

ISSN 1727 – 8651

JOURNAL
de la
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
de
L'UNIVERSITÉ DE LOMÉ



LOME - TOGO

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

VOLUME 25
(2023)

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. Les domaines couverts par le journal sont trois 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.*

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. 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. KPODAR Adama, Université de Kara ;
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 Kpèrkouma, 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. AYEWOUDAN 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 KOLEDZI K. Edem.

Membres :

- Professeur AGBONON Amegnona ;
- Professeur NAPO Gbati ;
- Dr. ADJONOU Kossi, MC (Maître de Conférences).

Secrétariat

Mlle. LAWSON-HELOU Nadou Cécilia

M. KUWONU Tata Koffi

M. N'SILE Nassougou

M. 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 25, Numéro 4, (2023)

SOMMAIRE

Sciences Technologies et Agronomies

1. Badou KY & al., (Bénin)
Genèse et développement des zones rizicoles à Malanville1
2. Kisangala Muke M & al., (République Démocratique du Congo)
Analyse fréquentielle des pluies extrêmes dans la ville de Kinshasa entre 1960 et 2022 :
application à la pluie diluvienne du mardi 13 décembre 202211

Analyse fréquentielle des pluies extrêmes dans la ville de Kinshasa entre 1960 et 2022 : application à la pluie diluvienne du mardi 13 décembre 2022

Frequency analysis of extreme rainfall in the city of Kinshasa between 1960 and 2022: application to the diluvian rain of tuesday december 13, 2022

Kisangala Muke M ^{1*}, Losembe Konga M ², Kamosi Zola B³, Puela Puela F⁴, Vuni Simbu A⁵, Uzele Umul JJ⁶, Ntombi mwen Mutsindu A⁷, Lutete Savu J ⁸ & Aloni Komanda J⁹.

Faculté des Sciences et Technologies, Mention Géosciences, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, modestekis@gmail.com

Reçu le 07 octobre 2023 ; Révisé le 18 novembre 2023 ; Accepté le 18 décembre 2023

Résumé

Les dégâts environnementaux et socio-économiques causés par la pluie diluvienne du 13 décembre 2022 dans la ville de Kinshasa ont suscité l'intérêt de cette étude. L'objectif poursuivi a été de vérifier si les dégâts causés par cette averse étaient liés au changement climatique, au manque des ouvrages de drainage des eaux pluviales, et/ou la mauvaise occupation des sols. Pour ce faire, les lois de Gumbel et de Goodrich ont été utilisées pour mener une analyse fréquentielle des événements pluviométriques journaliers extrêmes de la série chronologique de 1960 à 2022 de la station météorologique de la ville de Kinshasa, afin de comparer les quantiles obtenus aux précipitations mesurées le 13 décembre 2022. Il ressort de l'analyse des résultats que la majorité des pluies qui engendrent des dégâts dans la ville de Kinshasa sont relativement normales, avec une période de retour inférieure à 6 ans. Par contre, la pluie du 13 décembre 2022 a revêtu un caractère exceptionnel, avec une période de retour de 30 ans. Mais les dégâts qu'elle a causés résulteraient des actions combinées des autres facteurs comme les constructions anarchiques et la détérioration des ouvrages d'assainissement. Ces facteurs traduisent à la vulnérabilité de plus en plus prononcée de la ville de Kinshasa vis-à-vis des risques hydroclimatiques.

Mots-clés : Analyse fréquentielle ; pluie journalière extrême, Risques hydroclimatiques, changement climatique, Kinshasa.

Abstract

The environmental and socio-economic damage caused by the torrential rain of December 13, 2022 in the city of Kinshasa aroused the interest of this study. The objective pursued was to verify whether the damage caused by this downpour was linked to climate change, the lack of rainwater drainage works, and/or poor land use. To do this, Gumbel's and Goodrich's laws were used to conduct a frequency analysis of extreme daily rainfall events from the time series from 1960 to 2022 from the meteorological station of the city of Kinshasa, in order to compare the quantiles obtained with precipitation. measured on December 13, 2022. It appears from the analysis of the results that the majority of rains which cause damage in the city of Kinshasa are relatively normal, with a return period of less than 6 years. On the other hand, the rain of December 13, 2022 was exceptional, with a return period of 30 years. But the damage it caused would result from the combined actions of other factors such as uncontrolled construction and the deterioration of sanitation works. These factors reflect the increasingly pronounced vulnerability of the city of Kinshasa to hydroclimatic risks.

Keywords: Frequency analysis; extreme daily rain; Hydroclimatic risks; climate change; Kinshasa.

1. Introduction

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction qui consiste à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Meylan et Muzy, 1999). Pour une meilleure gestion des risques hydroclimatiques comme l'érosion ravinante et les inondations, l'analyse fréquentielle des pluies extrêmes occupe une place de choix, puisqu'elle permet d'orienter la construction des ouvrages de drainages des eaux pluviales, surtout dans ce contexte de dérèglement climatique (Kisangala et Yina, 2011 ; Moujahid et al., 2015 ; Kouassi et al., 2018).

La Ville de Kinshasa a été arrosée dans la nuit du 12 au 13 décembre 2022 d'une pluie diluvienne qui a causé concomitamment, des pertes en vies humaines et des dégâts matériels considérables dans 10 communes sur 24 de la ville de Kinshasa. Le bilan rendu public par les autorités urbaines a fait état de 169 décès, 3.800 maisons inondées, 280 maisons effondrées et la coupure de la route nationale n°1 (Figures 4a, 5 et 6), privant ainsi la ville de Kinshasa d'approvisionnement en denrées alimentaires en provenance de la province du Kongo-central. Cette situation a occasionné une flambée des prix de certains produits alimentaires de première nécessité dans la ville de Kinshasa, et a mis en difficulté la population du quartier Mitendi pour se rendre au centre-ville.

Plusieurs voix, souvent non autorisées, ont incriminé le changement climatique, en le qualifiant de responsable de l'aggravation en catastrophes des inondations et de l'érosion ravinante à Kinshasa. Voilà pourquoi il a paru intéressant d'évaluer le

niveau d'implication du changement climatique dans l'apparition de ces catastrophes dans la ville de Kinshasa le 13 décembre 2022. L'objectif de cette étude consiste à estimer les quantités des précipitations extrêmes de plusieurs périodes de retour, en vue de les comparer aux précipitations mesurées lors de l'événement du 13 décembre 2022.

2. Milieu d'étude

La ville de Kinshasa (capitale de la République Démocratique du Congo) est située entre 4° et 5° de latitude Sud et 15 et 16° de longitude Est (Figure 1). En forme d'un amphithéâtre, la ville de Kinshasa couvre une superficie de 9.965 Km² dont 2500 Km² seulement sont urbanisées (Pain, 1984).

Plusieurs études attestent que la ville de Kinshasa présente les aspects d'un climat tropical humide de type Aw₄ selon la classification de Koppén (Bultot, 1971, 1972 ; Flouriot et al., 1975 ; Crabbe, 1975 ; Pain, 1984 ; Ntombi et al, 2004 ; Makanzu, 2014). Les précipitations sont très abondantes, de l'ordre de 1485 mm en moyenne par saison hydrologique (Yina, 2016). Le sol est constitué des proluviaux et des alluvions créées par le Fleuve Congo à différentes époques du Quaternaire, les sables fins plus ou moins argileux, les sables grossiers et un soubassement de Grès d'Inkisi (Egoroff, 1955 ; De Maximy et Van Caillie, 1974). La végétation est composée de forêts de galerie, de savanes arbustives, de formations semi-aquatiques et aquatiques dans les vallées du Pool Malebo. La morphologie (Figure ci-dessous) est constituée par deux reliefs à savoir, la plaine qui constitue la partie basse au Nord et les collines au sud qui constituent les parties surélevées (Makanzu, 2014).

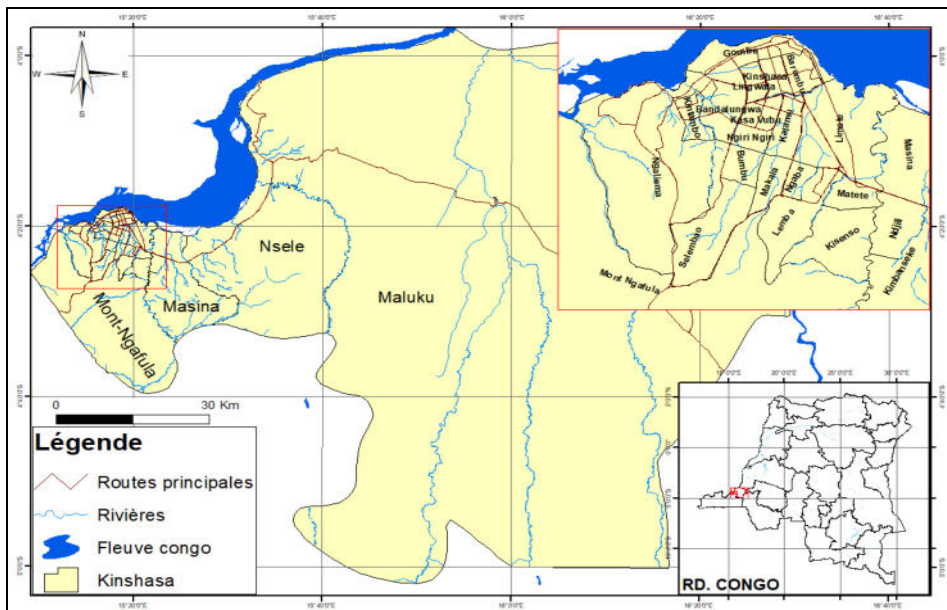


Figure 1. Localisation de la Ville de Kinshasa (Source : Les auteurs, 2023)

3. Méthodes

3.1. La collecte des données et contrôle de qualité

Les données pluviométriques exploitées ont été fournies par l'Agence Nationale de Météorologie et de Télédétection par Satellite (METTELSAT en sigle). Elles concernent les pluies journalières de 1960 à 2018 ainsi que la pluie de la nuit du 12 au 13 décembre 2022. Etant donné que l'étude ne porte que sur les pluies extrêmes, nous avons pris soin de ne tirer que les maximums journaliers. Elles ont été complétées par les données satellitaires provenant de la plate-forme power larc entre 2019 et 2022. La quantité des précipitations mesurées à la station météorologique de Kinshasa/Binza le 13 décembre 2023 est de **170,2 mm**.

Considérant que les précipitations dans la zone intertropicale suivent une distribution normale (Donald et Allard, 1992), les chroniques pluviométriques utilisées ont été préalablement soumises

aux tests de Student et de Fischer pour vérifier leur homogénéité comme proposent Karl et Williams (1987) et Beaulieu et al. (2009).

L'application de ces deux tests a consisté à découper la série des données en deux sous-séries afin de vérifier si ces sous-séries ont la même moyenne et la même variance. Il a donc été formulé des hypothèses pour chaque test à savoir, l'hypothèse nulle (H_0) à vérifier et l'hypothèse alternative (H_1) à admettre au cas où l'hypothèse nulle était rejetée. Le test de t de Student a consisté à vérifier si les sous-séries ont la même moyenne. Les hypothèses formulées pour ce test sont donc :

- H_0 : les moyennes des deux sous-séries sont égales.
- H_1 : les moyennes des deux sous-séries ne sont pas égales.

Le test F de Fisher a permis de tester dans les deux sous-séries, l'égalité des

variances. Les hypothèses pour ce test sont les suivantes :

- H_0 : les variances des deux sous-séries sont égales.
- H_1 : les variances des deux sous-séries ne sont pas égales.

3.2. Choix du modèle fréquentiel

Meylan et Muzy (1999) estiment que la validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. Selon Kisangala (2014), diverses pistes peuvent contribuer à faciliter ce choix, mais il n'existe malheureusement pas de méthode universelle et infaillible. Il est toutefois préconisé d'éviter l'utilisation des lois à plus de trois paramètres (Kisangala et Yina, 2011). Dans le cadre de cette étude, il a été utilisé la loi de Gumbel et la loi de Goodrich. Le choix porté sur ces lois se justifie par le fait qu'elles montrent une meilleure distribution et un bon ajustement (Kisangala et Yina, 2011 ; Muhindo,

2011 ; Makanzu ; 2014 et Kisangala, 2014).

3.2.1. Loi de Gumbel

La loi de Gumbel est la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de n valeurs. Sa fonction de répartition est donnée par :

$$F(x) = \exp \left[-\exp \left[-\frac{x-a}{b} \right] \right] \text{ où } a \text{ et } b$$

sont des paramètres du modèle de Gumbel. L'ajustement des paramètres a et b est réalisé en utilisant la méthode Graphique et la méthode des moments. La probabilité d'occurrence T d'une pluie extrême a été définie en utilisant la formule ci-après : $T = \frac{1}{1-F(x_i)}$

Les précipitations utilisées ont d'abord été triées par ordre croissant. Par la suite, il a été attribué à chaque valeur un rang, en utilisant la fréquence empirique de Hazen et calculer par la suite la variable réduite. Cette démarche se résume dans le tableau ci-dessous.

Table 1. Tri des pluies maximales selon l'ordre croissant, calcul de fréquence empirique et variable réduite

Années	Pluies maximales	Rang	Fréquence empirique d'Hazen	Variable réduite
1984	43,5	1	0,007936508	-1,576146224
2012	44	2	0,023809524	-1,318462321
2009	60,6	3	0,03968254	-1,171504568
1983	63,1	4	0,055555556	-1,06138513
2021	63,55	5	0,071428571	-0,970421781
1995	64,2	6	0,087301587	-0,891336605
1991	64,9	7	0,103174603	-0,820366685
1996	66,2	8	0,119047619	-0,75529145
1960	69,5	9	0,134920635	-0,694680286
1968	69,5	10	0,150793651	-0,637551448
2019	69,76	11	0,166666667	-0,583198081
1972	71	12	0,182539683	-0,531091491

2004	72,6	13	0,198412698	-0,480823682
1999	72,9	14	0,214285714	-0,432071362
1979	75,6	15	0,23015873	-0,384572419
2005	75,6	16	0,246031746	-0,338109968
1964	78,1	17	0,261904762	-0,292501201
1992	79,4	18	0,277777778	-0,247589379
1971	80,9	19	0,293650794	-0,203237938
1966	81,21	20	0,30952381	-0,159326059
1977	83,3	21	0,325396825	-0,115745263
2003	83,4	22	0,341269841	-0,072396744
1982	84,2	23	0,357142857	-0,029189236
1988	85,2	24	0,373015873	0,013962721
1978	85,6	25	0,388888889	0,05714024
2017	86,8	26	0,404761905	0,100421318
1969	87	27	0,420634921	0,143881925
1974	88,8	28	0,436507937	0,187596981
1970	89,4	29	0,452380952	0,231641256
1975	90	30	0,468253968	0,276090234
2008	91,2	31	0,484126984	0,321020965
1963	92	32	0,5	0,366512921
2000	95,4	33	0,515873016	0,412648894
1987	96	34	0,531746032	0,459515958
1997	96,2	35	0,547619048	0,50720651
1976	97	36	0,563492063	0,555819451
1993	97	37	0,579365079	0,60546151
2014	99	38	0,595238095	0,65624879
2007	99,2	39	0,611111111	0,708308566
2006	99,4	40	0,626984127	0,761781428
2002	99,6	41	0,642857143	0,816823857
1980	102,4	42	0,658730159	0,873611345
1985	106	43	0,674603175	0,932342245
1986	107,8	44	0,69047619	0,993242545
1994	108,8	45	0,706349206	1,05657189
2015	111	46	0,722222222	1,122631247
1967	112	47	0,738095238	1,191772815

2018	112	48	0,753968254	1,264413014
2020	116,18	49	0,76984127	1,341049795
1998	119,9	50	0,785714286	1,422286137
1962	125,5	51	0,801587302	1,508862572
1989	126,4	52	0,817460317	1,601703308
1973	128,2	53	0,833333333	1,701983355
2011	129,2	54	0,849206349	1,811229348
1981	140,7	55	0,865079365	1,931476642
2010	141,6	56	0,880952381	2,06552518
1990	142,3	57	0,896825397	2,217379537
2016	143,6	58	0,912698413	2,39305942
1965	150,2	59	0,928571429	2,602232166
1961	163,3	60	0,944444444	2,861928676
2001	212	61	0,96031746	3,206666628
2013	212	62	0,976190476	3,725645038
2022	242,64	63	0,992063492	4,832300468

L'ajustement par la méthode graphique a consisté à porter dans un système d'axes cartésien, les valeurs x_i de l'échantillon et les variables réduites de Gumbel u_i , puis de faire passer une droite qui passe le mieux par ces points afin d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi. L'ajustement par la méthode des moments a consisté à calculer les deux paramètres a et b suivant les formules ci-dessous :

$$\begin{cases} b = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * \sigma \\ a = \bar{X} - b * \gamma \end{cases}$$

Avec γ la constante d'Euler qui est égale à 0,5772.

Les quantiles ont été estimés par la formule : $X_q = a + b * \mu_q$

3.2.2. Loi de Goodrich

La loi de Goodrich appartient à la famille des lois exponentielles généralisées (Kisangala, 2014 ; Meite, 2019). Sa fonction de densité s'écrit comme suit :

$$F(x) = 1 - e^{-A(x-X_0)^{1/n}}$$

Elle fait intervenir trois paramètres à savoir A , X_0 et n .

L'ajustement par la loi de Goodrich est passé par les trois principales étapes habituelles suivantes : le calcul des paramètres empiriques de l'échantillon, le calcul des intermédiaires et l'estimation des périodes des récurrences.

3.2.2.1. Calcul des paramètres empiriques

a) Moyenne (\bar{X}) : $\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$;

avec X_i les observation et n le nombre des observations

b) Ecart-type (σ) :

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad \text{avec } X_i \text{ les}$$

observations, \bar{x} la moyenne et n la taille de l'échantillon.

3.2.2.2. Calcul des intermédiaires

a) **Moment centré (M_3) :**

$$M_3 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

avec X_i les différentes observations, \bar{X} la moyenne et n la taille de l'échantillon.

b) **Paramètre de forme**

$\varphi(n)$: $\varphi(n) = \frac{M_3}{\sigma^3}$ où M_3 le moment centré et σ^3 l'écart-type élevé à la troisième puissance. La fonction $\varphi(n)$ est donnée par le tableau 2 ci-dessous, à partir duquel on peut tirer des valeurs de n exactes jusqu'à la 3^{ème} décimale par interpolation linéaire.

c) **Calcul des intégrales d'Euler (Γx) :**

$\Gamma_1 = \Gamma(n+1)$ et $\Gamma_1 = \Gamma(2n+1)$. Les valeurs de ces intégrales sont lues dans la table d'Euler, et le cas échéant, déterminées par extrapolation.

d) **Détermination de la précipitation initiale ou ordinaire (X_0) :**

$$X_0 = \bar{X} - \frac{\Gamma_1 \sigma}{\sqrt{\Gamma_2 - \Gamma_1^2}}$$

e) **Paramètre de l'échelle (A) :**

$$A = \left[\frac{\sigma^2}{\Gamma_2 - \Gamma_1^2} \right]^{-1/2n}$$

f) **La densité de fonction**

$F(x) = 1 - e^{-A(x-X_0)^{1/n}}$. Dans cette fonction $F(x)$, X reste la seule donnée inconnue, c'est-à-dire la pluviométrie qui représentera la récurrence à n années reproduite ou à reproduire.

Des détails plus larges quant à l'application de cette loi sont repris dans les travaux de Kisangala (2014).

Table 2. Valeurs de n correspondant à $\varphi(n)$

n	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
$\varphi(n)$	0,069	0,217	0,359	0,496	0,631	0,764	0,896	1,028	1,16	1,294	1,43	1,567	1,708	1,852	2

4. Résultats

4.1. Vérification des tests d'hypothèses de l'analyse fréquentielle

4.1.1. Test t de Student

Ce test a permis de comparer les moyennes de deux sous-séries. Sa formule mathématique est la suivante :

$$t = \frac{(\bar{X1} + \bar{X2})}{s \sqrt{\frac{1}{n1} + \frac{1}{n2}}}$$

Avec $\bar{X1}$ et $\bar{X2}$ les moyennes de la première et de la seconde sous-série ; $n1$ et $n2$ les tailles des échantillons respectifs de ces sous-séries et S l'écart-

type de l'échantillon. La première sous-série s'étend entre 1960 et 1990 alors que la seconde sous-série va de 1991 à 2022.

4.1.2. Test de Fisher Sn-décor

Ce paramètre a reposé sur la comparaison de deux variances. Il a été employé pour vérifier si l'égalité des variances dans les deux sous-séries pluviométriques respecte la distribution des pluies dans la ville de Kinshasa. Son application est basée sur l'hypothèse que les données pluviométriques exploitées suivent une distribution normale. La formule mathématique de ce test est la suivante :

$$F = \frac{\frac{n_1 \cdot \sigma_1^2}{n_1 - 1}}{\frac{n_2 \cdot \sigma_2^2}{n_2 - 1}}$$

Où σ_1^2 et σ_2^2 sont respectivement les variances de la première et de la seconde sous-série ; n_1 et n_2 les tailles d'échantillon de ces deux sous-séries.

L'application des t de Student et de Fisher Sn-décor a donné les résultats présentés au tableau 4. Etant donné que les valeurs des p-value sont supérieures au seuil de signification alpha α , on ne peut pas rejeter les hypothèses nulles (H_0). La lecture de ces résultats révèle que les données utilisées sont homogènes et indépendantes au seuil de signification de 5%. Ceci vérifie les conditions d'application de l'analyse fréquentielle.

Table 3. Résultats de test d'hypothèse préalables à l'analyse fréquentielle

Test d'hypothèse	Seuil de signification alpha	P-value
Test t de Student	0,05	0,462043276
Test F de Fisher	0,05	0,051134996

4.2. Ajustement des pluies journalières extrêmes avec la loi de Gumbel

4.2.1. Ajustement par la méthode graphique

L'ajustement des maximums pluviométriques journaliers annuels suivant la méthode graphique de la loi de Gumbel est illustré par la figure 2.

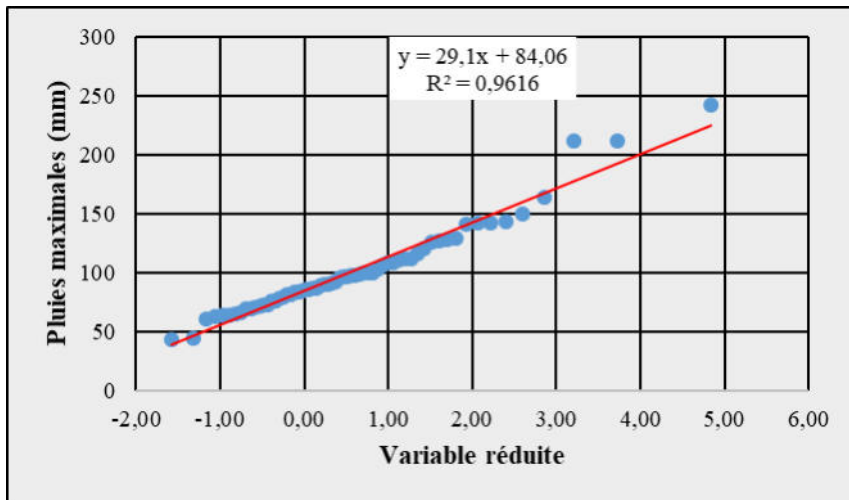


Figure 2. Ajustement des pluies journalières annuelles avec la loi de Gumbel à Kinshasa

De l'analyse de ce graphique, il ressort que l'ajustement des pluies extrêmes selon la loi de Gumbel est dans son ensemble

satisfaisant, puisque la droite d'équation passe le maximum des points

expérimentaux, avec un coefficient de corrélation de 0,96.

Les paramètres a et b peuvent être ainsi facilement déduits : $a = 84,06$ et $b = 29,1$. A partir de ces deux coefficients, les quantiles des précipitations extrêmes calculés pour différentes périodes de retour sont repris au Tableau 4. D'après la

classification de l'Institut Royal de la Météorologie de Belgique, les pluies sont qualifiées d'anormales, très anormales, exceptionnelles et très exceptionnelles si elles ont respectivement une période de retour de 6, 10, 30 et 100 ans (Sene et Ozer, 2002).

Table 4. Estimation de périodes de retour des pluies extrêmes journalières par la méthode graphique de Gumbel

Périodes de retour T (ans)	100	30	10	6
Probabilité de non dépassement (P_Q)	0,99	0,97	0,9	0,83
Variable réduite de Gumbel (μ)	4,6	3,384	2,25	1,702
Pluies maximales pour chaque période de retour T	217,92	182,54	149,55	133,59

Les résultats du tableau 4 peuvent être interprétés comme suit :

- Les récurrences centennales se sont reproduites trois fois dans la chronique avec une lame d'eau de l'ordre de 212 mm en 2001 ; en 2013 et 242,64 mm en 2022 ;
- La récurrence tridécennale s'est produite une fois avec une valeur approximative de 163,3 mm en 1961 et à ceci s'ajoute la pluie diluvienne de la nuit du 12 au 13 décembre 2022 (170,2 mm) qui a endeuillé de nombreuses familles, coupée des routes et détruit beaucoup d'habitations ;
- La récurrence décennale est revenue cinq fois dans la chronique avec des valeurs

approximatives de l'ordre de 150,2 mm en 1965 ; 143,6 mm en 2016 ; 142,3 mm en 1990 ; 141,6 mm en 2010 et 140,7 mm en 1981 ;

- La récurrence de six ans s'est aussi reproduite quatre fois, avec des quantiles de 129,2 mm en 2011 ; 128,2 mm en 1973 ; 126,4 mm en 1989 et 125,5mm en 1962.

Il ressort de cette analyse que près des 80% des précipitations tombées à Kinshasa entre 1960 et 2022 représentent les seuils caractérisant les événements normaux, avec une période de retour inférieure à 6 ans. (Tableau 5).

Table 5. Caractérisation des événements pluvieux journaliers à Kinshasa entre 1960 et 2015 par la méthode de Gumbel

Type d'événement	Période de retour	Fréquence d'apparition	Pourcentage
Normal	< 6 ans	43	79%
Anormal	6 ans	4	6%
Très anormal	10 ans	5	8%
Exceptionnel	30 ans	1	2%
Très exceptionnel	100 ans	3	5%

Il apparait donc que les précipitations dites « normales » occupent la plus importante classe dans la distribution des pluies à Kinshasa (Tableau 5). Par contre, les précipitations d'ampleur exceptionnelle et très exceptionnelle arrachent les 5% dans la distribution pluviométrique. Ce qui signifie que ces pluies sont relativement rares à Kinshasa.

4.2.2. Ajustement par la méthode des moments

Après application des formules reprises plus haut concernant le calcul de paramètres a et b par la méthode des moments, les valeurs trouvées sont les suivantes : $a = 83,81$ et $b = 29,29$. Les quantiles estimés sont répertoriés dans le tableau 6.

Table 6. Estimation de périodes de retour des pluies extrêmes journalières par la méthode des moments de Gumbel

Périodes de retour (ans) T	100	30	10	6
Probabilité de non dépassement (Q_p)	0,99	0,97	0,9	0,83
Variable réduite de Gumbel (μ)	4,6	3,384	2,25	1,702
Pluies maximales pour chaque période de retour T (mm)	218,57	182,95	149,74	133,67

La lecture du tableau 6 renseigne en définitive que la méthode graphique et celle des moments ont conduit aux mêmes résultats.

4.3. Ajustement des pluies journalières extrêmes selon la loi de Goodrich

4.3.1. Les paramètres empiriques de l'échantillon et les intermédiaires

Le tableau 7 présente les résultats des calculs des paramètres empiriques de l'échantillon et les calculs des intermédiaires en fonction des formules énoncées dans le tableau 1.

Table 7. Calcul des paramètres empiriques de l'échantillon et les intermédiaires

PARAMETRES EMPIRIQUES	TYPES	VALEURS
	Moyenne (\bar{X})	100,72 mm
	Écart-type (σ)	37,57 mm
LES INTERMEDIAIRES	Moment centré (M_3)	90240,09069
	Paramètre de forme $\varphi(n)$	1,701688565
	Détermination de n	0,896
	Intégrales d'Euler (Γ_1 et Γ_2)	0,96177 et 1,93138
	Pluie initiale (X_0)	64,7039632
	Paramètre d'échelle (A)	0,014088722

4.3.2. Estimation des périodes des récurrences

- Pour une période de retour de 100 ans, $F(X) = 0,99$

$$F(X) = 1 - e^{-0,014(X-64,7)^{1/0,896}}$$

$$1 - 0,99 = e^{-0,014(X-64,7)^{1/0,896}}$$

$$0,01 = e^{-0,014(X-64,7)^{1/0,896}}$$

$$\ln 0,01 = \ln e^{-0,014(X-64,7)^{1/0,896}}$$

$$-4,61 = -0,014(X-64,7)^{1/0,896}$$

$$329,3 = (X-64,7)^{1,116}$$

$$\sqrt[1,116]{329,3} = (X-64,7)$$

$$180,26 = (X-64,7)$$

$$X_{100 \text{ ans}} = 244,96 \text{ mm}$$

Après avoir appliqué la même procédure de calcul pour chaque période de retour, nous obtenons les résultats suivants :

- Pour une période de retour de 30 ans, $F(X) = 0,97$ et $X_{30 \text{ ans}} = 205,76 \text{ mm}$
- Pour une récurrence de 10 ans, $F(X) = 0,9$ et $X_{10 \text{ ans}} = 161,47 \text{ mm}$
- Pour une récurrence de 6 ans, $F(X) = 0,83$ et $X_{6 \text{ ans}} = 141,22 \text{ mm}$

Les résultats de cette méthode peuvent être interprétés comme suit :

- La récurrence centennale ne s'est reproduite qu'une seule fois dans la chronique avec une lame d'eau de l'ordre de 242,64 mm en 2022 ;
- La récurrence tridécennale s'est produite deux fois dans la chronique avec une lame d'eau de l'ordre de 212 mm en 2001 et en 2013. A ceci s'ajoute également la pluie diluvienne de la nuit du

12 au 13 décembre 2022 (170,2mm) qui a endeuillé de nombreuses familles, coupée des routes et détruit beaucoup d'habitations ;

- La récurrence décennale est revenue une seule fois en 1961 avec une hauteur de 163,3 mm ;

- La récurrence de six ans s'est aussi reproduite quatre fois, avec des quantiles de 150,2 mm en 1965 ; 143,6 mm en 2016 ; 142,3 mm en 1990 et 141,6 mm en 2010.

Il se dégage que les lois de Gumbel et de Goodrich conduisent aux mêmes conclusions. La quasi-totalité des pluies qui sont tombées entre 1960 et 2022 dans la ville de Kinshasa n'ont pas présenté un caractère exceptionnel.

4.4. Caractérisation de l'événement pluvieux du mardi 13 décembre 2023

Les résultats obtenus dans cette recherche signifient que la pluie journalière de 170,2 mm qui était tombée le mardi 13 décembre 2022 a présenté un caractère exceptionnel au regard de sa période de retour selon les lois de Gumbel et de Goodrich. Cette averse entre dans la catégorie des records pluviométriques atteints à Kinshasa depuis 1961.

La série pluviométrique étudiée a clairement montré que les pluies à récurrence tridécennale ne sont revenues que par deux fois au cours des six dernières décennies. Leur récurrence à nos jours témoignerait des effets du changement climatique.

La carte sur la figure 4 visualise les deux ravins ayant coupé la route nationale N°1. Les caractéristiques morphométriques de ces ravins sont présentées au tableau 8.

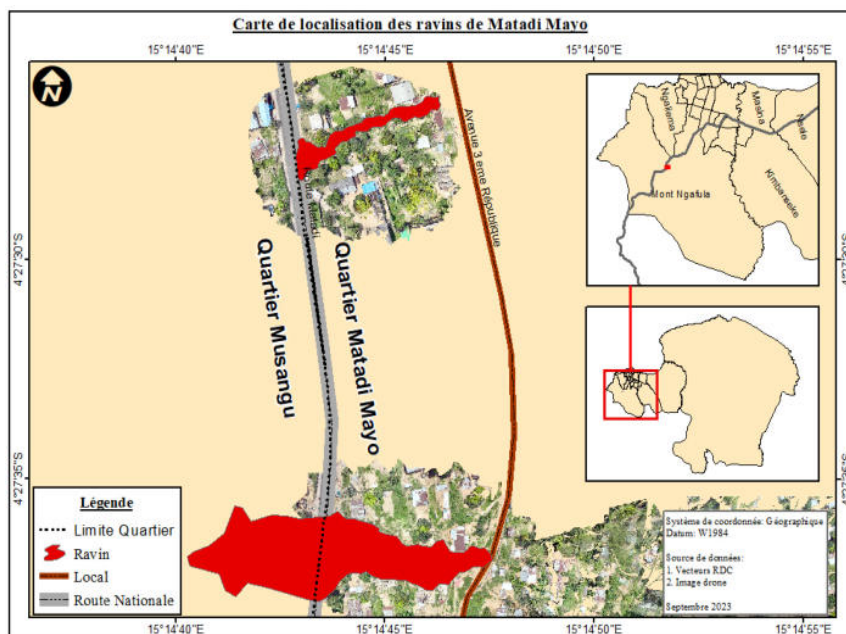


Figure 3. Localisation des ravins sur la route nationale N°1 après la pluie du 13/12/2022.

La carte montre en rouge les deux ravins qui ont coupé la route nationale N°1 au niveau des quartiers Matadi Mayo et Musangu dans la commune de Mont-Ngafula. Les véhicules ne pouvant plus passer, la population de ce coin avait éprouvé d'énormes difficultés pour aller au centre-ville ; où se concentrent pourtant les grandes activités de la ville de Kinshasa (Grand marché, écoles,

universités, administration, etc.). Il se remarque au regard du tableau 8 que l'érosion de la route nationale N°1 au niveau du quartier Matadi mayo a mobilisé une superficie totale de 9.281,02 m² et un volume total de 20.847,69 m³ des sols.

La figure 5 illustre quelques dommages causés par la pluie du 13 décembre dans la ville de Kinshasa.

Table 8. Caractéristiques morphométriques des ravins qui ont coupé la route nationale N°1 après la pluie du 13/12/2022

Caractéristiques	Ravin 1	Ravin 2	Total
Superficies (m ²)	8093,41	1187,61	9281,02
Longueurs moyennes (m)	224,49	115,86	340,35
Largueurs moyennes (m)	7	2,43	9,43
Profondeurs moyennes (m)	29,96	10,25	40,21
Volumes (m ³)	19405,75	1441,94	20847,69



Figure 4.(a) La route Matadi coupée par une érosion ravissante ; (b) Les agents de la croix rouge qui font sortir les morts suite à l'inondation ; (c) Véhicules noyés ; (d) Victimes d'inondations.

5. Discussion

Les résultats de cette étude révèlent que la pluie du 13 décembre 2022 a revêtu un caractère exceptionnel au cours du temps. Cependant, les dégâts qu'elle a causés restent tout de même surprenants. Si la ville de Kinshasa a par le passé enregistré des pluies d'ampleurs exceptionnelles voire très exceptionnelles, aucune d'elles n'a causé autant de dégâts que ceux causés par la pluie du 13 décembre 2022.

Dans son rapport après le déluge, le Gouvernement de la République a fait état de 169 morts, 3.800 maisons inondées, 280 maisons écroulées et la coupure de la

route nationale N°1. Au total 10 communes sur 24 ont été touchées. Il s'agit des communes ci-après : Ngaliema, Masina, Limete, Kinshasa, Selembao, Mont-Ngafula, Bandalungwa, Bumbu, Kintambo et Kalamu.

En effet, le 17 mai 2001, Kinshasa a connu une pluie centennale qui a déversé jusqu'à 212 mm d'eau par heure. Mais le nombre des victimes décédées suite à ce déluge reste de loin inférieur à celui enregistré par rapport à celle des averses du 13 décembre 2022, soit 33 personnes décédées contre 169 (Kodiawila, 2009).

Dans ce cas précis notamment, il s'avère que l'importance des risques climatiques

n'est pas forcément proportionnelle au volume pluviométrique. Ceci conforte Makanzu (2014) qui conclue que même les pluies faibles peuvent créer des catastrophes à Kinshasa. Cela est d'autant plus vrai que la pluie du 20 mai 1990 qui a créée des dégâts importants à l'origine d'un nouveau lotissement (Mpasa I et II) pour reloger les sinistrés de la vallée de la rivière Makelele, n'avait atteint qu'une lame 96,7 mm d'eau (Makanzu, 2014).

Les mêmes observations ont été faites au Sénégal (Sene et Ozer, 2002), à Ouagadougou (Hangnon et al., 2015), et au Tchad (Nouaceur Zeineddine, 2020). Les auteurs affirment que les pluies qui créent de dégâts sont relativement normales, au regard de leur période de retour.

Il faut donc envisager que les vraies causes des risques naturels à Kinshasa sont à rechercher ailleurs comme le pense Biey Makaly (2018). Par exemple, dans le plan d'aménagement du territoire, l'occupation des terres marginales non aedificandi, les zones à forte pente, des lits majeurs des rivières, l'intensité horaire, le sous dimensionnement du réseau d'évacuation des eaux pluviales et sans doute aussi, l'imperméabilisation des étendues des sols par le bétonnage des surfaces parcellaires et le phénomène de morcèlement des parcelles qui amplifie les toitures des bâtiments, etc.

En d'autres termes, bien que la pluie soit un facteur non négligeable dans la genèse des catastrophes naturelle, il s'avère que l'occupation anarchique du sol à Kinshasa vient renforcer la vulnérabilité de certains sites. Le problème risque de s'aggraver encore davantage avec l'augmentation du volume des précipitations dans la ville de Kinshasa que projettent Ntombi et al., (2009).

La ville de Kinshasa a connu de profonds changements dans son système d'utilisation des sols depuis 1960.

Plusieurs aménagements, notamment l'invasion et les auto-constructions anarchiques dans des sites consignés non aedificandi (trop pentus sur les aérosols), ont occasionné l'imperméabilisation des sols et ont changé l'hydrologie des bassins versants (Kayembe et al., 2009 ; Kabamba, 2014 ; Messina et al., 2019).

6. Conclusion

L'objectif principal de cette étude a été de lever le voile sur la prétendue implication du changement climatique dans les dégâts causés par la pluie du 13 décembre 2022. Les lois statistiques utilisées pour l'ajustement des pluies extrêmes ont donné des résultats satisfaisants dans l'ensemble. Les résultats démontrent que la pluie du 13 décembre 2022 a réellement revêtu un caractère exceptionnel au regard de sa période de retour (30 ans). Par ailleurs, une rétrospective dans le temps a indiqué que la ville de Kinshasa a connu des pluies d'ampleur beaucoup plus importantes sans pour autant entraîner des dégâts similaires à ceux de la pluie sous-étude. Il se dégage donc que la vulnérabilité de Kinshasa aux risques climatiques serait aussi fonction des constructions anarchiques sans cesse croissantes, qui imperméabilisent les sols et amplifient le ruissellement et ce, dans un contexte où la quasi-totalité d'ouvrages de drainage sont défectueux.

Références

- [1] Abdoul AM. 2019, Etude comparative des méthodes usuelles de calculs hydrologiques et hydrauliques : cas d'un ouvrage de franchissement à Aniassué sur le fleuve Comoe, mémoire de master en routes et ouvrages d'art, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, 76 p.
- [2] Beaulieu C, Seidou O, Ouarda TBMJ et Zhang X. 2009, Intercomparaison des

- techniques d'homogénéisation des données sur les précipitations suite : Comparaison de deux modèles bayésiens récents de point de changement, *Water Resour. Rés.*, 45.
- [3] Biey ME. 2018, Les inondations à Kinshasa ne sont pas un problème des changements climatiques mais des constructions anarchiques. In : entretien avec le Point Afrique après les inondations meurtrières du Janvier 2018 dans la ville Kinshasa. Kinshasa, le 16 janvier 2018.
- [4] Bultot F. 1971, Atlas climatique du bassin Congolais, deuxième partie ; les composantes du bilan d'eau, INEAC.
- [5] Bultot F. 1972, Atlas climatique du bassin Congolais, troisième partie ;
- [6] Crabbe M. 1975, Le climat de Kinshasa : d'après les observations centrées sur la période 1931-1970. Service météorologique, Dpt. des Transports et Communications, Kinshasa. Bruxelles, Hachette, 120p
- [7] De Maximy R et Van Caillie X. 1974, Géomorphologie de Kinshasa. In : Atlas de Kinshasa, Planche 8, B.E.A.U/T.P.A. T, IGN-Paris.
- [8] Donald H et Allard F., 1992, Les statistiques, une approche nouvelle. 2^e édition. Ed. McGraw-Hill. Montréal/Québec.
- [9] Egoroff A. 1955, Esquisse géologique provisoire du sous-sol de Léopoldville. Service géologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi, 6, 15p.
- [10] Flouriot J, De Maximy R et Pain M. 1975, Atlas de Kinshasa, Bureau du Président de la République, IGC, TPAT et BEAU, Kinshasa, 1975.
- [11] Hangnon H, De Longueville F et Ozer P. 2015, Précipitations 'extrêmes' et inondations à Ouagadougou : quand le développement urbain est mal maîtrisé, XVIII^e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège 2015, 6 p.
- [12] Kabamba K. 2014, L'étalement urbain à Kinshasa : contenu et enjeux de l'organisation urbaine. Cahiers congolais de l'aménagement et du bâtiment (3), 10-28.
- [13] Karl TR and Williams CN. 1987, An Approach to Adjusting Climatological Time Series for Discontinuous Inhomogeneities. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 26, 1744–1763.
- [14] Kayembe MK, De Maeyer M, et Wolff E. 2009 : Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution. *Belgeo*, 439-455 pages.
- [15] Kisangala MM et Yina ND, 2011, Rapport de l'étude d'aménagement et de gestion des eaux des précipitations dans les zones menacées par les érosions à Kikwit, inédit, 67 p.
- [16] Kisangala MM. 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, Thèse de doctorat, Université de Kinshasa, 206 pages.
- [17] Kouassi AM, Nassa RA, Yao KB, Kouame KF & Biemi J. 2018, Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau/Journal of*

Water Science, 31(2),147–160.
<https://doi.org/10.7202/1051697ar>

[18] Kodiawila Y. 2009, Analyse par hydrogramme unitaire des crues dévastatrices du bassin versant de Lubudi/Makelele à Kinshasa. In: Rapport général des travaux commémoratifs de la journée mondiale de la Science au service de la paix et du développement durable tenue à Kinshasa du 10 au 13 novembre 2009, inédit, 5p.

[19] Makanzu IF. 2014, Etude de l'érosion ravinante à Kinshasa : Dynamisme Pluvio-Morphogénique et Développement d'un Outil de Prévision. Thèse de doctorat en Sciences, Faculté des Sciences. Université de Kinshasa, 193 pages.

[20] Messina JPN, Kouagou RS, Mbevo PF, Mate JPM, Bogaert J et Halleux JM. 2019, La croissance de l'urbanisation morphologique à Kinshasa entre 1979 et 2015 : analyse densimétrique et de la fragmentation du bâti, BSGLg, 73, 2019, 85-103.

[21] Meylan P et Muzy A. 1999 : hydrologie fréquentielle, HGA, Bucarest, 413p. (Soit : <http://www.cig.ensmp.fr/-hydro>).

[22] Moujahid LS et Agoumi A. 2015, Drainage urbain et changement climatique : limites de la modélisation Mohammed, La Houille Blanche.

[23] Muhindo S. 2011, Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu /RDC), thèse, Université de Liège, 275 pages.

[24] Nouaceur Z. 2020, La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne, Physio-Géo [En ligne], Volume 15.

[25] Ntombi MK, Yina ND, Kisangala MM et Makanzu IF. 2004, Evolution des précipitations supérieures ou égales à 15mm durant la période 1972-2002 à Kinshasa. Rev. Congolaise des Sc. Nucl. V.20, p30-40.

[26] Ntombi MK, Pangu SS, Mukunayi N, Kisangala MM, Ntombi MM, Makanzu IF. 2009, Les ressources en eau et les changements climatiques en cours en République Démocratique du Congo. In : Endundo José, "Seconde communication nationale à la Convention Cadre sur le Changement Climatique." Ministre de l'Environnement, Conservation de la Nature et Tourisme de la RD. Congo. Kinshasa, novembre 2009. Présentée à la Communauté internationale en réponse au Protocole de KYOTO.

[27] Pain M. 1984, Kinshasa, la ville et la cité. Ed. ORSTOM, études urbaines coll. Mémoires n° 115, 267p.

[28] Sene S, Ozer P. 2002, Évolution pluviométrique et relation inondations-événements pluvieux au Sénégal. Bulletin de la société géographique de Liège, 42, 27-43.

[29] Yina ND. 2016, Apport de la géomatique dans l'étude de la prévalence du paludisme à Kinshasa, Thèse de doctorat en géographie de la santé, Université de Kinshasa, 135 pages.