences*, 12 (1), pp.57-73. hal-02158313

HAL Id: hal-02158313

<https://hal.science/hal-02158313v1>

Submitted on 18 Jun 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
LOME (TOGO)

ETUDES TOGOLAISES

Revue Togolaise
des
Sciences

Vol 12, n°1 – Janvier – Juin 2018 - ISSN 0531 - 2051

Publication Semestrielle

ETUDES TOGOLAISES

Revue Togolaise des Sciences

Vol 12, n°1 – Janvier – Juin 2018 - ISSN 0531 - 2051



Publication semestrielle

Institut National de la Recherche Scientifique (INRS)

BP 2240 LOME – TOGO

Tél (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94

Email: inrstogo@yahoo.fr

ETUDES TOGOLAISES

Revue publiée sous le haut patronage du Ministre de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Directeur de Publication : Prof. Kouami KOKOU

Rédacteur en chef : Dr. Sénamé Dodzi KOSSI

Responsables Administratifs et Financiers : M. Frédéric Adjagnon NADOR/
M. BONFOH Wakilou

Comité scientifique de lecture

- Pr. Messanvi GBEASSOR, Lomé – Togo
 - Pr. Kouami KOKOU, Lomé – Togo
 - Pr. Fidèle Messan NUBUKPO, Lomé – Togo
 - Pr. Mireille PRINCE-DAVID, Lomé – Togo
 - Pr. Kossi KOUMAGLO, Lomé – Togo
 - Pr. Moustapha KASSE, Dakar – Sénégal
 - Pr. Adolé GLITHO, Lomé –Togo
 - Pr. Serge GLITHO, Lomé - Togo
 - Pr. Kossi NAPO, Lomé – Togo
 - Pr. Comla de SOUZA, Lomé – Togo
 - Pr. Akuetey SANTOS, Lomé – Togo
 - Pr. Nandedjo BIGOU-LARE, Lomé – Togo
 - Pr. Taladidia THIOMBIANO, Ouagadougou – Burkina Faso
 - Pr. Koffisa BEDJA, Lomé - Togo
 - Pr. Mawuena GUMEDZOE, Lomé – Togo
 - Pr. Koffi NDAKENA, Lomé – Togo
 - Pr. Koffi AKPAGANA, Lomé – Togo
 - Pr. Komla SANDA, Lomé – Togo
 - Pr. Komi TCHAKPELE, Lomé – Togo
 - Pr. Maurille AGBOBLI, Lomé –Togo
 - Pr. Aimé GOGUE, Lomé –Togo
 - Pr. Egnonto M. KOFFI-TESSIO, Lomé – Togo
 - Pr. Gauthier BIAOU, Cotonou – Bénin
 - Pr. Koffi AHADZI-NONOU, Lomé – Togo
 - Pr. Badjow TCHAM, Lomé – Togo
 - Pr. Edinam KOLA, Lomé – Togo
 - Pr. Kokou Folly Lolowou HETCHELI, (MC) Lomé – Togo
 - Pr. Pépévi KPAKPO (MC), Lomé – Togo
 - Pr. Adzo Dzifa KOKOUTSÈ, Lomé – Togo
 - Pr Adou YAO, Abidjan – Côte d'Ivoire
- Prix du numéro : 2 500 Fcfa
- Abonnement : 4 500 Fcfa / An

Toute correspondance concernant la revue doit être adressée à :

Etudes Togolaise « Revue Togolaise des Sciences »,
BP 2240 LOME – TOGO ; Tél. (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94
Email: inrstogo@yahoo.fr

SOMMAIRE

1. Problèmes de l'autosuffisance en riz au Togo : analyse des contraintes de production et des interventions chinoises, Komi N'KERE, Follygan HETCHELI, Iléri DANDONOUGBO 4
2. Étude ethnobotanique de *Garcinia kola* heckel et de *cola nitida* (vent.) Schott & Endl. Dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin, Toussaint O. LOUGBEGNON 20
3. L'impact du développement de l'hévéaculture sur la sécurité alimentaire en côte d'Ivoire : cas de la Région du Bas-Sassandra, Akoua Assunta ADAYE 31
4. Maraîchage et conditions de vie des femmes du village de Klobatémé dans la Préfecture du Zio au Togo, Kokou Mawulikplimi GBEMOU 44
5. Variabilité pluviométrique et évolution de la sécheresse climatique dans vallée du Fleuve Sénégal, Djibrirou Daouda Ba, Papa Malick Ndiaye, Cheikh Faye 57
6. Fabrication et démantèlement des risques d'inondation par une urbanisation anarchique à Niamey (Niger), Hamadou ISSAKA & Johnson CASSIDY 72
7. Épidémies de choléra à Sô Ava (Benin) : Appréhender la co-délivrance du service public en santé, Hervé Bonaventure Mètonmassé GBENAHOU 89
8. La prise en charge sanitaire des réfugiés ivoiriens souffrant des maladies chroniques au sein du camp d'Avepozo au Togo, Koku AVOUGLA, Sélom Komlan NOUSSOUKPOE, Babénoun LARE 109
9. Formation initiale, méthodes pédagogiques des enseignants de mathématiques perçues et rendement des élèves du second cycle du secondaire au togo, Ibn Habib BAWA & Passia Kossiwa ATSU 126
10. Intégration professionnelle et implication au travail, Badji OUYI & El-Shakib Moussa ABOUDERMANI 134
11. Efficacité des stratégies de coping sur la gestion du stress des agents de Plan International Togo, Sadji N'Gbansohfi GBANDEY & Sébastien YOUNGBARE 144
12. Kant et Aristote : l'entendement et l'intellect agent, Komi Agbenyega FEDA 154
13. La rythmique binaire dans les musiques traditionnelles Kyaman, Théophile Bodjé Djoké 165
14. From catharsis to self-discovery: a reading of paule marshall's *praisesong for the widow*, Komla M. AVONO 177
15. The denunciation of identity dispossession strategy dressed up in a fake assimilation policy in *tracks* by louise erdrich, Amédée NAOUNOU ...190

VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET ÉVOLUTION DE LA SÉCHERESSE CLIMATIQUE DANS VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

Djibrirou Daouda BA^{7*}, Papa Malick NDIAYE⁸, Cheikh FAYE⁹
djibrirouba@yahoo.fr

Résumé

L'une des manifestations du changement climatique est la variation spatiale et temporelle de la pluviométrie surtout dans les pays sahéliens. Dans ce contexte, il est important d'étudier la variabilité de la pluviométrie et l'évolution de la Sécheresse. Ainsi, la vallée du fleuve Sénégal affectée par la sécheresse depuis les années 1970 revêt un intérêt scientifique et économique majeur. L'objectif de cette étude est d'analyser la variabilité pluviométrique et l'évolution de la sécheresse dans la moyenne et basse vallée du fleuve Sénégal. Pour ce faire, les données mensuelles de de température et de la pluviométrie sont collectées aux stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis. La variabilité interannuelle de pluie est analysée avec les indices d'anomalie de Lamb et les tests statistiques d'homogénéité de Buishand et de Hubert. Les indices de De Martonne et de Gaussen sont également utilisés pour analyser la température et son rapport avec la pluviométrie. Les résultats montrent que l'indice de Lamb a permis de détecter 32 années sèches et 26 années humides sur la période 1961-2017 pour les stations de Bakel, Saint-Louis, Podor et Matam. Saint-Louis enregistre, par contre, 27 années humides et 31 sèches. De plus, les séries ne sont pas stationnaires et des ruptures sont présentes dans la décennie 1961-1970 pour toutes les stations. Les indices de De Martonne et de Gaussen permettent de noter une importante variabilité spatiotemporelle de la pluviométrie. Toutefois, malgré quelques années humides notées, la sécheresse climatique persiste toujours dans la Vallée du fleuve Sénégal.

Mots clés : Pluviométrie, Température, Sécheresse, Test de rupture, Indices d'aridité, Vallée du fleuve Sénégal.

Abstract

One of the manifestations of climate change is the spatial and temporal variation of rainfall. In this context, it is important to assess the rainfall variability and the drought evolution. Then, the Senegal River Valley affected by drought since 1970 has a major scientific and socioeconomic interest. The aim of this work is to analyze the rainfall variability and the drought evolution in Senegal River Valley.

⁷ Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal (djibrirouba@yahoo.fr, papamalick55@outlook.com)

⁸ Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement », Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal (djibrirouba@yahoo.fr, papamalick55@outlook.com)

⁹ Enseignant-Chercheur, Département de Géographie, Université Assane Seck de Ziguinchor, Laboratoire de Géomatique et d'Environnement, BP 523 Ziguinchor, Sénégal (cheikh.faye@univ-zig.sn)

For this purpose, the monthly data of temperature and rainfall are collected in the climatic weather of Bakel, Matam, Podor and Saint-Louis. The rainfall interannual variation was analyzed by the Lamb anomaly index and the homogeneities statistical tests of Buishand and Hubert. The De Martonne index was also used to analyze the link between temperature and rainfall. The results show that the Lamb index allowed to detect 32 dry years and 26 wet years in climatic weathers of Bakel, Matam and Podor. However, in Saint-Louis we have 27 and 31 wet and dry years, respectively. Furthermore, the set of data is non-stationary and shows some breakdowns in the decade 1961-1970 for all climatic weathers. The De Martonne and Gaussen indexes allowed to not that rainfall is characterized by an important spatio-temporal variation. In spite of some humid years, the climatic drought has not ended yet in Senegal River Valley.

Key words: Rainfall, Temperature, Drought, Breaking test, Indexes, Senegal River Valley

Introduction

En Afrique de l'Ouest la question de la variabilité climatique a été l'objet d'étude de plusieurs chercheurs (G. Mahé, 1993 ; E. Servat *et al.*, 1997; J. Paturel *et al.* 1998). Ces auteurs avancent l'hypothèse selon laquelle la région est marquée par une sécheresse sans précédente depuis les années 1970. Cette variabilité climatique se manifeste globalement par une baisse des précipitations, des niveaux piézométriques et la chute des débits des cours d'eau (A. Assemian *et al.*, 2013). La partie sahélienne d'Afrique de l'Ouest reste très sensible à la variation du climat. En effet, cette région a été marquée par trois grandes périodes de sécheresse : 1911-1913, 1940-1940 et 1968 à nos jours (J. Sircoulon, 1976 cité par A. Bodian, 2014, p.398). Cette dernière période est la plus inquiétante en raison de sa durée, de son ampleur et de son extension (J. Sircoulon, 1976). Dans le Sahel sénégalais, plus particulièrement dans la vallée du fleuve Sénégal, la question de la variabilité pluviométrique a attiré l'attention de plus d'un auteur (A. Bodian *et al.*, 2011, S. A Sow et D. Gaye, 2016, D. Gaye, 2017, D. D. Ba, 2018). En effet, en suivant la pluviométrie dans la partie Nord du Sénégal (Vallée) sur la période 1954 – 2013, D. Gaye aboutit à ces résultats : une fluctuation climatique marquée par de fortes années déficitaires (29 sur les 60 à Saint-Louis, 33 sur les 60 à Podor et la moitié de la série à Matam), une rupture identifiée en 1968 (mais légèrement variable en fonction des stations), un retour à des conditions pluviométriques favorables dans les années 2000 et une diminution du nombre de jours de pluie (D. Gaye, 2017, p.73 et 74). Ces contrastes montrent la complexité de la variabilité pluviométrique dans la Vallée et la nécessité de renouveler les connaissances sur l'évolution de la sécheresse. Dans cet article nous nous donnons donc comme objectif d'apporter notre contribution à la connaissance de la variabilité pluviométrique et de l'évolution de la sécheresse dans la Vallée du fleuve Sénégal. De manière spécifique, il s'agira de l'analyse de la pluviométrie annuelle et mensuelle par l'application d'indices (d'anomalie et d'aridité) et les tests de rupture.

1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude est réalisée dans la Vallée du fleuve Sénégal. Sa localisation ainsi que les stations retenues pour l'étude est donnée à la figure n°1. Ainsi, la Vallée s'étend de Bakel à Saint-Louis et elle est caractérisée par un climat soudanien-sahélien. Les précipitations suivent un gradient Sud-Nord et sont marquées par une irrégularité à la fois spatiale et temporelle. Du domaine Soudanien (station de Bakel) à celui sahélien (Matam, Podor et Saint-Louis), les précipitations peuvent varier entre plus de 500 à moins de 300 mm par an. La saison des pluies s'étale pratiquement sur trois mois (Juin, Juillet e Aout) mais elle marquée par un démarrage aléatoire des dates de début et de fin de la pluie (D. Gaye, 2017, p.72). Cette région de la Vallée regorge de forts potentiels agricoles qui lui permettent de peser lourd sur la balance socioéconomique du Sénégal.

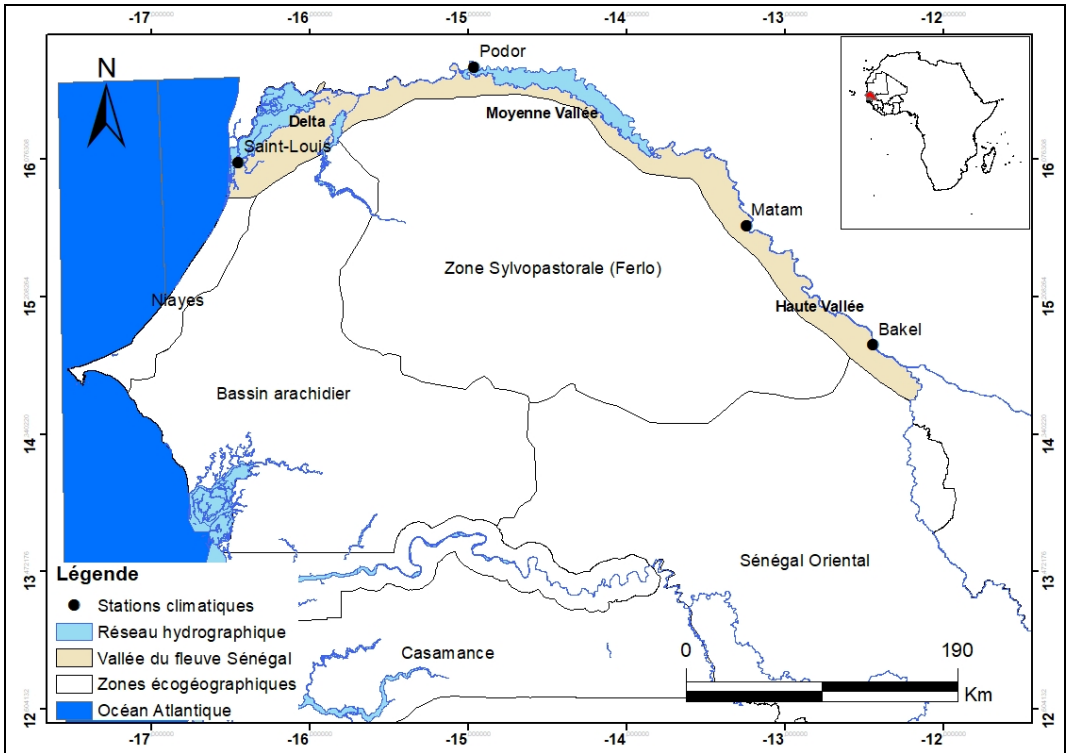


Figure n° 1 : Localisation de la Vallée du fleuve Sénégal e des stations climatiques

Source : auteurs

2. Matériels et méthodes

2.1. Les données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de ce travail sont celles de la pluviométrie et de la température relevées sur les stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis. Elles sont obtenues à partir de la base de données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) à Dakar. Les chroniques pluviométriques mensuelles couvrent la période 1961-2017 pour toutes les stations.

Pour la température, les données mensuelles couvrent la période 1961-2017 pour les stations de Matam, Podor et Saint-Louis. Par contre, pour la station de Bakel, la série débute en 1979. Les valeurs annuelles sont obtenues par la moyenne des valeurs mensuelles. Les données ne présentent pratiquement pas de lacunes significatives. Nous entendons par lacune l'indisponibilité de données pour un ou plusieurs mois. Les valeurs moyennes de la pluviométrie et de la température sur les périodes considérées sont données au tableau n°1. La lecture de ce tableau permet de noter que durant la période considérée, les moyennes pluviométriques varient de 553,5 mm (Bakel) à 263,8mm (Saint-Louis). Cela montre que la pluviométrie diminue au fur et à mesure que l'on avance dans la partie nord correspondant au domaine sahélien. Cependant, à la différence des précipitations, les températures augmentent de Saint-Louis (26,2) à Bakel (30,29). La station de Saint-Louis est une station côtière donc l'influence marine entraîne un adoucissement des températures.

Tableau n°1 : Valeurs moyennes de la pluie et de la température des stations retenues

Stations	Période	Pluie annuelle (mm)	Période	T° moyenne en C°
Bakel	1961 – 2017	553,5	1979 - 2017	30,29
Matam	1961 – 2017	406,1	1961 - 2017	30,2
Podor	1961 – 2017	232,3	1961 - 2017	29,3
Saint-Louis	1961 – 2017	263,8	1961 - 2017	26,2

Source : Auteurs

2.2. Les méthodes

2.2.1 Analyse de la variabilité interannuelle

La variabilité pluviométrique interannuelle est déterminée par l'application de l'indice de Lamb (1982). Il s'agit d'un indice d'anomalie qui estime le déficit pluviométrique annuel. Il est une variable centrée pour suivre les fluctuations interannuelles du régime pluviométrique (L. D. M. G.Quenum et *al.*, 2016, p. p. 317). Sa formulation mathématique est la suivante :

$$IP = \frac{Xi - Xm}{\delta} (1)$$

Avec : IP = Indice de Lamb

X_i (mm) = pluviométrie annuelle pour une station pendant une année i ;

X_m (mm) = Moyenne annuelle de la pluviométrie à la station pendant la période d'étude et

δ = Ecart-type de la pluviométrie de cette période.

2.2.2. La détection de ruptures dans les séries chronologiques

Pour la détection d'éventuelles ruptures, le logiciel KhronoStat 1.01 développé par l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD) a été utilisé. Il permet d'appliquer différents tests (test de Pettit, statistique de Buishand, procédure bayésienne de Lee et Heghinian, segmentation de Hubert). Mais dans la présente étude, seuls le test statistique de Buishand et la segmentation de Hubert ont été appliqués. Leur choix s'explique par une certaine complémentarité : le test fait ressortir généralement une rupture basée sur la moyenne de la série alors que la segmentation peut en faire ressortir, éventuellement, plusieurs en fonction de moyennes séquentielles. La statistique de Buishand repose sur l'ensemble des hypothèses suivantes : normalité de la série, égalité des variances de distribution de part et d'autre du point de rupture et absence d'auto corrélation. Il suppose un changement de moyenne dans la série.

La procédure de segmentation peut être considérée comme un test de stationnarité. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre ≥ 2 , l'hypothèse de la stationnarité de la série est acceptée (H. Lubès-niel et *al.*, 1998, p. 389). Le but du test de Buishand est de détecter un changement de la moyenne dans une série chronologique tandis que la segmentation de Hubert permet de détecter plusieurs ruptures, si elles existent dans une série chronologique (H. Lubès-Niel et *al.*, p. 395-397).

La procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques n'est à proprement parler un test statistique. Cette méthode est adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne. Son principe est de découper la série en m segment ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne de chaque segment soit considérablement différente de celle du segment ou des segments voisins. Toute partition de la série initiale en m segment est une segmentation. A partir d'une segmentation particulière d'ordre m pratiquée sur une série initiale, on définit :

$i_k, k = 1, 2, \dots, m$ rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du $k^{\text{ième}}$ segment ; \bar{x}_k la moyenne du $k^{\text{ième}}$ segment ; D_m , l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée,

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \text{ avec } d_k = D_m = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2 \quad (2)$$

La segmentation retenue au terme de la mise en œuvre de la procédure doit être telle que pour un ordre m de la segmentation donnée l'écart quadratique D_m soit minimum et que les moyennes de deux segments contigus soient significativement différentes. Cette dernière a l'avantage de mieux ressortir la tendance en comparant les séquences. Mais la pluviométrie est insuffisante pour appréhender l'évolution de l'aridité. De ce fait d'autres indices impliquant la température ont été calculés.

2.2.3. Calcul de quelques indices d'aridité

Des indices combinant la pluviométrie et la température ont été calculés. L'indice d'aridité annuelle de De Martonne (1926) –IDM- a été utilisé. L'IDM est défini comme suit :

$$I = P/T + 10(3)$$

P = précipitations totales annuelles/mm et T = température moyenne annuelle en degré Celsius (°C) ; pour un mois : $I = 12p/t + 10$; où P = précipitations totales mensuelles et T = température moyenne mensuelle. L'IDM permet de caractériser le pouvoir absorbant et évaporant de l'air à partir de la température ; il est d'autant plus bas que le climat est aride. L'indice de De Martonne est complété par l'indice ombrothermique de Gausson -1994- (IG) :

$$IG = 2 P / T. (4)$$

P est la précipitation mensuelle et T, la température moyenne du mois. Sont considérés comme mois secs certains pour lesquels, les précipitations sont \leq au double de la température moyenne exprimée en degré celcius (B. A. SY, 2008, p.132). Cet indice a servi à tracer les diagrammes ombrothermiques des différentes stations à partir du tableur Excel.

3. Résultats

3.1. Analyse de la variabilité interannuelle de la pluviométrie

L'indice de pluviométrie de Lamb a servi à analyser la variabilité interannuelle de la pluviométrie dans la vallée du Sénégal. Les mesures portant sur les quatre stations permettent de distinguer les années humides des années déficitaires (Figure n°2).

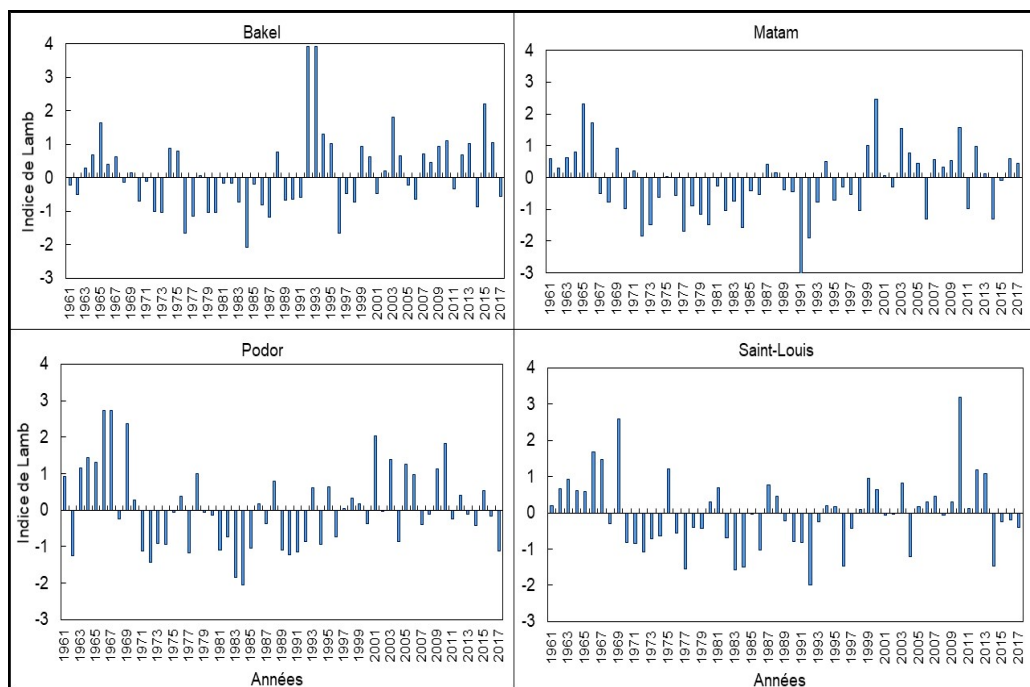


Figure n°2 : Variation de la pluie annuelle dans la période 1961 - 2017

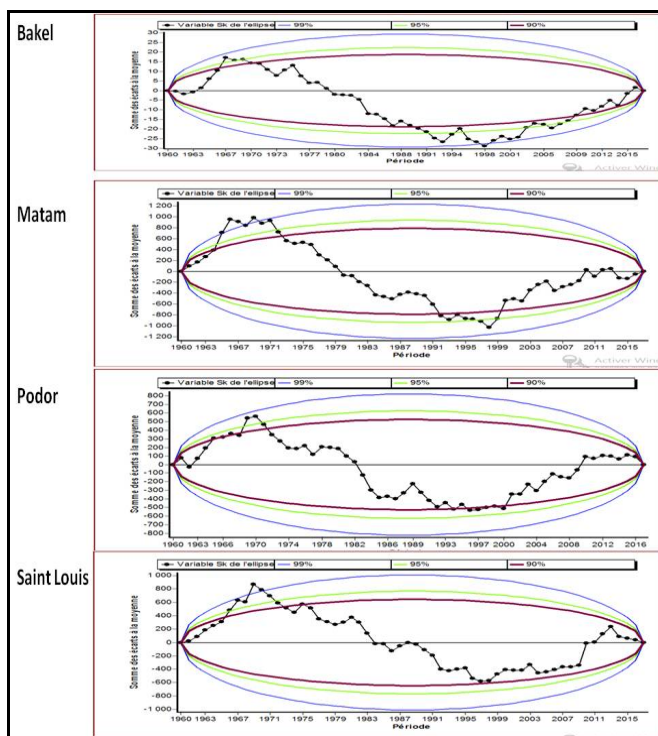
Source : Auteurs

La pluviométrie dans la vallée est caractérisée par son irrégularité qui se manifeste par d'importantes fluctuations interannuelles. Malgré la différence des volumes pluviométriques les quatre stations présentent pratiquement les mêmes caractéristiques en alternant des séquences humides et des occurrences sèches. Aussi, remarque-t-on que les stations de Bakel et de Podor avec une moyenne annuelle de 553,5 et 232,3 respectivement, ont enregistré chacune 32 années déficitaires et 26 humides dans la série chronologique de 1961-2017. La station de Matam s'inscrit dans ce même sillage mais celle de Saint-Louis, quant à elle, compte 27 années humides avec une pluviométrie moyenne annuelle de 263,8 mm. Mais Saint Louis avec une moyenne annuelle de 263,8 mm compte 27 années humides. La séquence 1960-1967 apparaît comme étant globalement humide. Cependant la station de Podor connaît un déficit pluviométrique dès 1962 même si les cinq années suivantes y sont humides. A Bakel, les indices de 1961, 1962 et 1963 sont négatif, relativement à la moyenne locale. A partir de la fin des années 1960 et le début des années 1970, jusqu'aux années 1995 la vallée connaît une plus longue période de déficit pluviométrique, dans le contexte d'une sécheresse généralisée dans le Sahel. Cependant, quelques années sont excédentaires. C'est le cas de l'année 1975 sauf pour Bakel ; 1979 (Podor et Saint-Louis) ; 1988 (Matam et Saint-Louis) et 1989 (Podor). Mais le retour à la normale à partir de la fin des années 1990 annoncé (S. A. Sow et D. Gaye, 2016 p.176) n'est pas évident ; au niveau de toutes les stations cette période est marquée par des fluctuations interannuelles du volume pluviométrique. Des anomalies pluviométriques sont identifiées durant cette dernière séquence, l'année 2017 par exemple est déficitaire dans la zone, à l'exception de la station de Matam.

3.2. Les tests d'homogénéisation des pluies annuelles

Les résultats des tests de Buishand sont présentés sous formes d'Ellipses de Bois (figure n°3). L'analyse des résultats révèle que les variables Sk (somme des écarts à la moyenne) des ellipses des séries de pluviométrie des stations de Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis de toutes les séries sont caractérisées par la non-stationnarité et présentent des ruptures.

Figure n° 3 : Ellipses de Bois sur les pluies annuelles



Source : Auteurs

A l'exception de Bakel, les ruptures sont notées dans la première décennie, entre 1966 et 1969. En effet, plusieurs points correspondant à la somme des écarts cumulés à la moyenne sortent des intervalles de confiance qui sont respectivement de 99%, 95% et 90%. Le déficit pluviométrique le plus important est enregistré à la station de Podor. La pluviométrie connaît donc des disparités entre les différentes stations avec des séquences différentielles dans le temps. Cette évolution est mise en relief par la segmentation de P. Hubert, 1998, (Tableau n°2).

Tableau n°2 : Segmentation de la pluviométrie dans la Vallée entre 1961 et 2017

Station	Début	Fin	Moyenne	Ecart type
Bakel	1961	1967	673,9	151,7
	1968	1998	486,6	195,0
	1999	2017	625,2	118,7
Matam	1961	1966	540,3	99,5
	1967	1998	319,7	87,3
	1999	2017	435,6	125,3
Podor	1961	2017	203,9	84,6
Saint Louis	1961	1969	360,5	89,084
	1970	2009	233,7	80,920
	2010	2010	593,6	00
	2011	2017	265,1	94,123

Source : Auteurs

Toutes les stations ont connu des ruptures multiples à l'exception de Podor. Cette station se caractérise par une sorte de constance dans le déficit de la pluviométrie : de 1961 à 2017 une seule moyenne (203,9mm) est enregistrée, ce qui signifie qu'il n'y a pas de rupture significative au niveau de cette station, caractérisée par la faiblesse de la pluviométrie. Donc Bakel, Matam et Saint Louis sont non stationnaires alors que la chronique de Podor est stationnaire. La différence peut s'expliquer par le fait que Podor se situe à des centaines de kilomètres de l'océan et est la station la plus proche du désert mauritanien. Sa moyenne pluviométrique est inférieure à celle de toutes les séquences des autres chroniques. La moyenne annuelle des précipitations pour la chronique 1961-2017 est de 553,5 mm à Bakel, 1984 et 2015 étant les deux extrêmes avec respectivement 260,9 et 868,2 mm. Par contre, à Podor, station la moins arrosée de la vallée, la moyenne annuelle pour la même période est de 232,3 mm/an ; 1969 (avec 431,4) étant l'année la plus pluvieuse alors que 1983 et 1984 sont les années les plus sèches avec respectueusement 76,3 et 57,3 mm/an. Entre ces deux extrêmes se situent Matam et Podor.

3.3. L'indice d'aridité

L'indice de De Martonne (IDM) permet de caractériser le pouvoir absorbant et évaporant de l'air à partir de la température. Il a été appliqué sur les données des quatre stations synoptiques de la vallée (Figure n°4).

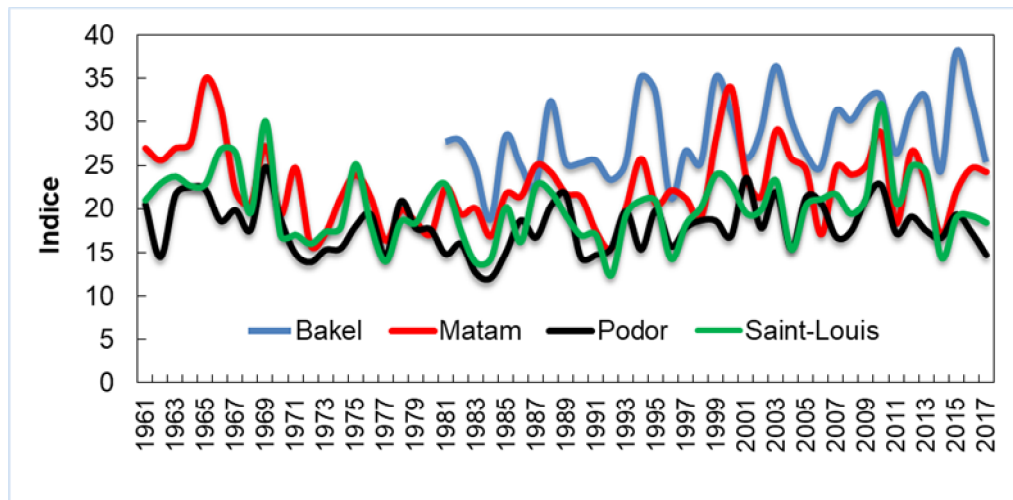


Figure n° 4 : Indice de De Martonne

Source : Auteurs

L'IDM confirme que la vallée appartient aux milieux arides. La moyenne des températures dépasse les 30°C à Bakel (30,29°C) et à Matam (30,2°C.) il fait légèrement plus chaud qu'à Podor avec 29,3°C alors qu'elle n'est que de 26°C. à Saint Louis. Mais les stations dont la température est plus élevée sont aussi les plus pluvieuses.

Au total, l'IDM dépend du rapport entre deux éléments du climat : la température et les précipitations. Il varie, en moyenne, entre 28,41 à Bakel et 17,9 à Podor en passant par 22,7 à Matam et 20,1 à Saint Louis. Ces moyennes en même temps qu'elles révèlent une inégale aridité, entre les différents lieux, cachent des écarts considérables de l'indice dans le temps, pour toutes les stations. Cette forte variabilité de l'indice est liée essentiellement à l'irrégularité de la pluviométrie. Par exemple à Bakel, l'année 1984 correspond à l'indice 18,74 contre 38,07 en 2015 ; à Matam l'indice varie entre 34,98 en 65 et 15,39 en 1992 ; à Podor l'IDM est compris entre 24,73 en 1969 et 12,53 en 1983 ; enfin, l'indice maximal enregistré à Saint Louis est de 32,08 en 2010 pour un indice minimal de 13,73 en 1983. De ce fait, malgré la tendance généralement sèche et l'aridité qui caractérise la région, certaines années sont particulièrement humides. De plus en plus, il est noté un retour à une pluviométrie de niveau comparable à celle des années 1960. L'indice annuel est certes intéressant mais insuffisant car la pluviométrie est essentiellement saisonnière. C'est ce qui justifie le calcul de l'indice mensuel de De Martonne (Tableau n°3).

Tableau n°3 : Indices de De Martonne des stations de la vallée 1961 à 2017

Stations	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc
Bakel	10,1	10,4	10,1	10	11,8	28,3	63,9	89,4	66	21,5	10,4	10,1
Matam	10,3	10,5	10	10,2	10,7	19,6	46,9	69,8	52,3	17,6	10,8	10,2
Podor	11,2	10,5	10,3	10	10,3	12,9	28,2	41,8	39,8	14,8	10,1	10,2
St Louis	10,9	10,5	10,1	10	10,04	13,02	28,5	48,7	50,2	19,2	10,1	10,2

Source : Auteurs

L'indice mensuel confirme les disparités spatio-temporelles et le caractère saisonnier de l'humidité. Pendant neuf mois, d'octobre à juin, les stations de Matam, Podor et Saint Louis sont semi-arides, $10 < I_{DM} < 20$. Podor et Saint Louis sont semi-humides en juillet et ne sont humides ($30 < I_{DM} < 55$) qu'en août et septembre. Par contre à Bakel la saison sèche dure sept mois, allant de novembre à mai ; juin et octobre y sont semi-humides et juillet, août et septembre très humides $55 < I_{DM}$. L'IDM est complété par l'indice de Gaussen (Figure n°5) :

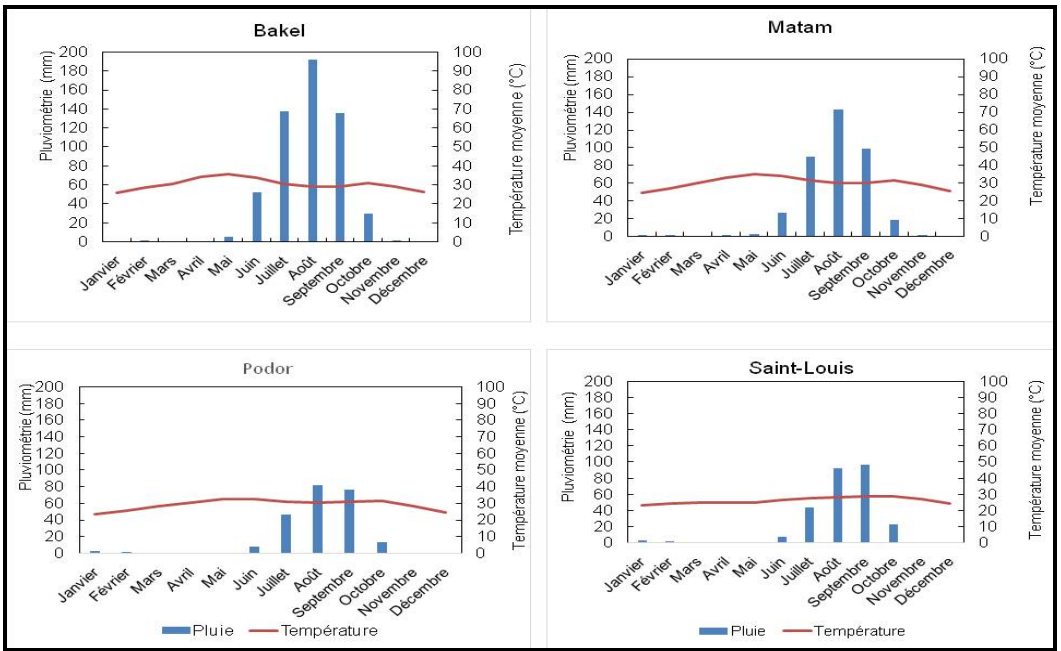


Figure n°5 : Diagramme ombrothermique

Source : Auteurs

L'indice de Gaussen et les diagrammes ombrothermiques sont caractérisés par les contrastes saisonniers. Toutes les stations ont une évolution unimodale. Mais la durée et l'intensité de la saison humide varie d'une station à l'autre. L'indice ombrothermique de Gaussen confirme le caractère aride à semi-aride de la zone d'étude. En effet, sur l'ensemble de la période 1961 à 2017 seuls les mois de juillet, août et septembre sont considérés comme humides, août le plus humide. Neuf mois sur les douze sont secs à Bakel et Matam alors qu'à Podor et Saint Louis dix mois le sont. Donc au niveau des deux premières stations, l'humidité ne dure que trois mois (juillet, août et septembre) avec des hauteurs très variées. A Podor et Saint Louis, deux mois, août et septembre, sont humides dans l'année. Il s'en déduit alors que la Vallée du Sénégal appartient globalement au domaine aride dans sa partie semi-aride à semi-humide. La pluviométrie varie dans le temps et dans l'espace. Suivant un gradient est-ouest se distinguent, d'une part, Bakel et Matam chauds mais relativement humides et, d'autre part, Podor et Saint Louis frais mais secs.

Ces indices expriment la sécheresse mais présentent des limites parce que ne permettant pas de savoir à partir de quel moment un mois est vraiment "sec". Dans l'impossibilité de résoudre ce problème, différents seuils plus ou moins arbitraires ont été proposés. La valeur la plus couramment utilisée pour un mois sec est $I \leq 20$ (ce qui correspond, par exemple, pour une température de 25°C, à une pluviométrie de 60 mm (F. Lebourgeois et C. Piédallu, 2005, p. 353). Non seulement la pluviométrie avait fortement diminué, mais sa répartition saisonnière était devenue plus imprévisible ; or la distribution des précipitations annuelles dans le temps compte autant que leur quantité.

4. Discussions

Une rupture est considérée comme étant significative lorsque la probabilité associée est $< 5\%$ (P. Ozer et *al.*, 2015, p. 5). La date de rupture obtenue pour les séries pluviométriques est 1967 à Bakel 1966 à Matam et Podor et 1969 à Saint Louis. Donc les observations du test d'homogénéité de Buishand autant que celles de l'indice d'anomalie de Lamb confirment les résultats de chercheurs qui situent la plupart des ruptures dans le bassin du Sénégal entre la fin de la décennie 1960 et le début de la décennie 1970 (A. Bodian et *al.*, 2011, p.32 ; S. Sow et D. Gaye, 2016, p. 175). Les résultats du programme ICCARE de l'IRD (E. Servat et *al.*, 1998, in A. Bodian et *al.*, 2011, p. 32) et des travaux menés en Côte d'Ivoire (E.A.Assemian et *al.*, 2013, p. 257), montrent que la situation est similaire dans l'ensemble de l'Afrique Occidentale (OCDE / CSAO, 2008, p.3). La similitude du comportement pluviométrique serait d'ailleurs, d'échelle planétaire, car elle se vérifie aussi au Ningxia nord et au Shaanxi nord en Chine (W. Wu, 2003, p. 19).

En dépit du déficit très fréquent, dans les quatre stations, la plupart des années ont connu une pluviométrie en deçà de la moyenne locale. Des années humides ont été enregistrées, surtout avant la rupture et depuis la fin des années 1990. Cependant, l'évolution irrégulière de la pluviométrie durant ces dernières années ne permet pas de confirmer le retour à la normale évoqué par certains auteurs (S. A. Sow et D. Gaye, 2016, p. 181 ; D. D. Ba 2018, p. 94) et la récente augmentation des pluies dans le Sahel (P. Ozer, *etal.*, 2015, p. 11, 12, 13). En effet, depuis le milieu des années 1990, « un retour à de meilleures conditions pluviométriques au Sahel est noté mais il s'accompagne d'une plus forte variabilité interannuelle des précipitations » (OCDE / CSAO, 2008, p.3).

L'indice de De Martonne a été utilisé avec succès pour différentes études sur la répartition des essences (M. Mokhtari et *al.*, 2014, p. 52 ; D. D. Ba, 2018, p. 93). Ces auteurs ont montré qu'en milieu sahélien, la répartition de la végétation était bien corrélée avec les variations d'indice d'aridité. A noter également que la courte durée de la saison pluvieuse révélée par les indices de Gaussen et De Martonne impacte, à la fois, sur les rendements agricoles et sur le couvert végétal. Cette situation est symptomatique d'une sécheresse agricole et édaphique (M. Mainguet, 1995, p. 33-34) qui explique, en partie, le recul de l'agriculture sous pluie et les longs déplacements des éleveurs, voire la mort du bétail (D. D. Ba, 2018, p. 170).

Conclusion

L'objectif de cette étude est de d'analyser la variabilité pluviométrique et l'évolution de la sécheresse dans la Vallée du fleuve Sénégal. Pour ce faire, les données de pluie et de températures des quatre stations synoptiques de la Vallée (Bakel, Matam, Podor et Saint-Louis) sont utilisées. Il s'agit des données mensuelles qui s'étendent sur la période 1961 – 2017. Les tests des rupture (Bushand et Hubert), l'indice d'anomalie de Lamb et l'indice d'aridité de De Martonne sont les principales méthodologies adoptées pour prendre en compte cette thématique. Les résultats de l'étude nous ont permis de retenir qu'une grande variabilité de la pluviométrie a été observée dans la Vallée du Fleuve Sénégal. L'étude des précipitations a clairement montré la diminution des totaux annuels et mensuels durant la période sèche actuelle. Au niveau de toutes les stations,

sécheresses climatiques et occurrences relativement humides se succèdent avec dans l'ensemble une tendance baissière. Ces conditions climatiques caractérisées par l'aridité et la rigueur renforcent la fragilité des écosystèmes.

Un retour à une tendance de pluviométrie moyenne normale des années 1960 s'observe de part et d'autre depuis la fin des années 1990. Mais la fréquence des déficits durant la décennie en cours montre que la variabilité reste forte et le cycle sec n'est pas définitivement terminé. Aussi pouvons-nous signaler l'existence d'un gradient Est-Ouest beaucoup plus affiné dans le Nord-est malgré la forte variabilité de la pluviométrie sur l'ensemble de la période d'étude. Le secteur le plus arrosé sur toute la période est celui de Bakel et dans une moindre mesure Matam.

L'étude de la variabilité pluviométrique fournit donc d'importantes informations sur les précipitations et les températures. Ces informations pourraient servir pour des travaux futurs sur la morpho dynamique dans la vallée autant que sur la productivité de l'agriculture en rapport avec la variabilité climatique.

Références bibliographiques

ALAMOU Eric Adéchina, QUENUM Gandomè Mayeul.*, LAWIN Emmanuel Agnidé., BADOU Djigbo. Félicien et AFOUDA Abel 2016. Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le bassin de l'Ouémé, Bénin » in *Afrique SCIENCE*12(3) (2016), pp.315-328.

<http://bec.uac.bj/uploads/publication/880602ae180a67fd03570f2be8e8e8c1.pdf>

ASSEMIAN Emile Assie, KOUAME Fernand Koffi., DJAGOUA Eric Valère., AFFIAN Kouadio, JOURDA Jean Patrice Roger, ADJA Miessan, LASM Théophile et BIEMI Jean, 2013, Étude de l'impact des variabilités climatiques sur les ressources hydriques d'un milieu tropical humide : Cas du département de Bongouanou (Est de la Côte d'Ivoire) » in *Revue des sciences de l'eau*26(3) pp. 247-261.

<https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2013-v26-n3-rseau0846/1018789ar/resume/>

BA Djibirou Daouda, 2018, *Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal (Région de Matam)* Saint-Louis, thèse de Doctorat unique à l'Université Gaston Berger, Saint-Louis, 196 p.

BODIAN Ansoumana, DACOSTA Honoré, DEZETTER Alain, 2011. Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité climatique » in *Physio-Géo*, volume V. France, pp.107-124.

<https://journals.openedition.org/physio-geo/1958>

BODIAN Ansoumana, 2014, Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest), *Physio-Géo*, vol 8, pp. 297 – 312.

<https://journals.openedition.org/physio-geo/4243>

GAYE Demba, 2017, Suivi de la pluviométrie au Nord-Sénégal de 1954 à 2013 : étude de cas des stations synoptiques de Matam, Podor et Saint-Louis », *Noroi* (*Environnement, aménagement, société*), n°244, p.63 – 73.

<http://journals.openedition.org/noroi/6165> ; DOI : 10.4000/noroi.6165

LAMB Peter. Jean., 1982, Persistence of Subsaharandrought, *Nature (International Journal of Science)* n°299, p. 46 – 47.
https://www.nature.com/articles/299046a0
LE BOURGEOIS François et PIEDALLU Christian, 2005, Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études stationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques, *Revue Outils et méthodes*, , pp 331-355.

<https://docplayer.fr/23262407-Apprehender-le-niveau-de-secheresse-dans-le-cadre-des-etudes-stationnelles-et-de-lagection-forestiere-apartir-d-indices-bioclimatiques.html>

LUBÈS-NIEL Helene, Jeaffrey MASSON, Jean Emanuel PATUREL et Eric SERVAT, 1998, Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques, *Rev. Sci. Eau*, 11, pp. 383-408.

MAHE Gil., 1993, *Les écoulements fluviaux sur la façade atlantique de l'Afrique. Etude des éléments du bilan hydrique et variabilité interannuelle, analyse de situations hydro-climatiques moyennes et extrêmes*, Paris, Edition ORSTOM, 438p.

MAINGUET Monique, (1995), *L'homme et la sécheresse*, Paris Masson, 335p

MOKHTARI Nouredine, MRABET Rachid, LEBAILLY Philippe et BOCK Laurent, 2014, Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* (2014) 2 (1), pp.50-66

OCDE / CSAO, 2008, *Climat, changements climatiques et pratiques agro-pastorales en zones sahélienne (en vue de la conférence de haut niveau sur la sécurité alimentaire mondiale : les défis du changement climatique et des bioénergies)*, 8 p.

http://www.fao.org/nr/clim/docs/clim_080901_fr.pdf
http://www.fao.org/nr/clim/docs/clim_080901_fr.pdf

OZER Pierre, DJABY Bakary, DE LONGUEVILLE Florence, 2015, *Evolution récente des extrêmes pluviométriques au Niger (1950-2014)*, Workshop « Coopération Universitaire au Développement avec le Niger », Université de Liège, 18 p.

PATUREL Jean Emmanuel., SERVAT Eric., DELATRE Marie-Odille., et LUBÈS-NIEL Hélaine., 1998. « Analyse des séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique », *journal des sciences hydrologiques*, vol. 43, n°6, p.937 - 946.

RISER Jean, 1999, *Géographie physique de l'Afrique Occidentale et Centrale*. Paris, Ellipses, 160 p.

- SERVAT Eric, PATUREL Jean-Emmanuel, LUBES-NIEL Helene, KOUAMH Brou et 1997 « Variabilité des régimes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne », *Géosciences de surface*, n°324, série II : 835 – 838.
- SIRCOULON Jacques, 1976. La récente sécheresse des régions sahéliennes, *La Houille Blanche*, N°6-7, pp. 537-548, pp. 537 – 548p. <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1976/05/lhb1976036.pdf>
- SOW Seydou et GAYE Demba, 2016, « Impacts des variations pluviométriques sur les écoulements de surface dans la vallée du Sénégal », in *Revue de Géographie de l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO*, N° 05, Vol. 2, pp. 167-183.
- SY Boubou Aldiouma, 2008, *Milieus, sécheresse climatique et érosion éolienne, étude géomorphologique du sahel sénégalais*, Saint-Louis, Université Gaston Berger, 429 p.
- WU Weicheng, 2003, *Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides : Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest*, Paris, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 217 p.



Institut National de la Recherche Scientifique. INRS
BP 2240 LOME - TOGO
Tél. (228) 22 21 01 39 / (228) 22 21 39 94
Email : inrstogo@yahoo.fr