UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

=======

INSTITUT NATIONAL DE L'EAU

DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION DES RESSOURCES EN EAU

Pour l'obtention du diplôme de

LICENCE Professionnelle en Hydrologie

OPTION : HYDROLOGIE QUANTITATIVE

==========

EVALUATION DES IMPACTS DES INONDATIONS EN AFRIQUE DE L'OUEST A TRAVERS TROIS BASES DE DONNEES GLOBALES

==========

Mémoire de fin de formation présenté par

ADJAMAIDOTOME Melvick Géro Dieudonné

Maître de Mémoire

Dr. Jean HOUNKPE

Maître de Stage

Dr. Jean HOUNKPE

Laboratoire d'Hydrologie Appliquée

PROMOTION : 2019-2020

DÉDICACES

À mon frère et mes sœurs, Olive, Fifamè et Sèna. Que ce travail soit pour eux une source de motivation afin qu'ils puissent mieux faire.

REMERCIEMENTS

Je voudrais, à travers cette section, remercier infiniment :

☆ **Dieu le Père, Dieu le Fils et Dieu le Saint-Esprit** pour le souffle de vie ;

☆ Ma très chère mère **Elvire EKLOU** épouse ADJAMAIDOTOME et mon très cher père **Marcel ADJAMAIDOTOME**, qui m'ont encouragé et soutenu durant ces années d'études. Qu'ils trouvent en ce travail le témoignage de ma profonde reconnaissance.

☆ Mon Maître de mémoire, **Dr. Jean HOUNKPE**, Enseignant à l'Institut National de l'Eau (INE) pour sa disponibilité tout le long de ce travail malgré ses nombreuses activités. Son abnégation au travail et ses conseils m'ont été d'une grande utilité, que l'Éternel l'en bénisse ;

☆ Tous les responsables de l'Institut National de l'Eau, en particulier le **Professeur Daouda MAMA**, directeur de l'INE, le **Professeur Abdoukarim ALASSANE** qui a su superviser cette formation depuis le début, de même que le **Docteur Djigbo Félicien BADOU** qui m'a prodigué des conseils précieux sur la méthodologie de rédaction à adopter ;

☆ Le **Professeur Éric ALAMOU** pour le suivi qu'il m'apporte ;

☆ Tout le personnel et le corps professoral de l'Institut National de l'Eau (INE) et spécialement ceux qui interviennent au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA) ;

☆ Tous les Membres du jury. Merci pour le temps qu'ils consacreront à l'analyse et à l'amélioration de ce document ;

☆ Mes camarades de la promotion 2019-2020, spécialement **Dine BOKO KOCHIFE** pour son aide précieuse ;

☆ Tous ceux qui d'une façon ou d'une autre m'ont aidé à la réalisation de ce travail.

RÉSUMÉ

L'Afrique subit les effets du changement climatique les plus importants dans le monde. Les sécheresses et inondations, de plus en plus fréquentes, mettent en danger la vie de milliers d'Africains ainsi que leurs biens. Plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest font face à des inondations dévastatrices provoquées principalement par de fortes pluies qui font d'énormes dégâts sur le plan humain, matériel, financier, etc. Il y a donc nécessité d'inventorier ces impacts dans la sous-région. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer la récurrence et les impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022. À cet effet, trois (03) bases de données ont été considérées sur une période de cinquante-sept (57) ans, à partir de 1966. La confrontation de ces trois (03) bases a permis d'obtenir une base unique. Une répartition spatio-temporelle des impacts des inondations en Afrique de l'Ouest a permis d'analyser leurs évolutions historiques. Les tests de tendance de Mann-Kendall modifié et de rupture de Pettitt ont permis de faire une analyse plus poussée de cette base unique. Les résultats mettent en évidence une grande différence entre les trois bases de données en termes de données d'impact qu'elles collectent. En termes d'effectifs, le Nigéria s'avère être le pays le plus touché par les évènements liés aux inondations. Quatre (04) autres pays sont également plus vulnérables que le reste des pays de l'Afrique de l'Ouest, à savoir le Ghana, le Niger, la Sierra Leone et le Bénin. Pour tous les pays de l'Afrique de l'Ouest on a observé une tendance à la hausse dans l'évolution du nombre d'inondations ainsi que dans l'évolution du nombre de personnes déplacées et du nombre de personnes décédées. De même il y a eu une rupture en 1997 au niveau de l'évolution du nombre d'inondations et une rupture en 1987 dans l'évolution du nombre de personnes déplacées et du nombre de personnes décédées. Cette étude peut servir de base à l'élaboration de mesures d'adaptation par les institutions régionales concernant les pays les plus vulnérables aux inondations dans la sous-région.

Mots clés : Inondations, Afrique de l'Ouest, Impacts humains, Récurrence.

ABSTRACT

Africa is experiencing the most significant effects of climate change in the world. Increasingly frequent droughts and floods are dangering the lives and property of thousands of Africans. Several countries in West Africa are facing devastating floods triggered mainly by heavy rains that have caused enormous damage in human, material and financial terms. There is therefore a need to take stock of these impacts in the sub-region. The objective of this study is therefore to assess the recurrence and the human impacts of floods in West Africa from 1966 to 2022. To this end, three (03) databases were considered over a period of fifty-seven (57) years starting from 1966. The confrontation of these three (03) databases helps to obtain a unique database. A spatial-temporal distribution of the frequency and human impacts of floods in West Africa was analyzed. The Mann-Kendall trend and Pettitt break point tests were used for further analysis of this single database. The results highlight a large difference between the three databases in terms of the impact's data they identified. Nigeria was found to be the country most affected by flood-related events in terms of numbers. Four (04) other countries are also more vulnerable than the rest of the West African countries namely Ghana, Niger, Sierra Leone and Benin. For all West African countries, an upward trend was observed in the evolution of the number of floods as well as in the evolution of the number of displaced persons and the number of dead. Similarly, there was a break in 1997 in the evolution of the number of floods and a break in 1987 in the evolution of the number of displaced persons and the number of dead. This study can serve as a basis for the development of adaptation measures by regional institutions for the countries most vulnerable to flooding in the subregion.

Keywords: Floods, West Africa, Human impacts, Recurrence

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES i
REMERCIEMENTS ii
RÉSUMÉ iii
ABSTRACT iv
TABLE DES MATIÈRES v
LISTE DES FIGURES vii
LISTE DES TABLEAUX viii
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES ix
INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

1. Contexte et justification 2
2. Revue de littérature 2
3. Questions de recherche 4
4. Objectifs du mémoire 4
5. Structure du mémoire 5

CHAPITRE 1 : Données, matériels et méthodes 6

1.1. Introduction 7
1.2. Milieu d'étude 7
1.3. Données utilisées 12
1.4. Matériel utilisé 13
1.5. Méthodologie 14

CHAPITRE 2 : Résultats et discussion 19

2.1. Comparaison des bases de données 20
2.2. Répartition temporelle des évènements liés aux inondations en Afrique de l'Ouest en fonction de chaque base de données 21
2.3. Répartition spatiale des évènements liés aux inondations en Afrique de l'Ouest 23
2.4. Compilation des trois bases de données 26

2.5. Tests statistiques 29

2.6. Discussion 30

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES 32

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 33

ANNEXE 35

1. Scripts des tests statistiques 35

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation des pays de l'Afrique de l'Ouest 7
Figure 2 : Zone climatique en Afrique de l'Ouest *(Source: CILSS, 2016)* 8
Figure 3 : Couverture végétale en Afrique de l'Ouest *(Source: CILSS, 2016)* 10
Figure 4 : Zone hydrographique des pays de l'Afrique de l'Ouest *(Source: CILSS, 2016)* 12
Figure 5 :Répartition temporelle de la fréquence des inondations de 1966 à 2022 en fonction de chaque base de données 21
Figure 6 : Répartition temporelle des personnes déplacées à la suite des inondations de 1966 à 2022 en fonction de chaque base de données 22
Figure 7 : Répartition temporelle des décès liés aux inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 en fonction de chaque base de données 23
Figure 8 : Répartition spatiale de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 à cause des inondations. 24
Figure 9 : Répartition spatiale des personnes déplacées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 à cause des inondations. 25
Figure 10 : Répartition spatiale des personnes décédées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 à cause des inondations 26
Figure 11 : Bande d'incertitude de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 27
Figure 12 : Bande d'incertitude du nombre de personnes déplacées en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 28
Figure 13 : Bande d'incertitude du nombre de décès lié aux inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 28

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Comparaison synoptique des trois (03) bases de données 20

Tableau 2 : Résultats des tests statistiques..... 29

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

AFD	:	Agence Française de Développement
CCAFS	:	Climate Change Agricultural and Food Security
CCNUCC	:	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CILSS	:	Comité Permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CRED	:	Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
CSAO	:	Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest
DFO	:	Dartmouth Flood Observatory
EM-DAT	:	Emergency Events Database
GFD	:	Global Flood Database
GIEC	:	Groupe d'experts Intergouvernementaux sur l'Evolution du Climat
MPDEPP-CAG	:	Ministère de la Prospective, du Développement, de l'Évaluation des Politiques Publiques et de la Coordination de l'Action Gouvernementale
OCDE	:	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OCHA	:	Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
PAM	:	Programme Alimentaire Mondial
UNDRR	:	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
ONU	:	Organisation des Nations Unies

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. Contexte et justification

Les inondations urbaines constituent un problème de développement grave et croissant en Afrique de l'Ouest. Dans un contexte de croissance démographique, de tendances à l'urbanisation et de changements climatiques, les causes des inondations évoluent et leurs impacts s'accélèrent. Ce défi de grande ampleur et en constante évolution signifie que les décideurs politiques doivent faire beaucoup plus pour mieux comprendre et gérer plus efficacement les risques existants et futurs (Wallez, 2010).

Avec plus de 2,8 milliards de personnes affectées depuis 1990 à travers le monde, les inondations constituent le phénomène touchant le plus de personnes à l'échelle mondiale (Kovacs et al., 2017). Les inondations sont un phénomène mondial qui provoque une dévastation généralisée, des dommages économiques et des pertes en vies humaines. Les inondations en Afrique de l'Ouest ont provoqué au moins 377 décès et affecté près de 1,5 million de personnes depuis le début de la saison des pluies en juin 2010, selon le Bureau de coordination des affaires humanitaires des Nations unies (OCHA, 2010).

L'augmentation de la fréquence et de la gravité des inondations fait de la prévention des risques d'inondations une priorité absolue. Ce défi de grande ampleur signifie que les citoyens et les décideurs politiques doivent réellement comprendre et gérer les risques existants et futurs. Dans un contexte de croissance démographique, les évènements climatiques extrêmes induiront de plus en plus le déplacement des populations, des activités économiques et des infrastructures, très coûteux et très difficile à mettre en œuvre, d'autant plus qu'au fur et à mesure des changements, les coûts augmenteront. La récurrence des inondations favorise la propagation de nombreuses maladies, aggravant de ce fait leurs impacts (Wallez, 2010).

Face à cela, il s'agit d'identifier les impacts des inondations dans les pays de l'Afrique de l'Ouest et d'évaluer leurs gravités dans le passé jusqu'à présent. L'élaboration de cette étude devrait répondre en partie à cette problématique.

2. Revue de littérature

Plusieurs études ont déjà porté sur l'évaluation des impacts des inondations en Afrique de par le passé. CRED & UNDRR (2019) ont étudié les catastrophes sur le continent africain au cours des 20 dernières années. Leurs résultats montrent que l'Afrique de l'Ouest a été la plus touchée par les inondations

Granda (2015) a analysé les bases de données EM-DAT et DFO sur les catastrophes naturelles. Cet auteur a fait une comparaison des méthodes et des critères à remplir par les évènements pour être enregistrés dans chacune des bases de données. Il a proposé une méthode pour compiler, adapter, homogénéiser et restructurer les données sources afin d'obtenir une base unique. Ses résultats montrent que, contrairement à d'autres bases de données, de nombreux événements d'inondation sont classés comme des événements météorologiques plutôt qu'hydrologiques.

Nka et al. (2015) ont évalué les tendances des inondations en Afrique de l'Ouest. Leur méthodologie comprend deux méthodes d'échantillonnage des évènements d'inondation, à savoir, la méthode AM (Maximum Annuel) et la méthode POT (Peak Over Threshold), et deux perspectives d'analyse, à savoir, une analyse à long terme basée sur deux longues séries chronologiques de crues et une perspective régionale impliquant quatorze (14) bassins versants avec des séries plus courtes. Leurs résultats soulignent l'existence de tendances dans la magnitude et la fréquence des inondations. D'après leurs résultats, les inondations sahéliennes montrent des tendances à la hausse et certains bassins versants soudanais présentent des tendances à la baisse.

Nouaceur (2020) a étudié la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne. Il a évalué les conséquences humaines des inondations sur la période 1986-2017 dans la région sahélienne grâce à la base de données nommée Dartmouth Flood Observatory. Afin de déterminer la tendance pluviométrique, il a utilisé la méthode graphique chronologique de traitement de l'information (MG CTI) de type 'Matrice BERTIN'. L'analyse de ses données montre une reprise des pluies depuis la fin des années 1980 ou les années 1990. Cette reprise des pluies est marquée par une recrudescence sans précédent des inondations urbaines.

Kovacs et al. (2017) ont évalué les impacts des inondations de 1990 à 2017 dans les pays d'intervention de l'Agence Française de Développement (AFD) parmi lesquels on a les pays de l'Afrique de l'Ouest. Ils ont utilisé la base de données EM-DAT afin de déterminer le nombre d'inondations, ainsi que les impacts humains et financiers dans les pays de l'AFD depuis 1990.

Wallez (2010) a exposé un bilan sur les impacts des inondations en Afrique de l'Ouest de l'année 2007. D'après ses analyses, ces inondations auraient fait 200 décès et 770 000 sinistrés dans la sous-région et que le Sénégal, le Burkina-Faso, le Ghana, le Niger et la Sierra Leone furent gravement touchés, certains contraints de faire appel à l'aide internationale, tel que le fit le Bénin.

OCHA (2012) a donné un aperçu des dommages causés par les inondations le 15 septembre 2012. Selon les données recueillies, plus d'un million et demi de personnes ont été affectées par les fortes pluies qui se sont abattues sur l'Afrique de l'Ouest au cours des mois de juillet et d'août 2012. Suite à leur analyse, le Niger, le Tchad, le Sénégal et le Nigeria représentent ensemble plus de 90 % des personnes touchées identifiées.

3. Questions de recherche

Cette étude tentera de répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les apports respectifs de trois différentes bases de données dans l'évaluation de la fréquence et des impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest ?
- Par quelle méthode transformer ces trois bases de données en outil d'analyse de l'évolution historique de la fréquence et des impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest ?
- Quelle est l'évolution historique de la fréquence et des impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest ?

4. Objectifs du mémoire

• Objectif général

L'objectif général de ce travail est d'évaluer la récurrence et les impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022.

• Objectifs spécifiques

Afin d'atteindre cet objectif, les objectifs spécifiques suivants ont été défini :

- ✓ Analyser les similitudes et les dissemblances de trois bases de données globales relatives aux inondations en Afrique de l'Ouest.
- ✓ Constituer une base de données unique sur la fréquence et les impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest à partir de ces trois bases de données.
- ✓ Évaluer la fréquence d'occurrence des inondations, le nombre de personnes déplacées ainsi que le nombre de personnes décédées suite aux inondations aussi bien en Afrique de l'Ouest en général que dans chacun de ses pays.

5. Structure du mémoire

Ce mémoire est organisé en quatre grandes parties. La première partie introductive aborde les généralités sur l'étude, notamment une brève introduction, les questions de recherche, les objectifs du travail. La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés. Les principaux résultats de l'étude sont résumés dans la troisième partie, avec des interprétations et des discussions. Enfin, la dernière partie résume les principaux résultats obtenus, suivis de perspectives.

CHAPITRE 1 : Données, matériels et méthodes

1.1. Introduction

Le présent chapitre est axé dans une première partie sur la description du cadre d'étude, c'est-à-dire sa situation géographique, son climat, son relief et son hydrographie sans oublier ses aspects socio-économiques. Dans la seconde partie, il présente l'ensemble des données utilisées, les matériels exploités ainsi que la méthodologie de travail suivie.

1.2. Milieu d'étude

1.2.1. Localisation

L'Afrique de l'Ouest est une région terrestre couvrant toute la partie occidentale de l'Afrique subsaharienne. Avec une superficie de 6.140.000 km^2 elle se retrouve entre 12° Nord et 3° Est (Kipré & Pierre, 1983). L'Afrique de l'Ouest est composée de 16 pays qui sont : le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Cap-Vert, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Libéria, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Nigeria, le Sénégal, la Sierra Leone et le Togo (CCAFS, 2016).

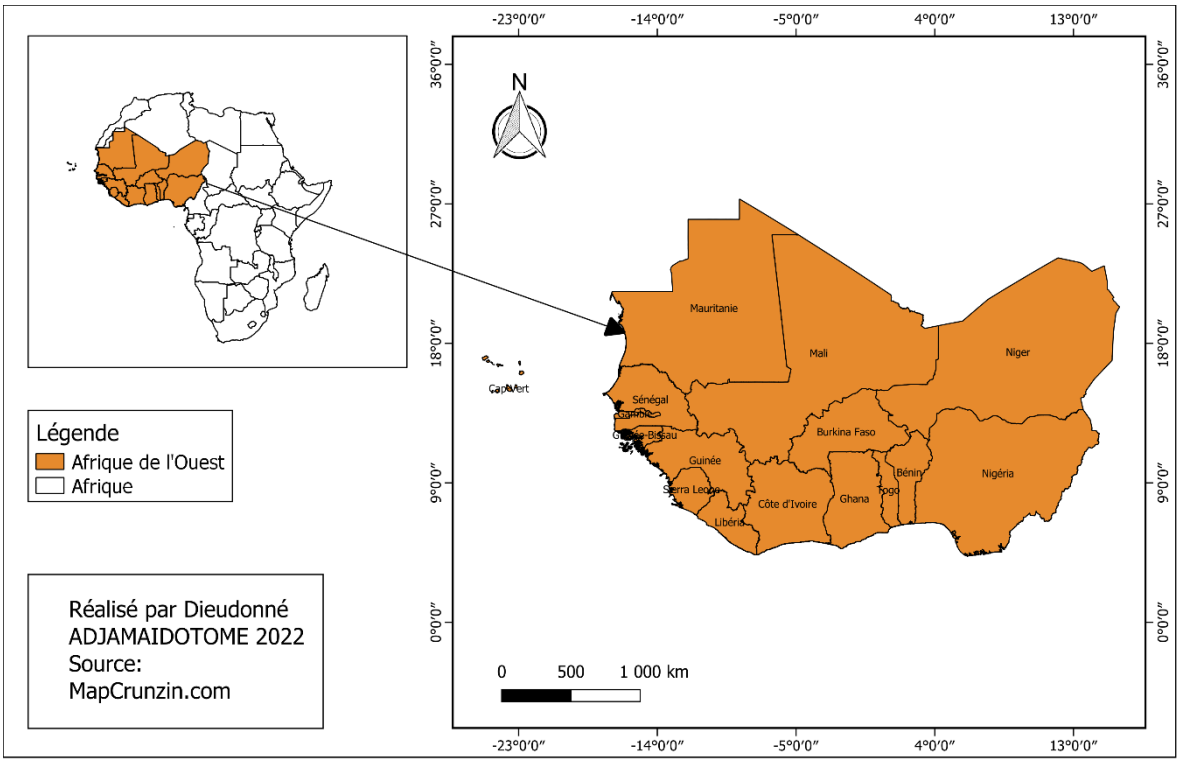


Figure 1 : Carte de localisation des pays de l'Afrique de l'Ouest

1.2.2. Climat, végétation, relief et sols

- **Climat**

La majeure partie de l'Afrique de l'Ouest, du sud du Sahara aux pays côtiers humides, ne connaît qu'une seule saison des pluies, qui dure de un à six mois. La zone de deux saisons des pluies, une longue et une plus courte, est limitée aux parties sud des pays côtiers, du Liberia au Nigeria. Le climat est lié à l'avancée et au recul du front intertropical, l'interface entre deux masses d'air, l'une chaude et humide et l'autre fraîche et sèche. Ce front migre chaque année du nord au sud, en suivant la position du soleil, avec un décalage de un à deux mois. Pendant les mois d'hiver (décembre à mars), il existe une zone de haute pression anticyclonique centrée sur le Sahara. Il entraîne l'Harmattan, un vent desséchant et poussiéreux qui souffle de manière assez persistante du nord-est, asséchant les paysages jusqu'à la côte. En été, l'anticyclone est remplacé par une dépression, apportant des vents chauds et humides de l'Atlantique au sud-ouest (du golfe de Guinée). En général, la saison sèche s'allonge et les précipitations annuelles diminuent avec l'augmentation de la latitude. À l'inverse, dans les latitudes méridionales, les précipitations augmentent alors que la saison sèche est souvent réduite à seulement quatre mois (décembre à mars). Les températures maximales et les écarts de température augmentent également avec la latitude. Dans le sud humide, les températures varient peu, alors que dans le nord aride, elles vont de 0˚C à plus de 45˚C (CILSS, 2016).

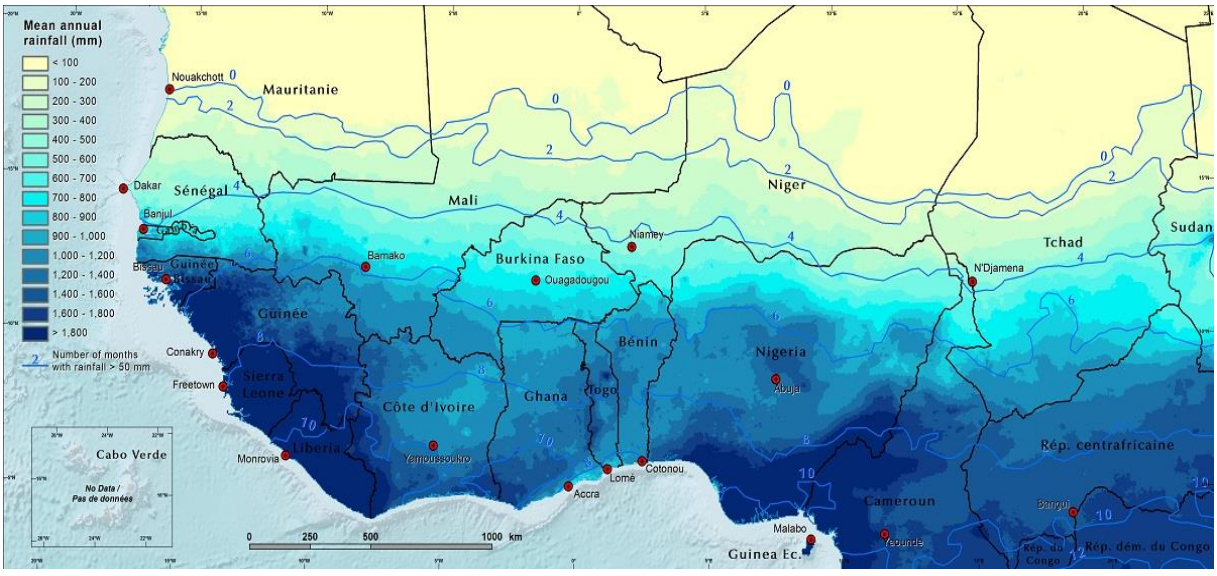


Figure 2 : Zone climatique en Afrique de l'Ouest *(Source : CILSS, 2016)*

- **Végétation**

La végétation de l'Afrique de l'Ouest se présente de manière plutôt uniforme par rapport à d'autres parties de l'Afrique tropicale. En raison de sa topographie de basse altitude, les zones

de végétation reflètent essentiellement les zones climatiques. Ceci donne naissance à une série de zones de végétation formant des bandes pratiquement parallèles qui s'étendent de la côte sud guinéenne, où les précipitations sont élevées et bien distribuées tout au long de l'année, en passant par des zones à la végétation toujours plus sèche, jusqu'aux confins du désert du Sahara plus au nord (Hahn-hadjali & Schmidt, 2010).

- ✓ **Région saharienne**

La végétation actuelle du Sahara est limitée au nord par les semi-déserts et au sud par une zone de transition aux savanes du Sahel. Au Niger, deux enclaves de savanes persistent sur les hauts plateaux de l'Aïr et sur les plateaux d'Agadem Homodji vers l'est. En ce qui concerne la partie du Sahara, on observe la présence d'une savane de type Acacia, Commiphora, Bauhinia et Rhus. Vers l'est, sur les plateaux de Bilma, Djado, Mangeni et Messak, il y a également une savane, mais plus pauvre, de type Maerua, Capparis et Acacia.

- ✓ **Région sahélienne**

Le Sahel, ou région sahélienne, est une large ceinture semi-aride, s'étendant de l'océan Atlantique au Soudan (et à la mer Rouge), d'une largeur moyenne d'environ 350 km. La végétation du Sahel est généralement caractérisée par des types herbacés ouverts (steppe et savane à herbes courtes) souvent mélangés à des plantes ligneuses. Elle est connue pour ses arbres épineux, notamment du genre Acacia, et ses graminées principalement annuelles des genres Aristida et Cenchrus. Le nombre d'espèces de plantes ligneuses est relativement faible.

- ✓ **Région soudanaise**

De courtes herbes annuelles du Sahel sont remplacées dans la région du Soudan par de herbes hautes et pérennes, principalement du genre Andropogon. Les savanes ont presque toujours une composante boisée, avec des arbres poussant parmi les hautes herbes. Il existe au moins 80 espèces d'arbres spécifiques à cette région bioclimatique. Dans la partie nord de la région soudanienne, les savanes arborées ont tendance à dominer, tandis que les parties sud de cette région passent généralement à des savanes boisées plus denses et à des zones boisées ouvertes. Les forêts galeries, avec des espèces de grands arbres plus communes dans la région guinéenne au sud, suivent les cours d'eau, pénétrant profondément dans la région soudanaise.

- ✓ **Région guinéenne**

La région guinéenne se situe immédiatement au sud de la région soudanaise, généralement définie par des précipitations annuelles moyennes comprises entre 1200 et 2200

mm. C'est le domaine de la forêt caduque ou semi-caduque humide et sèche saisonnière. La canopée de la forêt est généralement dense et fermée, formant sur un sous-étage ligneux hétérogène. La hauteur des arbres est élevée, de 18 à 20 m en moyenne. La forêt guinéenne dans son milieu naturel n'est généralement pas affectée par les feux de brousse. Les paysages actuels de la région guinéenne sont principalement modifiés par l'activité humaine, notamment l'agriculture sur brûlis, de sorte que l'étendue réelle de la forêt guinéenne est plutôt limitée. Les savanes arborées et boisées sont également étendues.

- ✓ **Région guinéo-congolaise**

La région guinéo-congolaise est la plus humide d'Afrique de l'Ouest, avec des précipitations annuelles moyennes comprises entre 2200 et 5000 mm. Les précipitations peuvent être réparties sur la majeure partie de l'année, ou en deux saisons des pluies avec de courtes périodes sèches entre les pluies. On pense que cette région a été principalement boisée dans le passé, mais aujourd'hui, seule une fraction du territoire est boisée. Néanmoins, la flore forestière est la plus riche d'Afrique de l'Ouest. Les forêts sont denses, avec des arbres atteignant plus de 60 m. Dans le sous-bois, les plantes grimpantes ligneuses et les épiphytes sont caractéristiques. On peut trouver une couverture végétale herbacée, mais elle peut aussi être absente (CILSS, 2016).

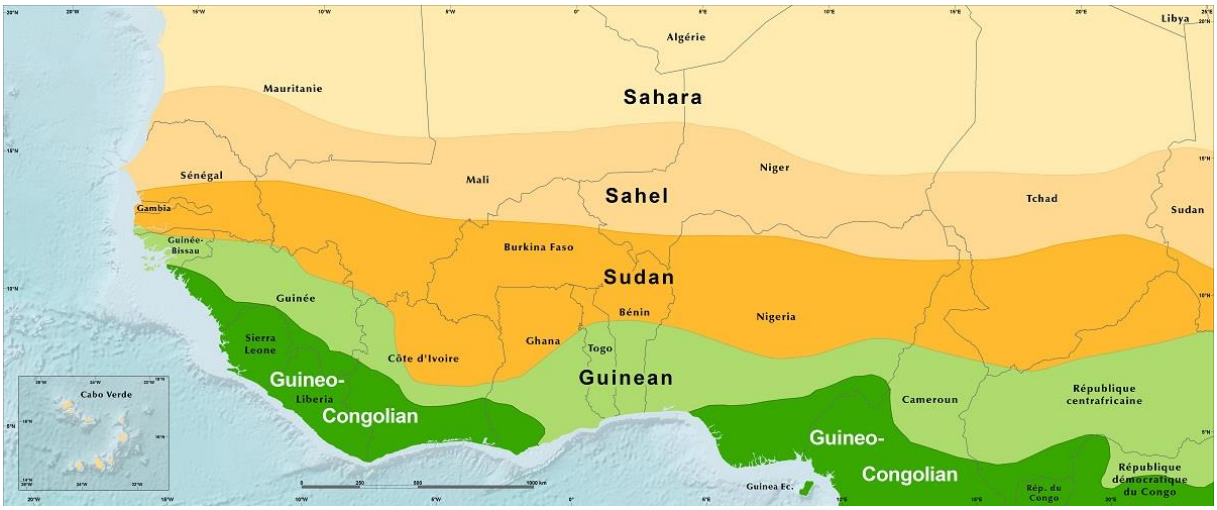


Figure 3 : Couverture végétale en Afrique de l'Ouest *(Source : CILSS, 2016)*

- **Relief**

Une grande partie de l'Afrique de l'Ouest est plate et non montagneuse. Les principales exceptions sont les hautes terres de Guinée où le fleuve Niger prend sa source, et les montagnes de l'ouest et du centre du Cameroun où le fleuve Bénoué prend sa source. La source du fleuve Niger est située dans les hautes terres de Guinée, près de la frontière avec la Sierra Leone, à une

altitude d'environ 750 (au-dessus du niveau de la mer). Au nord-ouest, les hautes terres guinéennes s'étendent jusqu'aux montagnes du Fouta Djalon, qui s'élèvent à 1500 m. Au sud-est, on trouve les chaînes de montagnes de Kourandou et de Simandou et le mont Nimba, qui culmine à 1752 m, le plus haut sommet de Guinée. L'altitude diminue à mesure que le Niger s'écoule vers l'est en direction du Mali. La partie du bassin située au nord-est de Bamako est en grande partie plate et se trouve à une altitude d'environ 200 à 300 m au-dessus du niveau de la mer (Altenburg & Wymenga, 2017).

- **Sols**

Trois grands types de sols sont présents : les sols ferralitiques, les sols ferrugineux tropicaux et les sols hydromorphes. Les sols ferralitiques sont des sols fortement altérés et lessivés qui sont généralement riches en fer et en bauxite (aluminium). Ces sols sont principalement situés dans la zone forestière humide comme les forêts de la haute Guinée, et dans la zone de savane du sud de la Guinée, où les précipitations sont relativement élevées. Les sols ferralitiques sont présents dans les hautes terres guinéennes et dans le bassin inférieur du Niger au sud du Nigeria. Plus au nord, la zone de savane est caractérisée par des sols ferrugineux. La fertilité et la teneur en matière organique de ces sols sont généralement faibles par rapport aux sols de la zone de forêt humide. Ces sols sont généralement adaptés à la culture de plantes annuelles comme le maïs, le millet, etc. Les sols hydromorphes se trouvent dans les zones humides, les marais et les lits de rivière, et la plupart des sols du delta intérieur du Niger appartiennent à ce type (Altenburg & Wymenga, 2017).

1.2.3. Hydrographie

Plusieurs grands fleuves, dont le Niger, le plus long fleuve d'Afrique de l'Ouest, prennent leur source dans les hautes terres de Guinée, où les précipitations sont abondantes. D'autres grands fleuves prennent leur source dans le Fouta Djallon de la Guinée, notamment la Gambie et le Sénégal. Le fleuve Sénégal draine un important bassin, le troisième plus grand d'Afrique de l'Ouest après le bassin du Niger et le bassin du lac Tchad. Les fleuves d'Afrique de l'Ouest connaissent de grandes variations saisonnières de leur débit.

Le fleuve Niger, long d'environ 4180 km, traverse presque toutes les zones climatiques d'Afrique de l'Ouest. Un vaste delta intérieur s'est formé sur son parcours au Mali, en raison de la faible pente du fleuve et des accumulations de sable qui ont obstrué ses nombreux canaux. Le delta intérieur du Niger agit comme une éponge géante, modérant le débit en aval et réduisant le risque d'inondation. Là où le Niger passe devant Tombouctou, dans le nord du Sahel malien,

les accumulations de sable le poussent vers le sud. Au Nigeria, le fleuve Niger est rejoint par la Bénoué, son principal affluent, qui draine une grande partie du nord-est du pays.

Le bassin du lac Tchad occupe une immense superficie, couvrant des parties du Niger, la majeure partie du Tchad, le Nigeria, le Cameroun et la République centrafricaine. Le bassin versant des rivières Chari et Logone comprend la partie sud du bassin du lac Tchad. Ils alimentent le lac Tchad, qui n'est plus qu'une petite fraction de sa taille de 1960 (CILSS, 2016).

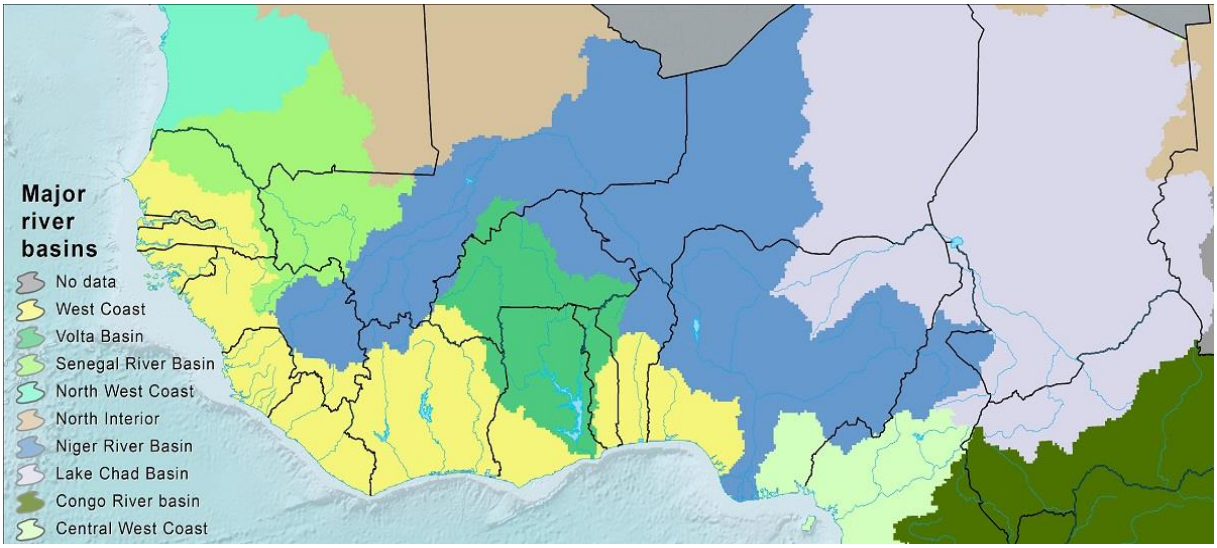


Figure 4: Zone hydrographique des pays de l'Afrique de l'Ouest *(Source: CILSS, 2016)*

1.3. Données utilisées

- **Emergency Events Database (EM-DAT)**

Le Centre de Recherche sur l'Epidémiologie des Catastrophes (CRED) a été créé en 1973 en tant qu'institution à but non lucratif, dotée d'un statut international de droit belge. Il est situé au sein de l'Ecole de Santé Publique de l'Université Catholique de Louvain (UCL) à Bruxelles. EM-DAT contient des données de base essentielles sur l'occurrence et les effets de plus de 24000 catastrophes de masse dans le monde de 1900 à nos jours. La base de données est compilée à partir de diverses sources, notamment des agences des Nations Unies, des organisations non gouvernementales, des compagnies d'assurance, des instituts de recherche et des agences de presse. Le CRED jouit d'une autonomie et d'une flexibilité qui lui permettent de réagir rapidement aux situations et d'adapter ses activités en fonction de l'évolution des besoins de son domaine (EM-DAT, 2019). Par ailleurs, EM-DAT comporte les données sur la récurrence ou sur les impacts humains des inondations de tous les pays de l'Afrique de l'Ouest. Ces données sont extraites au format Excel.

- **Dartmouth Flood Observatory (DFO) de l'Université du Colorado**

L'observatoire des inondations du DFO a été créé en 1993 à l'Université de Dartmouth dans l'État du New Hampshire, aux États-Unis et a déménagé à l'Université du Colorado nommée INSTAAR (Institute of Artic and Alpine Research) en 2010. Les informations présentées dans cette archive proviennent de sources d'information, gouvernementales, instrumentales et de télédétection. L'archive est active, car les évènements actuels sont continuellement ajoutés. La liste est complète et de portée mondiale. De nombreuses inondations ont maintenant été imagées par satellite et traduites à l'observatoire des inondations de Dartmouth en cartes individuelles de l'étendue des inondations (DFO, 2006). Cependant, la base de données DFO ne contient pas de données du Cap-Vert sur la récurrence ou sur les impacts humains des inondations. Toutefois, les données pour les autres pays sont disponibles au format Excel.

- **Le Global Flood Database (GFD)**

Les cartes de cette base de données mondiale sur les inondations ont été créées à l'aide de MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) de la NASA. L'instrument MODIS fonctionne à la fois sur les engins spatiaux Terra et Aqua. Les évènements d'inondation cartographiés dans cette base de données représentent les évènements majeurs enregistrés depuis le début des relevés satellitaires. Pour sélectionner la zone à cartographier pour chaque évènement, un polygone de la base de données sur les inondations a été recoupé avec les bassins versants mondiaux HydroSHEDS (Seamless hydrographic data for global and regional applications) et les bassins versants qui se croisent ont été choisis comme unité de cartographie. Les estimations de l'exposition de la population sont dérivées de la superposition des cartes d'inondation avec les données démographiques de la couche mondiale des établissements humains (Global Human Settlement Layer), (GFD, 2022). La base de données GFD ne contient pas de données sur la récurrence et sur les impacts des inondations de cinq (5) pays de l'Afrique de l'Ouest. Il s'agit du Bénin, du Cap-Vert, de la Côte d'Ivoire, du Libéria et de la Sierra Leone. Par ailleurs, les données sur les autres pays de l'Afrique de l'Ouest sont également disponibles au format Excel.

1.4. Matériel utilisé

L'outil de travail principal qui a été utilisé pour mener cette recherche scientifique était un ordinateur portable avec les logiciels suivants :

•Microsoft Excel 2019 qui est un tableur intégrant des graphiques, des tableaux et des bases de données. Cet outil a permis d'appliquer les calculs statistiques et de tracer les courbes associées à ces calculs ;

•Microsoft Word 2019 pour le traitement de texte ;

• QGIS 3.16.2 pour la réalisation des cartes ;

• RStudio pour l'application des tests de rupture et de tendance.

1.5. Méthodologie

1.5.1. Collecte de données

- **Base de données EM-DAT**

Les données des impacts des inondations en Afrique de l'Ouest extraites de la base de données EM-DAT ont été obtenues sur son site officiel. Une fois sur le site, on commence par créer un compte afin de s'y connecter. Après avoir été connecté, on se dirige au niveau de la section EM-DAT Query Tool grâce au lien access tool ce qui permet de filtrer et d'exporter les données en fonction de :

✓ La classification qui correspond dans notre cas à l'inondation ;

✓ La zone qui représente l'Afrique de l'Ouest dans notre cas ;

✓ La période d'intérêt dans notre cas qui correspond à la période maximale fournie par la base (1966 à 2022).

- **Base de données Dartmouth Flood Observatory**

À ce niveau, les données sont obtenues sur le site de Dartmouth Flood Observatory. Il a suffi d'aller sur la page Active Archive of Large Floods, 1985-Present et de télécharger les données au format Excel grâce à un lien sur la page. On obtient des données globales sur les impacts des inondations dans le monde.

- **Base de données The Global Flood Database**

Après avoir cliqué sur l'icône « about the data », on clique ensuite sur « Population Exposed Per Country Event ». On obtient ainsi les données globales sur les impacts des inondations dans le monde

1.5.2. Filtrage de données

- **Base de données EM-DAT**

À l'aide de Microsoft Excel, les données de chaque pays d'Afrique de l'Ouest ont d'abord été filtrées, puis les données annuelles depuis 1966 de tous les pays d'Afrique de l'Ouest ont été extraites.

- **Bases de données DFO et GFD**

En premier lieu, toujours avec Microsoft Excel, on a extrait les données concernant les pays de l'Afrique de l'Ouest des informations globales. Ensuite, on a filtré les données de chaque pays de l'Afrique de l'Ouest, puis les données annuelles de tous les pays de l'Afrique de l'Ouest regroupés, à partir de 1985 pour le DFO et 2001 pour le GFD.

1.5.3. Méthode de traitement des données

1.5.3.1 Répartition temporelle des impacts liés aux inondations (tous pays confondus)

Considérant les années par ordre croissant, une évolution du nombre d'impacts de la variable a été analysée par an. L'utilisation de la fonction insertion du menu contextuel du logiciel Excel a permis de tracer trois courbes mettant en évidence les similitudes et les dissemblances entre les trois bases de données.

1.5.3.2 Répartition spatiale des impacts liés aux inondations au niveau de chaque pays de l'Afrique de l'Ouest

Afin d'évaluer la fréquence et les impacts humains des inondations à l'échelle spatiale, les pays d'Afrique de l'Ouest ont été classés par ordre alphabétique. Les cercles sur la carte des pays de l'Afrique de l'Ouest ont été dessinés proportionnellement au nombre d'impacts calculés pour chaque pays à l'aide du logiciel QGIS. Dans un premier temps les chiffres maximaux ont été uniquement sélectionnés parmi les trois bases de données. Dans un second temps ces valeurs maximales ont été additionnées pour trouver le nombre d'inondations, le nombre de personnes déplacées et le nombre de personnes décédées dans chaque pays de l'Afrique de l'Ouest depuis 1966.

1.5.3.3 Compilation des trois bases de données

La sélection des valeurs minimum et maximum parmi les données des trois bases a permis la réalisation d'une bande d'incertitude qui représente l'intervalle dans lequel varie la

véritable information qu'on recherche, c'est-à-dire l'évolution historique des impacts des inondations.

1.5.3.3 Tests de rupture de Pettitt et de tendance de Mann-Kendall modifié

- **Test de Pettitt**

L'identification des points de changement est l'une des méthodes statistiques les plus importantes pour l'analyse des séries de données afin d'étudier les impacts des inondations. Cette méthode sert à déterminer les points de changements dans les enregistrements des effets des inondations. Cette méthode permet de détecter un changement significatif de la moyenne d'une série chronologique lorsque le moment exact du changement est inconnu (Gharechaee et al., 2016). D'après la documentation du logiciel Rstudio concernant le test de Pettitt, on considère X un vecteur de classe "numérique" ou un objet de série temporelle de classe "ts". Dans cette fonction, le test est implémenté comme indiqué par Verstraten et al. (2006), où les rangs r1,...,rn des X1,....,Xn sont utilisés pour la statistique :

$$Uk = 2\sum_{i=1}^{k} ri - k(n+1)^n$$

La statistique de test est le maximum de la valeur absolue du vecteur.

$\hat{U}$=max$_k$ |Uk|

Le point de changement probable k est situé là où Û a son maximum. La probabilité approximative pour un test bilatéral est calculée selon la formule suivante :

$p = 2cxp^{-6K^2/(T^3+T^2)}$

- **Test de Mann-Kendall modifié**

La statistique calculée est définie comme suit :

$S = \sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sgn[(yj - yi)(xj - xi)]$ où la fonction sgn (X) est définie par :

sgn (X) = 1 pour X > 0

sgn (X) = 0 pour X = 0

sgn (X) = -1 pour X < 0

Mann (1945) et Kendall (1975) ont démontré que

E(S) = 0

Var(S) = n (n-1) (2n+5) / 18

Dès que l'échantillon contient une dizaine de données, la loi de la statistique de test Z ci-dessous peut-être approché par une gaussienne centrée-réduite.

$$Z = \frac{S - 1}{\sqrt{var(S)}} \text{ si } S > 0$$

$$Z = 0 \text{ si } S = 0$$

$$Z = \frac{S + 1}{\sqrt{var(S)}} \text{ si } S < 0$$

S'il y a des ex-aequo dans la série, la variance de S est corrigée de la façon suivante :

$$var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{n} t_p\,(p-1)(2p+5)}{18}$$

Où t_p est le nombre d'égalités impliquant p valeurs (Croiset & Lopez, 2013).

D'après Chesneau (2018), on oppose deux hypothèses complémentaires : H0 et H1 pour l'interprétation des p-values :

- ✓ L'hypothèse : H0 formule ce que l'on souhaite rejeter/réfuter,
- ✓ L'hypothèse : H1 formule ce que l'on souhaite montrer.

La p-value nous donne un degré de significativité du rejet de H0.

Le rejet de H0 est dit :

- ✓ Significatif si p-value ∈]0,01 ; 0,05],
- ✓ Très significatif si p-value ∈]0,001 ; 0,01],
- ✓ Hautement significatif si p-value < 0,001.
- ✓ Il y a non rejet de H0 si p-value > 0,05.

S'il y a non-rejet de H0, sauf convention, on ne peut rien conclure du tout (avec le risque considéré). Éventuellement, on peut dire que H0 est plausible (elle "semble pouvoir être admise"). En revanche, peut-être qu'un risque de départ plus élevé ou la disposition de plus de données peuvent conduire à un rejet de H0.

Ces deux tests ont été appliqués à l'ensemble des données annuelles sur la fréquence des inondations, le nombre de personnes déplacées et le nombre de personnes décédées en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022. Pour rester cohérent avec les valeurs maximales utilisées dans la

distribution spatiale précédente, les données annuelles maximales parmi les trois bases de données ont également été utilisées pour les tests.

CHAPITRE 2 : Résultats et discussion

2.1. Comparaison des bases de données

Plusieurs bases de données fournissent des informations à l'échelle internationale sur les impacts des inondations. Les trois bases que sont, Emergency Events Database, Dartmouth Flood Obervatory et Global Flood Database, fournissent des données très utilisées par de nombreux organismes. Cependant, elles présentent chacune leur particularité. Le Tableau 1 expose les principales caractéristiques de chacune de ces bases de données. L'analyse de ce tableau montre que concernant la période de couverture des bases de données, EM-DAT a un champ de collecte de données et de couverture temporelle beaucoup plus large que les deux autres bases. En se basant sur les critères de sélection, EM-DAT, enregistre beaucoup plus d'évènements que les deux autres bases. Global Flood Database est beaucoup moins riche que Dartmouth Flood Observatory en termes de période de couverture et d'évènements enregistrés

Tableau 1 : Comparaison synoptique des trois (03) bases de données

Base de comparaison	EM-DAT	Dartmouth Flood Observatory	Global Flood Database
Période couverte	1900-Aujourd'hui	1985-Aujourd'hui	2001-2018
Type	Catastrophes naturelles, technologiques et conflits	Inondations (toutes causes)	Inondations
Critère de sélection de la base	- Au moins 10 décès -Au moins 100 personnes affectées - Une déclaration d'état d'urgence - Un appel à l'aide internationale	-Dommages importants aux structures ou à l'agriculture -Avec un intervalle important depuis le dernier évènement similaire -Et/ou décès	Évènements majeurs enregistrés
Accès	Public	Public	Public

2.2. Répartition temporelle des évènements liés aux inondations en Afrique de l'Ouest en fonction de chaque base de données

La confrontation des trois bases de données passe par une analyse de la tendance de la courbe relative à l'impact à évaluer au niveau de chacune d'elles.

2.2.1. Fréquence des inondations

La Figure 5 montre l'évolution de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest depuis 1966 à 2022 issue des trois bases de données. Cette figure montre une discordance importante au niveau des trois bases des données relatives à la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest. On peut remarquer que les bases DFO et GFD enregistrent leur pic maximal en 2003, par contre EM-DAT enregistre son pic maximal en 2010. On constate également un grand écart entre les données de EM-DAT et celles de GFD. Par exemple, en 2010, EM-DAT enregistre jusqu'à 24 inondations survenues en Afrique de l'Ouest tandis que la base de données GFD en reporte 2 (deux). De même, EM-DAT enregistre 16 inondations en 1999 contre 4 (quatre) la même année relevée par DFO. Cela montre qu'un écart important existe entre ces deux bases de données. Par ailleurs, EM-DAT a enregistré la plus grande fréquence d'inondation survenue en Afrique de l'Ouest depuis 1966.

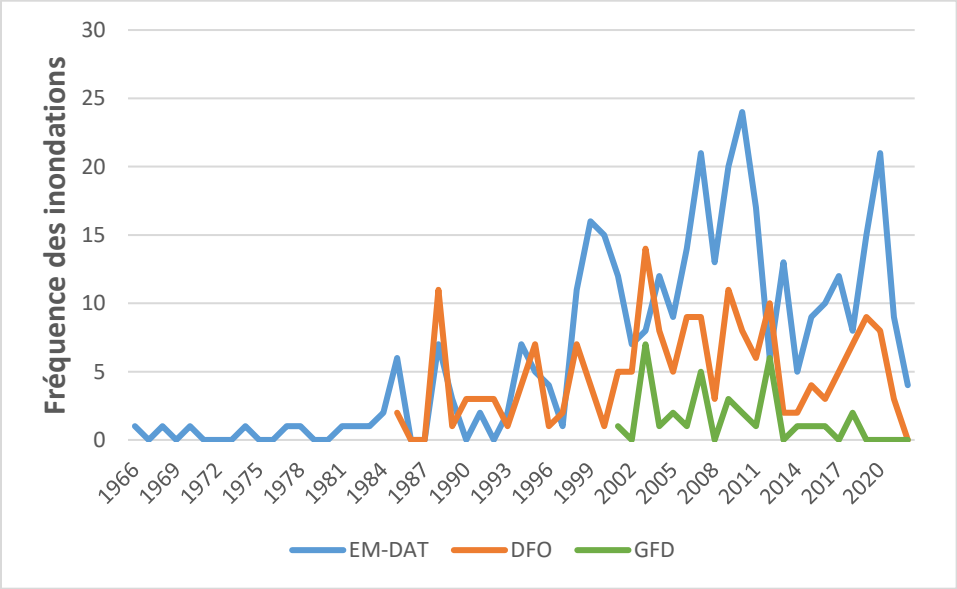


Figure 5 : Répartition temporelle de la fréquence des inondations de 1966 à 2022 en fonction de chaque base de données

2.2.2. Personnes déplacées à la suite des inondations

La Figure 6 présente le nombre de personnes déplacées en Afrique de l'Ouest, depuis 1966, au niveau des trois bases de données. Beaucoup de ressemblances au niveau de l'allure des courbes sont constatées entre les données de DFO et celles du GFD. Elles indiquent l'année 2007 comme étant celle pendant laquelle se sont déplacés le plus de personnes. Concernant la base EM-DAT, 2020 est l'année ayant connu le plus grand nombre de déplacés. Autrement dit, les bases DFO et GFD ont reporté en l'an 2007 le plus grand nombre de déplacés depuis 1966.

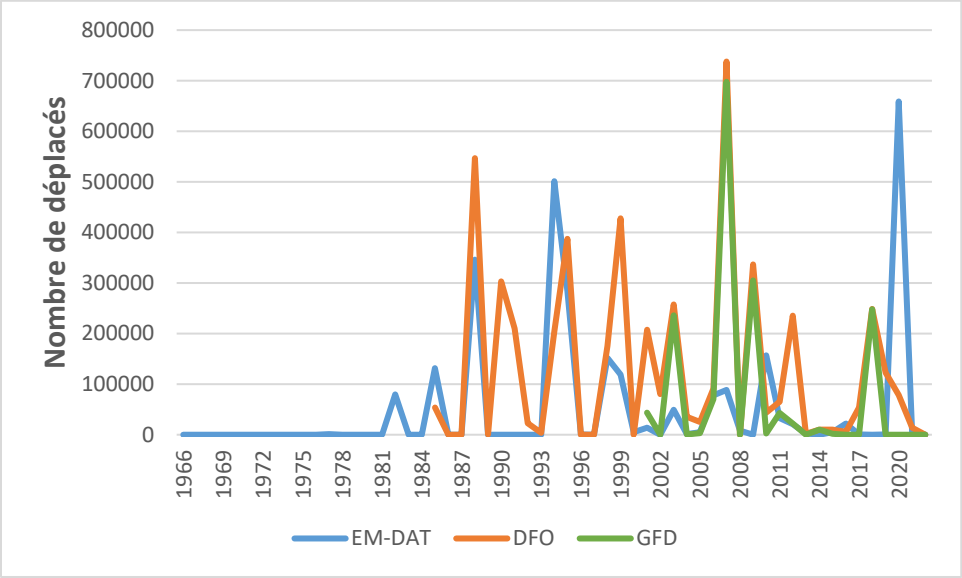


Figure 6 : Répartition temporelle des personnes déplacées à la suite des inondations de 1966 à 2022 en fonction de chaque base de données

2.2.3. Décès enregistrés à la suite des inondations

La Figure 7 présente l'évolution des décès en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022. Cette figure montre des tendances plus ou moins similaires entre les informations issues des bases de données EM-DAT et DFO. EM-DAT et DFO présentent leur pic maximal en 2012 tandis que GFD l'atteint en 2007. Autrement dit, EM-DAT et DFO ont enregistré en 2012 le plus grand nombre de décès depuis 1966.

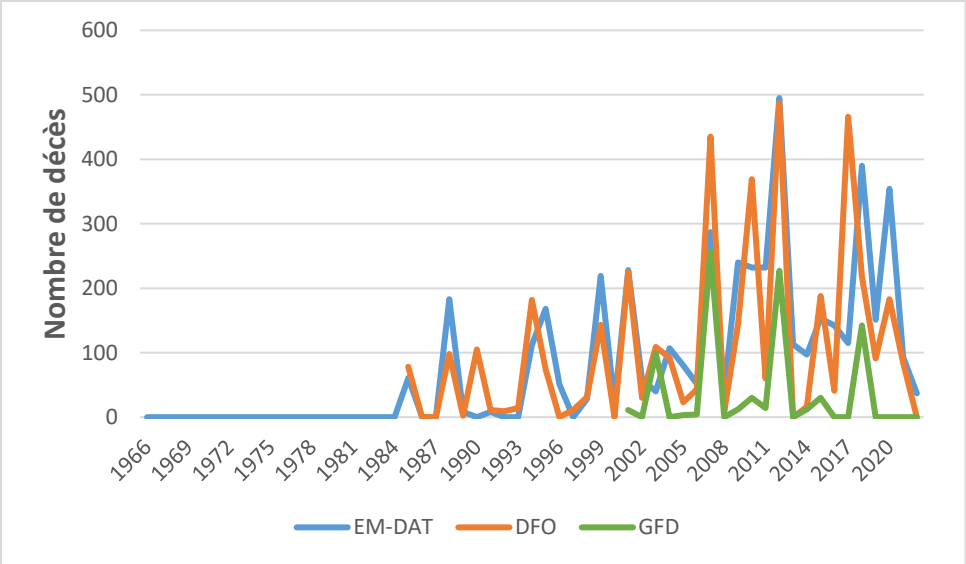


Figure 7 : Répartition temporelle des décès liés aux inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 en fonction de chaque base de données

2.3. Répartition spatiale des évènements liés aux inondations en Afrique de l'Ouest

2.3.1. Classement des pays de l'Afrique de l'Ouest selon le nombre d'inondations.

La Figure 8 présente la répartition spatiale de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest. Cette carte montre que le Nigéria est le pays ayant connu le plus d'inondations depuis 1966. Cela peut s'expliquer par la démographie du pays car d'après les études de Csao/Ocde (2007), le Nigéria est le pays le plus peuplé d'Afrique de l'Ouest. Le Ghana et le Niger sont placés respectivement en 2ème et en 3ème position et le Bénin et la Sierra leone sont respectivement classés en 4ème et 5ème position parmi les pays les plus touchés par les inondations depuis 1966. Les autres pays sont beaucoup moins touchés par les inondations.

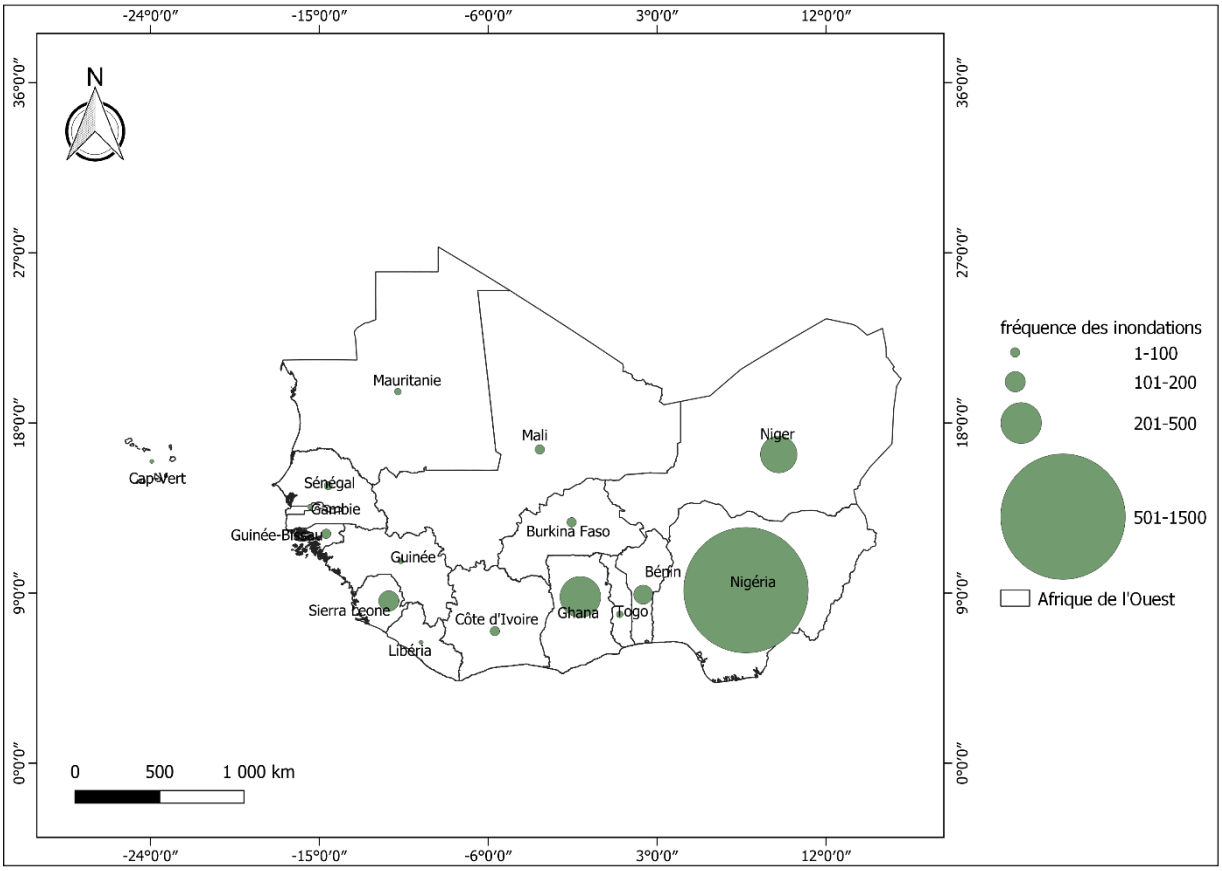


Figure 8 : Répartition spatiale de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 à cause des inondations.

2.3.2. Classement des pays de l'Afrique de l'Ouest selon leur nombre de déplacés

La Figure 9 présente la répartition spatiale des personnes déplacées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest. Cette carte montre que le Nigéria se retrouve encore à la tête des pays comptant le plus grand nombre de déplacés avec plus de 1.350.000 cas suivi par le Ghana, le Niger (entre 200.000 et 500.000 cas), la Mauritanie et le Bénin (entre 50.000 et 200.000 cas). Le nombre de déplacés dans les autres pays sont relativement bas par rapport à ceux des pays les plus touchés (moins de 50.000 cas).

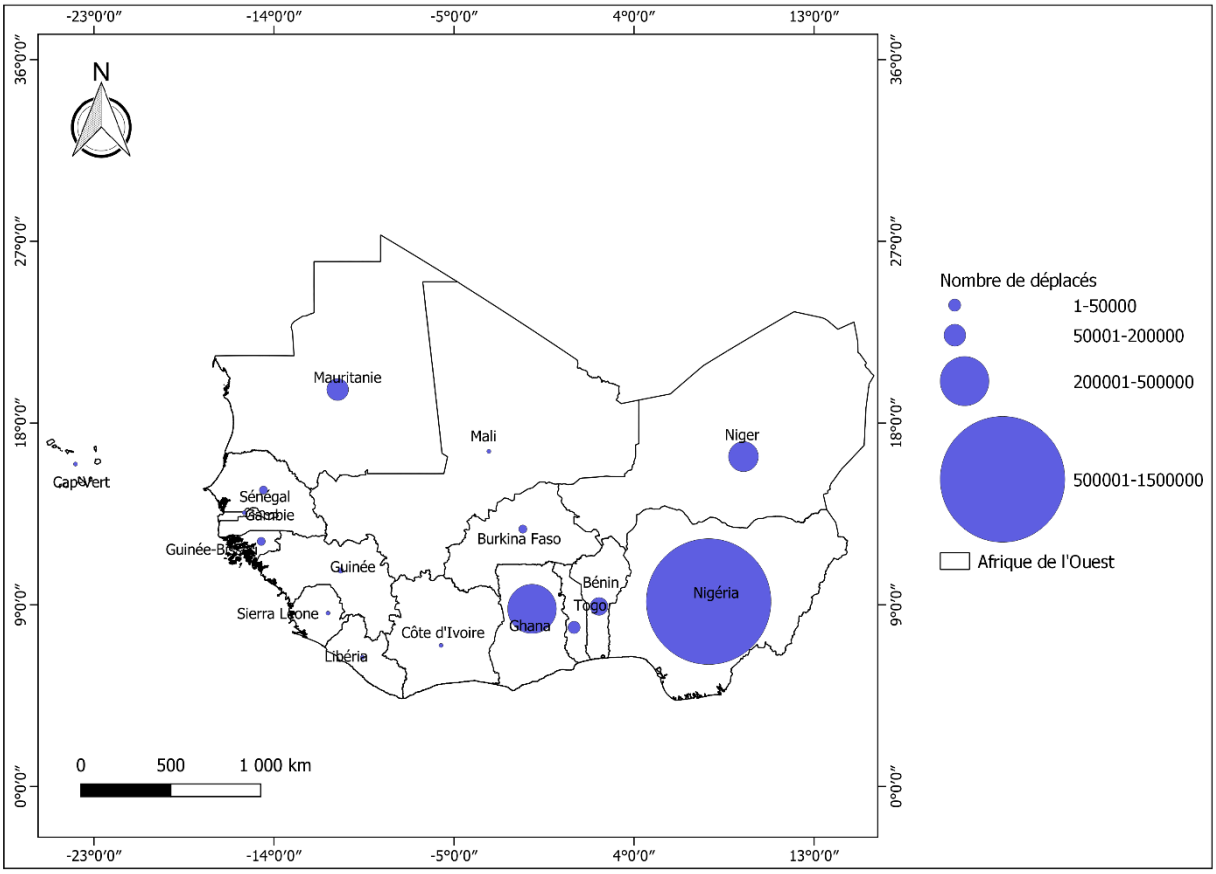


Figure 9 : Répartition spatiale des personnes déplacées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 à cause des inondations.

2.3.3. Classement des pays de l'Afrique de l'Ouest selon leur nombre de décès

La Figure 10 présente la répartition spatiale des personnes décédées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest. Cette carte montre que le Nigéria est le pays le plus meurtri par les inondations avec plus de 2.000 décès. Le Niger, le Ghana, la Sierra Leone, le Bénin, la Côte d'Ivoire et la Guinée-Bissau sont les pays les plus meurtris par les inondations après le Nigéria avec entre 200 et 1000 cas. Les décès dans les autres pays sont relativement faibles par rapport aux pays les plus touchés avec moins de 200 décès.

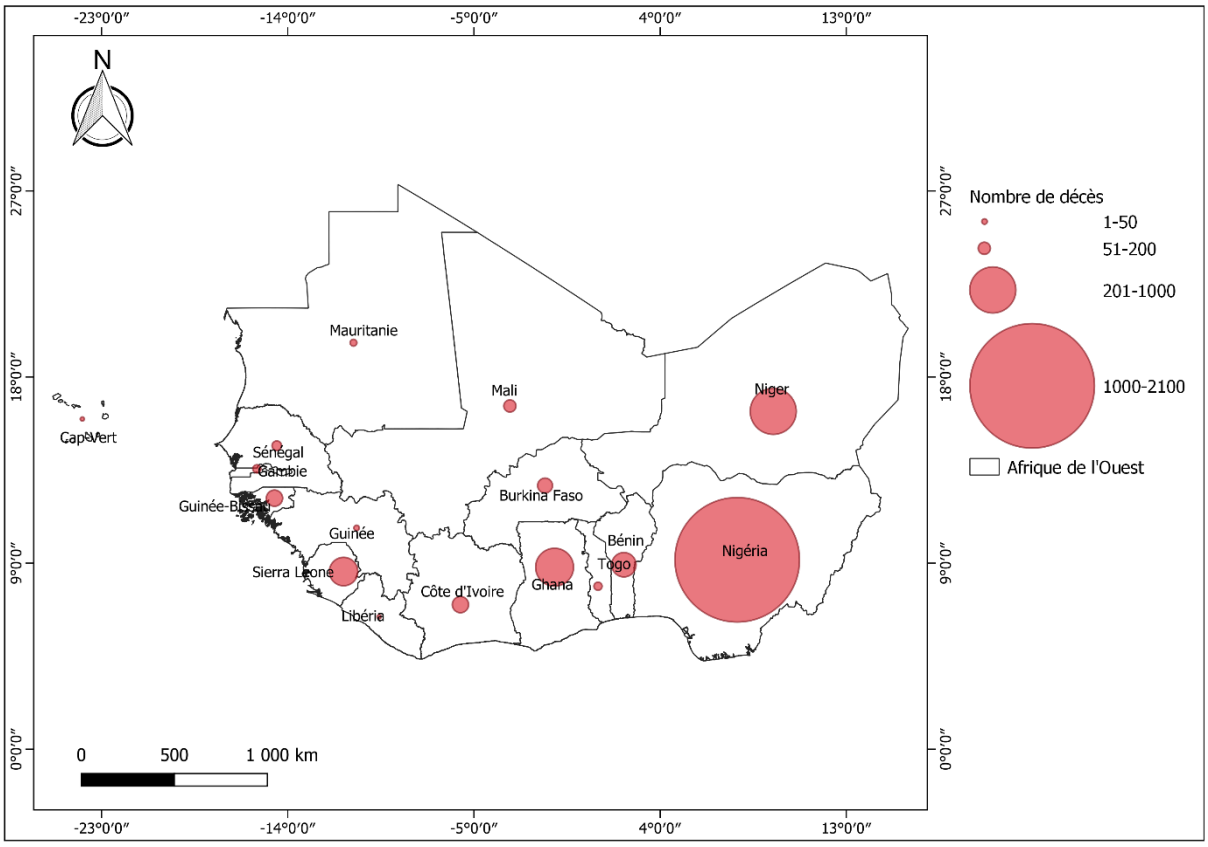


Figure 10 : Répartition spatiale des personnes décédées dans les pays de l'Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022 à cause des inondations

2.4. Compilation des trois bases de données

Afin d'exposer au mieux les impacts des inondations en Afrique de l'Ouest à partir des trois bases de données, nous avons considéré deux éléments dans le développement d'une nouvelle base de données : le minimum et le maximum de la variable à étudier parmi les trois bases de données. Cette fourchette reflète l'intervalle dans lequel pourrait se trouver l'information réelle que nous recherchons au niveau de chaque événement.

2.4.1 Bande d'incertitude de l'évolution de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest

La Figure 11 présente la bande d'incertitude de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022. Deux grandes tendances sont à observer. La première montre une quasi-invariabilité de la fréquence des inondations de 1966 à 1983. La seconde tendance expose une évolution graduelle de la fréquence des inondations à partir de 1984. Les années 2008, 2011, 2013, 2017, 2019 et 2020 sont celles pendant lesquelles se sont produites le plus d'inondations depuis 1966. L'année 2014 avec cinq (5) inondations a été celle présentant très

peu d'inondations depuis l'augmentation de la fréquence des inondations à partir de 1984 et 2010 a été l'année ayant connu le maximum d'inondations depuis 1966 avec 24 inondations.

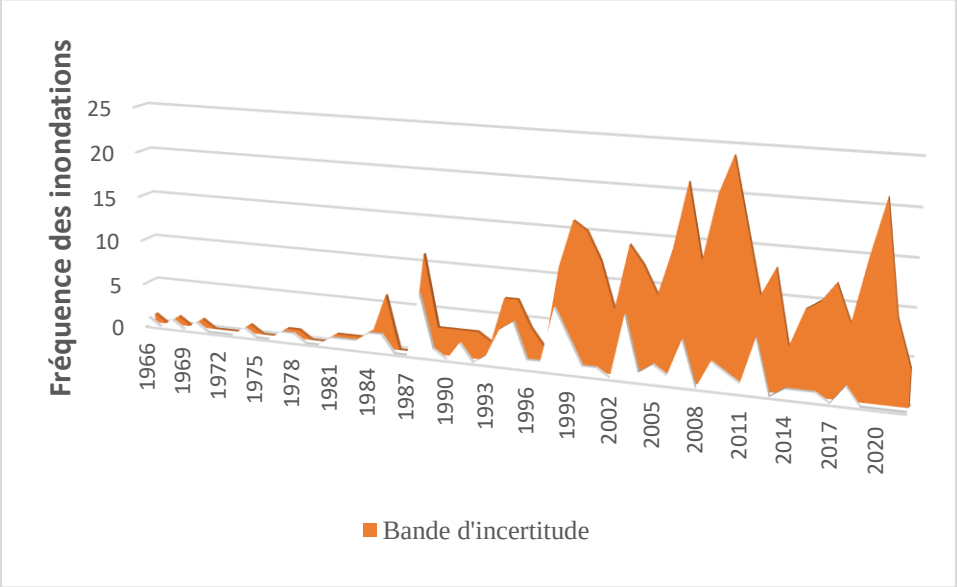


Figure 11 : Bande d'incertitude de la fréquence des inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022

2.4.2. Bande d'incertitude de l'évolution des personnes déplacées en Afrique de l'Ouest

La Figure 12 présente la bande d'incertitude du nombre de personnes déplacées en Afrique de l'Ouest. Deux types de tendances sont également à observer. De 1966 à 1984 le nombre de personnes déplacées reste très faible et de 1986 à 2020 l'évolution graduelle et sporadique du nombre de personnes déplacées. 2007 est l'année ayant connu le plus de personnes déplacées avec plus de 700.000 déplacés. Entre autres les années 1988, 1990, 1999 et 2020 sont les plus marquées par des masses de personnes déplacées avec plus de 400.000 personnes déplacées.

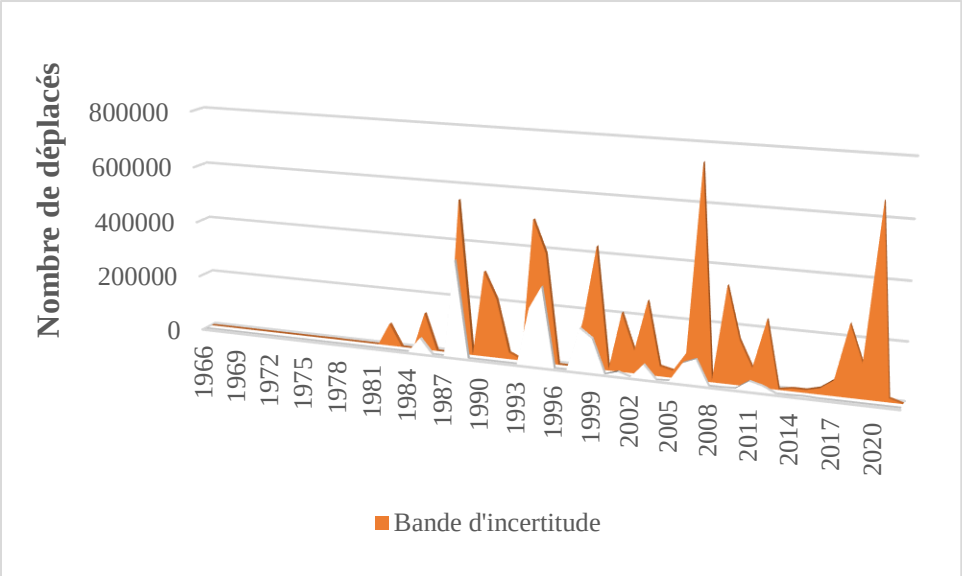


Figure 12 : Bande d'incertitude du nombre de personnes déplacées en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022

2.4.3. Bande d'incertitude de l'évolution des personnes décédées en Afrique de l'Ouest

La Figure 13 présente la bande d'incertitude du nombre de décès liés aux inondations en Afrique de l'Ouest. Deux grandes parties sont remarquables. La première traduit l'absence de victime de 1966 à 1983. La deuxième traduit le début et l'évolution exponentielle du nombre de décès à partir de 1984 marquée par des pics de décès en 2007, 2010, 2012, 2017 et 2020. 2012 est l'année ayant connu le plus de décès depuis 1966 (pratiquement 500 cas de décès).

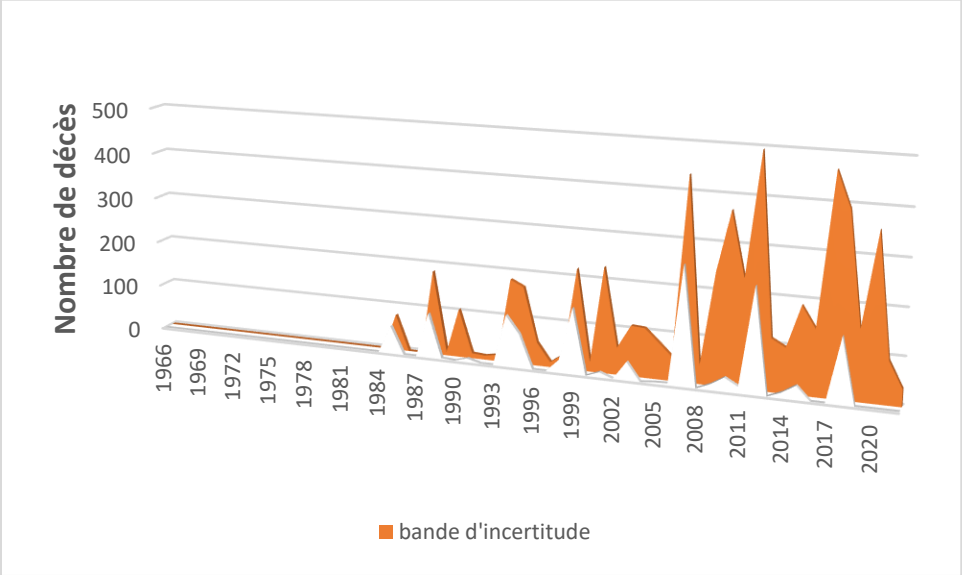


Figure 13 : Bande d'incertitude du nombre de décès lié aux inondations en Afrique de l'Ouest de 1966 à 2022

2.5. Tests statistiques

Cette section présente les résultats des analyses de tendances sur les données relatives à la fréquence et aux impacts des inondations en Afrique de l'Ouest. La tendance générale des séries chronologiques de la fréquence des inondations et des impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest a été étudiée après avoir identifié des ruptures possibles dans ces séries de données. En observant le Tableau 2, les p-values des tests de Pettitt et de Mann-Kendall modifié sont toutes inférieures à 0.001 ce qui signifie qu'il y a rupture et tendance dans les séries de données. La rupture dans la fréquence des inondations s'est produite en 1997 tandis qu'au niveau des impacts humains la rupture s'est produite en 1987. Le test de Mann-Kendall modifié montre clairement des tendances haussières dans l'évolution de la fréquence et des impacts des inondations en Afrique de l'Ouest. Par ailleurs il y a cinq fois plus d'inondations, vingt-cinq fois plus de personnes déplacées et quarante fois plus de décès depuis les ruptures dans les tendances des impacts liés aux inondations. Ce résultat concorde avec les observations visuelles au niveau -des bandes d'incertitudes établies en amont.

Tableau 2 : Résultats des tests statistiques

Test	Pettitt				Mann-Kendall modifié	
	p-value	Année de rupture	Moyenne		p-value	Tendance
Fréquence des inondations	8.535E-09	1997	1966 à 1997	2	3.433E-11	Hausse
			1998 à 2022	13		
Nombre de déplacés	1.24E-06	1987	1966 à 1987	6500	1.033E-07	Hausse
			1988 à 2022	170000		
Nombre de décès	4.032E-08	1987	1966 à 1987	4	1.259E-11	Hausse
			1988 à 2022	157		

2.6. Discussion

Dans ce mémoire, la fréquence et les impacts humains des inondations dans les pays d'Afrique de l'Ouest ont été évalués.

Les différences observées entre les bases de données montrent qu'il urge de porter un regard critique sur les sources de données afin d'identifier les bases les plus fiables et les plus précises pour répondre aux objectifs de l'étude. Selon Granda (2015) les informations et classifications associées à un même évènement peuvent être très différentes selon les critères utilisés et les propres intérêts de l'institution en charge de sa gestion. La mise en évidence des similitudes et des dissemblances entre les bases de données a permis de compiler les données sources pour alimenter une nouvelle base qui soit utilisable dans le cadre de cette étude. Toutefois, cette compilation donne des résultats assez proches de la réalité. En effet les années trouvées comme très exceptionnelles sont en effet concrètes, de même que les pays les plus touchés en termes d'effectifs. Par ailleurs on pourrait également utiliser les moyennes ou les écarts-types pour la réalisation des bandes d'incertitudes.

L'évaluation ayant porté sur la fréquence des inondations, le nombre de personnes déplacées et le nombre de personnes décédées suite aux inondations, une répartition spatio-temporelle a été effectuée afin de quantifier ces variables.

Du point de vue spatial, le Nigéria, le Niger, le Ghana, le Bénin, la Sierra Leone et la Mauritanie font partie des pays les plus touchés par les inondations. En réponse à ces désastres, le PAM a été sur le terrain pour fournir une aide d'urgence de trois mois à 427.000 personnes victimes des inondations dans les pays les plus touchés, notamment le Tchad, la Gambie, le Nigeria, Sao Tomé-et-Principe et la Sierra Leone (ONU, 2022). Entre autres, le PAM affirme que les prix du maïs ont augmenté de 106%, 78% et 42% respectivement au Ghana, au Niger et au Nigéria. Au Burkina Faso, les prix du sorgho ont augmenté de 85%. En Mauritanie, le blé a augmenté de 49%, tandis qu'en Sierra Leone, le riz importé a connu une hausse vertigineuse de 87% (ONU, 2022). Cela fait suite aux inondations qui ont durement frappé ces pays de l'Afrique de l'Ouest. Sur le point de vue temporel, l'analyse des résultats montre une augmentation fulgurante des variables étudiées à partir des années 1990 ainsi qu'un lien étroit entre elles. Certains auteurs soutiennent ces résultats, comme par exemple (Badou et al., 2017; Kovacs et al., 2017; MPDEPP-CAG, 2011; Wallez, 2010). Ils insistent sur les effets du changement climatique et de l'urbanisation incontrôlée dans les pays en voie de développement comme source de ces augmentations. Badou et al. (2017) ont également insisté lors de leurs

travaux, portant sur l'évaluation des changements hydro climatiques récents dans quatre affluents du bassin du fleuve Niger, sur l'augmentation du ruissellement et des précipitations à partir de 1970. Par ailleurs, nos résultats ont montré que l'année 2012 demeure l'année la plus meurtrière liée aux inondations. Ighobor (2014) a confirmé ce résultat dans sa publication portant sur le sujet.

Dans le contexte du Bénin, 2010 reste l'année la plus meurtrière liée aux inondations (MPDEPP-CAG, 2011) . Les inondations de cette année ont eu un impact sans précédent sur les populations rurales et urbaines. Avec plus de 55 communes affectées à divers degrés (sur les 77 que compte le pays), environ 680.000 personnes étaient touchées par cette catastrophe et 46 personnes avaient perdu la vie. Ce rapport témoigne de la place qu'occupe le Bénin parmi les pays les plus touchés par les impacts des inondations.

Les tendances à la hausse de la fréquence et des impacts humains des inondations détectées par le test de Mann-Kendall modifié pourraient être liées aux effets du changement climatique. En effet, d'après Gemenne et al. (2017) on observe une augmentation significative de la fréquence et de l'intensité des inondations attribuables au réchauffement climatique. Ils ont également noté une érosion côtière sévère sur l'ensemble du littoral, de la Mauritanie au Nigeria, aux évènements climatiques extrêmes les plus tangibles qui touchent les populations d'Afrique de l'Ouest.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'évaluer la fréquence ainsi que les impacts humains des inondations en Afrique de l'Ouest. Elle permettra de prendre connaissance des risques d'inondations historiques et existants dans ces pays, car les pays émergents doivent commencer par se préparer aux effets du changement climatique.

Les éléments ayant servi à l'évaluation sont la fréquence des inondations, le nombre de personnes déplacées ainsi que le nombre de personnes décédées. Trois bases de données très populaires ont été utilisées pour le traitement des informations. Il s'agit de la base EM-DAT, Dartmouth Flood Observatory et Global Flood Database. Les données issues de ces bases ont été réparties sur le plan temporel et spatial afin de déterminer l'évolution des variables dans le temps ainsi que leur ampleur au niveau de chaque pays.

Les résultats montrent clairement une discordance entre les données de chacune des bases à cause de leurs propres critères de sélection ; ce qui a conduit à l'élaboration d'une bande d'incertitude qui donne un large aperçu sur l'ampleur des impacts mis en jeu. Il est également constaté une rupture de tendance en 1997 dans l'évolution de la fréquence des inondations et une rupture de tendance en 1987 dans l'évolution des impacts des inondations en Afrique de l'Ouest montrant une augmentation progressive de la fréquence des inondations, du nombre de personnes déplacées et décédées. La répartition spatiale a montré que les pays d'Afrique de l'Ouest les plus touchés sont le Nigéria, le Niger, le Ghana, la Sierra leone et le Bénin.

L'avantage de cette étude sera d'élever le niveau d'alerte des décideurs afin qu'ils prennent connaissance des effets de plus en plus inquiétants des changements climatiques comme les inondations et de permettre l'intégration des politiques de lutte contre les inondations. Les perspectives seraient d'une part d'évaluer les performances des programmes de collecte de données dans les pays de l'Afrique de l'Ouest et d'y apporter des améliorations afin d'avoir une bonne précision des analyses des évènements hydrologiques, et d'autre part de faire une évaluation plus poussée de certains impacts liés aux inondations telles que les perturbations socio-économiques des inondations en Afrique de l'Ouest. À l'avenir on pourrait utiliser d'autres tests statistiques tels que le test du rapport de vraisemblance, le test de corrélation sur le rang ou encore la statistique U de Buishand de nature Bayésienne qui servent également à détecter des ruptures dans les séries de données. On pourrait aussi utiliser les écarts-types ou les moyennes pour la réalisation des bandes d'incertitudes. L'augmentation du nombre de bases de données peut améliorer la qualité des résultats trouvés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Altenburg & Wymenga. (2017). *Observatoire: BASSIN DU NIGER SUPÉRIEUR ET DELTA INTÉRIEUR DU NIGER*.

B. N. Nka, L. Oudin, H. Karambiri, J. E. P. P. R. (2015). *Trends_in_West_African_floods_a_comparative_analys fr.pdf_https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010065528*.

Badou, F. D., Kapangaziwiri, E., Diekkrüger, B., Hounkpè Jean, & Afouda, A. (2017). Evaluation of recent hydro-climatic changes in four tributaries of the Niger River Basin (West Africa). *Hydrological Sciences Journal*, *62*(5), 715–728. https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1250898

CCAFS. (2016). *L'Afrique de l'ouest - notre travail*. https://ccafs.cgiar.org/fr/lafrique-de-louest-notre-travail#:~:text=L'Afrique de l'ouest est composée de 16 pays,Sénégal%2C Sierra Leone et Togo.

Chesneau, C. (2018). *Introduction aux tests, statistiques, https://chesneau.users.lmno.cnrs.fr/*. 1–24.

CILSS. (2016). Climate | West Africa. In *West Africa: Land Use and Land Cover Dynamics*. https://eros.usgs.gov/westafrica/node/157

CRED & UNDRR. (2019). Disasters in Africa: 20 Year Review 2000-2019_https://cred.be/sites/default/files/CredCrunch56.pdf. *Cred & Undrr*, *56*, 1–2.

Croiset, N., & Lopez, B. (2013). *Outil d'analyse statistique des s éries temporelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Manuel d'utilisation.* 64.

Csao/Ocde. (2007). *L'Afrique de l'Ouest : Une région en mouvement Une région en mutation Une région en voie d'intégration_https://www.oecd.org/fr/csao/publications/38512130.pdf*. 61.

DFO. (2006). Dartmouth flood observatory_https://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html. In *Choice Reviews Online* (Vol. 43, Issue 11, pp. 43-6540-43–6540). https://doi.org/10.5860/choice.43-6540

EM-DAT. (2019). *EM-DAT | The international disasters database_https://www.emdat.be/*. https://www.emdat.be/

Gemenne, F., Blocher, J., De Longueville, F., Vigil diaz telenti, S., Zickgraf, C., Gharbaoui, D., & Ozer, P. (2017). Changement climatique, catastrophes naturelles et déplacements de populations en Afrique de l'Ouest http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_413_02.pdf. *Geo-Eco-Trop*, *41*(3), 317–337.

GFD. (2022). *Global Flood Database_https://global-flood-database.cloudtostreet.ai/#*. https://global-flood-database.cloudtostreet.ai/#interactive-map

Gharechaee, H., Khosravi, H., Hosseini, F. S., & Nasrollahi, M. (2016). *Analyse des tendances et détection des fluctuations des précipitations dans les régions arides et semi-arides*.

Granda, S. (2015). *Critique et analyse des bases de données sur les catastrophes naturelles pour la caractérisation des évènements hydro-météorologiques à fort impact socio-économiques Shirley Granda_https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01112103*.

Hahn-hadjali, K., & Schmidt, M. (2010). La végétation de l'Afrique de l'Ouest_https://www.researchgate.net/publication/230816315_Vegetation_of_West_Africa. *Biodiversity Atlas of West Africa II (Pp.78-85)Chapter: 3.1*, 78–85.

Ighobor, K. (2014). Inondations : réduire leur impact en Afrique de l'Ouest. In *Afrique Renouveau* (p. 8). https://www.un.org/africarenewal/fr/a-la-une/inondations-réduire-leur-impact-en-afrique-de-louest

Kipré, G., & Pierre, M. A. N. et. (1983). Afrique De L'ouest. In *Afrique De L'ouest*. https://doi.org/10.1016/c2013-0-03705-x

Kovacs, Y., Doussin, N., & Gaussens, M. (2017). *Risque d'inondation et villes des pays en développement. Notes techniques.* 111. http://librairie.afd.fr

MPDEPP-CAG. (2011). *Inondation au Bénin. Rapport d'Evaluation des Besoins Post Catastrophiques*. 84. https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/pda-2011-benin-fr.pdf

Nouaceur, Z. (2020). La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne. *Physio-Géo, Volume 15*, 89–109. https://doi.org/10.4000/physio-geo.10966

OCHA. (2010). *Des inondations dévastatrices en Afrique de l'Ouest et centrale - Benin _ ReliefWeb_https://reliefweb.int/report/benin/des-inondations-d%C3%A9vastatrices-en-afrique-de-louest-et-centrale*.

OCHA. (2012). *Overview : Impact of floods West and Central Africa More than 1 . 5 million people affected by the heavy rains_https://reliefweb.int/map/niger/overview-impact-floods-west-and-central-africa-15-september-2012*.

ONU. (2022). *Afrique de l'Ouest _ des inondations déciment des vies et des terres cultivées _ _ 1ONU Info_https://news.un.org/fr/story/2022/10/1128902*.

Wallez, P. L. (2010). *CORE View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk provided by Savoirs UdeS_https://core.ac.uk/download/pdf/51340312.pdf*.

ANNEXE

1. Scripts des tests statistiques

1.1.Données sur la fréquence des inondations

- **Pour transformer les données en numérique**

setwd("G:/My Drive/memoire licence/données à tester/csv") : c'est le chemin d'accès au fichier à tester.

d1=read.csv2("occurence.csv",header =TRUE): d1 représente les données initiales sous format csv.

d2=zoo(d1$occurence, order.by = d1$fusion) : d2 sont les données obtenues après l'application de la librairie zoo.

as.numeric(d2)

d3=as.numeric(d2) : d3 représente les données numériques

- **Test de pettitt**

library(trend)

pettitt.test(d3)

- **Test de Mann-Kendall modifié**

library(modifiedmk)

mmkh(d3)

1.2.Données sur les personnes déplacées

- **Pour transformer les données en numérique**

setwd("G:/My Drive/memoire licence/données à tester/csv") : c'est le chemin d'accès au fichier à tester.

d1=read.csv2("deplace.csv",header =TRUE): d1 représente les données initiales sous format csv.

d2=zoo(d1$deplace, order.by = d1$fusion) : d2 sont les données obtenues après l'application de la librairie zoo.

as.numeric(d2)

d3=as.numeric(d2) : d3 représente les données numériques

- **Test de pettitt**

library(trend)

pettitt.test(d3)

- **Test de Mann-Kendall modifié**

library(modifiedmk)

mmkh(d3)

1.3.Données sur les personnes décédées

- **Pour transformer les données en numérique**

setwd("G:/My Drive/memoire licence/données à tester/csv") : c'est le chemin d'accès au fichier à tester.

d1=read.csv2("deces.csv",header =TRUE): d1 représente les données initiales sous format csv.

d2=zoo(d1$deces, order.by = d1$fusion) : d2 sont les données obtenues après l'application de la librairie zoo.

as.numeric(d2)

d3=as.numeric(d2) : d3 représente les données numériques

- **Test de pettitt**

library(trend)

pettitt.test(d3)

- **Test de Mann-Kendall modifié**

library(modifiedmk)

mmkh(d3)