

JOURNAL
de la
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
de
L’UNIVERSITÉ DE LOMÉ



LOME - TOGO

Le Journal de la Recherche Scientifique de l’Université de Lomé est référencé dans African Journal on Line (AJOL) [www.inasp.org/ajol]

VOLUME 26
(2024)

Numéro 4

Instructions aux auteurs (Directives aux auteurs)

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé est un journal international et pluridisciplinaire qui publie des travaux de recherche rédigés en français ou en anglais. Quatre domaines sont couverts par le journal et sont définis par le Réseau pour l'excellence de l'enseignement supérieur en Afrique de l'Ouest (REESAO) :

- *Lettres, Langues et Humanités* ;
- *Sciences, Technologies et Agronomies* ;
- *Sciences de la Santé* ;
- *Sciences Juridique, Politique, Economique et de Gestion*.

Le journal reçoit des articles originaux, des revues de la littérature, des petites communications, des commentaires et critiques d'articles et des études de cas. Les articles soumis ne doivent pas avoir été publiés antérieurement, ni être actuellement soumis au processus d'évaluation dans une autre revue scientifique.

Le journal s'engage à ce qu'il n'y ait pas de retard dans la procédure d'évaluation, et réduire considérablement le délai pour émettre l'avis final : (au plus tard huit (8) semaines après la soumission). Les articles soumis doivent impérativement suivre le format de l'article type (l'exemplaire).

Périodicité

Chaque volume du journal paraît en quatre numéros par an (mars, juin, septembre et décembre).

Pour les éditions spéciales, le comité de rédaction fixe le délai des appels à contributions.

Processus de soumission

Les auteurs doivent lire attentivement les instructions aux auteurs avant d'entamer le processus de soumission.

La soumission d'articles est acceptée exclusivement via la page de soumission sur le site du journal. En cas de difficultés, les manuscrits seront soumis par voie électronique à l'adresse suivante : jrsultg@gmail.com ou jrsultg@univ-lome.tg

Le manuscrit doit être accompagné d'une lettre d'engagement (exemplaire

disponible) signée par l'auteur correspondant. La Lettre d'engagement, datée et signée à l'encre bleue, doit être soumise en tant que fichier supplémentaire pendant la procédure de soumission du manuscrit (en format pdf). Les manuscrits qui ne sont pas accompagnés d'une lettre d'engagement seront automatiquement rejetés.

Présentation du manuscrit

Le manuscrit, saisi en format A4, colonne double avec 2,0 cm de marges et (Word : Times New Roman, 12, interligne simple), doit comprendre les parties suivantes :

- **Titre de l'article** : En majuscule, il doit être court et très explicite, en français et en anglais
- **Les auteurs** : Les noms et prénoms des auteurs (les initiales du nom et prénoms en majuscule, ex : Koledzi KE, les affiliations (noms et adresse des institutions) ainsi que leurs adresses email. Le nom de l'auteur correspondant doit être identifié par un astérisque (*) et son adresse électronique doit être fournie.
- **Un résumé (français) et un abstract (anglais)** : le résumé doit indiquer brièvement les objectifs de l'étude, l'approche méthodologique suivie et les matériels, les principaux résultats obtenus (résultats qualitatifs et quantitatifs) et la conclusion. Il doit être court et précis. Le résumé est un bloc de 250 mots au maximum. Un résumé doit pouvoir présenter le travail de recherche indépendamment de l'article. Les références doivent être évitées dans le résumé. Ne pas utiliser d'abréviations, des caractères spéciaux et des formules mathématiques dans le résumé.
- **Les mots clés en français et keywords en anglais** : au maximum six (6). Les mots-clés ne doivent pas répéter les termes du titre.
- **Introduction** : elle fait le point de la revue de la littérature récente sur le sujet (justification du sujet), soulève de façon précise la problématique de la présente étude, les hypothèses ou objectifs scientifiques, les approches et énonce le plan du manuscrit.
- **Matériel et méthodes** : on y décrit clairement l'approche méthodologique utilisée. Les références des méthodes d'analyse, des équipements et des produits chimiques doivent être fournies.
- **Résultats** : cette section renferme les principaux résultats obtenus. Les résultats peuvent être présentés sous forme de figure ou de tableau dans la mesure du possible. Toutes les illustrations doivent être claires et faciles à reproduire. Elles seront insérées dans le texte et à la bonne place. On évitera les couleurs dans les tableaux. Pour les équations, il est recommandé d'utiliser un éditeur d'équations compatible en traitement de texte word. Les tableaux et les figures doivent être

numérotés en chiffres arabes et doivent comporter une légende courte et explicite en français. Les unités doivent être choisies dans le Système International. Il est souhaitable d'utiliser les puissances négatives à la place des barres (mg l^{-1} et non mg/l). Pour les noms scientifiques dans les systématiques, utiliser l'italique plutôt que souligner.

- **Discussion** : il est souhaitable de séparer la discussion des résultats. Dans la discussion, on apportera des interprétations approfondies des résultats, on montrera les liens de l'étude avec les travaux récents de la littérature et on mettra en évidence l'apport de la contribution. La discussion peut être associée directement au résultat.
- **Conclusion** : une conclusion retrace les principaux résultats et leurs contributions.
- **Remerciements** : les remerciements suivent directement la section de la conclusion. Cette section non numérotée est utilisée pour identifier les personnes qui ont aidé les auteurs dans l'accomplissement du travail présenté et de reconnaître les sources de financement. (Remerciements des contributions techniques importantes et des sources de financement de l'étude)
- **Références** (Cette section ne doit pas être numérotée.)
 - ✓ Essayez de s'assurer que toutes les références citées dans le texte sont également présentées dans la liste des références (et vice versa).
 - ✓ Évitez d'inclure des citations dans le résumé.
 - ✓ Le fait de citer une référence en tant que 'in press' signifie qu'elle fait référence à un article accepté pour publication.
 - ✓ Les citations dans le texte doivent être marquées consécutivement par des nombres arabes entre crochets (par exemple [1]).
 - ✓ Lorsque vous faites référence à un élément de référence, s'il vous plaît utilisez simplement le numéro de référence, comme dans [2].
 - ✓ Ne pas utiliser « Réf. [3] » ou « de référence [3] », sauf au début d'une phrase, par exemple, « La référence [3] montre ... ».
 - ✓ Plusieurs références sont numérotées avec des crochets distincts (par exemple [2], [6], [7], [8], [9]) et non [2,6,7,8,9].
 - ✓ Les résultats non publiés ne doivent pas figurer dans la liste des références, mais ils peuvent être mentionnés dans le texte.
 - ✓ Les références doivent être présentées dans un ordre consécutif (dans l'ordre de leur apparition dans le texte).
 - ✓ Pour la présentation des références on distinguera les cas suivants :

Des articles de revues :

- [1] Srivastava SK and Kaur K, “Stability of Impulsive Differential Equation with any Time Delay,” International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 2, no. 3, pp. 280–286, 2013.
- [2] Adeoluwa OV, Aboderin OS, and Omodara OD, “An Appraisal of Educational Technology Usage in Secondary Schools in Ondo State (Nigeria),” International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 2, no. 3, pp. 265–271, 2013.

Des livres:

- [11] Tichi C, Electronic Hearth: Creating an American Television Culture. Oxford University Press, 1991.
- [12] Jennings AR, Financial Accounting. Cengage Learning EMEA, 2001.

Un chapitre dans un livre :

- [7] Mettam GR, and Adams LB, How to prepare an electronic version of your article, In: Jones BS, and Smith RZ (Eds.), Introduction to the electronic age, New York: E-Publishing Inc, pp. 281-304, 1994.
- [8] O'Neil JM., and Egan J, Men's and women's gender role journeys: A metaphor for healing, transition, and transformation, In: Wainrib BR (Ed.), Gender issues across the life cycle, New York, NY: Springer, pp. 107-123, 1992.

Sites Internet : A n'utiliser que dans des cas exceptionnels ; préciser si possible les noms des auteurs et la date de consultation

- [5] Smith, Joe, One of Volvo's core values, 1999. [Online] Available: <http://www.volvo.com/environment/index.htm> (July 7, 1999).

Comité du Journal

Le Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé est cogéré par trois comités, à savoir un Comité scientifique, un Comité de rédaction et un Comité de lecture.

COMITE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL DE LECTURE

Pr. KPODAR Adama, Université de Lomé ;
Pr. KOKOROKO Komla Dodzi, Université de Lomé ;
Pr. WATEBA Majesté Ihou Nazoba, Université de Lomé ;
Pr. KOKOU Kouami, Université de Lomé ;
Pr. BOKO Essohanam, Université de Lomé ;
Pr. AGBONON Amégnona, Université de Lomé ;
Pr. TSIGBE Koffi Nutefé Joseph, Université de Lomé ;
Pr. BATCHANA Essohanam, Université de Lomé ;
Pr. KETOH Koffivi Guillaume, Université de Lomé ;
Pr. BALOGOU K. Agnon, Université de Lomé,
Pr. SALOU Mounerou, Université de Lomé ;
Pr. AKAKPO-NUMADO Cyriaque, Université de Lomé ;
Pr. GANGUE Martin, Université de Lomé ;
Pr. GNON Baba, Université de Lomé ;
Pr. COUCHORO Mawuli, Université de Lomé ;
Pr. AKUE ADOTEVI Mawusse Kpakpo, Université de Lomé ;
Pr. DOSSEH Ekoué David, Université de Lomé ;
Pr. KOBA Koffi, Université de Lomé ;
Pr. YIGBE Dotsè, Université de Lomé ;
Pr. GBENOUGA Dossou, Université de Lomé ;
Pr. ANATE Koumealo Germaine, Université de Lomé ;
Pr. KOLA Edinam, Université de Lomé ;
Pr. AMEYAPOH Yaovi, Université de Lomé ;
Pr. AGBODJI Ega, Université de Lomé ;
Pr. PALI Tchaa, Université de Kara, membre ;
Pr. EGBENDEWE Aklesso, Université de Lomé ;
Pr. WALA Atchi, Université de Lomé ;
Pr. HETCHELI Follygan, Université de Lomé ;
Pr. WALA Kpérkouma, Université de Lomé ;
Pr. GASSOU Amivi Kafui, épouse TETE-BENISSAN, Université de Lomé ;
Pr. OWAYE Jean-François, Université Omar Bongo, Libreville ;
Pr. BAMBA Mamadou, Université Alassane Ouattara ;
Pr. AMOUZOUVI Dodji, Université d'Abomey Calavi ;
Pr. MENSAH-NYAGAN Guy, Université de Strasbourg ;
Pr. GOERG Odile, Universités de Paris ;
Pr. FERRÉOL Gilles, Université de Franche-Comté ;
Pr. AGBOBLI Christian, Université de Montréal ;
Pr. SINSIN Brice, Université d'Abomey Calavi ;
Pr. SAKA Bayaki, Université de Lomé ;
Pr. BOUKPESSI Tchaa, Université de Lomé ;
Dr. AYEWOUADAN Akodah, MCA, Université de Lomé ;
Dr. SEGNIAGBETO Hoinsoudé, MC, Université de Lomé ;
Dr. LARE Yendoubé, MC, Université de Lomé ;
Dr. HOUNAKE Kossivi, Université de Lomé ;
Dr. DZAGLI Milohum Mikesokpo, MC, Université de Lomé.

Comité de Rédaction

Le comité de rédaction participe à la mise en œuvre de la politique éditoriale. Il est dirigé par un Directeur de Publication qui est le Directeur de la Recherche et de l’Innovation et un rédacteur en Chef.

Directeur de publication : Professeur BOKO Essohanam

Rédacteur en Chef : Professeur AGBONON Amégnona

Membres :

- Professeur NAPO Gbati ;
- Docteur ADJONOU Kossi, MC (Maître de Conférences).

Secrétariat

Monsieur KUWONU Tata Koffi

Monsieur ATCHOTIN Kossi Mawulé

Frais d’évaluation pour chaque article soumis : 60 000 F CFA

Toute correspondance relative à la publication de l’article doit parvenir à l’adresse mail de la Direction de la Recherche et de l’Innovation (DRI), Université de Lomé, 01 B.P. 1515 Lomé 01 (TOGO) : jrsultg@gmail.com ou jrsultg@univ-lome.tg.

**JOURNAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
DE L'UNIVERSITE DE LOME (TOGO)**

VOLUME 26, Numéro 4, (2024)

SOMMAIRE

Sciences Technologies et Agronomies

1. Yohana Noomte Y & al., (Cameroun) Optimisation de la formulation insecticide par association d'eugénol et de limonène https://dx.doi.org/10.4314/jrsul.v26i4.14	1
2. Nkweso DA & al., (Congo-Kinshasa) Caractérisation des pluies extrêmes et les inondations dans la ville de Bandundu (RDC) https://dx.doi.org/10.4314/jrsul.v26i4.15	13

Caractérisation des pluies extrêmes et les inondations dans la ville de Bandundu (RDC)

Characterization of extreme rainfall and flooding in the city of Bandundu (DRC)

Nkweso DA^{1*}, Kisangala M², Yina D² & Ntombi M².

1. Département de Géographie, Institut Supérieur Pédagogique de Kikwit
2. Département des Géosciences, Faculté des Sciences et Technologie / Université de Kinshasa
modestekis@gmail.com, yinadidier@gmail.com & medard.ntombi@unikin.ac.cd

(*) Auteur correspondant, email : damienneagathenkwesompia@gmail.com

Reçu le 10 novembre 2024 ; Révisé le 18 février 2025 ; Accepté le 18 mars 2025

<https://dx.doi.org/10.4314/jrsul.v26i4.15>

Résumé

La ville de Bandundu, située à la confluence de rivières Kasai, Kwango et Kwilu et à proximité de la forêt dense équatoriale appartient au climat subéquatorial Afi aux précipitations abondantes et sujette aux catastrophes naturelles dues aux inondations occasionnées soit par la remontée capillaire, soit au déferlement des eaux des rivières, soit aux eaux de ruissellement des précipitations.

Les données climatiques collectées sont les cumuls des précipitations journalières de la station météorologique de Bandundu de 1981-2021; cette station appartient à l'Agence nationale de Météorologie et Télédétection par Satellite (METTELSAT) de Kinshasa. L'agence de Bandundu est dotée d'instruments modernes dont une station électronique automatique et deux autres stations notamment une station classique ancienne et une nouvelle plus récente avec des appareils et instruments de pointe. Les précipitations sont prélevées à l'aide d'un pluviomètre.

L'analyse statistique des données des précipitations à travers les SPI, les événements pluviométriques intenses, extrêmes et très extrêmes a révélé une variabilité interannuelle des années plus humides marquées par les SPI dont les écarts types (σ) dépassent la moyenne de la série de 1981-2021 et les années moins humides avec les écarts types (σ) en deçà de la moyenne de la série de référence. Par ailleurs, la fréquence et l'intensité des événements pluvieux intenses, extrêmes et très extrêmes en hausse justifient l'évolution croissante des inondations à Bandundu dont la survenue n'est pas toujours corrélée aux années plus arrosées.

Abstract

The city of Bandundu, located at the confluence of the Kasai, Kwango and Kwilu rivers and close to the dense equatorial forest, belongs to the Afi subequatorial climate with abundant rainfall and subject to natural disasters due to flooding caused either by capillary rise, or by the surge of river water, or by runoff from precipitation. The climate data collected are the cumulative daily precipitation from the Bandundu weather station from 1981-2021; this station belongs to the National Agency for Meteorology and Remote Sensing by Satellite (METTELSAT) in Kinshasa. The Bandundu agency is equipped with modern instruments including an automatic electronic station and two other stations, including an old classic station and a newer one with state-of-the-art devices and instruments. Precipitation is collected using a rain gauge.

Statistical analysis of precipitation data across SPIs, intense, extreme and very extreme rainfall events revealed interannual variability in wetter years marked by SPIs whose standard deviations (σ) exceed the mean of the 1981-2021 series and less humid years with standard deviations (σ) below the mean of the reference series. Furthermore, the increasing frequency and intensity of intense, extreme and very extreme rainfall events justify the increasing trend of floods in Bandundu, the occurrence of which is not always correlated with wetter years.

Keywords: River, extreme, rains, floods, Bandundu.

Mots-clés : Rivière, pluies, extrêmes, inondations, Bandundu

Introduction

Située à l'extrême sud de la Cuvette Centrale à proximité de la grande forêt dense équatoriale, dans une zone de savane boisée et de forêt galerie, la ville de Bandundu jouit du climat de type Af, climat tropical humide à tendance subéquatorial et aux précipitations abondantes dont le total pluviométrique annuel varie entre 1500 mm à 1900 mm par an. Son climat est caractérisé par l'alternance de deux saisons, une saison pluvieuse plus longue de 9 à 10 mois allant de septembre au mois de mai et une saison sèche plus courte variant de 2 à 3 mois qui couvre les mois de juin, juillet et août. Ce climat procure à la ville les avantages, notamment l'agriculture, la pêche, l'exploitation forestière.

Par ailleurs, force est de constater qu'à Bandundu ville, le début des années 1980 était marqué par des événements pluviométriques extrêmes générateurs des inondations et qui accroissent la vulnérabilité d'une population aux conditions de vie déjà précaires et pauvre. Cette fréquence inhabituelle des événements des pluies extrêmes en Afrique Centrale et Occidentale a été signalée par le GIEC dans son rapport de 2007. La variabilité pluviométrique avec des événements intenses, extrêmes et très

extrêmes est corollaire aux changements climatiques globaux déplorés à l'échelle planétaire.

C'est pourquoi cette étude tente de caractériser les pluies extrêmes pouvant engendrer le risque d'inondation dans la ville de Bandundu.

Bien que n'étant pas statistiquement significatives, la fréquence et l'intensité des événements pluvieux intenses, extrêmes et très extrêmes en hausse justifient l'évolution croissante des inondations à Bandundu dont la survenue n'est pas toujours corrélée aux années plus arrosées. Ce qui constitue une preuve du changement climatique que connaît la RDC et qui n'épargne pas la ville de Bandundu.

2- Matériel et Méthodes

2.1-Zone d'étude

La ville de Bandundu, bâtie à la confluence de trois grands affluents du fleuve Congo, à savoir le Kasaï, le Kwango et le Kwilu est située entre $3^{\circ}14'06''$ et $3^{\circ}23'43''$ de latitude sud soit $3^{\circ}19'00''$ sud, $17^{\circ}20'$ et $17^{\circ}45'$ de longitude est soit $17^{\circ}22'50''$ est dans la province du Kwilu (fig.1.), au sud-ouest de la République Démocratique du Congo (RDC) où elle est la capitale administrative [5], [10].

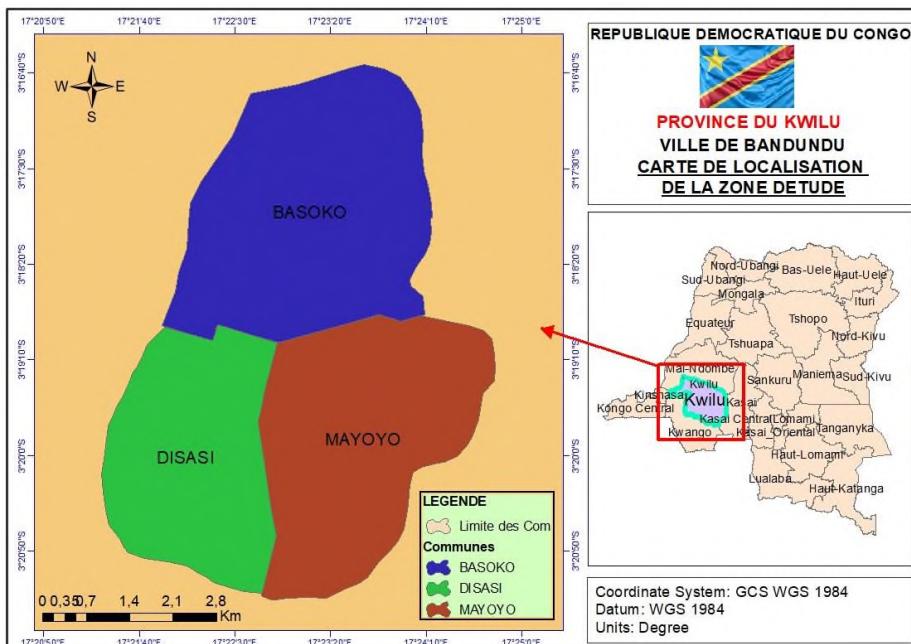


Fig.1. Carte de la ville de Bandundu dans la province du Kwilu en RDC.

2.2. Analyse/traitement des données

La réalisation de cette analyse statistique s'est appuyée sur les données pluviométriques journalières de la station météorologique de la ville de Bandundu du 1^{er} janvier 1981 au 31 décembre 2021, station appartenant à la Mettelsat (Agence Nationale de météorologie et Télédétection par Satellite) de Kinshasa. L'analyse et le traitement des données pluviométriques ont été faites en appliquant le modèle de régression linéaire par la méthode des moindres carrés. Et le test d'homogénéité de Pettit et Buishand a été aussi fait afin de détecter les éventuelles ruptures au sein de la série chronologique des précipitations.

3-. Méthodes

3.1- Calcul de l'Indice Standardisé des Précipitations

L'indice Standardisé des Précipitations (*Standardized Precipitation Index* : SPI ou IPS) a été calculé pour déceler l'évolution des anomalies pluviométriques car cela traduit un excédent ou un déficit pluviométrique par rapport à la période de référence [9].

L'Indice Standardisé des précipitations (SPI) défini comme une variable centrée réduite [17],[9] est exprimée par l'équation suivante : $SPI = \frac{x_i - xm}{\delta_x}$ [3], [16].

- Où SPI est l'indice de pluie standardisé de l'année x_i ;
- X_i : est la pluviométrie de l'année i ,
- xm est la pluviométrie moyenne sur la période de référence (1981-2021) ;

- σ_x est la valeur de l'écart-type de la série chronologique.

La classification adoptée par l'Organisation Mondiale de la Météorologie (OMM) distingue 7 classes de sécheresse allant de l'extrêmement humide à l'extrêmement sèche (Tableau1) [8]. Les valeurs positives indiquent l'humidité tandis que les négatives une situation de sécheresse telles que libellées dans le tableau 1[3].

Tableau 1. Classification de SPI selon OMM

Valeur de SPI	Catégorie de sécheresse
Et plus 2,0	Extrêmement humide
1,99 à 1,50	Très humide
1,49 à 1,0	Humide
0,99 à -0,99	Normal
-1 à -1,49	Modérément sec
-1,50 à -1,99	Sévèrement sec
-2 et moins	Extrêmement sec

3.2- Analyse de données pluviométriques journalières

Pour détecter l'évolution et les tendances de la pluviométrie et y déceler une éventuelle variabilité pluviométrique, on passe par le calcul de 12 indices pluviométriques calculés sur la période de référence 1981-2021 (**tableau2**), notamment: la pluviométrie totale annuelle (PTOT), le nombre total de jours humides (avec pluie journalière $\geq 1\text{mm}$, JP), la pluviométrie maximale en 1 jour (Px1J), la lame d'eau moyenne précipitée par jour humide (*Simple Day Intensity*

index, SDII), le nombre total de jours caractérisés par des précipitations $\geq 10\text{ mm}$ (P10), le nombre total de jours caractérisés par des précipitations $\geq 20\text{ mm}$ (P20), le nombre de jours avec des précipitations $\geq 95\text{e percentile}$ (P 95p), le nombre de jours avec des précipitations $\geq 99\text{e percentile}$ (P 99p), le nombre de jours avec des précipitations $\geq 99,5\text{e percentile}$ (P 99,5p), l'intensité des précipitations $\geq 95\text{e percentile}$ (P95pSOM), l'intensité des précipitations $\geq 99\text{e percentile}$ (P99pSOM) et l'intensité des précipitations $\geq 99,5\text{e percentile}$ (P99,5pSOM) [4],[7], [16].

La fréquence de ces événements pluviométriques s'exprime en nombre de jours par an et l'intensité en millimètre d'eau par an (mm). Ici, seule les précipitations journalières $\geq 1\text{mm}$ sont prises en compte afin d'éviter les biais qui pouvaient être induits par d'éventuelles variations dans la considération des faibles précipitations [16].

4. Résultats

4.1. Evolution des précipitations annuelles

Les indices de pluies annuelles standardisés calculés permettent de mettre en évidence la succession de périodes plus humides et moins humides en rapport à la période de référence, à savoir 1981-2021. Ces indices pluviométriques permettent aussi d'étudier la variabilité climatique interannuelle.

Dans la ville de Bandundu, les SPI calculés révèlent cette succession d'années plus arrosées et les moins arrosées mais la situation est dominée par la prépondérance des années humides comme indiquée dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3. Indices Standardisés des précipitations à la station de Bandundu de 1981-2021.

Années	SPI	Catégorie de sécheresse	Années	SPI	Catégorie de sécheresse
1982	2,6	Extrêmement humide	1997	-0,1	Normal
2020	1,8	Très humide	2017	-0,1	Normal
1985	1,6	Très humide	1993	-0,2	Normal
1990	1,3	Humide	2003	-0,3	Normal
2018	1,2	Humide	1992	-0,3	Normal
1984	1,1	Humide	2016	-0,6	Normal
2021	1,1	Humide	2008	-0,8	Normal
2002	0,9	Normal	2019	-0,9	Normal
1988	0,8	Normal	1991	-0,9	Normal
2007	0,7	Normal	2015	-1,0	Modérément sec
1989	0,5	Normal	2001	-1,0	Modérément sec
2011	0,4	Normal	1998	-1,1	Modérément sec
2009	0,4	Normal	2006	-1,1	Modérément sec
1987	0,4	Normal	2004	-1,3	Modérément sec
1995	0,4	Normal	2005	-1,3	Modérément sec
2012	0,3	Normal	2000	-1,3	Modérément sec
2014	0,2	Normal	1999	-1,7	Sévèrement sec
1994	0,2	Normal			
1983	0,1	Normal			
2013	0,0	Normal			
1996	0,0	Normal			
1986	0,0	Normal			
2010	0,0	Normal			
1981	0,0	Normal			

Il ressort de la lecture du tableau 3 que 24 années soit 58,5% sont humides parmi lesquelles 3 ont été très humides avec $\sigma > 1,50$; il s'agit des années 1982, 2020 et 1985; 4 années sont humides avec δ compris entre 1,43 et 1,02; ces années sont : 1990, 2018, 1984, 2021; et 17 années ayant une humidité normale et dont δ varie de 0,95 à 0,06 ($\sigma < 0$), à savoir : 2002, 1988, 2007, 1989, 2011, 2009, 1987,

1995, 2012, 2014, 1994, 1983, 2013, 1996, 1980, 2010, 1981.

Par ailleurs, 17 années soit 41,5% sont déficitaires et moins arrosées par rapport aux précédentes. La représentation graphique des IPS annuels calculés (Fig.2.) permettra de visualiser cette succession interannuelle d'humidité plus marquée et celles moins arrosées au cours de ces années [4], [11], [12].

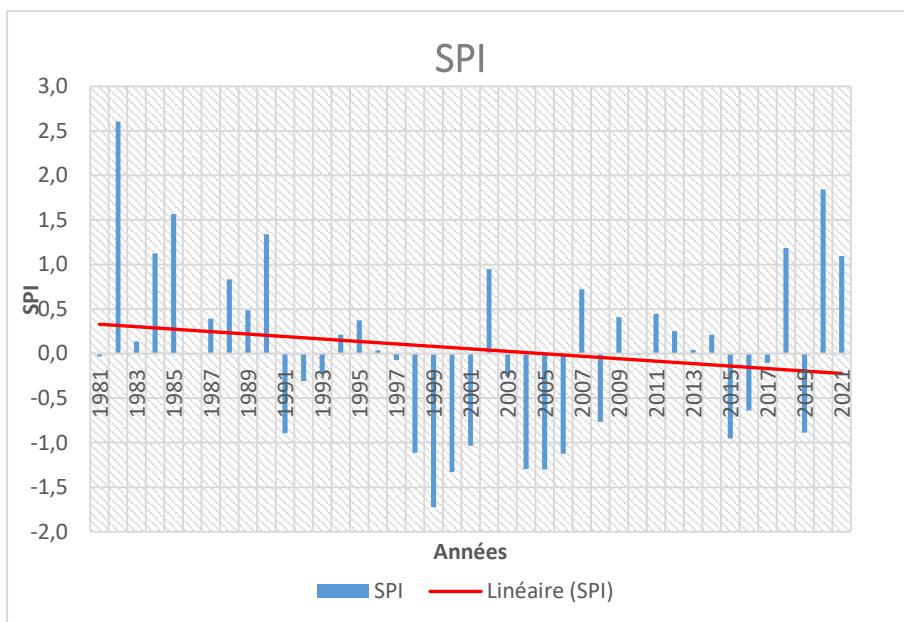


Fig.2. Evolution des anomalies pluviométriques à la station de Bandundu.

La lecture de la figure 2 laisse transparaître l'évolution des anomalies pluviométriques à la station de Bandundu de 1981 à 2021. Les histogrammes qui représentent les précipitations annuelles exprimées en écart-type (indice d'anomalie pluviométrique) montrent la succession des années humides et celles qui sont moins humides avec une courbe de tendance à la baisse.

Par ailleurs, on peut observer également la tendance des précipitations dans ce milieu à travers l'analyse de l'évolution des pluies annuelles à la station de Bandundu de 1981-2021 où l'on peut remarquer la variation interannuelle des précipitations avec une tendance à la baisse. La tendance de la pluviométrie annuelle à Bandundu de 1981 à 2021 est visualisée par la figure 3.

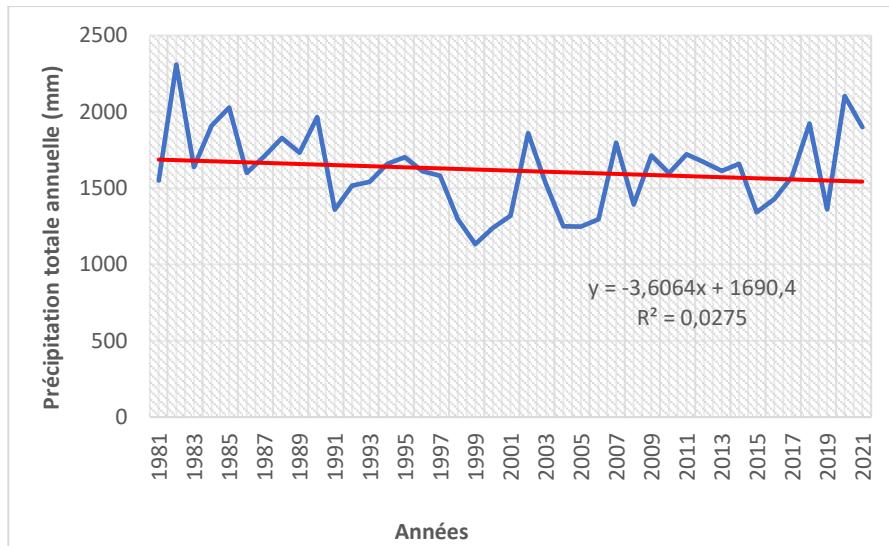


Fig. 3.Tendance de la pluviométrie annuelle à Bandundu de 1981 à 2021.

La tendance de la pluviométrie annuelle (**Fig.3.**) et les SPI calculés révèlent les fluctuations pluviométriques interannuelles au cours de ces 41 années, avec des années de forte pluviométrie dont le total annuel dépasse la moyenne calculée de la série (1614,7mm), la normale de référence de la station de Bandundu de 1961-1990 (1600mm) et aussi la normale de 1991-2020 (1534,6mm) ainsi que des années moins pluvieuses tel que constaté sur la figure précédente (SPI) et la courbe accuse une tendance à la baisse

statistiquement non significative car la p-value calculée = 0,1748 est supérieure au niveau de signification seuil $\Omega= 0,05$.

Par ailleurs, les tests d'homogénéité de Pettit, Buishand et Von Neumann révèlent que les données ne sont pas homogènes ; il y a une date à partir de laquelle une rupture-changement a eu lieu et c'est à partir de 1991 où $m\mu_1=1876$ et de 1991-2021 avec $m\mu_2=1546$ étant donné que la p-value calculée (0,0376) est inférieure au niveau de signification $\Omega=0,05$ [2], [6].

La figure 4 illustre les tests d'homogénéité de Pettit et de Buishand.

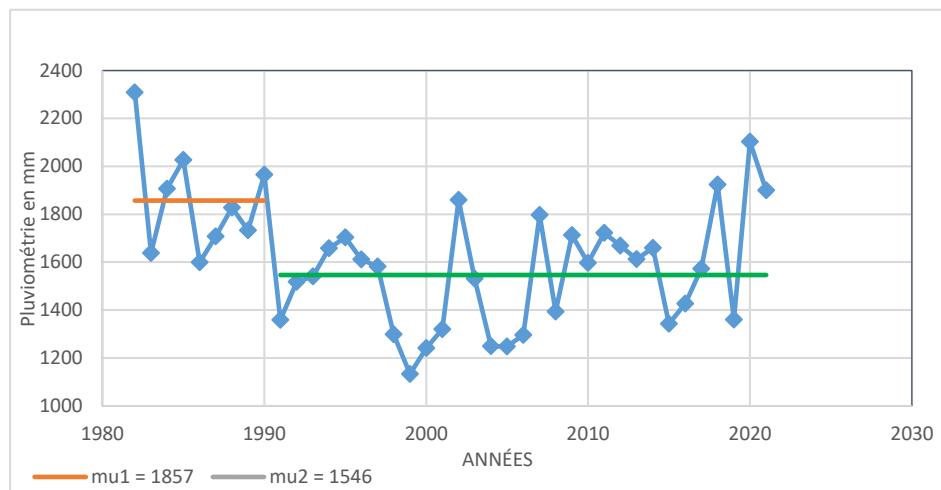


Fig. 4. Test d'homogénéité de Pettit et Buishand

Tableau 4. Indices pluviométriques de la ville de Bandundu

Indices pluviométriques	Valeurs_Bandundu	Unités
PTOT	2309 ± 1133	mm
JP	281 ± 92	Jours
SDII	6 ± 3	mm/jr
Px1J	133 ± 26	mm
P10	65 ± 21	Jours
P20	27 ± 3	Jours
P95p	20 ± 1	Jours
P99p	29 ± 10	Jours
P99,5p	4 ± 2	Jours
P95pSOM	961 ± 32	mm
P99pSOM	63 ± 18	mm
P99,5pSOM	76 ± 21	mm

4.2.Tendance des indices pluviométriques

La recherche des tendances des précipitations s'est faite en appliquant le modèle de régression linéaire représentant

l'évolution en baisse ou en hausse de l'indice donné sur la période de référence 1981-2021 comme on peut le constater dans la figure 5.

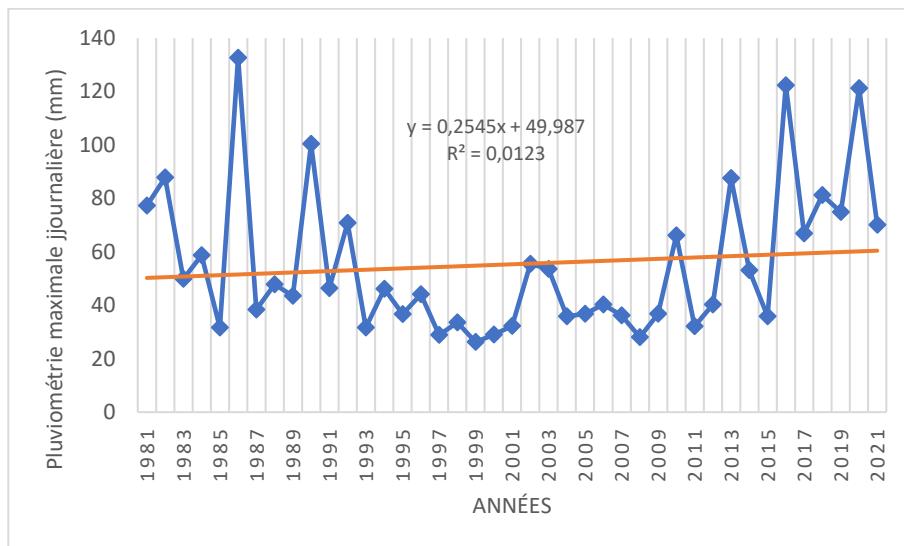


Fig.5. Evolution des précipitations maximales journalières à la station de Bandundu de 1981-2021.

De l'analyse de la figure 5, on peut constater une variation interannuelle des Précipitations maximales annuelles avec

des années en hausse et celles dont les précipitations maximales annuelles sont en baisse et la courbe accuse une tendance à la hausse.

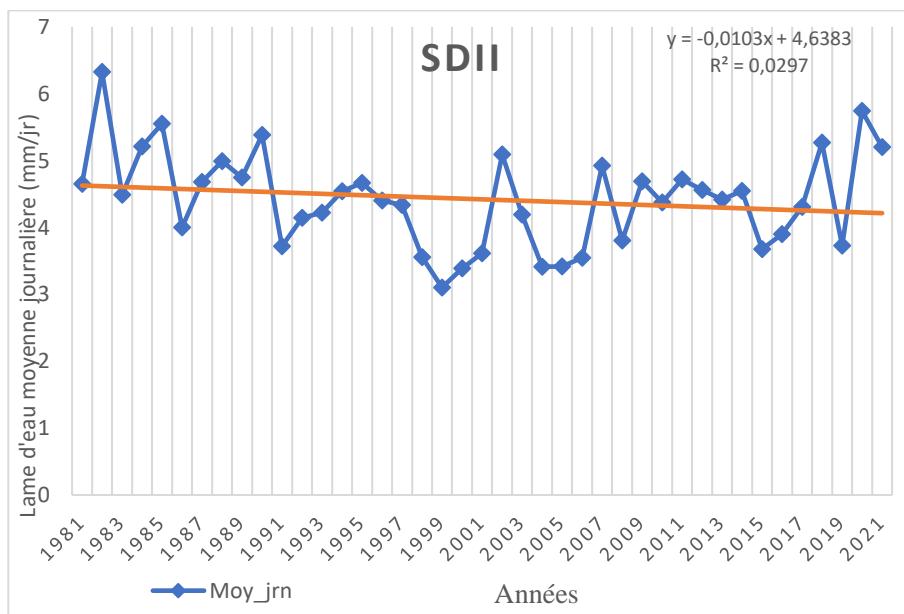


Fig.6. Tendance de la lame d'eau moyenne journalière à Bandundu de 1981-2021.

L'observation de la figure 6 révèle que la courbe accuse une tendance à la baisse du nombre de jours de la lame d'eau moyenne journalière (SDII).

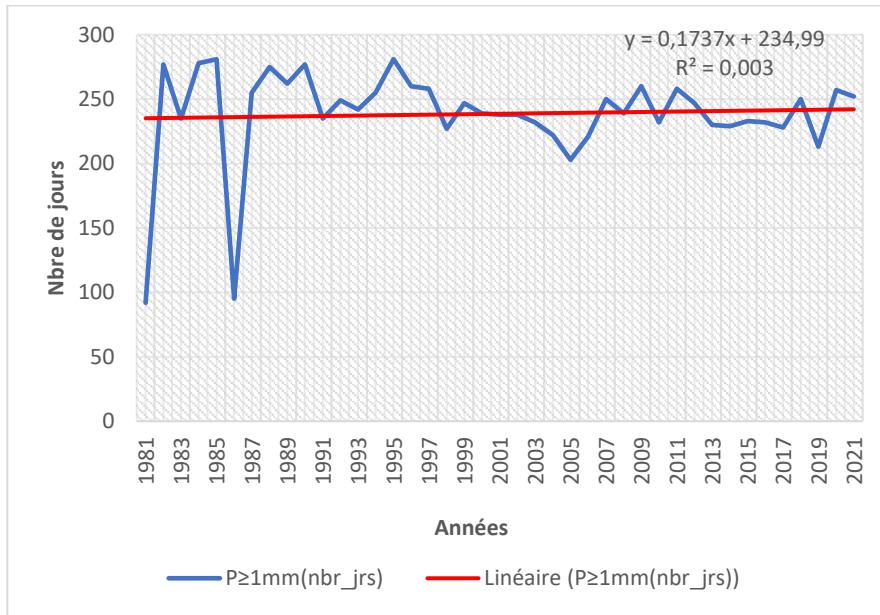


Fig.7.Tendance du nombre de jours humides (pluie $\geq 1\text{mm}$) à Bandundu de 1981-2021.

L'observation de la figure 7 laisse transparaître une légère tendance à la hausse du nombre de jours humides ($P \geq 1\text{mm}$).

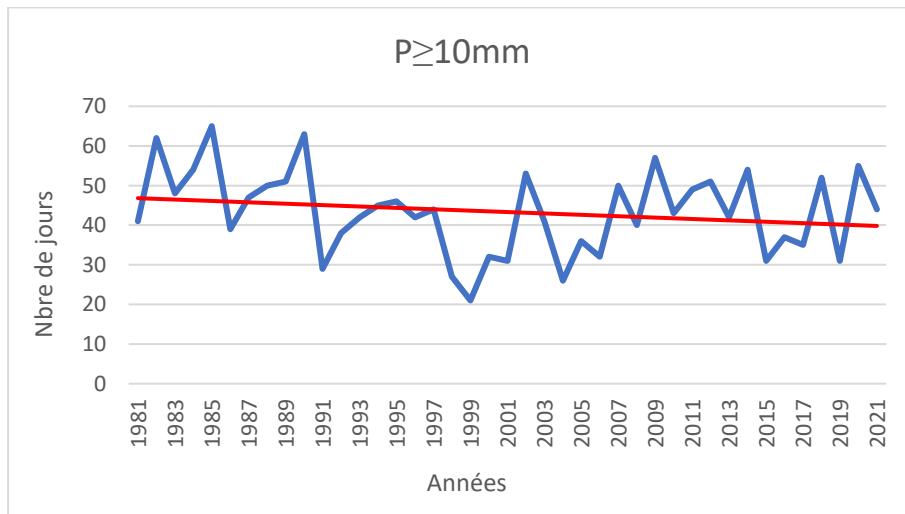


Fig.8. Tendance du nombre de jours avec de précipitations $\geq 10\text{ mm}$.

Caractérisation des pluies extrêmes et les inondations dans la ville de Bandundu (RDC)

L'analyse de la figure 8 sur le nombre de jours avec des précipitations ≥ 10 mm laisse transparaître une oscillation de 1981-2021, alors que la courbe accuse une tendance à la baisse.

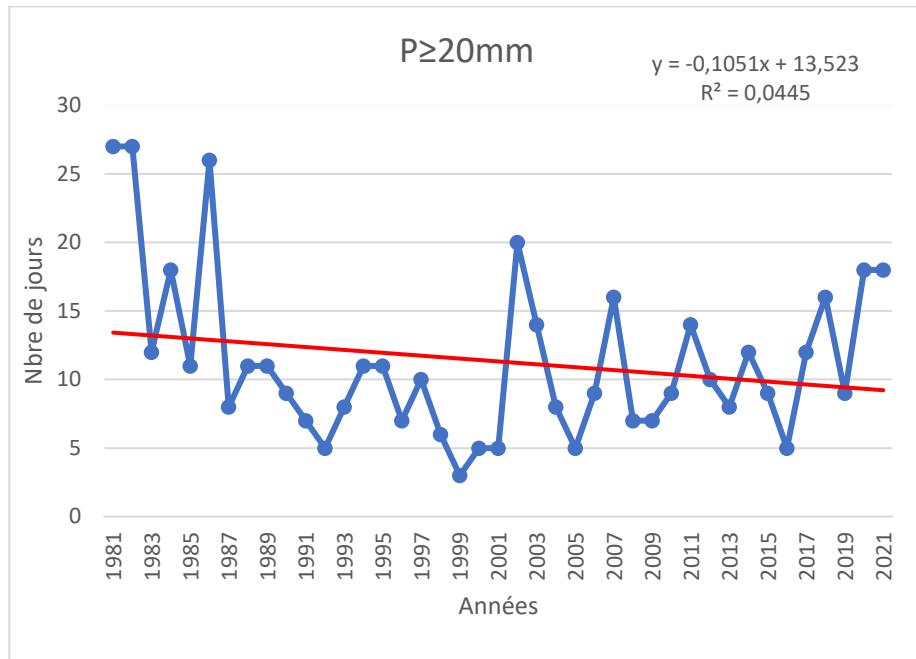


Fig.9.Tendance du nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm.

Il ressort de l'observation de la figure 9 que le nombre de jours avec des précipitations ≥ 20 mm connaît une fluctuation au cours de ces années (1981- 2021) et la courbe accuse une tendance à la baisse.

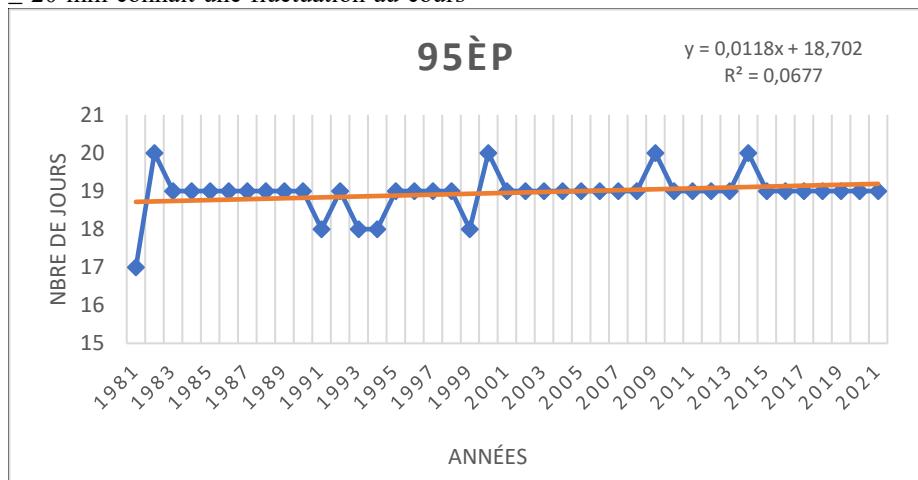


Fig.10. Fréquence des événements pluvieux intenses \geq 95è percentile à Bandundu de 1981-2021.

L'analyse de la figure 10 révèle la variation de la fréquence des événements pluvieux intenses \geq 95^e percentile à Bandundu de 1981-2021 et la courbe montre une tendance à la hausse.

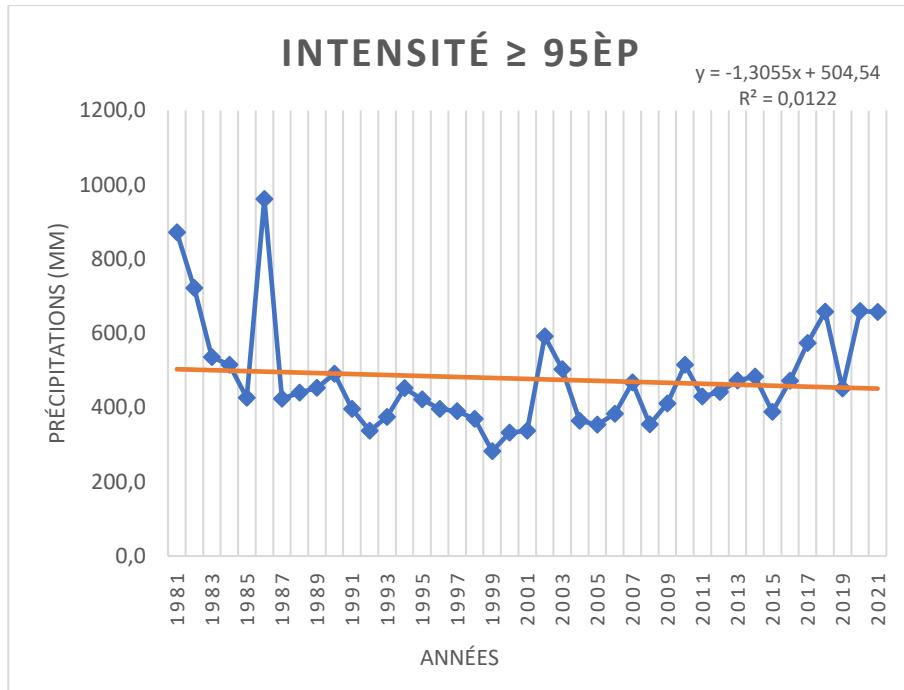


Fig.11. Intensité des événements pluvieux intenses \geq 95^e percentile à Bandundu de 1981-2021 (P95pSOM).

La figure 11 montre une variabilité interannuelle de l'intensité des événements pluvieux intenses \geq 95^e percentile à

Bandundu de 1981-2021 avec une courbe accusant une tendance à la baisse.

Caractérisation des pluies extrêmes et les inondations dans la ville de Bandundu (RDC)

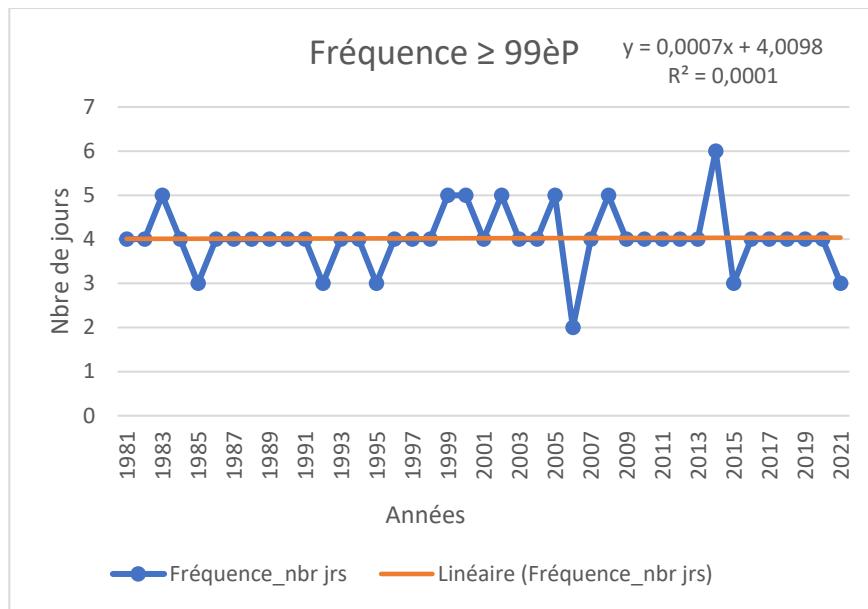


Fig.12. Fréquence des événements pluvieux extrêmes $\geq 99\text{èP}$ à Bandundu de 1981-2021.

De la lecture de la figure 12, on peut remarquer la variabilité interannuelle de la fréquence des événements pluvieux extrêmes et la courbe est stationnaire (pas de tendance à la hausse ni à la baisse).

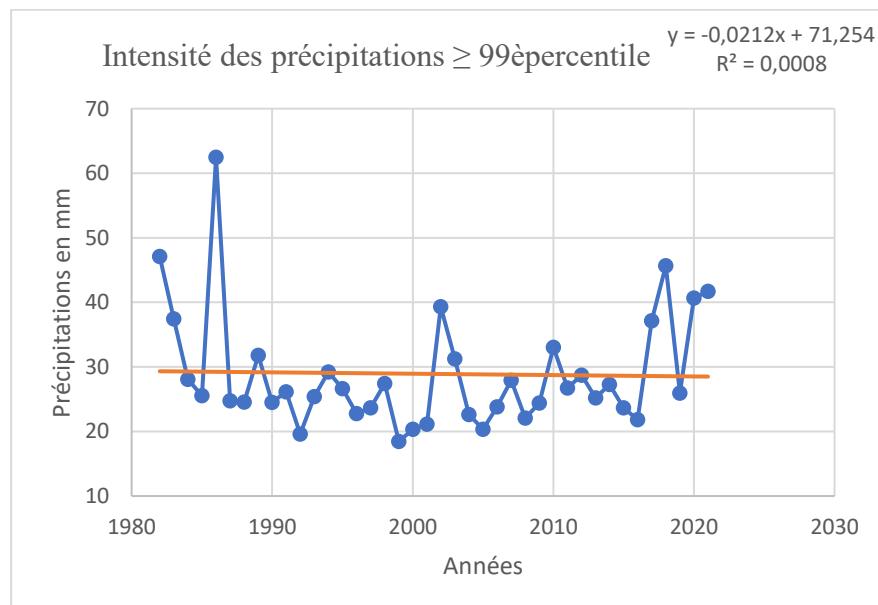


Fig.13. Intensité des événements pluvieux extrêmes $\geq 99\text{è percentile}$ à Bandundu de 1981-2021(P99èpSOM).

La figure 13 de l'intensité des événements pluvieux \geq 99^e percentile révèle des variations au cours de la période de référence et la courbe accuse une légère tendance à la baisse.

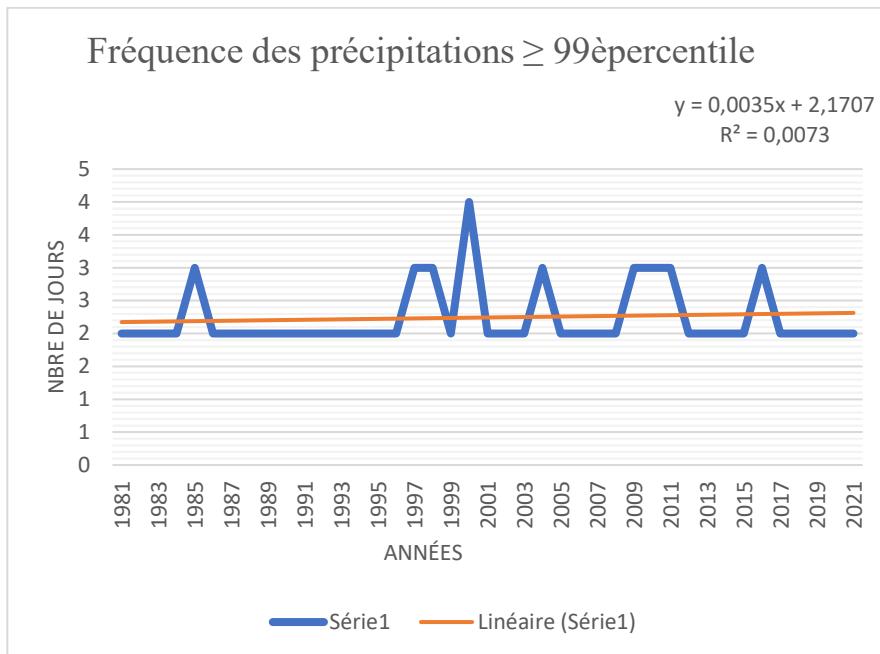


Fig.14. Fréquence des événements pluvieux très extrêmes $\geq 99,5\text{èP}$ à Bandundu de 1981- 2021.

De l'observation de la figure 14, il appert que la courbe accuse une tendance à la hausse de la fréquence des événements pluvieux très extrêmes $\geq 99, 5\text{èP}$ à la station de Bandundu de 1981-2021.

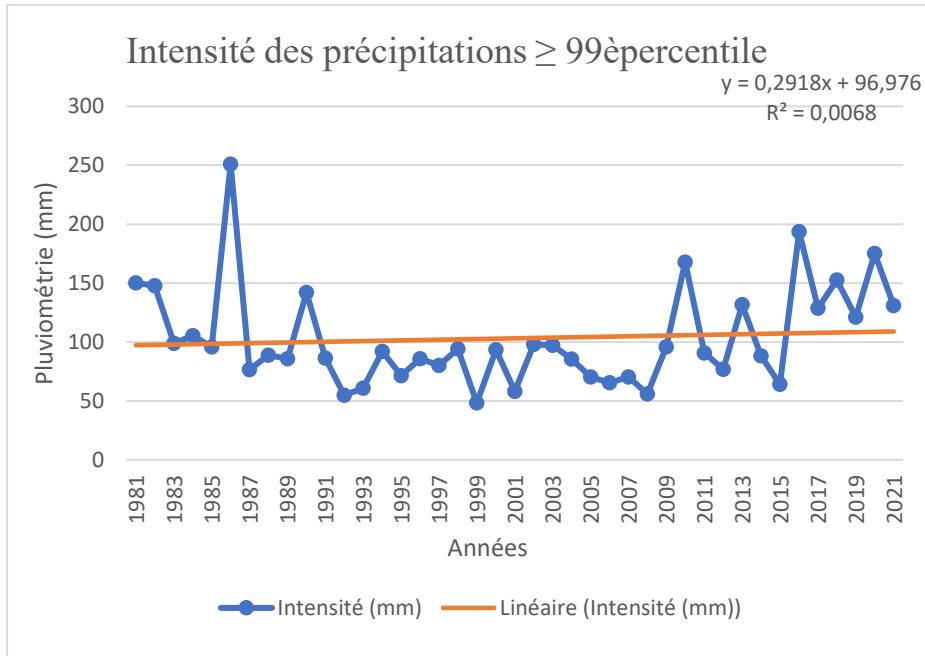


Fig.15. Intensité des événements pluvieux très extrêmes \geq P99,5ème percentile à Bandundu de 1981-2021 (P99,5èmePSOM).

La lecture de la figure 15 révèle une oscillation de l'intensité des événements pluvieux très extrêmes \geq P99,5ème percentile à Bandundu au fil de ces années (1981-2021) avec une courbe accusant une tendance à la hausse.

5.4.4. Discussion

L'analyse des données pluviométriques journalières de la station météorologique de Bandundu de 1981-2021 au travers les anomalies pluviométriques et différents indices, à savoir : la pluviométrie totale annuelle (PTOT), le nombre total de jours humides ou jour de pluie (JP), la lame d'eau moyenne précipitée par jour de pluie ou *Simple Day Intensity Index* (SDII), le nombre de jours avec précipitations ≥ 10 mm (P10), le nombre de jours avec précipitations ≥ 20 mm (P20), le nombre total de jours avec des précipitations ≥ 95 ème percentile (P95p), le nombre total de jours avec des précipitations ≥ 99 ème percentile

(P99p), le nombre total de jours avec des précipitations $\geq 99,5$ ème percentile (P99,5p), l'intensité des précipitations ≥ 95 ème percentile (P95pSOM), l'intensité des précipitations ≥ 99 ème percentile (P99pSOM) et l'intensité des précipitations $\geq 99,5$ ème percentile (P99,5pSOM) indique que la plupart des indices accusent une tendance à la baisse du nombre de jours de pluies et de l'intensité des pluies.

Il s'agit de SDII, P10mm, P20 mm, P95pSOM, P99pSOM, tandis que les précipitations maximales journalières, JP, P95p, P99,5p et P99,5pSOM indiquent une tendance à la hausse.

Seule la fréquence du nombre total de jours avec des précipitations ≥ 99 ème percentile (P99p) n'accuse pas de changement de 1981-2021.

Il sied à signaler que la proportion des pluies ≥ 10 mm de la série est de 32329

mm ; ce qui représente 48,8% sur un cumul pluviométrique de 66201,2 mm de la période 1981-2021 ; les précipitations totales \geq 20mm font un total de 14616mm correspondant à une part de 22% sur une pluviométrie totale de 66201,2 mm de la période 1981- 2021.

Tandis que l'intensité des précipitations \geq 95ème percentile (P95SOM) est de 19562,1mm, ce qui équivaut à 29,5% du total pluviométrique de la série (66201,2mm) ; par contre, la part des événements pluvieux \geq 99ème percentile (P99pSOM) est de 6688mm représentant 1% de la pluviométrie totale de la série 1981-2021. Et les événements pluvieux très extrêmes \geq 99,5ème percentile (P99,5pSOM) font un total de 4227,3mm en 92 jours soit une proportion de 6,4% de la pluviométrie totale de la série 1981-2021.

Cette variabilité de la pluviosité à Bandundu marquée par une tendance à la baisse et à la hausse des indices pluviométriques a été aussi- remarquée - par [7] dans ses recherches pour la région de Kinshasa de 1961-2010 et par [16] à Butembo pour la période de 1971-2000 ainsi que [1] sur les précipitations de l'Afrique Centrale de 1955-2006 ; celle-ci est marquée par une variation interannuelle des années plus humides dont les totales sont supérieures à la moyenne calculée de la série (1614,7mm), à savoir: 1982, 2020, 1985, 1990, 2018, 1984, 2021, 2002, 1988, 2007, 1989, 2011, 2009, 1987, 1995, 2021, 2014, 1994, 1983, 2013, 1996, 2010, 1981 et qui ont des SPI positifs. Ainsi que les années moins arrosées avec des totales annuelles en dessous de la moyenne calculée de la série et les SPI sont également négatifs, notamment : 1997, 2017, 1993, 2003, 1992, 2016, 2008, 2019, 1991, 2015, 2001, 1998, 2006, 2004, 2005, 2000, 1999.

Généralement, ces événements pluviométriques intenses (P10) et très

intenses (P20) jouent un rôle potentiel sur les crues des rivières et la survenue des inondations entraînant ainsi le drainage difficile pendant la période des hautes eaux [15].

Il convient de signaler qu'à Bandundu, la survenue des inondations n'est pas uniquement liée aux années plus arrosées mais bien plus aux événements pluviométriques intenses, extrêmes, et très extrêmes car il y a des inondations même pendant des années moins humides. A titre illustratif, en 2016 il y a eu des inondations bien que l'année soit moins humide par rapport à la période de référence 1981-2021, mais ayant une fréquence élevée des événements pluviométriques intenses, très intenses, extrêmes et très extrêmes. Par exemple, P10: 37jours avec une intensité de 674,6mm sur une pluviométrie totale annuelle de 1427,4mm d'eau soit 47,3% de la pluviométrie totale annuelle en 37 jours seulement ; P99p: 4 jours avec une intensité de 218 mm sur un total pluviométrique annuel de 1427,4mm d'eau soit 15,3% des précipitations totales annuelles en 4 jours d'événements pluvieux extrêmes et P99,5p 15,3% des précipitations totales annuelles en 4 jours d'événements pluvieux extrêmes et P99,5p : fréquence de 3 jours et une intensité de 194 mm sur un total annuel de 1427,4mm d'eau soit 13,6% de la pluviométrie totale annuelle en 3 jours non consécutifs d'événements pluvieux très extrêmes [4], [12].

En somme, les renseignements recueillis auprès des populations vivant en zones inondables et l'analyse statistique de quelques indices pluviométriques attestent la variabilité interannuelle des précipitations marquées par une fluctuation des années plus arrosées et moins arrosées ainsi que des événements pluviométriques intenses, extrêmes et très extrêmes qui sont générateurs des inondations avec la tendance à la hausse tant en fréquence

qu'en intensité au fil de ces 41 années consécutives.

Cette variabilité interannuelle des précipitations avec la fréquence des événements pluviométriques intenses, extrêmes et très extrêmes peut être due au

Changement Climatique que connaît la planète et dont les retombées n'épargnent aucune région du monde [3].

Ces événements pluviométriques intenses, extrêmes et très extrêmes peuvent être illustrés sur le terrain par les images ci-dessous:



Photos 1 et 2: Aperçu des inondations dans le quartier Lumbu-Dima à Bandundu-ville en 20016 et 2020.

Certaines études affirment que ces précipitations extrêmes pourraient encore s'amplifier en intensité et en fréquence dans les années à venir [14], [18]. Parallèlement, les projections du GIEC jusqu'en 2100 prévoient 1531mm en 2050 et 1622 mm en 2100 (<https://www.thegef.org/sites/>). Hors à Bandundu, on est bien au-delà avant ces dates (1899,3mm en 2021).

Au vu de ce qui précède, on peut s'attendre à des inondations plus désastreuses dans les années à venir ; ce qui doit amener toutes les parties prenantes à la mise en place des mesures plus drastiques pour la gestion rationnelle du phénomène.

Conclusion

Cette étude a permis la caractérisation des pluies extrêmes et les inondations dans la ville de Bandundu (RDC).

L'analyse statistique de données des précipitations journalières de la station de

Bandundu à partir des indices pluviométriques, à savoir les SPI, PTOT, JP, SDII, Px1J, P10, P20, P95p, P99p, P99,5p, P95pSOM, P99pSOM, P99,5pSOM montre une variabilité interannuelle des années plus humides marquées par les SPI avec les écarts types (σ) dépassant la moyenne de la série de 1981-2021 et les années moins humides dont les écarts types (σ) sont en-dessous de la moyenne de la série de référence et les indices pluviométriques accusant une tendance à la hausse soit à la baisse.

Par ailleurs, il faut noter que toutes ces tendances à la hausse ou à la baisse des indices pluviométriques ne sont pas statistiquement significatives. Bien que n'étant pas significatives, la fréquence et l'intensité des événements pluvieux intenses, extrêmes et très extrêmes en hausse justifient l'évolution croissante des inondations dans la ville de Bandundu. Ceci pouvait constituer de prime à bord un des impacts du changement climatique que

connait la planète et qui affecte toutes les parties du globe. Par ailleurs, ces calamités tuent les paisibles citoyens, détruisent habitations et infrastructures, réduisent la population au chômage, détruisent cultures, piscicultures et élevages

Il convient de souligner que la survenue du risque d'inondation à Bandundu n'est pas toujours corrélée aux années plus arrosées. D'autres facteurs pourraient aussi intensifier cette catastrophe et pourraient faire l'objet des recherches futures.

Bibliographie

- [1]. Aguilar A, et al., 2009. Changes in temperature and precipitation extremes in western central Africa, Guinea Conakry and Zimbabwe, 1955-2006. In Journal of geophysical research, volume 114 jan.
- [2]. Bultot F., 1971. Atlas climatique du bassin Congolais, deuxième partie ; les composantes du bilan d'eau, Publ. INEAC, hors série, Bruxelles.
- [3]. Cheik et al, 2015. Etude 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, volume 9/-1,17-35 **Physio-Géo**, Volume 9.
- [3]. GIEC, 2014 : Changements climatiques 2014, rapport de synthèse, 161pg
- [4]. Hangnon et al., 2015. Précipitations 'extrêmes' et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est Mal maîtrisé..., *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège*.
- [5]. Kisangala et al, 2018. Changement Climatique au travers des inondations dans la ville de Bandundu (RDC), in Congo Sciences, Vol 6| n°1| mars, pp 33-39.
- [6]. Kisangala M., 2014. Impacts du changement climatique sur la navigabilité de la rivière Kasai: approches morphométrique, hydrométrique, climatologique et écologique du bassin du Kasai dans sa partie congolaise, Université de Kinshasa, 206pg.
- [7]. Makanzu F., 2014. Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa : Dynamique Pluvio-Morphogénique et développement d'un Outil de Prévision, Thèse, UNIKIN, 193pg
- [8]. Mehdaoui et al, 2018. Caractérisation à l'aide du SPI de la Sécheresse climatique dans le bassin versant de Ziz (Sud-Est, Maroc), European Scientific Journal July 2018 edition Vol.14, N°21.
- [9]. Niang AJ., 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.
- [10]. Nkweso DA, 2021. Vulnérabilité face au risque d'inondation dans la ville de Bandundu (RDC).
- [11]. Nouaceur Z, Laignel B., 2015. Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes Sur la rive sud du bassin méditerranéen : Etudes du cas du « quart Nord-est » algérien; *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège*, 573-578.
- [12]. Ozer P et al., 2014 : Evolution récente des extrêmes pluviométriques en Mauritanie (1933-2010), in XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, juillet 2014 – Dijon (France)

[13]. Ozer et al, 2009. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007, *in* Géo-Eco-Trop., 2009, 33,n.s. : 11-30

[14]. PANA, 2009. Programme d'Action Nationale au Changement Climatique de la République Démocratique du Congo, 94pg

[15]. Panthou G., 2013. Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années, thèse, Université de Grenoble

[16]. Sahani M. et al., 2012. Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 À 2010, In Geo-Eco-Trop., 2012, 36: 121-136.

[17]. Sahani M., 2011. Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu /RDC), thèse, Université de Liège, 275pg.

[18]. Tramblay et al., 2013: Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 3235–3248, 2013.
<https://www.thegef.org/sites/>
<https://www.ecoco2.com/blog/normales-climatiques-une-nouvelle-période-de-references/>