



**ANALYSE DE LA VULNERABILITE BIOPHYSIQUE AU RISQUE  
D'INONDATIONS ET MESURES DE PREVENTION : CAS DE  
L'ESPACE « GRAND OUAGA » AU BURKINA FASO**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE  
**MASTER**  
SPECIALITE GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES  
AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES (GAAH)

---

Présenté et soutenu publiquement le 24 janvier 2024 par :

**Ahmad Abdoullah SOURABIÉ (20170538)**

**Encadrants :**

**Dr. Tazen FOWE**, Maître-Assistant, Enseignant-chercheur, Institut 2iE

**M. Karim TRAORE**, Doctorant (LEHSA), Institut 2iE

**Structure d'accueil : Laboratoire Eaux, Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA), 2iE**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. (MC) Harinaivo Anderson ANDRIANISA

Membres et correcteurs : Dr. Moussa Bruno KAFANDO

Dr. Cheick Oumar ZOURE

**Promotion [2023/2024]**

## **DEDICACE**

---

C'est avec une immense fierté et une profonde reconnaissance que je dédie très affectueusement ce travail à ma famille.

À mon père, Yaya SOURABIÉ

À ma mère, Ahoua SIRIMA

À mes frères, Mouhamad et Yassine

Vos encouragements et votre soutien multiforme et constant m'ont donné la force nécessaire pour surmonter les obstacles.

Recevez en ces mots l'hommage que je vous rends.

## CITATION

---

**« LES HOMMES N'ACCEPTENT LE CHANGEMENT  
QUE DANS LA NÉCESSITÉ ET ILS NE VOIENT  
LA NÉCESSITÉ QUE DANS LES CRISES. »**

**JEAN MONNET (1888-1979)**

## REMERCIEMENTS

---

C'est l'occasion pour moi ici d'exprimer ma gratitude profonde et mes très vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de fin de cycle.

Tout d'abord je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour la qualité de la formation et les compétences acquises à l'issue de ce cycle d'ingénieur. Spécialement à mes enseignants pour leurs dévouements à l'application de « l'économie de la connaissance ».

Ma profonde gratitude à l'endroit de mes encadrants, Dr. Tazen FOWE et M. Karim TRAORE pour avoir bénéficié de vos conseils combien importants, de vos remarques très constructives pour l'aboutissement de ce mémoire. Votre rigueur scientifique et critiques m'ont été d'un grand atout pour mon expérience dans la recherche scientifique. A M. Karim TRAORE, que votre thèse soit l'aboutissement de nombreuses années de travail acharné, que la réussite vous accompagne tout au long de vos travaux. Votre disponibilité et votre patience infinie ont été d'une valeur inestimable.

Mes remerciements au responsable du LEHSA, Pr. Yacouba KONATE et à tout le personnel du laboratoire, pour l'accueil et le cadre de travail mis à ma disposition durant ce stage

J'exprime également ma reconnaissance envers mes camarades de promotion, avec qui nous avons cheminés durant ce parcours. A mes collègues stagiaires du LEHSA pour les conseils et encouragements. Particulièrement à BANDE Abdoulaye, mon compagnon de stage et de terrain, qui lui, a travaillé sur la vulnérabilité sociale au risque d'inondations et stratégies endogènes de gestion.

Un grand merci à ma famille pour les soutiens multiformes et les encouragements.

## RESUME

---

Les zones urbaines en Afrique connaissent une tendance à l'augmentation de la fréquence des inondations. Le Burkina Faso, notamment l'espace « Grand Ouaga », subit des inondations récurrentes aux conséquences dévastatrices. Cette étude porte sur une compréhension des facteurs biophysiques contribuant à ces risques afin de les intégrer dans les politiques et plans de développement urbain. L'étude s'appuie sur une approche méthodologique qui se base sur une analyse géo-historique des événements d'inondations sur la période de 1986-2022. S'en suit une spatialisation des événements pour identifier les zones de l'espace « Grand Ouaga » les plus fréquemment inondées. Pour l'analyse des pluies journalières (période de 1986 à 2022), une analyse fréquentielle est effectuée pour vérifier le caractère exceptionnel ou pas des pluies ayant occasionnées les inondations. La détection des zones vulnérables est faite par application de la méthode d'analyse hiérarchique des procédés de Saaty aux facteurs biophysiques impliqués dans la survenue des inondations. Cette étude met en lumière une augmentation spatio-temporelle du risque d'inondations et révèle une corrélation entre l'expansion urbaine et l'augmentation des inondations. Les secteurs 35, 11, 14, 15 et 17 sont les plus touchés avec respectivement 14, 12 et 7 événements d'inondation. L'analyse des Pmaxj a montré que la quasi-totalité des pluies survenues dans l'espace « Grand Ouaga » est classée dans la catégorie des événements de type normal pour les pluies inférieure à 87,1 mm (78,05 %). Les pluies de type anormal dont les hauteurs de pluie sont comprises entre 87,1 mm et 99,7 mm, représentent 7,32 % contre 9,75 % de type très anormal (99,7 mm à 134 mm) et 4,88 % de type très exceptionnel (>186 mm). L'exploration des facteurs hydrographiques (densité de drainage, indice d'humidité topographique, distance par rapport aux cours d'eau) et géomorphologiques (altitudes, pente, sols) révèle que l'espace « Grand Ouaga » est moyennement vulnérable au risque d'inondation avec une proportion de 53,70%. Les zones de forte vulnérabilité 13,31 % se concentrent autour des cours d'eau et plans d'eau. Les zones de faible vulnérabilité représentent 32,99%. Des mesures de protection sont proposées afin de réduire les impacts d'inondation.

**Mots clés :** Analyse multicritère, Inondations, Vulnérabilité biophysique, Grand Ouaga, Burkina Faso.

## ABSTRACT

---

Floods represent the primary global natural risk. In West Africa, urban areas are witnessing a rising trend in floods, exacerbated by rapid and often unplanned urbanization. Burkina Faso, particularly the "Grand Ouaga" area, experiences recurrent floods with devastating consequences. This study focuses on a comprehensive understanding of the biophysical factors contributing to these risks to integrate them into urban development policies and plans. The methodological approach is based primarily on a geo-historical analysis of flood events from 1986 to 2022. Subsequently, event spatialization aims to identify the most frequently flooded areas in the "Grand Ouaga" region. The analysis of meteorological factors was conducted using daily rainfall data provided by the National Meteorology Agency from 1986 to 2022. Frequency analysis is conducted to verify the exceptional nature of the rains leading to floods, followed by an evolving trend analysis of various rainfall indices. Vulnerable zone detection is carried out by applying a multicriteria analysis method of biophysical factors involved in flood occurrences. This study highlights a spatiotemporal increase in flood risk. Maps of flooded areas from 1986 to 2022 reveal a correlation between urban expansion and increased floods, with sectors 35, 11, 14, 15, and 17 being the most affected with 14, 12, and 7 flood events, respectively. The analysis of daily maximum rainfall showed that almost all rains in the "Grand Ouaga" area fall into the normal events category for rains below 87.1 mm (78.05%). Abnormal rains (87.1 mm to 99.7 mm) represent 7.32%, while very abnormal (99.7 mm to 134 mm) ones account for 9.75%. Two highly exceptional rainfall events (more than 186 mm), constituting 4.88% of the total, were recorded. Exploring hydrographic (drainage density, topographic humidity index, distance to watercourses) and geomorphological factors (altitudes, slope, soils) through multicriteria analysis indicates that the "Grand Ouaga" area has a moderate vulnerability to flood risk, with a proportion of 53.70%. Areas of high vulnerability, at 13.31%, concentrate around watercourses and bodies of water, while low-vulnerability zones represent 32.99%. Protective measures, including retention basins, are proposed to mitigate flood impacts in the most affected areas.

**Keywords:** Multicriteria Analysis, Floods, Biophysical Vulnerability, Grand Ouaga, Burkina Faso.

## Sommaire

---

<b>DEDICACE</b> .....	I
<b>CITATION</b> .....	II
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	III
<b>RESUME</b> .....	IV
<b>ABSTRACT</b> .....	V
<b>Liste des abréviations</b> .....	VII
<b>Liste des tableaux</b> .....	VIII
<b>Liste des figures</b> .....	IX
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	1
I.1 Contexte et problématique.....	1
I.2 Questions de recherche .....	3
I.3 Hypothèse de recherche.....	4
I.4 Objectifs de l'étude.....	4
I.5 Structuration du mémoire .....	4
<b>II. ETAT DE L'ART SUR LES INONDATIONS</b> .....	5
II.1 Gestion des inondations aux Burkina Faso.....	5
II.2 Travaux antérieurs sur le risque d'inondation .....	7
II.3 Clarification des concepts liés au risque d'inondation .....	7
<b>III. MATERIELS ET METHODES</b> .....	14
III.1 Présentation de la zone d'étude .....	14
III.2 Données et outils utilisés.....	20
III.3 Méthodologie de l'étude.....	22
<b>IV. RESULTATS</b> .....	36
IV.1 Répartition spatio-temporelle des inondations dans l'espace « Grand Ouaga ».....	36
IV.2. Analyse des facteurs biophysiques impliqués dans la survenue des inondations .....	44
IV.4 Mesures de protection des zones les plus inondées .....	60
<b>V. DISCUSSION</b> .....	63
V.1 De l'analyse de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga » .....	63
V.2 De l'analyse des facteurs pluviométriques dans la survenue des inondations .....	65
V.3 De l'analyse des facteurs physiques dans la survenue des inondations .....	67
V.4 Limites de l'étude .....	67
<b>VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b> .....	69
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	71
<b>ANNEXES</b> .....	81

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

<b>2iE</b>	: Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
<b>AMC</b>	: Analyse multicritère
<b>AHP</b>	: Analytical Hierarchy Process
<b>ANAM-BF</b>	: Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso
<b>BDOT</b>	: Base de Données de l'Occupation des Terres
<b>BNDT</b>	: Base Nationale des Données Topographique
<b>BUNASOLS</b>	: Bureau National des Sols
<b>CONASUR</b>	: Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation
<b>DGUVT</b>	: Direction Générale de l'Urbanisme, de la Viabilisation et de la Topographie
<b>ETCCDI</b>	: Expert Team on Climate Change Detection and Indices
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization
<b>GEV</b>	: Generalized Extreme Values
<b>HYFRAN</b>	: Hydrological Frequency Analysis
<b>IGB</b>	: Institut Géographique du Burkina
<b>INSD</b>	: Institut National de la Statistique et de la Démographie
<b>MNT</b>	: Modèle Numérique de Terrain
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>OCHA</b>	: Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
<b>ORSTOM</b>	: Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
<b>PACVU</b>	: Projet d'Amélioration des Conditions de Vie Urbaines
<b>PADO</b>	: Projet d'Assainissement et de Drainage de Ouagadougou
<b>POS</b>	: Plan d'Occupation des Sols
<b>RGPH</b>	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
<b>SADRS</b>	: Système d'Aide à la Décision à Référence Spatiale
<b>SDAU</b>	: Schémas Directeur d'Aménagement Urbain
<b>SDAGO</b>	: Schéma Directeur d'Aménagement du Grand Ouaga
<b>SIG.bf</b>	: Service d'Information du Gouvernement du Burkina
<b>SRTM</b>	: Shuttle Radar Topography Mission
<b>TWI</b>	: Topographic Wetness Index
<b>UNDRR</b>	: United Nations Office for Disaster Risk Reduction
<b>USGS</b>	: United States Geological Survey

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b>Tableau 1</b> : Revue documentaire sur les facteurs biophysiques de vulnérabilité.....	10
<b>Tableau 2</b> : Communes rurales de l'espace "Grand Ouaga" .....	19
<b>Tableau 3</b> : Indices pluviométriques calculés sur la période 1986-2022 (source : ETCCDI). 27	
<b>Tableau 4</b> : Echelle numérique de comparaison binaire (Saaty, 1990).....	31
<b>Tableau 5</b> : Indices Aléatoire (Saaty, 1990).....	34
<b>Tableau 6</b> : Classification des évènements d'inondations .....	44
<b>Tableau 7</b> : Récapitulatif de la reclassification des facteurs biophysiques .....	55
<b>Tableau 8</b> : Matrice de comparaison par paire .....	56
<b>Tableau 9</b> : Valeurs des vecteurs propres et coefficients de pondérations.....	56
<b>Tableau 10</b> : Matrice de comparaison normalisée.....	57
<b>Tableau 11</b> : Matrice de poids propres .....	58
<b>Tableau 12</b> : Synthèse du calcul du ratio de cohérence .....	58

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 1</b> : Facteurs de vulnérabilité aux inondations (Karambiri et al., 2015).....	8
<b>Figure 2</b> : Localisation de l'espace "Grand Ouaga" .....	14
<b>Figure 3</b> : Pluies moyennes mensuelles et cumuls moyens de pluie à Ouagadougou sur la période de 1986-2022.....	15
<b>Figure 4</b> : Réseau hydrographique de l'espace "Grand Ouaga".....	17
<b>Figure 5</b> : Evolution des effectifs de la population par milieu de résidence de 1985 à 2022..	19
<b>Figure 6</b> : Méthodologie globale de l'étude.....	22
<b>Figure 7</b> : Nombre d'inondation par an de 1986 à 2022.....	36
<b>Figure 8</b> : Nombre d'inondations mensuel, nombre de jours de pluie et pluviométrie à Ouagadougou .....	37
<b>Figure 9</b> : Répartition des inondations par commune de l'espace « Grand Ouaga » .....	38
<b>Figure 10</b> : Répartition des inondations par secteurs de 1986 à 2022.....	39
<b>Figure 11</b> : Répartition des secteurs inondés sur la période de 1986 à 2002 .....	40
<b>Figure 12</b> : Répartition des secteurs inondés sur la période de 2002 à 2012 .....	41
<b>Figure 13</b> : Répartition des secteurs inondés sur la période de 2013 à 2022 .....	42
<b>Figure 14</b> : Répartition spatiale des quartiers inondés sur la période de 1986 à 2022.....	43
<b>Figure 15</b> : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice PRCPTOT à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 - 2022.....	46
<b>Figure 16</b> : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice RX1day et RX5day à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 – 2022.....	47
<b>Figure 17</b> : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices R95p et R99p à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 à 2022.....	48
<b>Figure 18</b> : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices CWD à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 à 2022 .....	48
<b>Figure 19</b> : Cartes des facteurs géomorphologiques et hydrographiques.....	52
<b>Figure 20</b> : Vulnérabilité biophysique de l'espace "Grand Ouaga" .....	60
<b>Figure 21</b> : Zones de forte vulnérabilité des quartiers Bissighin, Kilwin et Nonghin.....	62

## **I. INTRODUCTION**

---

### **I.1 Contexte et problématique**

Depuis quelques décennies, les catastrophes naturelles plus dévastatrices semblent survenir à un rythme plus accéléré à l'échelle mondiale (SOKEMAWU, 2017). Les catastrophes survenues pour la plupart, se sont manifestées principalement par des sécheresses et des inondations entraînant des pertes en vies humaines et des pertes économiques importantes, fragilisant le tissu social et entraînant des déplacements de populations. Ces événements extrêmes d'origine anthropique ou naturelle, affectent pratiquement toutes les régions du monde. Les données de la Stratégie internationale des Nations Unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNDRR), ont montré que les catastrophes naturelles ont affecté plus de 34 millions de personnes sur l'ensemble du continent africain (dont 19 millions en Afrique de l'ouest) entre 2011 et 2012.

Les inondations constituent le premier risque de catastrophes naturelles dans le monde, compte tenu du nombre d'événements et du nombre d'individus affectés. Elles représentent plus d'un quart des catastrophes naturelles et constituent un véritable enjeu pour le développement urbain dans le monde (Banque Mondiale, 2010). Environ 1,47 milliard de personnes sont exposées à un risque d'inondation, et plus d'un tiers d'entre elles à des catastrophes aux effets dévastateurs (Rentschler and Salhab, 2020).

Selon le Cadre d'Action de Hyogo (2005-2015), les risques hydro-climatiques affectent plus les pays en développement dont les communautés urbaines souvent dépourvues de solutions durables de gestion et de mitigation de ces événements à fort impact. Aussi, du fait des conditions socio-économiques plus faibles que dans les pays développés, les impacts des événements extrêmes y sont 20 à 30 fois plus importants (Guivarch et Taconet, 2020). Avec plus de la moitié de la population mondiale vivant dans les zones urbaines, ces phénomènes deviennent une préoccupation croissante pour les populations, les scientifiques et les décideurs politiques (Nasiri et Shahmohammadi-Kalalagh, 2013).

La problématique de la gestion des risques demeure depuis près d'un demi-siècle au cœur des préoccupations internationales et nationales aussi bien au niveau politique, institutionnel et scientifique, qu'au sein des populations dans leur ensemble. (Dauphiné et Provitolo, 2013). L'étude des risques est devenue un centre d'intérêt majeur pour toutes les sociétés du fait de

son impact grandissant sur le mode et la qualité de vie des populations à travers le monde (Da, 2021).

Les zones urbaines d'Afrique sont particulièrement affectées par les phénomènes d'inondations successives lors des saisons des pluies (Diongue, 2014). En Afrique de l'Ouest, les inondations successives de 2009 et 2010 ont affecté plus de 2,1 millions de personnes (Gemenne et al., 2017). Dans ces zones urbaines, la vulnérabilité aux inondations est accentuée avec la croissance démographique, l'urbanisation rapide et incontrôlée de zones à risque (habitats spontanés), la faiblesse des dispositifs de préparation et de réponses aux catastrophes, l'insuffisance des informations climatiques et les faibles capacités des institutions (Osman-Elasha, 2009).

Cette croissance démographique urbaine ne cesse de progresser, particulièrement dans les Pays en Développement (PED). L'exode rural et la transition démographique naturelle des sociétés font croître le nombre d'habitants des villes à un rythme soutenu. Les villes des pays à faibles revenus sont donc confrontées au double problème de l'augmentation démographique et de leur vulnérabilité croissante face aux changements climatiques.

À l'instar des autres pays de la zone sahélienne, les grandes villes du Burkina Faso font face à ces problèmes d'inondations (Hangnon et al., 2015; Tomety, 2017). Les inondations sont devenues récurrentes à partir des années 2000 dans la ville de Ouagadougou (Bonnet et Robert, 2018; Hangnon et al., 2015). La fréquence moyenne des inondations est passée de 1 événement par an sur la période 1986 à 2005 à 5 événements par an sur la période 2006 à 2016 sur l'ensemble du territoire burkinabè (Fowe et al., 2019).

Les saisons pluvieuses rythment avec des épisodes d'inondations qui causent d'importants dégâts humains et matériels. Suite à la pluie exceptionnelle du 1<sup>er</sup> septembre 2009 survenue dans la ville de Ouagadougou et ses environs, le Burkina Faso a été confronté aux pires inondations de son histoire. En effet, 261,9 mm de hauteurs d'eau sont tombées sur Ouagadougou pendant plus de 10 heures et ont affecté 23773 ménages faisant 150000 sinistrés et 9 morts, endommagé 33035 habitations et 12 ouvrages d'art (ponts, dalots et digues). Les pertes, dégâts et dommages ont été évalués à plus de 60 milliards de francs CFA (Sanfo, 2018). Les conséquences des précipitations du 1er septembre 2009 ont davantage marqué les esprits et révélé la vulnérabilité de la ville au risque d'inondation (Bonnet et Robert, 2018; Hangnon et al., 2015). Depuis cet épisode douloureux de l'histoire de la ville, les pouvoirs publics accordent une attention particulière au risque que représentent les inondations, via l'adoption de lois et décrets. Mais ils n'ont, pour l'instant, qu'un effet limité (Soma, 2015).

A la date du 10 septembre 2020, des dégâts liés aux inondations et aux vents violents ont été enregistrés. L'augmentation continue des personnes affectées et l'ampleur prévisible de la situation a amené le gouvernement à déclarer l'état de catastrophe naturelle (SP/CONASUR et OCHA, 2020). Il a été enregistré sur l'ensemble des 13 régions du Burkina Faso, 13 décès, 50 blessés et 563 sans-abris. Les dégâts matériels concernant les habitations affectées se résument à 3347 maisons d'habitation totalement détruites, des maisons d'habitation endommagées (1656) et 1790 abris d'urgences détruits ou endommagés. L'on note également des pertes d'animaux et de vivre.

La gravité des récentes inondations à Ouagadougou est devenue une préoccupation grandissante pour les autorités communales. De plus, la population a du mal à supporter la récurrence de ce désastre et nécessite une assistance pour y faire face. L'urbanisation planifiée dans les villes est un moyen essentiel pour les villes de lutter efficacement contre les risques d'inondation mais si elle est mal planifiée, elle contribue à aggraver ces risques (Hangnon et al., 2015). Cela passe par la prise en compte des risques dans la gestion des territoires qui s'est ainsi imposée au fil du temps comme une nécessité centrale dans l'élaboration de politiques d'aménagement. Le schéma directeur d'aménagement de la ville de Ouagadougou à l'horizon 2050 prend en compte la ville de Ouagadougou elle-même et les sept communes rurales environnantes à savoir : Pabré, Loumbila, Saaba, Koubri, Komsilga, Komki-Ipala et Tanghin -Dassouri.

L'intégration du risque d'inondation dans les politiques locales et une harmonisation avec les politiques nationales en matière d'aménagement du territoire sont plus que jamais nécessaires. Pour y parvenir, il est nécessaire de faire une analyse pointue des facteurs qui sont à l'origine de ces inondations. C'est dans cette optique que cette étude qui porte sur : « l'analyse de la vulnérabilité biophysique au risque d'inondation et mesures de prévention : cas de l'espace « Grand Ouaga » au Burkina Faso » a été initiée.

## **I.2 Questions de recherche**

Afin d'apporter une meilleure compréhension du risque d'inondation, nous tentons de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les zones de l'espace « Grand Ouaga » les plus fréquemment inondées ?
- Quelles sont les zones vulnérables au risque d'inondations de l'espace du point de vue des facteurs biophysiques ?
- Quelles mesures peuvent être mises en place pour réduire le risque d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga »

### **I.3 Hypothèse de recherche**

Les hypothèses qui peuvent découler des questions de recherches sont les suivantes :

- L'augmentation du nombre d'inondation est corrélée à l'augmentation de l'emprise de la ville ;
- Les zones à risque d'inondations sont fonction des caractéristiques physiques du milieu ;

### **I.4 Objectifs de l'étude**

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à une meilleure compréhension des facteurs biophysiques à l'origine du risque d'inondations afin de les intégrer dans les politiques et plan de développement de la ville.

Pour atteindre cet objectif général, trois objectifs spécifiques ont été formulées. Il s'est agi de

- Faire une analyse de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondations dans l'espace « Grand Ouaga » afin d'identifier les zones les plus sensibles ;
- Analyser les différents facteurs météorologiques, hydrographiques et géomorphologiques impliqués dans la survenue des inondations dans l'espace « Grand Ouaga » ;
- Proposer un plan local de protection des activités pour minimiser les impacts des inondations

### **I.5 Structuration du mémoire**

Ce travail est structuré en cinq parties. La première est consacrée à l'introduction (contexte et problématique, questions de recherche, hypothèses de recherche ainsi que les objectifs). La deuxième partie est consacrée à la revue de la littérature sur la gestion des inondations, les travaux antérieurs et l'état de l'art. Dans la troisième partie, nous présentons le matériel et la méthodologie de l'étude. Au niveau de la quatrième partie, les résultats et la discussion et la cinquième partie concerne la conclusion et les perspectives.

## **II. ETAT DE L'ART SUR LES INONDATIONS**

---

### **II.1 Gestion des inondations aux Burkina Faso**

La problématique de la gestion des risques demeure depuis près d'un demi-siècle au cœur des préoccupations internationales et nationales aussi bien au niveau politique, institutionnel et scientifique, qu'au sein de la population (Dauphiné and Provitolo, 2013). La gestion des risques d'inondation mobilise une diversité d'acteurs, qui se distinguent en deux catégories majeures : les services étatiques et les structures privées. Cette collaboration entre ces différents intervenants s'inscrit dans une stratégie globale visant à réduire les impacts dévastateurs des catastrophes naturelles, notamment les inondations. La gestion des inondations au Burkina Faso se fait à travers des stratégies à différentes échelles (Bronfort, 2017).

#### **❖ A l'échelle nationale**

Les initiatives nationales, mise en œuvre pour atténuer les impacts des inondations, s'articulent autour de politiques et de stratégies clés.

Parmi elles, la Stratégie de Croissance Accélérée et de Développement Durable (SCADD), instaurée en 2011, se positionne comme un pilier fondamental. Cette stratégie vise explicitement à réduire la pauvreté au Burkina Faso, avec la compréhension sous-jacente que la réduction de la pauvreté contribue directement à la diminution de la vulnérabilité des populations face aux inondations. Cette stratégie est soutenue par la création du Fonds National de Solidarité afin de promouvoir la lutte contre la pauvreté, l'élan de solidarité et la prise en charge des personnes défavorisées.

Parallèlement, des initiatives cruciales sont déployées dans le domaine des aménagements urbains et de la promotion du logement. L'élaboration en 2012 des Schémas Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) pour 12 capitales régionales. Ces SDAU entrent dans le cadre de la mise en œuvre du plan d'action pour l'habitat et le développement urbain, spécialement de son axe 1, qui recommande que soit planifiée et maîtrisée la croissance des villes. Ce qui témoigne de l'engagement à gérer l'espace urbain de manière à réduire les risques d'inondation. De plus, la mise en place du Plan d'Occupation des Sols (POS) pour certaines villes, dont la capitale, ainsi que le Projet d'Amélioration des Conditions de Vie Urbaines (PACVU), axé sur l'assainissement et le drainage urbain, constituent des étapes significatives.

Les initiatives ne se limitent pas à des actions globales, mais s'étendent également à des mesures spécifiques pour faire face aux catastrophes. La création du Conseil National de Secours d'Urgence et de Réhabilitation en 2004 érige une entité de référence en matière de gestion des catastrophes naturelles. Au lendemain des inondations du 1<sup>er</sup> septembre 2009 qui ont touchées plusieurs villes du Burkina Faso, plusieurs structures de gestions des inondations ont été mises en place pour palier à l'insuffisance des capacités de gestion existantes due à l'ampleur des dégâts. Ainsi, le gouvernement a procédé à la restructuration du CONASUR en 2009 en vue de prendre en compte le processus de décentralisation en cours dans le pays. Ainsi, le Plan National Multirisques de Préparation et de Réponse aux catastrophes naturelles est mis en place, avec pour mission la coordination et l'orientation dans le domaine de la prévention des catastrophes, la gestion des secours d'urgence et de la réhabilitation. A ce titre, le CONASUR est chargé de :

- d'assurer le plaidoyer, la mobilisation et le soutien en faveur de la prévention et de la gestion des secours d'urgence et de réhabilitation ;
- d'assurer la coordination des actions humanitaires et d'adopter les plans et stratégies d'intervention ;
- de veiller à l'intégration des risques de catastrophes dans les plans et programmes de développement et d'approuver les programmes d'activités et les budgets ;
- d'approuver les rapports annuels d'exécution.

Sur le plan institutionnel et juridique, le Burkina Faso a adopté des lois essentielles. La loi n°006-2013/AN du 02 avril 2013 portant Code de l'environnement établit le cadre pour une gestion durable de l'environnement. La loi 012-2014/AN sur la prévention et gestion des risques, des crises humanitaires et des catastrophes accompagne le Plan National Multirisques de Préparation et de Réponses aux Catastrophes. De plus, le décret n°2010-565/PRES/PM/MATD portant adoption de la politique nationale de protection civile offre un socle institutionnel solide pour la gestion des risques.

#### ❖ A l'échelle local

Au niveau de la commune urbaine de Ouagadougou, des décrets spécifiques ont été adoptés pour réguler les zones exposées aux risques d'inondation. Le décret n°2009-793/PRES/PM/MHU/MATD/MEF/MID/MAHRH/MECV du 19 novembre 2009 réglemente

les servitudes des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, des zones inondables inconstructibles et des zones submersibles dans la ville de Ouagadougou. Ces mesures ont été prises en réponse aux inondations du 1er septembre 2009 et visent à encadrer rigoureusement les zones exposées aux risques d'inondation. Les initiatives locales démontrent également une volonté proactive de gestion des risques d'inondation. L'adoption du décret n°2009-793 a été suivie par l'élaboration des Schémas Directeur d'Aménagement Urbain (SDAU) de la ville, mettant un accent particulier sur le traitement des zones inondables. De plus l'adoption en 2020 du décret portant approbation du Schéma directeur d'aménagement du Grand Ouaga (SDAGO), horizon 2025 pour une planification urbaine résiliente. Aussi, la mise en œuvre du Projet d'Assainissement et de Drainage de Ouagadougou (PADO) se matérialise par la construction de construction d'infrastructures de drainage et d'évacuation des eaux pluviales dans la ville de Ouagadougou.

## **II.2 Travaux antérieurs sur le risque d'inondation**

Du fait de la récurrence du phénomène d'inondation et des dommages engendrés, des recherches sur la compréhension et la réduction du risque se multiplient à travers le monde. Au Burkina Faso, plusieurs auteurs (Bani, 2016; Bonnet et Robert, 2018; Bronfort, 2017; Da, 2021; Fowe et al., 2019; Hangnon et al., 2015; Nouaceur, 2020; Soma, 2015; Tomety, 2017) se sont penchés sur la compréhension du risque d'inondation. Ainsi, (Da, 2021; Soma, 2015; Tomety, 2017) ont étudié les causes de la vulnérabilité des populations et des territoires dans les villes de Ouagadougou et de Dori. (Fowe et al., 2019 ; Hangnon et al., 2015) ont analysé les évènements pluvieux afin d'établir l'interrelation entre les inondations et les précipitations. (Bonnet et Robert, 2018) ont mené une enquête en 2017 auprès des populations de la ville de Ouagadougou pour évaluer la connaissance des inondations par les ouagalais. (Bronfort, 2017) s'est penchée sur les stratégies d'adaptation des populations des zones d'habitat spontanés dans la ville de Ouagadougou.

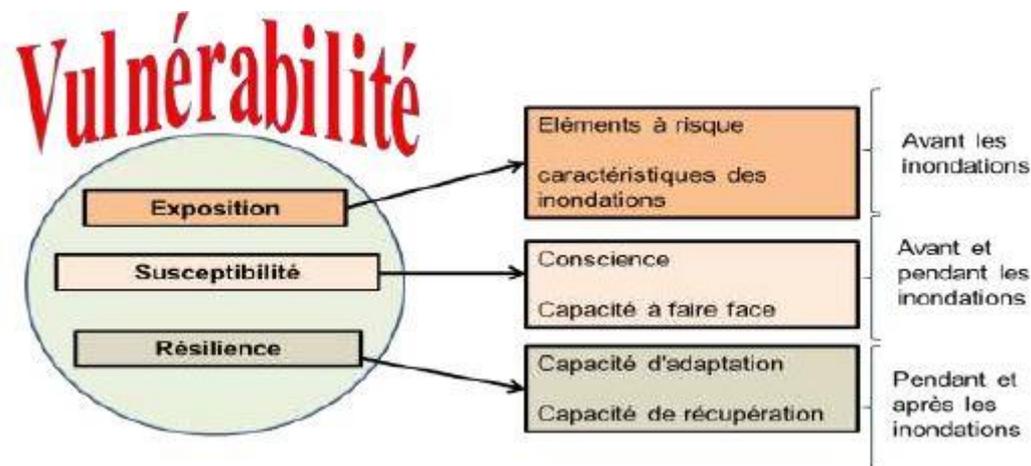
## **II.3 Clarification des concepts liés au risque d'inondation**

L'étude des risques fait appel à différents concepts (risque, vulnérabilité, inondation...) dont les définitions diffèrent selon l'approche et le domaine dans lequel ils sont utilisés (Da, 2021) . Afin de mieux appréhender notre étude, il est important de définir les concepts qui l'entoure.

## ➤ **Vulnérabilité**

De la littérature scientifique et malgré les subtilités de transformation qui subsistent dans certaines définitions ou concepts, la vulnérabilité apparaît comme fonction des facteurs d'exposition, de la susceptibilité et de la résilience (Karambiri et al., 2015). La vulnérabilité peut être définie comme la mesure des dommages auxquels on peut s'attendre dans des conditions spécifiques d'exposition, de susceptibilité et de résilience. Plus un élément est exposé aux dangers et susceptible d'être affecté par ce danger, plus il est vulnérable.

Ces facteurs sont présentés à la **Figure 1**



**Figure 1: Facteurs de vulnérabilité aux inondations (Karambiri et al., 2015)**

L'étude de la vulnérabilité fait intervenir plusieurs composantes : la composante sociale, économique et la composante biophysique. La composante biophysique qui fait l'objet de notre étude comprend les caractéristiques géomorphologiques, hydrographiques et climatiques du système. L'analyse de la vulnérabilité biophysique consiste donc à étudier la propension d'une zone ou d'une région à être affectée par des inondations en raison de ses caractéristiques biophysiques spécifiques naturelles.

## ➤ **Risque**

Le risque est la possibilité de survenue d'un événement indésirable, la probabilité d'occurrence d'un danger probable ou d'un aléa. Pour (Soma, 2015), le risque est la combinaison de la probabilité de survenue d'un événement particulier et de l'impact que cet événement pourrait produire. Le risque dans l'étude du risque d'inondation fait référence donc à la probabilité qu'une

inondation se produise dans une zone spécifique (aléa) et aux conséquences potentielles de cette inondation (enjeu vulnérable).

➤ **Inondation**

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Il existe trois types d'inondation :

- **Inondation par remontée de nappe phréatique** : Il arrive que la nappe affleure et qu'une inondation se produise. Ce phénomène concerne les terrains bas ou mal drainés
- **Inondation par débordement de cours d'eau** : on distingue les inondations de plaine, elles se produisent lorsque le cours d'eau sort de son lit mineur pour inonder le lit majeur. Elle se font de façon lente ; ou de façon rapide. Les inondations éclairées (flash flood) ou à cinétique rapide, correspondent à la montée rapide du débit d'un cours d'eau en un temps court du fait d'évènement pluvieux de fortes intensités remarquable ou de rupture d'un ouvrage hydraulique.
- **Inondation par ruissellement pluvial** : l'imperméabilisation du sol par les aménagements (bâtiments, voiries, etc.) et par les pratiques culturales limite l'infiltration des précipitations et accentue le ruissellement. Ceci occasionne souvent la saturation et le refoulement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. La ville de Ouagadougou particulièrement sensibles à ce dernier type d'inondations.
- **Inondation marine** : également connue sous le nom de submersion marine ou inondation côtière, elles se produisent lorsque de grandes quantités d'eau de mer envahissent les zones côtières. Ces inondations sont généralement causées par des événements météorologiques extrêmes tels que les tempêtes, les cyclones tropicaux, les ouragans ou les marées exceptionnellement hautes.

#### **II.4 Identification des facteurs biophysiques de vulnérabilité**

La sélection des facteurs impliqués dans la survenue des inondations est une étape importante dans l'évaluation de la susceptibilité aux inondations. Chaque facteur représente et décrit un composant du phénomène. Cependant, l'ensemble des facteurs doit être réduit au minimum afin de réduire la complexité du processus d'évaluation (Stefanidis and Stathis, 2013). Une revue

documentaire a permis de répertorier les facteurs qui peuvent être impliqués dans la survenue des inondations. Ces facteurs sont consignés dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1 : Revue documentaire sur les facteurs biophysiques de vulnérabilité**

Revue documentaire	Intrinsèque au bassin versant										Climat	Anthropique	
	Alt	P	TWI	Ts	DD	DE	Cr	Lith	Cv	Es	Pl	Dp	Os
(Sahraei et al., 2023)	•	•	•			•	•				•		•
(Osman et Das, 2023)	•	•			•	•					•	•	
(Souissi et al., 2022)		•	•	•	•	•		•			•		•
(Mokhtari et al., 2023)	•	•	•		•	•		•			•	•	•
(Guélbeogo et Ouédraogo, 2022)	•	•	•	•		•					•		•
(Sami et al., 2020)		•		•	•				•		•		
(Faye et al., 2021)	•	•		•		•							•
(Nadège et al., 2023)		•		•	•						•	•	
(Amaya et al., 2021)	•	•		•				•			•		•
(Baccari et al., 2023)	•	•		•	•			•			•		•
(Loumi et Redjem, 2021)		•				•							•
(Eba et al., 2021)		•			•							•	•
(Akindele et Todome, 2021)	•	•	•	•						•	•	•	•
(Ntouda et al., 2022)	•	•	•				•						

Revue documentaire	Intrinsèque au bassin versant										Climat	Anthropique	
	Alt	P	TWI	Ts	DD	DE	Cr	Lith	Cv	Es	Pl	Dp	Os
(Koumassi et Tchibozo, 2014)		•			•	•		•	•		•		
(Danumah et al., 2016)		•		•	•						•	•	
(Leumbe et al., 2015)	•	•		•	•						•		•
(Morales et De Vries, 2021)	•	•			•						•		•
(Koudamilo et al., 2017)		•		•	•	•							
(McKenzie et Gala, 2022)	•	•		•	•						•		•
(Darwish, 2023)	•	•				•		•			•		•
(Saley et al., 2005)		•			•	•		•			•		•
(Rincón et al., 2018)		•				•	•				•		
(Hagos et al., 2022)	•	•		•	•	•					•		•
(Serdar et al., 2022)	•	•				•				•			•
(Sharir et al., 2019)	•	•	•	•	•						•		•
(Zogning Moffo et al., 2017)	•	•	•			•							
(Ouma et Tateishi, 2014)	•	•		•	•						•		
(Ajjur et Mogheir, 2020)		•				•				•			•
(Morales-Ruano et al., 2022)	•	•				•					•		•

**Alt** = Altitude ; **P** = Pente ; **TWI** = Indice d'humidité topographique ; **Ts** = type de sol ;

**DD** = Densité de drainage ; **DE** = Distance par rapport au cours d'eau ; **Pl** = Pluie (précipitation) ; **Cr** = Coefficient de ruissellement ; **Lith** = Lithologie (Géologie) ;

**Cv** = couverture végétale ; **Es** = potentialité en eau souterraine ; **Dp** = Densité de la population  
**Os** = Occupation du sol ;

De cette revue documentaire, on retient que la pente, la répartition de la pluviométrie, les données d'occupation de sol, l'altitude, la densité de drainage, la proximité aux cours d'eau, le type de sol, sont les facteurs les plus utilisés pour déterminer les zones vulnérables au risque d'inondation. Cependant, de toutes ces études, le facteur pente est le facteur le plus important dans la survenue des inondations.

En fonction de la disponibilité des données et en raison de la contribution pertinente à la survenue des inondations dans l'espace « Grand Ouaga », les facteurs hydrographiques, et géomorphologiques retenus pour notre étude sont : la pente (%), l'altitude (m), le type de sol, la distance par rapport au cours d'eau, l'indice d'humidité topographique, la densité de drainage (km/km<sup>2</sup>).

- **Pente**

La pente est un facteur important pour comprendre la dynamique des écoulements et intervient dans la cartographie du risque d'inondation. Elle influence la mobilité des eaux de pluie (stagnation, sens d'écoulement, direction des eaux et aussi la vitesse d'écoulement) (Ntouda et al., 2022). Plus la valeur de la pente est faible, plus le terrain est plat ; plus la valeur de la pente est élevée, plus le terrain est pentu. Les zones plates s'inondent plus rapidement que les zones inclinées où le ruissellement s'écoule vers les zones basses.

- **Altitude**

Les altitudes déterminent le relief de la zone d'étude. Plus le relief est bas plus il est susceptible d'être inondé. Les zones basses constituent les points de convergence des différents cours d'eau.

- **Type de sol**

La pédologie est un facteur important dans l'étude des risques d'inondation, car elle peut amplifier ou atténuer le degré de risque lié à cette catastrophe naturelle. Ce facteur est lié à la perméabilité (infiltration) et à la capacité de rétention de l'eau qui varient selon le type de sol (Amaya et al., 2021). Les sols perméables favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol tandis que les sols imperméables favorisent le ruissellement de surface et augmentent l'intensité des inondations.

- **Distance par rapport au cours d'eau**

Les débordements des cours d'eau peuvent également déclencher une inondation, car l'eau déborde du canal du cours d'eau et se répand dans les environs. Plus la distance augmente, plus le risque diminue. Les zones les plus proches du réseau de drainages sont sujettes à ce risque.

- **Indice d'humidité topographique**

Le facteur d'humidité topographique (TWI) est un indice classique qui sert à quantifier l'effet de la topographie sur le processus hydrologique (entre autres, l'engorgement des sols). Il fait ressortir les zones relativement plates et naturellement humides de par leur position dans le bassin versant (Ntouda et al., 2022). Plus il est élevé plus la zone est inondable.

- **Densité de drainage**

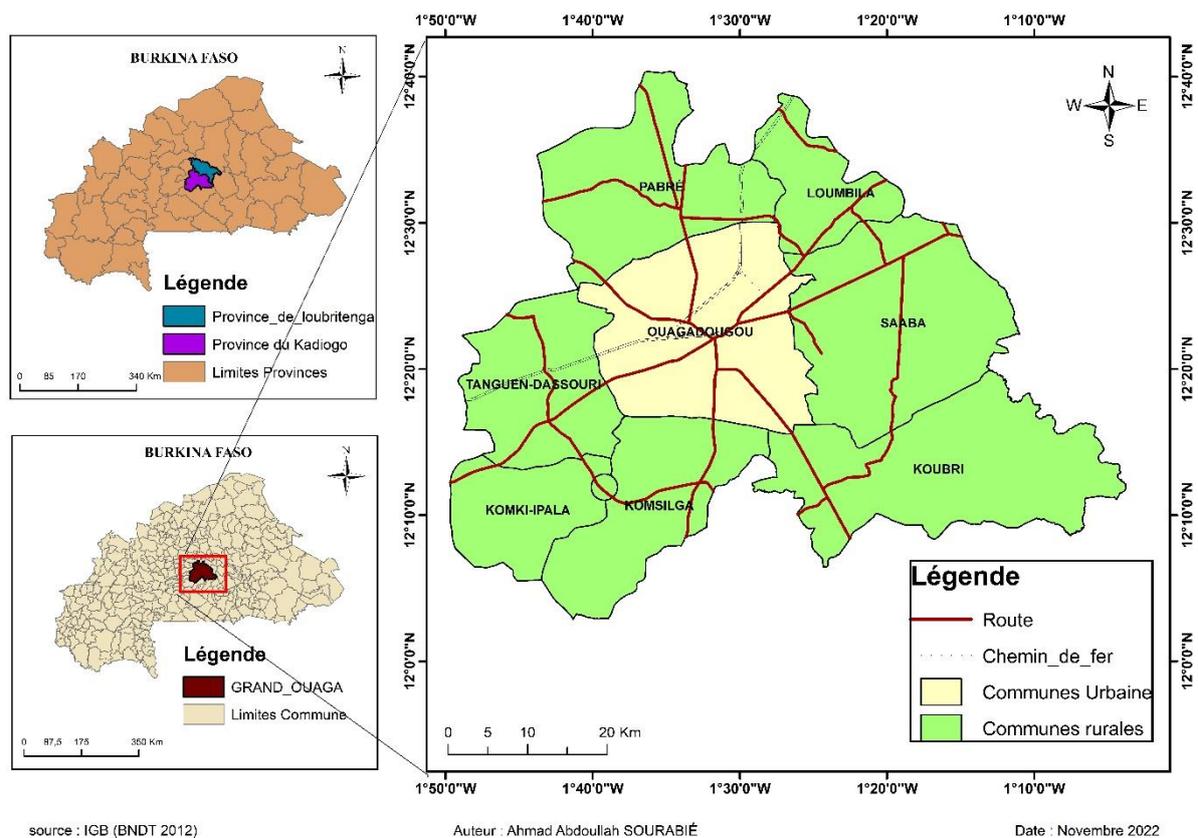
Le risque d'inondation est plus élevé dans les zones où l'eau est drainée plus lentement que dans les zones à forte densité de drainage. Elle est proportionnelle au ruissellement superficiel. Une densité de drainage élevée signifie une grande surface de ruissellement par rapport aux zones de faible densité de drainage. Par conséquent, elle a une forte probabilité d'être inondée (Mahmoud et Gan, 2018).

### III. MATERIELS ET METHODES

#### III.1 Présentation de la zone d'étude

##### III.1.1 Situation géographique de la zone d'étude

L'espace « Grand Ouaga » qui fait l'objet de notre zone d'étude, se situe au cœur du Burkina Faso entre les parallèles 12° et 13° de latitudes Nord et entre les méridiens 1° et 2° de longitude Ouest. Sa localisation est présentée en **Figure 2**.



**Figure 2 : Localisation de l'espace "Grand Ouaga"**

Le Schéma Directeur d'Aménagement du Grand Ouaga (SDAGO) est un document de planification à l'échelle du « Grand Ouaga ». Le décret 99270/PRES/PM/MHU/MATS/MEE/ du 28 juillet 1999 MEF qui l'adopte, définit l'espace « Grand Ouaga » comme étant l'espace géographique compris dans les limites administratives de la province du Kadiogo et du département de Loumbila (province de l'Ouhimbé). Le « Grand Ouaga » peut être considéré aujourd'hui, comme le territoire couvrant la commune urbaine de Ouagadougou, les communes rurales de la province du Kadiogo (région du centre) que sont Koubri, Komsilga, Komki Ipala,

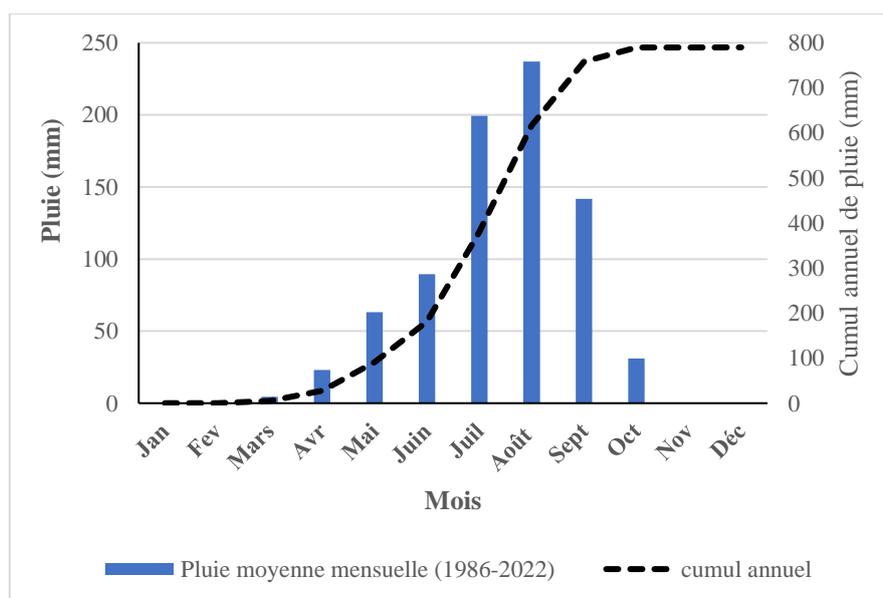
Saaba, Pabré et Tanghin Dassouri et la commune rurale de Loumbila dans la province de l'Oubritenga (Région du Plateau Central). Ce territoire qui couvre environ 3304 km<sup>2</sup>, est à cheval entre deux (2) régions. Selon la Direction Générale de l'Urbanisme, de la Viabilisation et de la Topographie (DGUVT), l'aménagement du « Grand Ouaga » vise à la maîtrise de la gestion de l'espace, au développement des infrastructures, à la maîtrise et à la préservation des ressources naturelles.

### III.1.2 Climat et pluviométrie de l'espace « Grand Ouaga »

Le cadre climatique de la région dans laquelle se situe notre zone d'étude est ici présenté à partir des données météorologiques de la station de Ouagadougou sur la période de 1986 à 2022, fournies par l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso (ANAM). L'espace « Grand Ouaga » est situé en zone soudano-sahélienne qui se définit par une saison sèche allant de Novembre à Avril, suivie d'une saison humide de Mai à Octobre. Les précipitations de la saison des pluies sont définies par la mousson (vent chaud et humide soufflant en direction Sud-Nord) qui s'oppose à l'harmattan (vent frais et sec, soufflant dans le sens Nord-Sud).

La pluviométrie atteint en moyenne 789 mm.an<sup>-1</sup> à la station synoptique de Ouagadougou pour la période de 1986 à 2022.

La **Figure 3** présente le profil moyen mensuel de la pluviométrie à Ouagadougou sur la période 1986-2022, avec les mois de Juillet, Août et Septembre, qui sont les plus pluvieux et qui cumulent respectivement 25%, 30%, et 18% de la pluie annuelle.



**Figure 3 : Pluies moyennes mensuelles et cumuls moyens de pluie à Ouagadougou sur la période de 1986-2022**

Les températures oscillent entre 22,7°C (minimale moyenne) et 35,5°C (maximale moyenne). On distingue deux périodes fraîches. La première de juillet à septembre qui correspond à la saison des pluies où la température moyenne est de l'ordre de 27 °C et la deuxième période de décembre à janvier avec 25,7 °C comme température moyenne. La période la plus chaude se situe entre le mois de mars et le mois de mai qui correspond à la saison sèche avec des températures maximales atteignant 40° C. Une période moins chaude d'octobre à novembre qui correspond à la fin de la saison pluvieuse, où les températures maximales atteignent 36 °C.

### III.1.3 Géologie, géomorphologie et végétation de la zone

Sur l'ensemble de la province du Kadiogo et de l'Oubritenga, le substratum géologique est essentiellement représenté par des granitoïdes auxquels peuvent s'associer quelques rares basaltes et roches métamorphiques sporadiques.

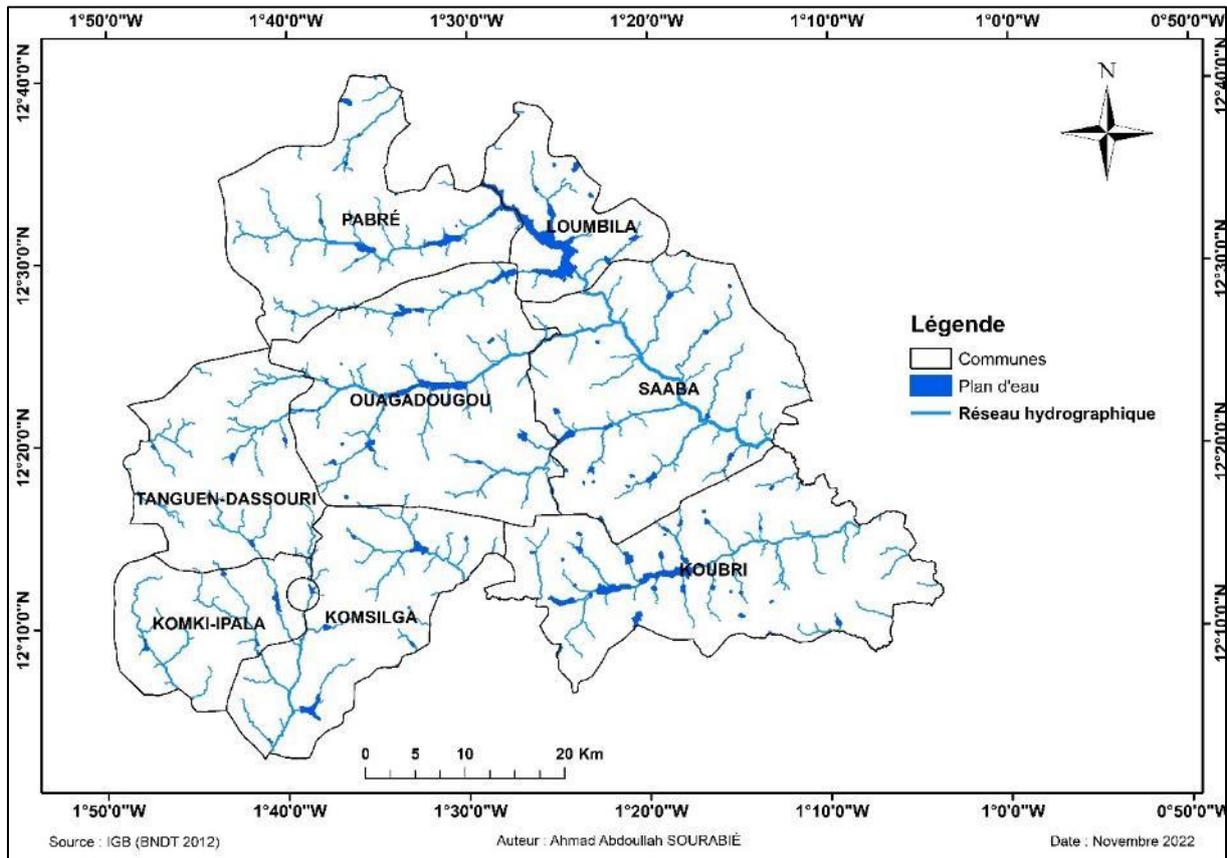
Le relief est peu accidenté avec des pentes relativement faibles. La présente la distribution des altitudes sur le bassin, qui évoluent entre 248 m et 379 m, avec une altitude moyenne estimée à 306 m ( $\pm 21,5$  m).

Le sol du « Grand Ouaga » est constitué majoritairement des sols de types hydromorphes, et des sols peu évolués.

La formation végétale du « Grand Ouaga » et surtout de la commune urbaine de Ouagadougou a presque disparu du fait de l'intense exploitation de l'espace à des fins agricoles et d'habitation. La ceinture verte qui avait pour but de protéger la capitale des vents desséchants, de piéger les poussières et d'atténuer le transport des sols par les eaux de ruissellement vers les barrages a été totalement « consommée » par les habitats spontanés ou les lotissements. La seule grande réserve forestière de la commune urbaine est la forêt classée « Bangr-weogo » (INSD, 2022a)

### III.1.4 Réseau hydrographique

L'espace « Grand Ouaga » est marqué par un réseau hydrographique de type dendritique peu dense et caractérisé par des cours d'eau temporaires présentés en **Figure 4**.



**Figure 4 : Réseau hydrographique de l'espace "Grand Ouaga"**

Le « Grand Ouaga » est située dans le bassin versant du Nakanbé et drainé par un réseau hydrographique moyennement dense. La commune urbaine de Ouagadougou est traversée par quatre cours d'eau aménagés en partie en canaux qui se jettent dans le Massili supérieur en sa rive droite. Le canal de Paspanga encore appelé canal Central, long de 5 km draine les eaux des secteurs n° 3, 4, 5, 12 et se jette dans la forêt classée en aval du Barrage N° 3 de Ouagadougou. Le canal de Zogona, long de 4 km trouve son exutoire final dans la forêt classée Bangr-weogo et parcourt les secteurs N°13, 14, 30. Le canal du Mogho Naaba, long de 4,7 km, traverse les secteurs N° 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 16 et 17 pour aboutir au barrage n° 2. Et enfin, le canal de Wemtenga long de 4,6 km, a pour exutoire final l'aval de la forêt classée Bangr-weogo et s'étend sur les secteurs 27, 28, 29 (Soma, 2015).

Les principaux plans d'eaux rencontrés sont :

- Dans la commune de Pabré on a : le barrage de Pabré, le barrage de Gaskaye, le barrage de Zibako ( $420\,000\text{ m}^3$ ), le barrage de Bigtogo (2 millions de  $\text{m}^3$ ), le barrage de Saalé ( $680\,000\text{ m}^3$ )

- Le barrage de Loumbila (42,2 millions de m<sup>3</sup>) dans la commune de Loumbila ;
- Le barrage de Saaba Tensobintenga, Tanghin Koala Komkaga Gonsé kongo Saanbin bilbalogho.
- Dans la commune périurbaine de Koubri, les plus importants retenues d'eau sont : le barrage de Nagbaré, le barrage de gounghin-poedogo et le barrage d'Azoum-bongo.
- La commune de Komsilga compte 06 plans d'eau (Kalzi, Boulbi, Komsilga, Nabitinga, Gonsé, Boulibaongo). Les quatre plus importantes retenues sont Kalzi, Boulbi Komsilga et Nabitinga ont une capacité cumulée de 2 285 333 m<sup>3</sup>.
- Le barrage de Dawanegomde 244 862 m<sup>3</sup> dans la commune de Tanghin Dassouri
- Le barrage de wobzougou 600 000 m<sup>3</sup> dans la commune de Komki Ipala.
- Dans la commune urbaine de Ouagadougou, on a le barrage de Boulmiougou, le barrage n°1, n°2 et 3.

### III.1.5 Cadre démographie et social

Selon le cinquième recensement général de la population (RGPH, 2019) (INSD, 2022a), la population de la région du centre est passée de 1 727 390 habitants en 2006 à 3 030 384 habitants en 2019 avec un taux d'accroissement intercensitaire de 4,4%. La population de la commune rurale de Loumbila quant à elle, comptait en 2019, 36 465 habitants (INSD, 2022b) et 27 932 habitants en 2006. Avec un taux d'accroissement intercensitaire de 2,07%. Ainsi, la population totale de l'espace « Grand Ouaga » s'élevait à 3 066 849 habitants en 2019. Cette population est estimée à 3 487 752 habitants en 2022. La **Figure 5** présente l'évolution de la population totale (en milliers) de l'espace « Grand Ouaga » de 1985 à 2022.

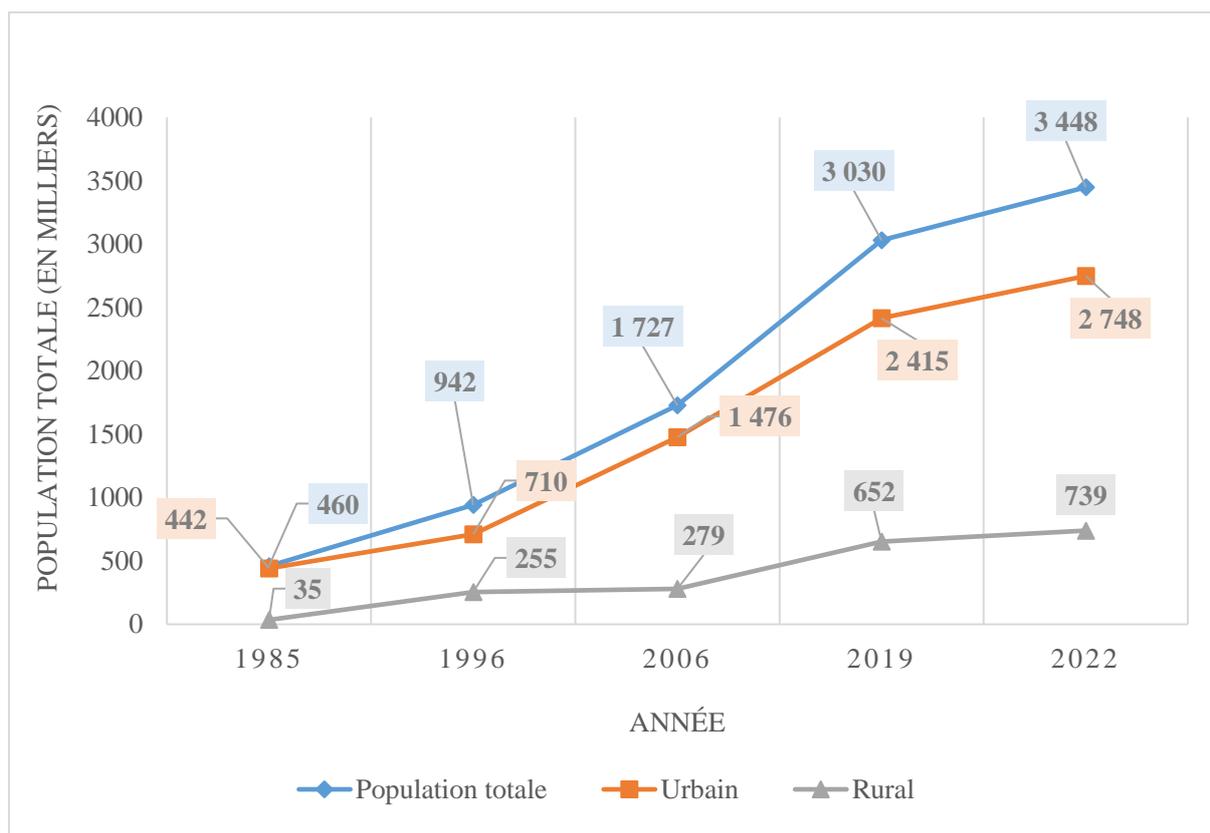
La distribution spatiale de la population permet de mieux comprendre la dynamique de peuplement des unités administratives. Selon la répartition de la population par commune, Ouagadougou est la plus peuplée avec 79,7% de la population totale de la région. Elle est suivie de loin, par la commune de Saaba qui regroupe 9,4% de la population et Komsilga qui réunit 4,5% de la population. Les communes les moins peuplées sont Pabré et Komki-Ipala avec respectivement 1,3% et 0,7% de la population.

Les langues parlées dans l'espace « Grand Ouaga » sont principalement le mooré, le dioula et le français, le fulfuldé et le bisssa.

Le découpage administratif a permis de constater que la commune urbaine de Ouagadougou est divisée en 12 arrondissements, subdivisé en 55 secteurs. Les communes rurales sont constituées de village (**Tableau** ).

**Tableau 2 : Communes rurales de l'espace "Grand Ouaga"(INSD, 2022a)**

Communes rurales	Nombre de village
Pabré	22
Loumbila	36
Saaba	30
Koubri	34
Komsilga	47
Komki-Ipala	18
Tanghin-Dassouri	55



**Figure 5 : Evolution des effectifs de la population par milieu de résidence de 1985 à 2022**

## III.2 Données et outils utilisés

### III.2.1 Données utilisées

Pour la réalisation de cette recherche trois types de données ont été utilisés : les données sur les événements historiques d'inondations sur la période de 1986-2022, les données météorologiques, et les données géo-spatiales.

Les données sur les événements historiques d'inondations ont été collectées à partir d'informations issues d'informations en ligne, d'organes de presse et conformément à une base de données déjà existante sur la période 1986-2015. Les données météorologiques utilisées dans cette étude ont été obtenues à l'Agence Nationale de Météorologie du Burkina Faso (ANAM). Il s'agit des données pluviométriques au pas de temps journalier issues de la station synoptique de Ouagadougou. Ces données s'étalent sur la période de 1986-2022.

Les données géospatiales :

- Les données de base : limites administratives, localités, hydrographiques tirées de la BNDT 2012 obtenu à l'Institut Géographique du Burkina ;
- La carte des sols tirée de la BDOT 2002 (IGB, 2002);
- Les cartes de reliefs (pentes, altitudes) et du réseau hydrographique ont été obtenues à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) de résolution 30 m issue des images satellites (SRTM) de la zone. Ces données sont téléchargées sur le site de la NASA ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)).

### III.2.2 Outils utilisés

L'essentiel de ce travail a été exécuté à l'aide d'outil informatique.

- Outils de cartographie

Le logiciel ArcGIS 10.4.1 a permis d'élaborer les différentes cartes de la zone d'étude. La production des cartes thématiques décrivant les zones vulnérables au risque d'inondations a été possible grâce aux fonctions de croisement ou de combinaison de couches.

- Outils d'analyse fréquentielle

Le traitement des données de pluie a nécessité l'utilisation du logiciel Hyfran (Hydrological Frequency Analysis). Cet outil, développé par INRS-ETE (Institut National de la Recherche

Scientifique ; Québec, Canada) permet d'ajuster un nombre important de distribution statistiques à une série de données. Il a été conçu pour l'analyse fréquentielle en hydrologie.

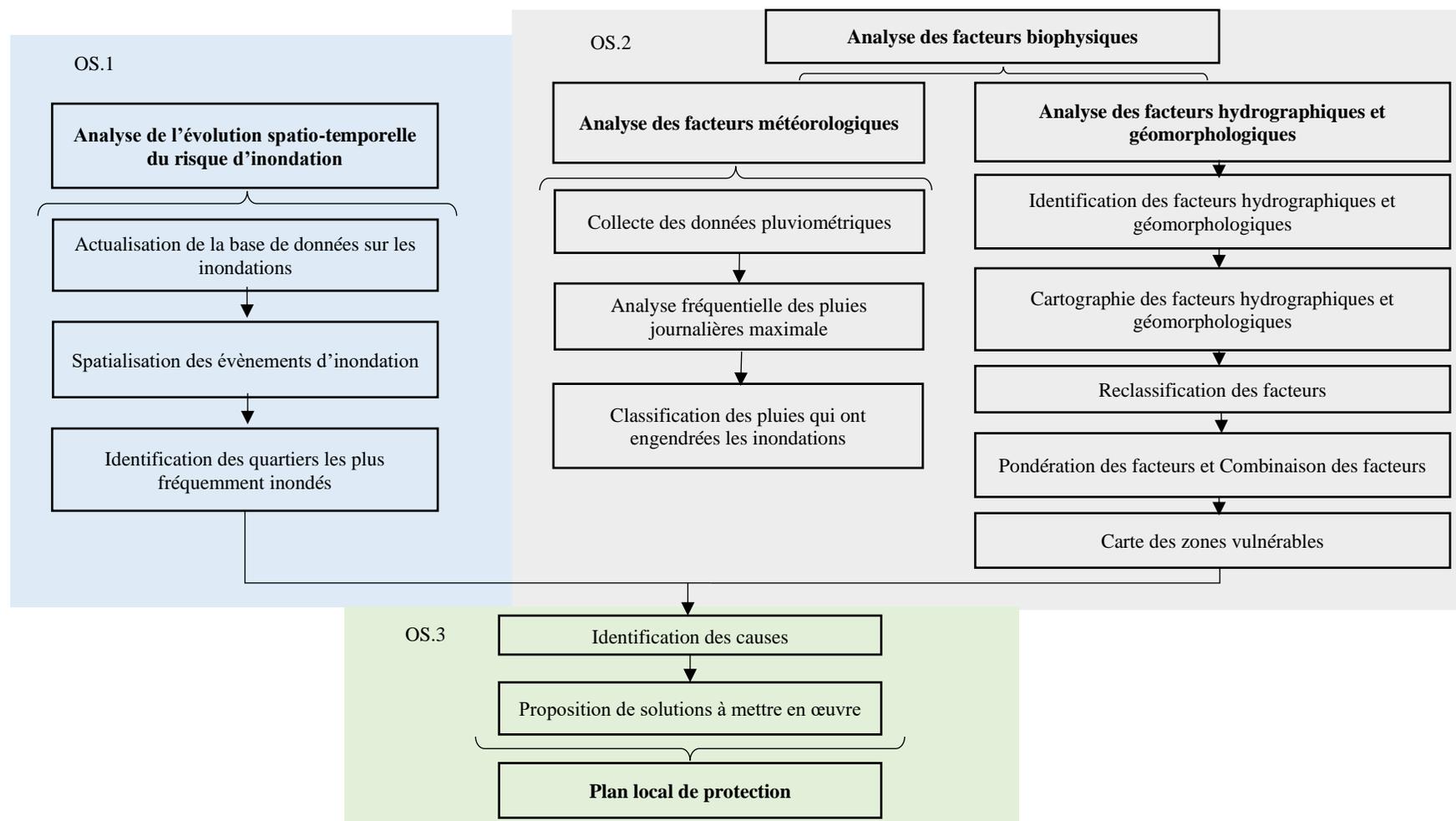
- Outil d'analyse statistique

Le logiciel de statistique R associé au programme Rclimindex a permis de calculer les indices pluviométriques. Ce programme a été développé par la branche de recherches sur le climat, du service météorologique du Canada et accessible à partir du site web de Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI) :

<https://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RClmDex/rclimdex.r> .

### III.3 Méthodologie de l'étude

La **Figure 6** présente la méthodologie globale utilisée dans cette étude.



**Figure 6 : Méthodologie globale de l'étude**

### III.3.1 Identification des zones les plus sensibles aux inondations

#### III.3.1.1 Approche géo historique

Dans le cadre de l'analyse spatio-temporelle des risques naturels, la géohistoire propose une approche pertinente basée sur la réalisation et l'exploitation de (géo)chronologies (Giacona et al., 2019). Elles s'appuient sur le recueil de données issues de sources variées, notamment d'archives, afin de reconstituer la chronologie spatialisée des événements (Bruckmann et al., 2019). L'approche géo-historique passe par la construction d'une base de données événementielle. De ce fait, une base de données a été conçue par (KABORE, 2016) dans son étude sur « événements pluvieux extrêmes et inondations dans l'espace « Grand Ouaga » au Burkina Faso ». Elle contient les événements historiques d'inondation survenus au Burkina Faso de 1986 à 2015. L'actualisation de la base de données est faite par consultation de données d'organes de presse en ligne (Lefaso.net, Burkina24.com, wakatsera.com, ouaga24.com, Service d'Information du Gouvernement du Burkina (SIG.bf) ...) d'organes de presse écrite (Le pays, L'Observateur Paalga, Sidwaya) Les informations collectées sont les suivantes :

- Information géographique (Province, Commune, Quartiers, secteurs)
- Les informations sur l'évènement (année de l'évènement, hauteur de pluie enregistrée, nombre de localité touchée, source de l'information,).
- Les informations sur les dégâts occasionnés (Nombre de personnes sans-abri, Nombre de personnes blessées, Nombre de pertes en vie humaine, Nombre de ménages affectés, Nombre total de personnes sinistrées, Autres types de dommages (pertes en vivres, champs inondés, infrastructures détruites).

Les données des événements d'inondation vont ensuite être spatialisées afin de savoir quel sont les quartiers de l'espace « Grand Ouaga » les plus fréquemment inondés.

#### III.3.1.2 Cartographie des zones inondées

Les articles de presse consultés font mention de quartier ou secteur ou encore arrondissement pour l'identification des zones touchées. L'unité spatiale de représentation des zones inondées est le secteur pour la commune urbaine de Ouagadougou du fait du découpage administratif de la ville. En effet, il est difficile d'avoir un découpage à l'échelle quartier car la délimitation de façon claire des quartiers n'est pas maîtrisée. Les données d'évènements d'inondations historiques (inondation par secteur) ont été enregistrées sur un tableur Excel puis transformé en couche vectorielles par jointure attributaire sur ArcGIS. La couche raster du découpage

administratif à l'échelle secteur est alors catégorisée afin de représenter les zones les plus sensibles.

### III.3.2 Analyse des facteurs pluviométriques

La pluviométrie fait partie des paramètres influençant grandement les inondations. L'analyse des facteurs météorologiques a consisté à mettre en relation les évènements d'inondations et leurs hauteurs de pluies, et à caractériser les précipitations afin de voir leurs influences sur les inondations.

#### III.3.2.1 Caractérisation des évènements d'inondation

Il s'agit d'estimer les quantiles d'une période de retour donnée (exemple 2, 5, 10, 20, 100 ans) à l'aide de méthode d'analyse fréquentielle. Ensuite, les quantiles peuvent être comparés aux précipitations mesurées ayant occasionnées des inondations. Elle se base sur l'examen des pluies journalières maximales annuelles de 1986 à 2022.

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction, consistant à étudier les évènements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future. Dans notre étude, elle est utilisée en particulier pour estimer l'ampleur d'un évènement temporel auquel est associé une période de retour  $T$ . Ainsi on pourra constater si les pluies qui ont occasionnées les inondations dans l'espace « Grand Ouaga » étaient des pluies d'une intensité remarquable ou si des facteurs autres que la pluie pourraient justifier les inondations. Selon la classification internationale des évènements extrêmes (Vandiepenbeeck, 1997), un évènement pluvieux est qualifié de normal si sa période de retour est inférieur à 6 ans ; d'anormal si sa période de retour est comprise entre [6 et 10 ans[ ; de très anormal si sa période de retour est comprise entre [10 et 30 ans[ ; d'exceptionnel si sa période de retour est comprise entre [30 et 100 ans].

Les étapes principales de l'analyse fréquentielle sont :

- **Contrôle de la série de valeurs**

L'approche méthodologique passe par la vérification d'un certain nombre d'hypothèse statistique. Il est primordial de vérifier si les données sont indépendantes et identiquement distribuées (IID) en utilisant les tests de stationnarité de Kendall, d'indépendance de Wald-Wolfowitz et d'homogénéité de Wilcoxon (Gue et Afouda, 2015).

- **Choix et ajustement du modèle fréquentiel**

Selon (Kouassi et al., 2020), le choix du modèle fréquentiel est très important pour l'estimation des périodes de retour des valeurs extrêmes des précipitations. En effet, la validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type. En hydrologie, trois lois statistiques sont les plus utilisées dans l'analyse des pluies journalières maximales annuelles pour la détermination des périodes de retour des pluies ayant causé des inondations. (Fowe et al., 2019; Goula et al., 2012; Habibi et al., 2013; Panthou et al., 2014, 2012). Il s'agit de :

- La loi des valeurs extrêmes généralisée (GEV) ;
- La loi de Gumbel ;
- La loi Log normale.

L'ajustement des modèles fréquents retenus consiste à définir les paramètres de chaque loi.

Voir **Annexe 3**

La formule de Hazen (équation (1)) est utilisée pour le calcul des fréquences empiriques ou expérimentale au non-dépassement des pluies journalières maximales annuelles pour une valeur  $x$  de rang  $i$ .

$$f(x) = \frac{i - 0,5}{n} \quad (1)$$

Où  $n$  est la taille de l'échantillon considéré.

- **Validation du modèle statistique**

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour choisir la méthode d'analyse dont la loi de probabilité s'ajuste le mieux à la distribution des données de pluie journalière maximale. On note le test d'adéquation de khi-2 de Karl Pearson ; l'examen visuel des graphiques d'ajustement réalisés et les facteurs d'information d'Akaike (AIC) et Bayésien (BIC). Les deux derniers facteurs ont servi à la sélection la distribution statistique la mieux ajustée aux échantillons. Le meilleur ajustement correspond aux plus faibles valeurs de ces facteurs (Ehsanzadeh et al., 2010).

- **Estimation des quantiles et leurs périodes de retour**

La loi qui s'ajuste le mieux à la distribution des pluies journalières maximales annuelles a été appliquée pour estimer les quantiles  $X_T$  et leurs périodes de retour  $T$ . La période de retour d'un événement est définie comme étant l'inverse de la probabilité au dépassement de cet événement. La relation entre la probabilité au dépassement et la période de retour est exprimée comme suit :

$$T = \frac{1}{p} \quad (2)$$

Et

$$q = 1 - p \quad (2.1)$$

Avec  $T$  : période de retour (année)

$p$  : probabilité au dépassement

$q$  : probabilité au non dépassement

### III.3.2.2 Caractérisation des précipitations

La caractérisation des précipitations a consisté à étudier l'influence de la répétitivité des jours de pluies sur la survenue des inondations. L'analyse du cumul pluviométrique sur la survenue des inondations permettra de vérifier l'hypothèse selon laquelle les inondations sont dues à de faibles hauteurs de pluies s'expliquent par un cumul important de pluies les jours précédents l'inondation. Afin de vérifier cette hypothèse, le cumul pluviométrique des précipitations sur les cinq jours précédant les inondations ont été calculé.

#### ➤ **Caractérisation des tendances des extrêmes pluviométriques**

L'analyse de l'évolution des extrêmes pluviométriques est faite à partir d'indices climatiques calculés sur la période de 1986 à 2022. Le programme RCLimDex fournit une estimation des tendances à partir d'une régression linéaire sur les valeurs calculées des indices pluviométriques. Ces tendances sont estimées par la méthode des moindres carrés, et leur significativité est évaluée à partir d'un test de Student. Les pentes ainsi estimées ont été regroupées en deux (2) classes indiquant des tendances significatives ou non significatives. La limite des deux classes considérées est définie à partir de la statistique  $t$  de Student utilisée pour tester l'hypothèse d'une pente égale à 0. La tendance est alors qualifiée de significative si la probabilité  $p$  du test  $t$  appliquée à la pente de régression est inférieure à 0,05, alors qu'elle est

non significative lorsqu'elle dépasse le seuil de 0,05. la tendance est significative au seuil de confiance de 95 %.

Une fois ces indices calculés, RclimDex modélise individuellement leur variation en fonction des années, à travers un modèle de régression linéaire simple et teste l'existence d'une tendance au sein de chaque série par le test de significativité de tendance de Mann-Kendall. Après avoir testé, les hypothèses d'absence de tendance, de tendance nulle, négative ou positive, RclimDex fourni à la sortie un graphique spécifique affichant le chronogramme de la série de l'indice considéré et les résultats de l'analyse de tendance (statistique du test, le coefficient de détermination, l'erreur de la pente et la p-value).

La caractérisation des tendances des extrêmes pluviométriques passe par :

- ❖ Contrôle de la qualité des données ;

Le procédé de contrôle de qualité disponible dans RClmDex permet de déceler d'éventuelles valeurs erronées (valeurs de précipitations journalières négatives par exemple), imputables à de très probables erreurs d'enregistrement (Zhang et Yang, 2004).

- ❖ Choix et calcul des indices pluviométriques

Six (6) indices pluviométriques ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Le choix de ces indices a été fait pour mettre en évidence l'évolution des événements extrêmes pluvieux et leurs fréquences. Les indices retenus sont présentés dans le **Tableau** .

**Tableau 3 : Indices pluviométriques calculés sur la période 1986-2022** (source : ETCCDI, 1999)

Indice	Nom de l'indice suivant la nomenclature ETCCDMI	Définition	Unité
PRCPTOT	Total annuel des précipitations	Précipitations totales annuelles des jours pluvieux ( $RR \geq 1,0$ mm)	mm
RX1day	Hauteur maximale des précipitations journalières	Précipitation totale maximale d'un jour pluvieux	mm
RX5day	Cumul maximal des précipitations de 5 jours consécutifs	Précipitation totale maximale sur 5 jours pluvieux consécutifs pendant l'année	mm

R95p	Jours très pluvieux	Précipitation totale annuelle avec précipitation > 95e percentile	mm
R99p	Jours extrêmes pluvieux	Précipitations totales annuelles avec les précipitations > 99e percentile	mm
CDW	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec des précipitations journalières $\geq 1$ mm	Jour

RR : Hauteurs de précipitations journalières.

### III.3.3 Cartographie des zones vulnérables

Cette recherche repose sur les techniques de superposition de couches, utilisées pour la classification spatiale pour la détection des zones vulnérables. Il s'agit de méthodes d'analyse multicritère permettant de réaliser une analyse intégrée par application d'échelles de valeurs à différents facteurs. Elle s'intègre dans un concept communément appelé système d'aide à la décision à référence spatiale (SADRS) (Bensaid et al., 2007).

Les facteurs hydrographiques, et géomorphologiques retenus pour notre étude sont : la pente (%), l'altitude (m), le type de sol, la distance par rapport au cours d'eau, l'indice d'humidité topographique, la densité de drainage (km/km<sup>2</sup>).

#### III.3.3.1 Elaboration des facteurs de décisions

##### ❖ Etablissement de la carte des altitudes et des pentes

Les cartes des altitudes et des pentes ont été obtenues à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) corrigé puis reclassifié, issue des images satellitaires SRTM de résolution 30 m. La pente exprimée en pourcentage, (Pourcentage d'élévation) a été calculée à partir des altitudes via le module pente de ArcGIS qui est un outil d'analyse spatial.

##### ❖ Etablissement de la carte du type de sol

La base de données harmonisée des sols de la FAO ne donne qu'un aperçu grossier des sols car produite à une échelle globale (résolution de 1 km<sup>2</sup>). Pour une meilleure caractérisation des unités dominantes, la carte du type de sol est obtenue à partir de la carte des sols du Burkina Faso tirée de la BDOT 2002. Il s'agit d'une image raster couvrant tout le territoire national. La

carte du type de sols de notre zone d'étude est extraite en effectuant un découpage après une catégorisation des sols en fonction des classes de sols existantes.

#### ❖ **Etablissement de la carte de distance par rapport aux cours d'eau**

La carte du réseau hydrographique a été produite à partir du MNT après plusieurs traitements (accumulation de flux, direction de flux, ordre d'écoulement...). La distance par rapport au réseau de drainage a été définie en appliquant un outil de zone tampon dans ArcGIS.

#### ❖ **Etablissement de la carte de l'indice d'humidité topographique (Topographic Wetness Index)**

Le Topographic Wetness Index (TWI), un indice topographique d'humidité développé par Beven et Kirkby (1979) et utilisé dans plusieurs études. Il tient compte de la pente et de son aire contributive afin d'évaluer l'humidité du sol. L'accumulation de flux est donc dérivée du MNT. Le TWI se calcule selon l'équation 1 :

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan\beta}\right) \quad (1)$$

Où  $A$  est l'aire contributive spécifique ( $m^2$ ) et l'angle ( $\beta$ ) en radians de la pente le long de la direction de flux. L'aire contributive spécifique, aussi appelée accumulation de flux, consiste, pour chaque pixel, en la taille de l'aire qui se draine vers ce pixel.

#### ❖ **Etablissement de la carte de la densité de drainage**

La densité de drainage est définie comme étant le rapport de la longueur totale des cours d'eau de la zone d'étude par unité de surface ( $km/km^2$ ). La carte de densité de drainage a été produite à partir du réseau hydrographique de la zone d'étude en utilisant l'outil d'analyse « densité-ligne » dans ArcGIS. La carte de densité de drainage (DD) a été générée par la formule suivante :

$$DD = \frac{\sum L_c}{A} \quad (2)$$

Avec,

$DD$ : densité de drainage en  $km/km^2$

$L_c$ : Longueur total des cours d'eau en km

$A$ : surface de la zone en  $km^2$

### ❖ Cartographie des zones vulnérables à l'aide des techniques d'analyse multicritère

Pour une bonne analyse multicritère, il est nécessaire de reclassifier les facteurs. Ceux-ci étant mesurés sur des échelles différentes, avec des unités différentes. (Eba et al., 2021). Pour (Zogning Moffo et al., 2017), les variables doivent être reclassifiées et ordonnées en fonction de l'influence de chaque couche.

Une reclassification sur une échelle de 1 à 5 a été effectuée : très faible, faible, moyen, élevé, très élevé. Cette échelle est fonction de l'influence de la classe vis-à-vis du risque d'inondation. Les classes des différents facteurs sont codifiées en fonction de leur importance à favoriser les inondations ou non.

#### III.3.3.2 Méthode d'Analyse Hiérarchique des processus (Analytical Hierarchy Process, AHP)

L'analyse multicritère (AMC) consiste à structurer les facteurs en une hiérarchie, à attribuer des poids à chaque facteur en fonction de son importance relative, à évaluer les options en fonction de chaque facteur et à agréger les résultats pour obtenir un classement des options. Il existe plusieurs méthodes d'AMC qui peuvent aider à la prise de décisions dans des situations complexes où plusieurs facteurs doivent être pris en compte.

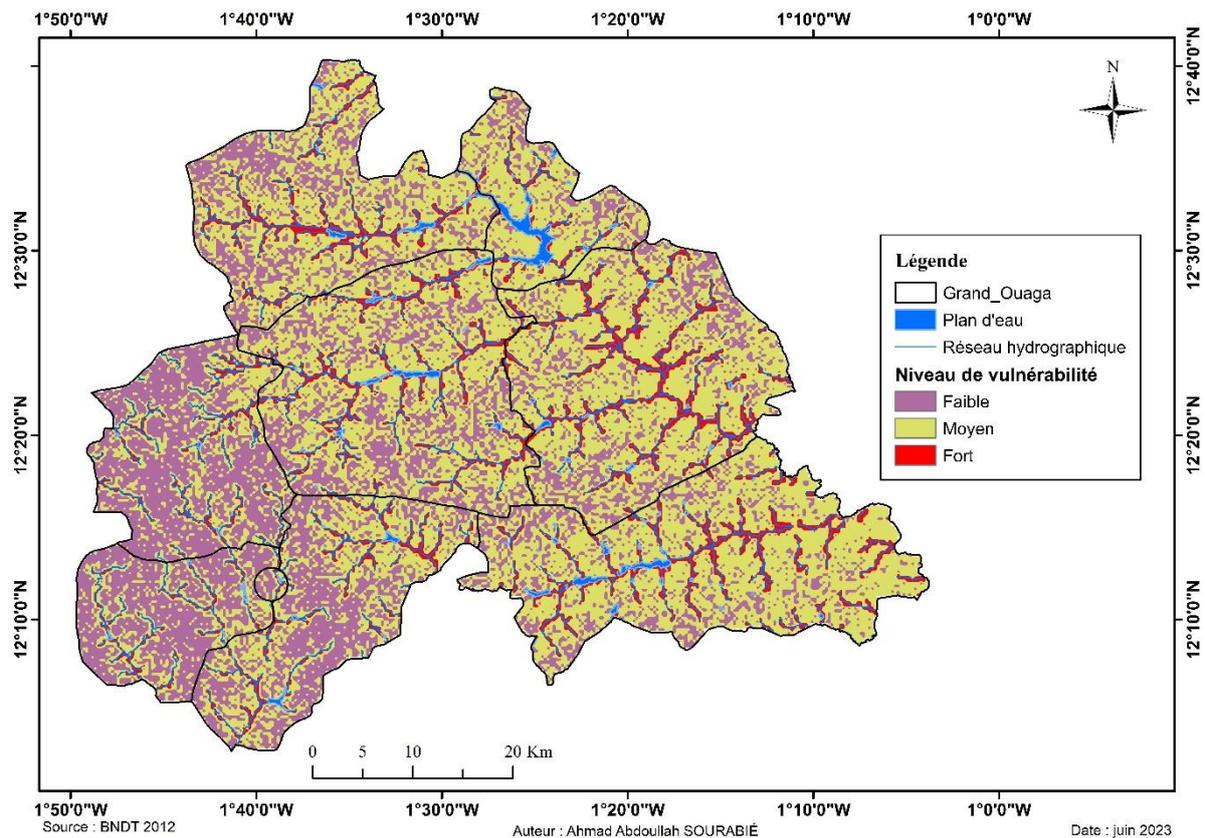
Dans le cadre de notre étude, la pondération des facteurs de décision sera effectuée suivant la méthode d'analyse hiérarchique (Analytical Hierarchy Process, AHP) développée par Saaty en 1990 (Saaty, 1990). Cette méthode a été utilisée dans plusieurs études similaires portant sur la vulnérabilité au risque d'inondation. (Akindele et Todome, 2021; Amaya et al., 2021; Baccari et al., 2023; Eba et al., 2021; Faye et al., 2021; Guélbeogo et Ouédraogo, 2022; Hagos et al., 2022; Loumi et Redjem, 2021; McKenzie et Gala, 2022; Mokhtari et al., 2023; Nadège et al., 2023; Ntouda et al., 2022; Osman and Das, 2023; Sahraei et al., 2023; Sami et al., 2020; Souissi et al., 2022). Elle se base sur la création d'une hiérarchie de facteurs en fonction de leur importance relative, suivie de l'évaluation des comparaisons par paire entre ces facteurs à l'aide d'une matrice dite de comparaison par paire. Les vecteurs propres de la matrice sont ensuite calculés pour déterminer le coefficient de pondération (poids relatif) des facteurs. A la suite de la comparaison par paire une évaluation de la cohérence de la matrice est faite pour s'assurer de sa validité.

### III.3.3.3 Pondération des facteurs

La pondération des facteurs est l'une des étapes clés pour déterminer les options les plus pertinentes pour l'analyse. Pour pondérer les facteurs, on utilise une échelle de comparaison deux par deux appelée échelle d'évaluation de Saaty. Cette échelle présentée par le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** permet de classer les facteurs selon leur importance relative sur une échelle allant de 1 à 9, où 1 signifie que les deux facteurs ont la même importance et 9 signifie que l'un des deux facteurs est extrêmement plus important que l'autre. (Saaty, 1990)

**Tableau 4 : Echelle numérique de comparaison binaire (Saaty, 1990)**

Expression d'un facteur par rapport à un autre	Degré d'importance	Explication
Importance égale des deux éléments	1	Les deux éléments contribuent à l'objectif de façon équivalente
Un élément est un peu plus important que l'autre	3	L'expérience et le jugement favorisent un élément plutôt que l'autre
Un élément est plus important que l'autre	5	L'expérience et le jugement favorisent fortement un élément plutôt que l'autre
Un élément est beaucoup plus important que l'autre	7	Un élément est fortement favorisé et sa dominance est démontrée dans la pratique
Un élément est absolument plus important que l'autre	9	L'évidence favorisant un élément plutôt que l'autre est du plus haut ordre d'affirmation possible
Degré d'importance intermédiaire	2 ; 4 ; 6 ; 8	Lorsqu'un compromis entre deux expressions est requis
Importance réciproque	1/2 ; 1/3 ; 1/5 ; 1/7 ; 1/9	La réciproque des 5 premiers degrés



### ❖ Matrice de comparaison par paire

La matrice de comparaison est une matrice carrée établie sur la base du nombre de facteurs d'entrées pour l'identification des zones vulnérables. Elle contient les évaluations de chaque paire de facteurs et doivent être réalisées de façon objective pour garantir la fiabilité des résultats. Les évaluations doivent être normalisées pour que la somme de chaque colonne soit égale à 1. Cette normalisation est nécessaire dans le processus d'analyse afin de vérifier la cohérence dans l'évaluation.

### ❖ Coefficient de pondération

Le coefficient de pondération ( $C_p$ ) est calculé pour montrer les poids relatifs de chacun des facteurs. Il correspond à l'intensité de son impact dans l'étude de la vulnérabilité à l'inondation. Plus le poids du paramètre est élevé, plus l'influence sur le risque d'inondation est élevée et une faible influence implique un faible risque.

Il est obtenu en appliquant la formule suivante :

$$C_p = \frac{v_p}{\sum v_p} \quad (3)$$

Où :

- $C_p$  : poids du facteur ;
- $V_p$  : Vecteur propre du facteur ;
- $\sum V_p$  : somme des vecteurs propres de tous les facteurs.

#### ❖ Calcul du Vecteur propre

Les valeurs des vecteurs propres  $V_p$  sont obtenues en calculant leur moyenne géométrique par ligne selon la formule ci-dessous :

$$V_p = \sqrt[n]{\prod_i^n x_i} \quad (4)$$

Où :

- $V_p$  : vecteur propre ;
- $n$  : nombre de facteur ;
- $x_i$  : note du facteur  $i$  attribuée lors de la comparaison par paire.

#### ❖ Evaluation de la cohérence de la matrice

Après l'élaboration de la matrice de comparaison et la définition des poids des facteurs, il est nécessaire de vérifier la matrice est suffisamment cohérence ou non, par le calcul du ratio de cohérence. Elle est cohérente si le ratio est  $< 0,1$ . Dans le cas contraire il faudra réévaluer la matrice issue des comparaisons.

Le ratio de cohérence (RC) est donné par la formule suivante :

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (5)$$

Où l'indice de cohérence (IC) s'exprime par la formule :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$n$ , étant le nombre de facteurs

$\lambda_{max}$ , Valeur propre principale, calculée sur la base de la matrice issue de la comparaison par paire de Saaty, en suivant les étapes suivantes :

- Normaliser la matrice de comparaison par paire en divisant chaque élément de la matrice par la somme de la colonne correspondante, de sorte que chaque colonne ait une somme de 1.
- La matrice de poids normalisée obtenue, calculer la moyenne des lignes de la matrice normalisée pour obtenir un vecteur de poids normalisé pour chaque élément.
- Calculer la matrice de poids propre en multipliant la matrice de poids normalisée par le vecteur des poids normalisés, élément par élément. Calculer la somme des lignes de la matrice de poids propre pour obtenir un vecteur de poids propre Cette étape permet d'accorder plus de poids aux éléments qui sont considérés comme plus importants.
- Diviser chaque vecteur de poids normalisé par le vecteur de poids propre correspondant puis faire la moyenne pour obtenir le vecteur propre principal  $\lambda_{max}$ .

L'indice aléatoire (IA) est défini en fonction du nombre de facteurs composés. Ces valeurs sont données par Saaty et résumées dans le **Tableau 2**.

**Tableau 2: Indices Aléatoire (Saaty, 1990)**

Nombre de facteurs	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

#### III.3.3.4 Agrégation des facteurs pour la production de la carte résultante

L'agrégation par la méthode de superposition pondérée est utilisée. Elle permet de pondérer les différentes couches thématiques en fonction de leur importance relative et de les superposer pour produire une carte résultante. Elle consiste à multiplier chaque facteur des poids aux différentes couches thématiques et à calculer une valeur de pondération pour chaque cellule de la carte résultante en utilisant une formule mathématique qui prend en compte les valeurs et les poids des couches d'entrée.

Cette approche est résumée par l'équation suivante :

$$S = \sum_{i=2}^n W_i X_i \quad (7)$$

Avec :

**S** : le résultat

**W<sub>i</sub>**: le poids du facteur i

**X<sub>i</sub>** : la valeur standardisée du facteur i

Dans ArcGIS, la combinaison multicritère des facteurs de risque est faite en utilisant le module de l'Arc toolbox weighted Overlay (superposition pondérée). Ainsi, les couches thématiques des pentes, des altitudes, du type de sol, de l'humidité topographique et de la densité de drainage pourront être combiné pour produire en sortie la carte des zones vulnérables aux inondations dans l'espace « Grand Ouaga » cette carte est reclassée en trois classes : faible, moyen, fort.

### III.3.4 Proposition de plan de protection

Les inondations, particulièrement en milieu urbain engendrent des conséquences néfastes sur la vie des populations et peuvent freiner le développement des zones touchées. Il est donc nécessaire de mettre en place des mesures et dispositifs destinés à prévenir ou limiter les dommages causés par les inondations. La mise en place de mesures de prévention et de gestion des inondations par les décideurs passe par la connaissance du risque d'inondation. Cela suppose une identification des zones les plus fréquemment inondées et une compréhension des causes du phénomène.

La démarche suivie pour la proposition de plan local de protection se présente comme suit :

- Identification des zones inondées les plus sensibles : la cartographie des zones inondées a permis de déterminer les quartiers les plus inondés.
- Identification du problème : il s'agit de présenter la situation des zones impactées et d'en déterminer les causes des inondations.
- Proposition de solutions et réponses à mettre en œuvre pour réduire le risque d'inondation.

## IV. RESULTATS

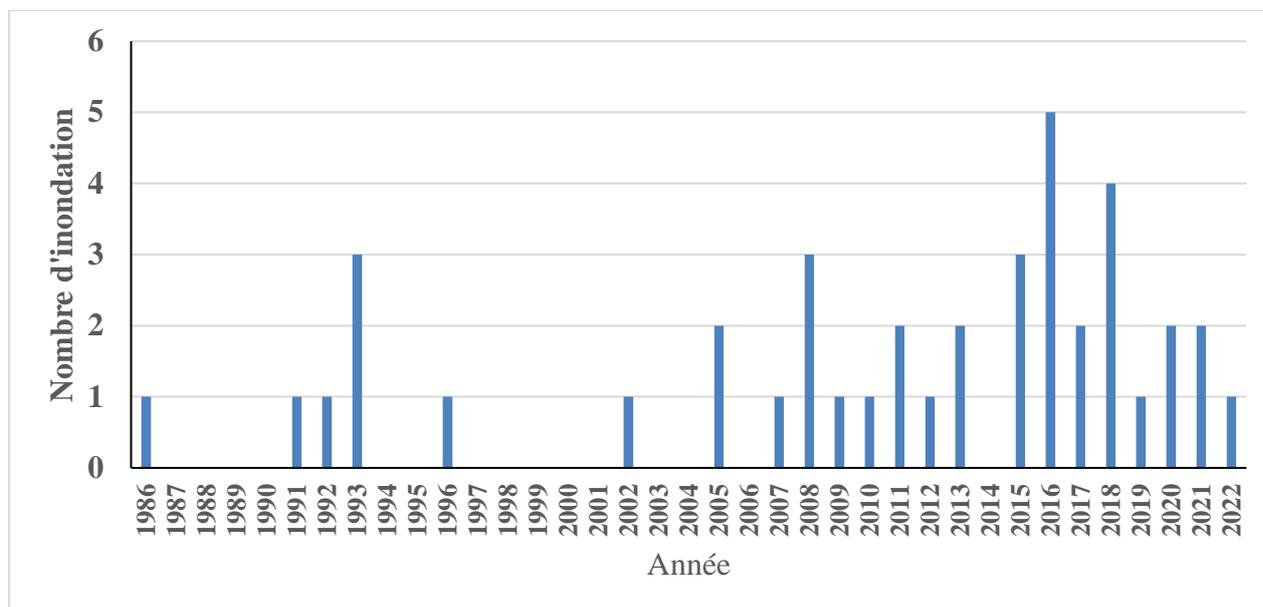
### IV.1 Répartition spatio-temporelle des inondations dans l'espace « Grand Ouaga »

L'analyse des articles de presse écrites et en ligne a permis de répertorier 41 évènements d'inondation survenu dans l'espace « Grand Ouaga » sur la période de 1986 à 2022 avec une moyenne approximative de plus d'un évènement d'inondation par an. Sur la base de ces évènements d'inondation, une analyse des fréquences annuelles, mensuelles, et selon les quartiers et secteurs touchés a été effectué.

#### IV.1.1 Analyse des fréquences d'inondation

##### IV.1.1.1 Nombre annuelle des inondations de 1986-2022

Les 41 évènements d'inondation sont inégalement répartis sur la période de 1986 – 2022. Au regard de la **Figure 7**, on peut identifier 3 principales périodes qui présentent l'évolution des inondations dans l'espace « Grand Ouaga ».



**Figure 7 : Nombre d'inondation par an de 1986 à 2022**

- De 1986 à 2002 (16 ans) : on compte 8 évènements d'inondation avec en moyenne un évènement d'inondation tous les deux ans. Ce qui représente 19,51% des inondations
- De 2003 à 2012 (10 ans) : on compte 11 évènements d'inondation avec en moyenne plus de 1 évènement par an. Environ 26,83 % des inondation. C'est au cours de cette

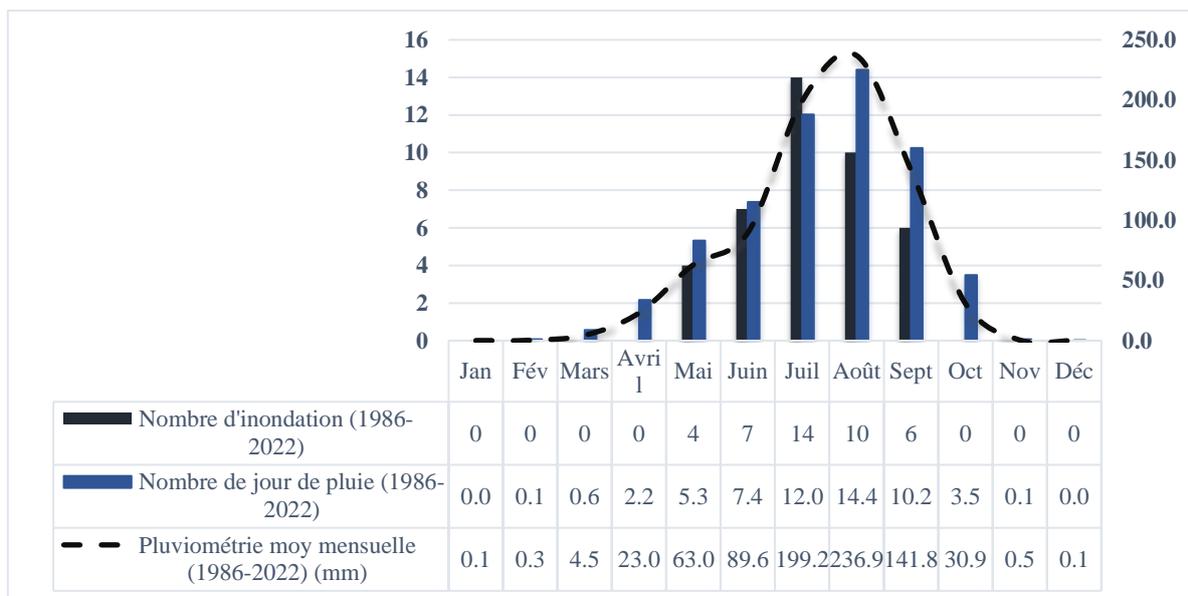
période que le Burkina Faso a connu l'évènement d'inondation le plus important et le plus désastreux. On dénombre 180 386 personnes touchées, 4 décès, 62 blessés, 33 172 maisons détruites dans l'espace « Grand Ouaga ».

- De 2013 à 2022 (10 ans) : Sur cette période, les inondations prennent de l'ampleur où l'on enregistre le plus d'inondation. On compte 22 évènements d'inondation. Environ 53,66% des inondations On dénombre en moyenne plus de 2 évènements par an avec des pics de 5 et 4 inondations respectivement en 2016 et 2018. En 2020, les dégâts liés aux inondations ont conduit le gouvernement à déclarer l'état de catastrophe naturelle.

Une analyse des fréquences mensuelles des inondations permettra de mieux cerner la répartition du phénomène.

#### IV.1.1.2 Nombre d'inondations mensuelle

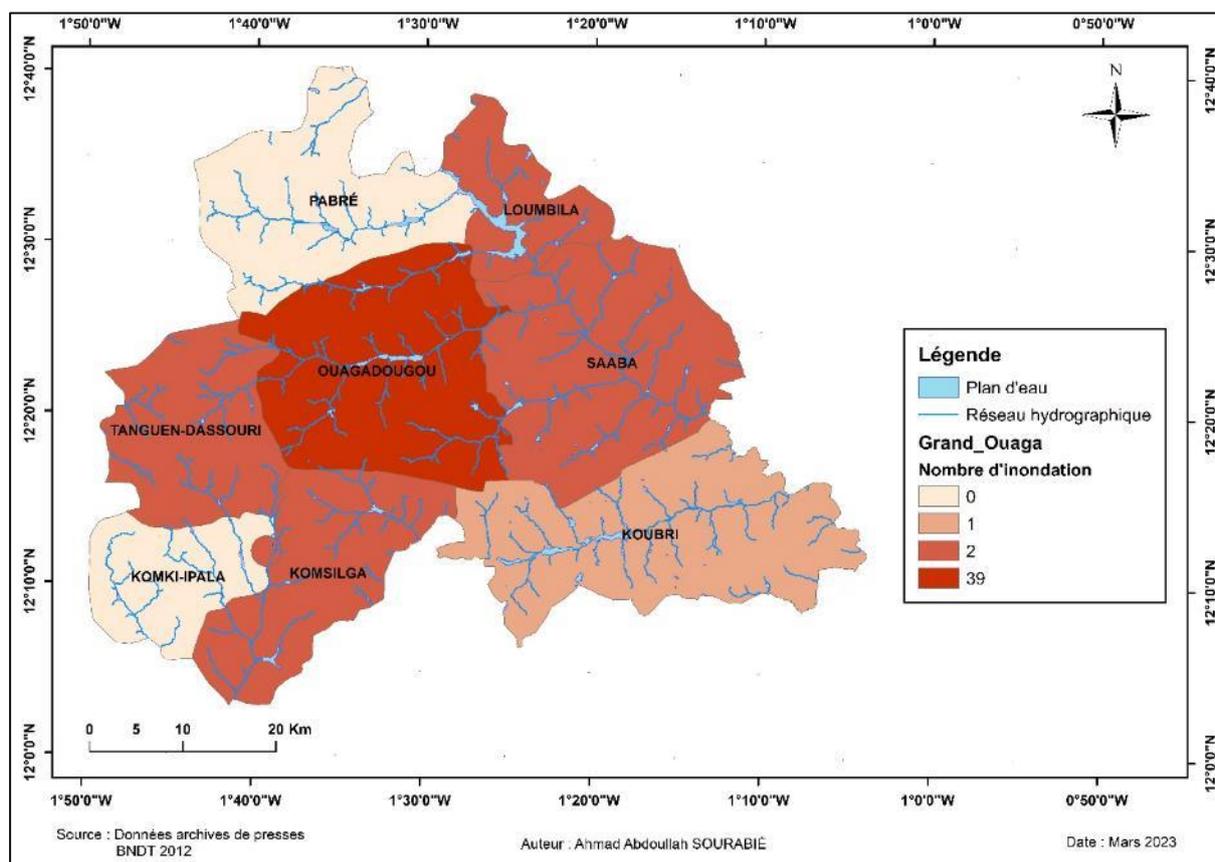
La distribution du nombre d'inondation par mois (**Figure 8**) permet de constater que 5 mois sur 12 sont exposés aux inondations. Les inondations surviennent majoritairement durant les mois de juin, juillet, et août (75% des inondations). Le mois de juillet, le plus impacté avec 14 évènements totalise à lui seul plus de 34% des inondations enregistrés. C'est le deuxième mois le plus pluvieux après le mois d'août où la pluie atteint en moyenne 200 mm par mois. Par contre, le mois d'août le plus pluvieux enregistre 10 inondations.



**Figure 8 : Nombre d'inondations mensuel, nombre de jours de pluie et pluviométrie à Ouagadougou**

#### IV.1.2 Cartographie des zones inondées dans l'espace « Grand Ouaga »

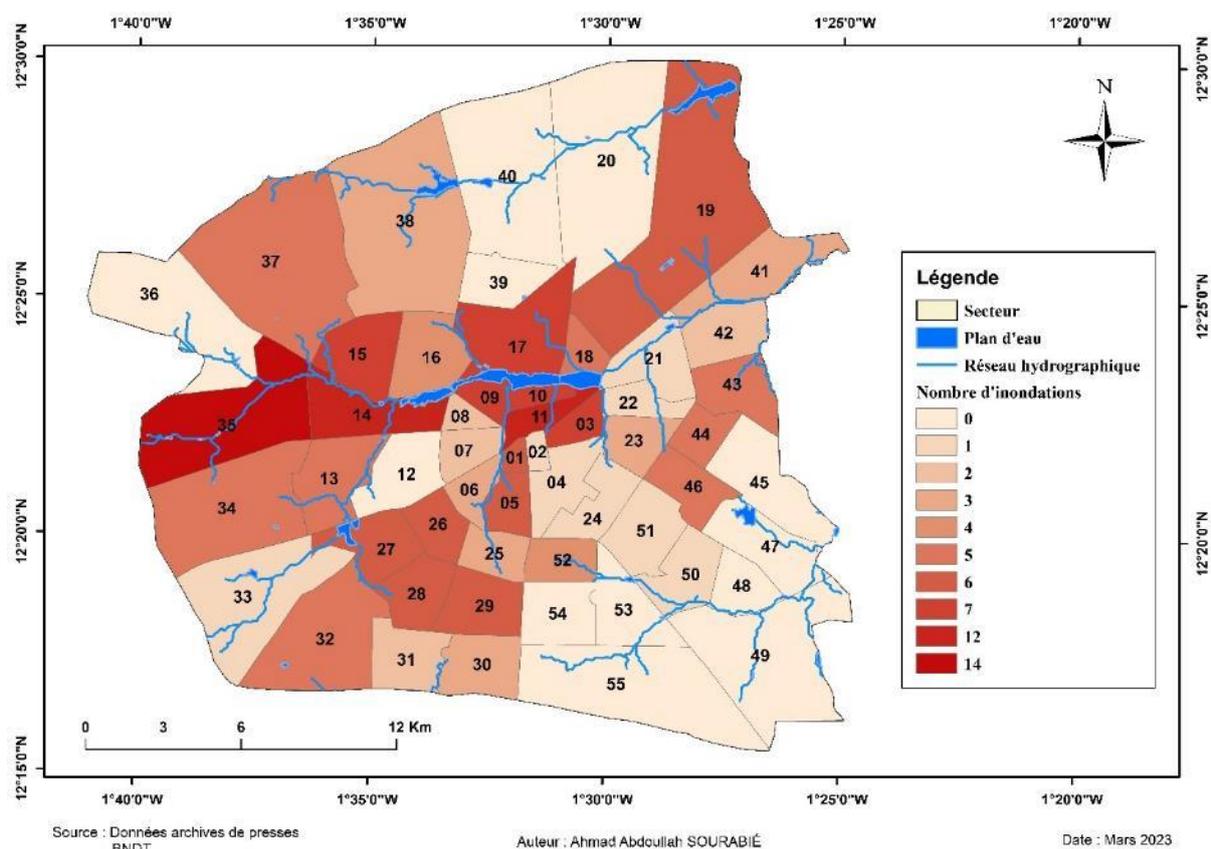
La **Figure 9** présente les communes inondées dans l'espace « Grand Ouaga » de 1986 à 2022. La commune de Ouagadougou est la plus impactée avec 39 événements d'inondations survenus sur 41. La commune urbaine de Ouagadougou est en effet la plus peuplée avec une urbanisation galopante. Les communes de Loumbila (localité de Nabdogo), Saaba (localité de Nioko I), Komsilga (localités de Saonré et Tengandogo, et Tanghin-Dassouri (localité de Itaaoua et Sanné) ont enregistré chacune 02 inondations sur la période de 1986 à 2022. La commune de Koubri (localité de Saint Paul) a subi un événement d'inondation suite à la rupture de digue de barrage survenu en 2017. Les communes de Pabré et de Komki-Ipala ont subi aucun événement d'inondation. Ces communes sont en effet les moins peuplées de l'espace « Grand Ouaga ».



**Figure 9 : Répartition des inondations par commune de l'espace « Grand Ouaga »**

#### IV.1.2.1 Cartographie des zones inondées dans la ville de Ouagadougou

La carte des zones inondées représente un outil d'un grand intérêt pour les décideurs en matière d'aménagement du territoire. Le découpage administratif de la commune de Ouagadougou a permis de regrouper les quartiers inondés par secteur. Ainsi, sur 55 secteurs, 43 secteurs ont été affectés par des inondations. La répartition des inondations par secteur est représentée par la **Figure 10**.



**Figure 10 : Répartition des inondations par secteurs de 1986 à 2022**

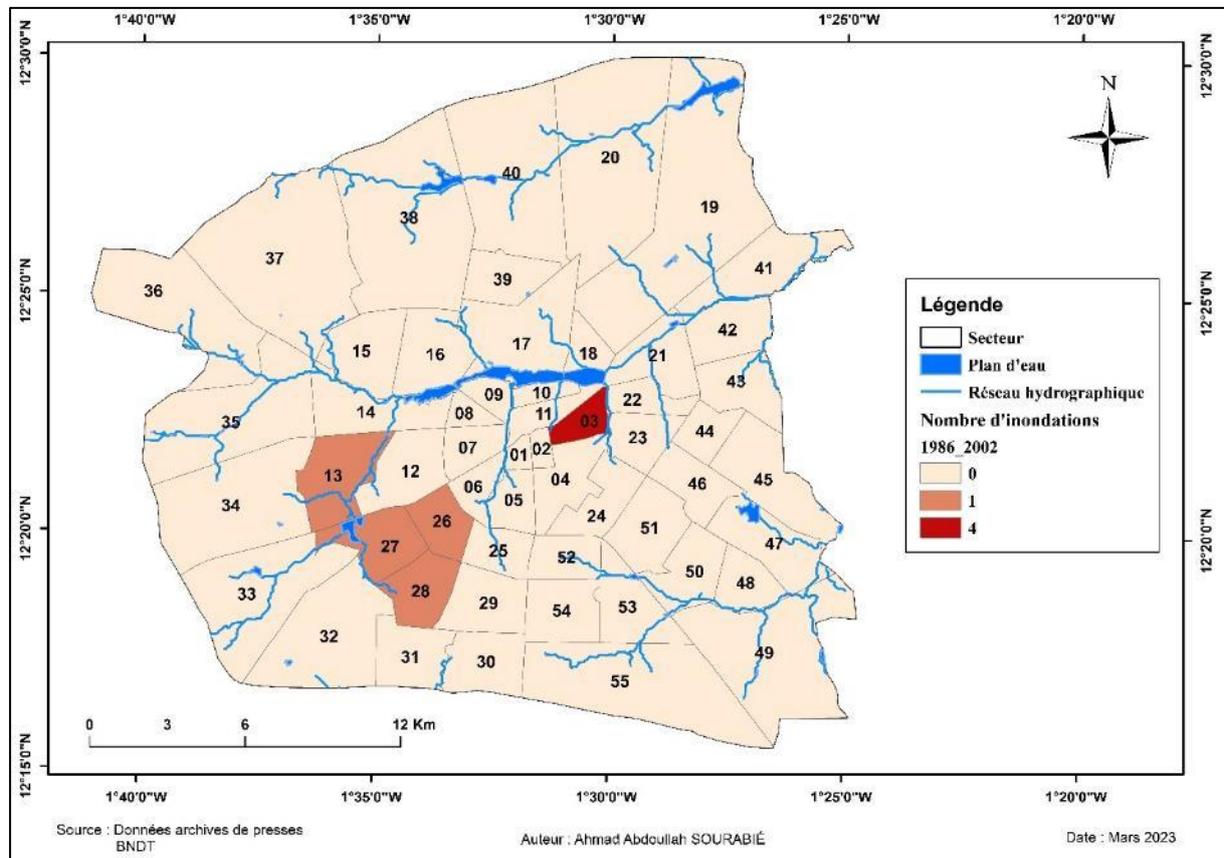
Afin de mieux observer l'évolution spatiale des événements d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga », la cartographie des zones impactées par les inondations a été effectuée selon les trois principales périodes mentionnées précédemment.

##### IV.1.2.1.1 Cartographie des zones inondées selon différentes périodes

Les **Figure 11**, **Figure 12**, **Figure 13** présentent l'évolution spatiale des secteurs inondés suivant les différentes périodes d'évolution des événements d'inondation survenu dans la commune de Ouagadougou.

➤ **De 1986 à 2002**

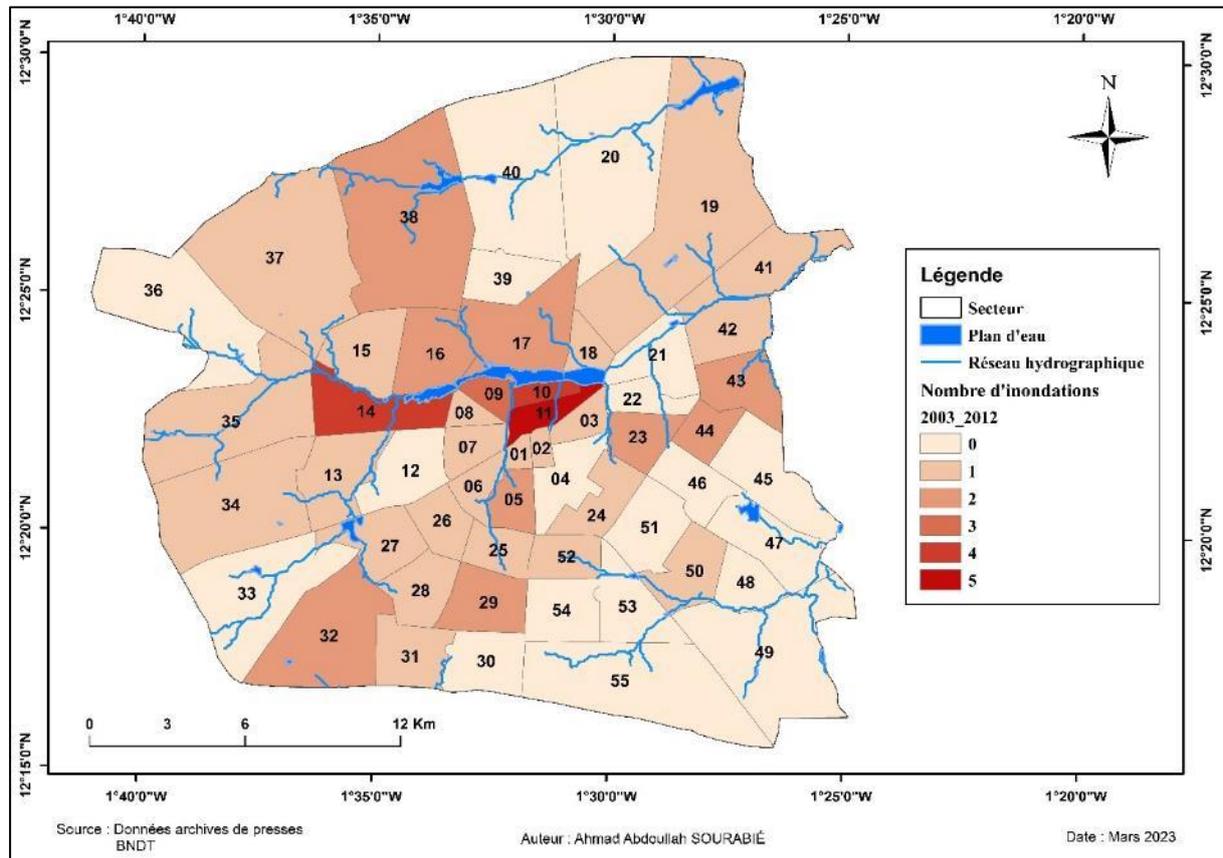
Les inondations touchent plus le centre-ville et les secteurs à la périphérie d'alors de la ville.



**Figure 11 : Répartition des secteurs inondés sur la période de 1986 à 2002**

➤ **De 2003 à 2012**

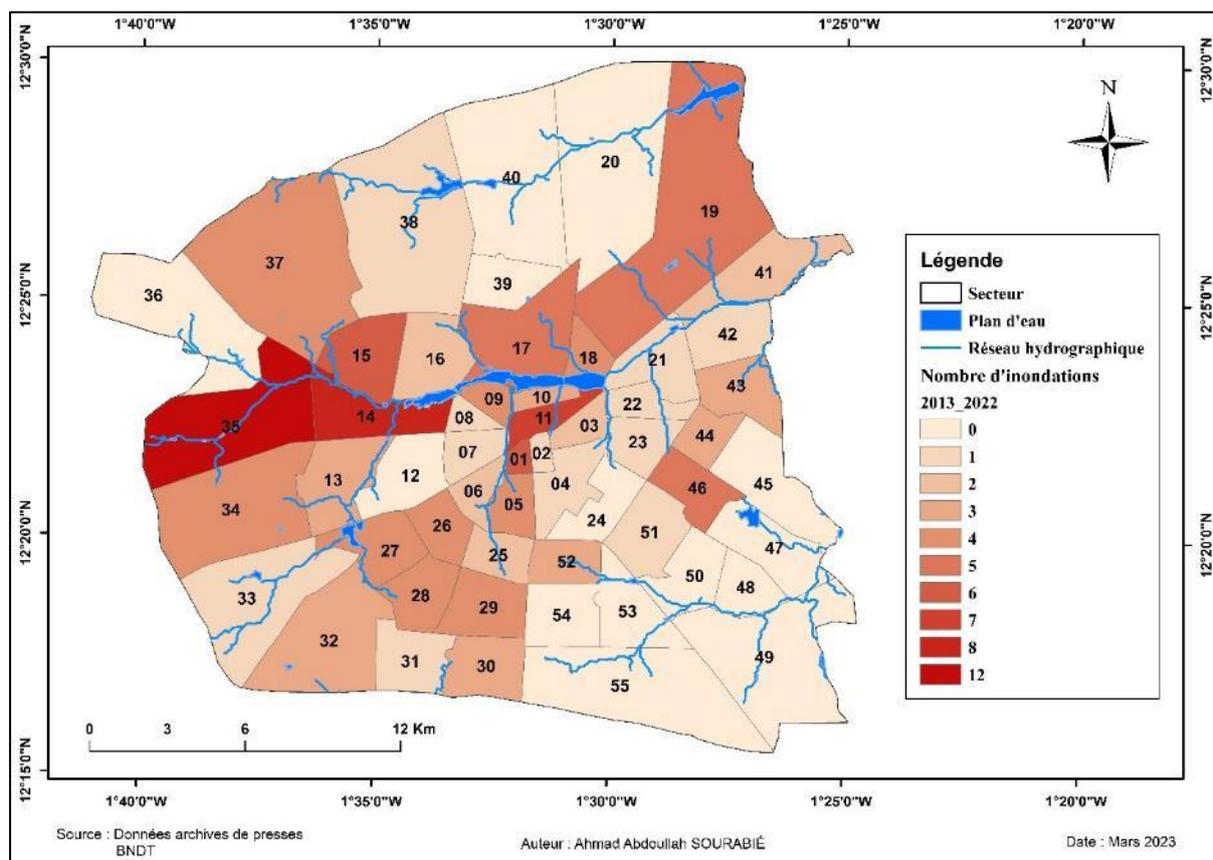
Les inondations affectent plus les secteurs situés aux abords des barrages. Les secteurs 9, 10, 11, et 14 sont les plus touchés.



**Figure 12 Répartition des secteurs inondés sur la période de 2002 à 2012**

➤ **De 2013 à 2022**

Durant cette période, les inondations s'intensifient sur pratiquement toute la ville. Les inondations plus à présent dans certains secteurs à la périphérie de la ville. Aussi les secteurs au centre de la ville où les inondations sont toujours présentes.



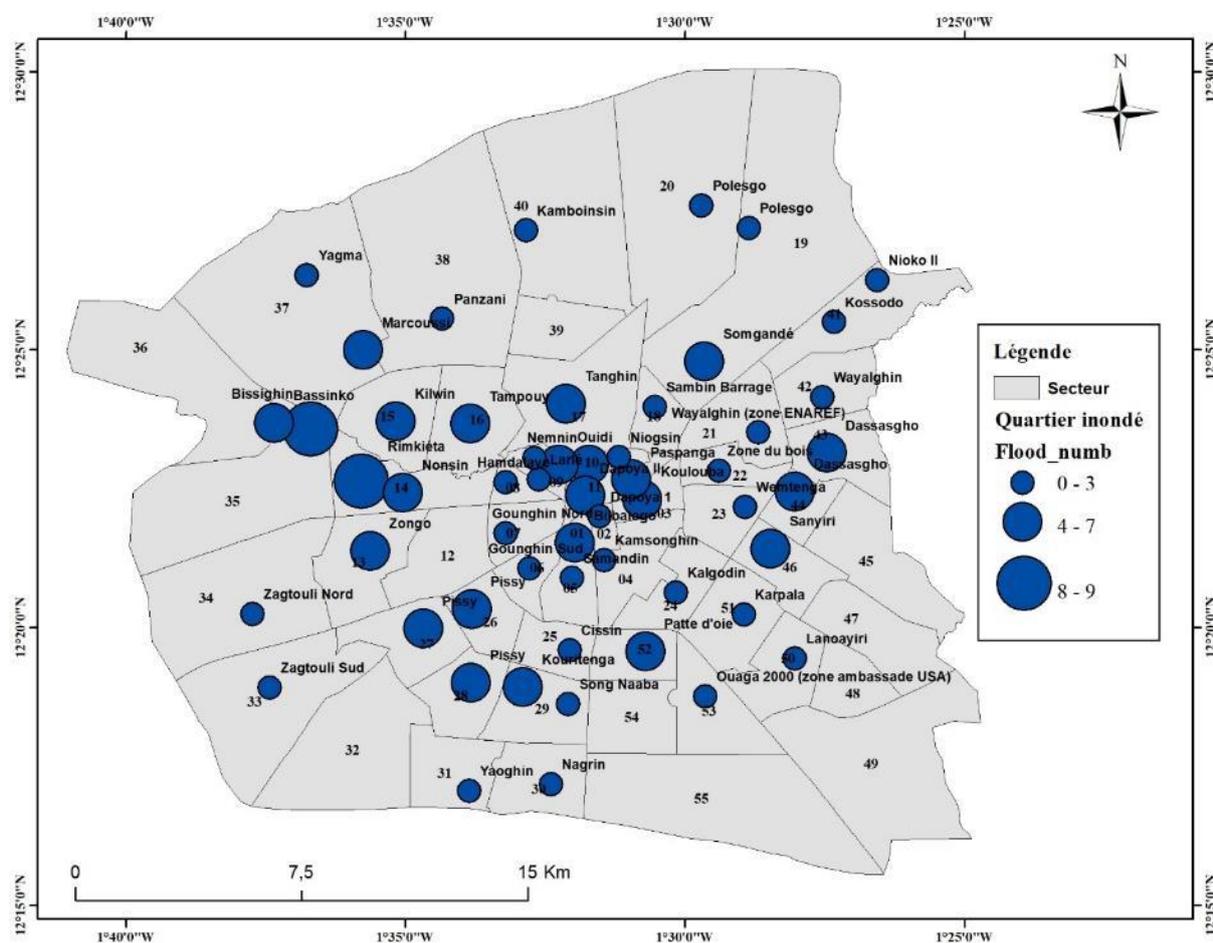
**Figure 13 Répartition des secteurs inondés sur la période de 2013 à 2022**

Le nombre de secteurs inondés est passé de 6 sur la période de 1986 – 2002 (16 ans) à 28 sur la période de 2003 – 2012 (10 ans) puis à 41 secteurs à partir de 2013 (10 ans).

#### IV.1.2.1.2 Répartition des Quartiers inondés

De 1986 à 2022, 62 des 93 quartiers de la ville de Ouagadougou ont connu au moins une inondation d'après les événements recensés. Quarante-quatre (44) quartiers ont connu de 1 à 3 événements d'inondation. Les quartiers ayant été affectés par plus de trois inondations sont au nombre de 24 dont 8 quartiers ayant connu 4 inondations, 9 ayant connu 5 inondations, 1 ayant connu 6 événements, 4 quartiers ayant connu 7 inondations et 2 quartiers ayant connu 8 et 9 événements d'inondation. Le quartier le plus inondé est le quartier Bissighin avec 9 événements d'inondation suivi du quartier Rimkiéta avec 8 événements puis koulouba, Paspanga, Kilwin et Tanghin avec 7 événements.

La **Figure 14** représente les quartiers inondés sur la période de 1986 à 2022.



**Figure 14 : Répartition spatiale des quartiers inondés sur la période de 1986 à 2022**

## IV.2. Analyse des facteurs biophysiques impliqués dans la survenue des inondations

### IV.2.1 Analyse de la pluviométrie

Il ressort de l'analyse fréquentielle (voir **Annexe 3**) que la loi de probabilité de valeurs extrêmes généralisées est la loi statistique qui s'ajuste le mieux à la série de pluies maximales journalières de la station synoptique de Ouagadougou sur la période de 1986-2022. Ainsi, elle sera donc utilisée pour estimer les quantiles de pluies associés à leurs périodes de retour.

Le **Tableau 3** présente la classification des événements d'inondation. L'analyse des pluies maximales journalières permet de dire que la quasi-totalité des pluies survenues dans l'espace « Grand Ouaga » est classée dans la catégorie des événements de type normal (78,05 %). Les pluies de type anormal représentent 7,32 % contre 9,75 % de type très anormal. Il a été enregistré deux pluies très exceptionnelles soit 4,88 % des pluies.

**Tableau 3 : Classification des événements d'inondations**

Type d'évènement	Nombre d'apparition	Pourcentage (%)	Pluviométrie (mm)
Normal	32	78,05	< 87,1
Anormal	3	7,32	87,1-99,7
Très anormal	4	9,75	99,7-134
Exceptionnel	0	0	134-186
Très exceptionnel	2	4,88	> 186

L'analyse de l'influence de la répétitivité des pluies de façon successive sur la survenue des inondations a été effectuée (voir **Annexe 3**)

Les résultats montrent que :

- 75,61 % d'évènements pluvieux qui ont occasionné les inondations sont des pluies intenses et 46,34 % des pluies ont un cumul pluviométrique sur les 5 jours précédents supérieur à 30 mm (seuil des pluies intenses selon (Panthou et al., 2012).
- 78,04 % des pluies à l'origine d'inondation ont un cumul supérieur à 10 mm 3 jours précédent (qui correspond au seuil de pluie fortes selon la nomenclature ETCCDMI).
- Également, on constate 39,02 % des inondations survenues dans l'espace « Grand Ouaga » correspondent à la pluie journalière maximale.

L'analyse de la classification des événements d'inondation à Grand Ouaga, telle que présentée dans le **Tableau 3**, souligne l'importance cruciale de la typologie des précipitations dans la compréhension des phénomènes d'inondation. La prédominance des événements de type normal, représentant 78,05% des pluies, suggère une régularité apparente dans le régime pluviométrique de la région. Cependant, la prévalence notable de pluies intenses, responsables de 75,61% des inondations, met en évidence le rôle significatif de l'intensité des précipitations dans la genèse de ces événements. Les seuils définis par Panthou (2012) et la nomenclature ETCCDMI confirment cette corrélation, avec 46,34% des pluies ayant un cumul pluviométrique sur les 5 jours précédents supérieur à 30 mm. La prévalence de cumuls supérieurs à 10 mm trois jours avant les inondations (78,04%) et de pluies journalières maximales (39,02%) souligne la diversité des déclencheurs.

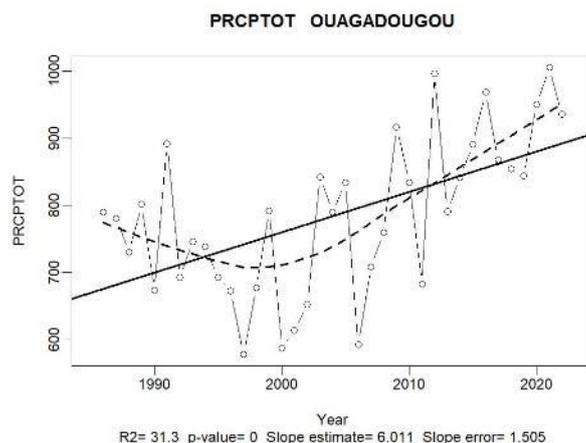
L'intensité des pluies joue un rôle important dans la survenue des inondations. Cependant, pour certains événements d'inondation, le cumul pluviométrique des jours précédents ne constitue pas un facteur prépondérant dans la survenue des inondations dans l'espace « Grand Ouaga ».

#### IV.2.2 Analyse de l'évolution des indices pluviométriques

##### ❖ **Indice des totaux annuels des précipitations PRCPTOT**

La **Figure 15** présente les cumuls annuels des précipitations totales sur la période 1986-2022 à Ouagadougou. Elle met en évidence une tendance linéaire à la hausse des hauteurs des pluies annuelles. Les pluies annuelles augmentent d'environ 6 mm/an. Cette augmentation est très significative statistiquement avec une p-value égale à 0. Elles augmentent de 60 mm par décennie. Ainsi en 36 ans, les pluies annuelles ont augmenté de 360 mm. L'année la plus pluvieuse sur la période de 1986 – 2022 a enregistré un cumul maximal de 1005,3 mm observé en 2021. Un minimum de 578,1 mm a été enregistré en 1997 correspondant à l'année la moins pluvieuse.

La courbe de lissage indique deux phases d'évolution des cumuls annuels. La période de 1986 – 1997 est marquée par une baisse des cumuls annuels. On observe une augmentation du cumul sur la période de 1997 à 2022.



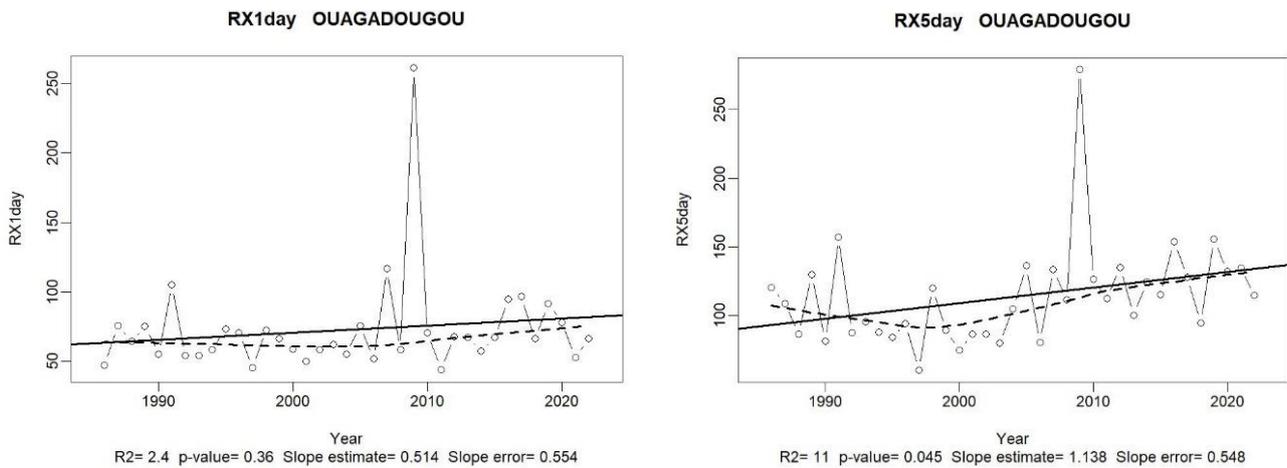
**Figure 15 : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice PRCPTOT à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 - 2022**

❖ **Indice de maximum de précipitations journalières RX1day et indice du cumul maximum de précipitations de 5 jours consécutifs RX5day**

La **Figure 16** présente les précipitations journalières maximales annuelles (indice RX1day) et le cumul maximum de précipitations de 5 jours consécutifs de pluie (indice RX5day).

On observe une augmentation de l'indice RX1day et la tendance de la droite de régression est de 0,51 mm/an. Cet indice augmente de 5,1 mm par décennie. Cette augmentation n'est pas significative statistiquement avec une p-value égale à 0,36. La courbe de lissage montre deux phases de l'évolution des précipitations maximales journalières sur la période de 1986 – 2022. On observe une baisse de l'indice sur la période de 1986 à 2006 et une augmentation de l'indice de 2007 à 2022.

La tendance évolutive de l'indice RX5day est positive avec 1,14 mm/an. Cette augmentation est statistiquement significative avec une p-value de 0,045. La courbe de lissage de loess montre deux phases dans l'évolution de cet indice. Une première phase décroissante de 1986 à 1998 et une deuxième phase croissante de 1998 à 2022.

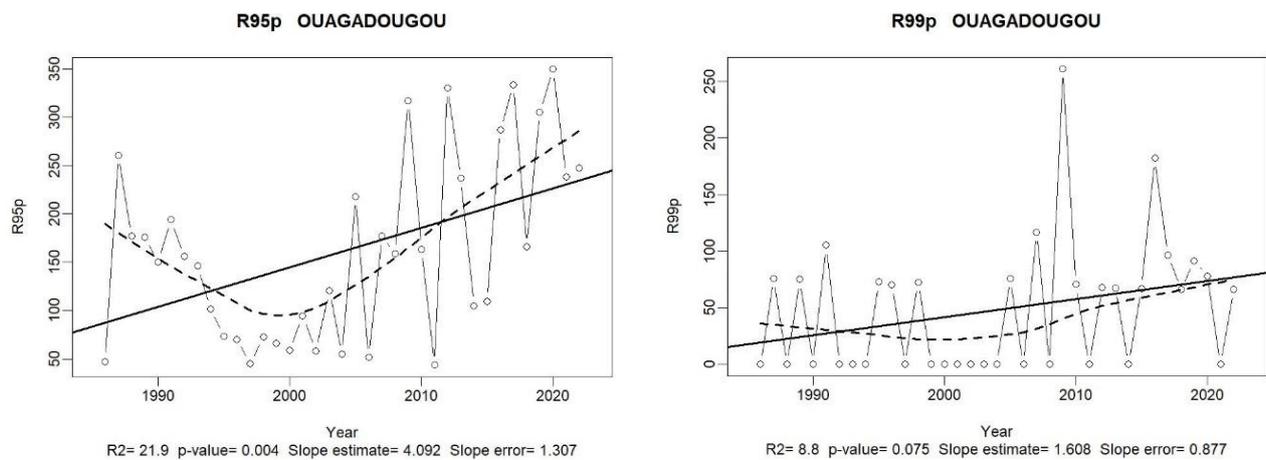


**Figure 16 : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs de l'indice RX1day et RX5day à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 – 2022**

❖ **Indices des Jours très humides (R95p) et des jours extrêmement humides (R99p)**

L'indice R95p est le cumul des précipitations supérieures au percentile 95. La **Figure 17** montre l'évolution de cet indice à Ouagadougou sur la période de 1986 – 2022. La tendance de cet indice est en hausse de 4,09 mm/an. Elle a augmenté de 177,12 mm sur la période de 1986 – 2022. Cette augmentation est significative avec une p-value de 0,004. La courbe de lissage laisse apparaître deux phases : une baisse de 1986 à 1998 et une augmentation de 1999 à 2022.

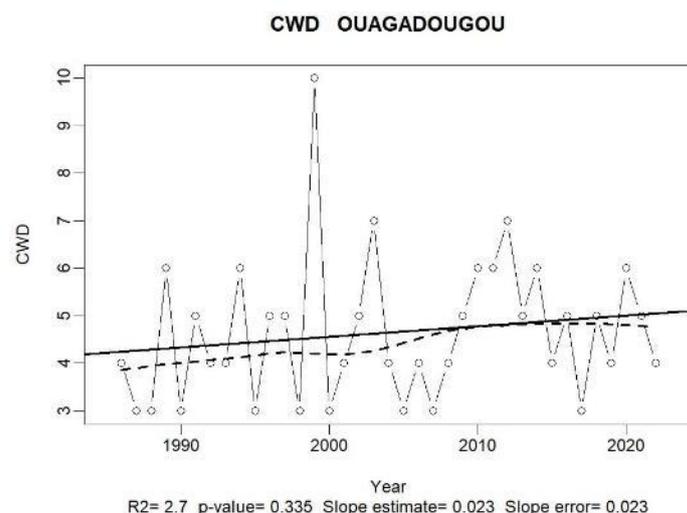
Les indices des jours extrêmement humides (R99p) de la figure montre une évolution des fluctuations des cumuls. Cette évolution indique que l'indice est en hausse de 16 mm par décennie. Les extrêmes les plus importants ont eu lieu en 2009 (261,3 mm) et en 2016 (182,2 mm). L'indice a connu deux grandes phases d'évolution selon la courbe de lissage, à savoir une baisse entre 1986 et 2004 et une augmentation entre 2005 et 2022.



**Figure 17 : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices R95p et R99p à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 à 2022**

❖ **Indices des jours consécutivement humides (CWD)**

La **Figure 18** présente l'évolution des jours consécutivement pluvieux (CWD) sur la période de 1986 à 2022. On observe une tendance à la hausse (non significative car p-value = 0,335) des jours consécutifs humides avec une faible fluctuation du nombre de jours humides et un maximum de 10 jours d'humidité continue en 1999. La courbe de lissage de la figure 3 montre une seule phase d'évolution qui est caractérisée par une hausse apparente de l'indice.



**Figure 18 : Variation annuelle et tendance linéaire des valeurs des indices CWD à la station de Ouagadougou sur la période de 1986 à 2022**

### IV.2.3 Analyse des facteurs hydrographiques et géomorphologiques

#### IV.2.3.1 Cartographie des facteurs hydrographiques et géomorphologiques

Pour la mise en place de la carte des zones vulnérables au risque d'inondation, il est nécessaire d'élaborer au préalable celles des facteurs impliqués dans la survenue des inondations (altitudes, pente, types de sol, indice d'humidité topographique, proximité du cours d'eau, densité de drainage). Ces cartes seront ensuite agrégées selon la méthodologie définie plus haut.

Ces cartes sont présentées sur la **Figure 19** (a) Altitudes, (b) Pente, (c) Sols, (d) Indice d'humidité topographique, (e) Densité de drainage (f) Proximité du cours d'eau.

#### ❖ Carte des altitudes

La carte des altitudes de l'espace « Grand Ouaga » a été classé en cinq classes (**Figure 19-a**).

Elles varient entre 248 et 379 m. Les zones à fortes altitudes se trouvent à l'ouest, et diminuent progressivement vers les niveaux plus bas à l'est. Ainsi, on a la classe des altitudes très élevées [350 – 379 m] qui couvre une superficie de 78,50 km<sup>2</sup> environ 2,47% de l'espace « Grand Ouaga ». La classe des altitudes élevées [325 – 350 m] couvre une surface de 558,92 km<sup>2</sup> (17,60% de la zone d'étude). Ces zones à fortes altitudes sont plus présentes dans les communes de Tanghin-Dassouri, Komki-Ipala, et Komsilga. La classe d'altitude moyenne [300 – 325 m] plus présent dans les communes de Ouagadougou Pabré et Komsilga, couvre une superficie de 1160,12 km<sup>2</sup>, environ 36,55%. La classe de faible altitude [275 – 300 m], la plus dominante couvre une superficie de 1193,53 km<sup>2</sup> soit 37,60% de la zone d'étude. Les zones de très faibles altitudes [248-275 m] couvrent 5,78% avec une surface d'environ 183,28 km<sup>2</sup>. Les zones de faibles altitudes sont plus présentes dans les communes de Loumbila, Saaba, et Koubri.

#### ❖ Carte des pentes

La **Figure 19-b** présente cinq classes de pentes. La classe de pente très forte, ( $\alpha > 10\%$ ) ne couvre qu'une superficie de 35,49 km<sup>2</sup>. A certain endroit, la pente atteint 40,38% pour une surface d'environ 939,22 m<sup>2</sup>. Les zones de très fortes pentes représentent 1,12% de la zone d'étude. La classe de pente forte ( $6 < \alpha > 8\%$ ) couvre une surface d'environ 111,64 km<sup>2</sup> soit 3,52% de la zone d'étude. La classe de pente moyenne dont les pentes sont comprises entre 4 et 6%. Cette classe constitue 504,24 km<sup>2</sup> soit 15,88%. Les zones de pentes faibles ( $2 < \alpha > 4\%$ ) représentent 36,66% de la zone d'étude pour une surface de 1163,60 km<sup>2</sup>. c'est la classe des hautes plaines. La dernière classe de pente regroupe les pentes de très faible pentes ( $\alpha < 2\%$ ).

C'est la classe des basses plaines. Elle couvre une superficie de 1359,37 km<sup>2</sup> soit environ 42,82%.

#### ❖ Carte des types de sol

La nature du sol joue un rôle prépondérant dans la genèse des inondations. En effet, l'inondation peut survenir suite à un ruissellement important des eaux pluviales. On distingue le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration (*excess infiltration overland flow*) également appelé ruissellement hortonien et le ruissellement sur sol saturé (*saturated overland flow*). (Armand, 2009) (Armand, 2009). Ce ruissellement est fréquemment observé dans les zones hydromorphes, les talwegs et en bordure de cours d'eau. La capacité d'infiltration quant à elle, dépend de la texture et de la structure du sol.

L'espace « Grand Ouaga » est constitué en grande partie de sol hydromorphe. (**Figure 19-c**). On distingue également des sols peu évolués, des sols à mull, des sols minéraux bruts, des sols à sesquioxydes et des vertisols et paravertisols.

#### ❖ Carte de l'indice d'humidité topographique

L'espace « Grand Ouaga » est caractérisé par un indice d'humidité topographique variant de 4,3 à 24,7. Plus l'indice est grand, plus la zone est humide et plus la susceptibilité aux inondations est grande. On peut ainsi distinguer cinq classes de TWI comme présenté à la **Figure 19-d**. La classe des zones très humides ( $15,1 < TWI < 24,7$ ) couvre une superficie de 68,45 km<sup>2</sup> soit 2,16% de la zone d'étude. La classe des zones humides ( $11,9 < TWI < 15$ ) couvrent une surface de 312,84 km<sup>2</sup> soit 9,86%. Les zones moyennement humides ( $9,5 < TWI < 11,8$ ) présentent sur 17,04 % de la zone d'étude, environ 540,98 km<sup>2</sup>. La classe des zones de faible humidité ( $7,7 < TWI < 9,4$ ) couvrent une surface de 884,09 km<sup>2</sup> soit environ 27,85%. Les zones de très faible humidité ( $4,3 < TWI < 7,6$ ) présentent sur 43,09% de la zone d'étude soit 1367,98 km<sup>2</sup>. Les zones humides de l'espace « Grand Ouaga » se trouvent le long des cours d'eau et des retenues d'eau.

#### ❖ Carte de la densité de drainage

La densité de drainage de la zone d'étude est classée en cinq classes. L'analyse de la carte de densité de drainage (**Figure 19-e**) a permis de mettre en évidence cinq grands domaines structuraux suivant :

Un domaine de très forte densité de drainage [ $1,96 - 3,07 \text{ km/km}^2$ ] plus présent dans les communes de Ouagadougou et de Saaba. Cette classe couvre une superficie d'environ  $129,06 \text{ km}^2$  soit  $4,07 \text{ km}^2$  de la zone d'étude.

- Un domaine de forte densité de drainage [ $1,38 - 1,96 \text{ km/km}^2$ ] plus présent dans les communes de Pabré et Koubri. Cette classe couvre une superficie d'environ  $398,41 \text{ km}^2$  soit environ  $12,55\%$  de la zone d'étude.
- Un domaine de densité moyenne de drainage [ $0,86 - 1,38 \text{ km/km}^2$ ] présent sur  $19,64\%$  de la zone d'étude soit environ  $623,52 \text{ km}^2$ .
- Un domaine de faible densité de drainage [ $0,42 - 0,86 \text{ km/km}^2$ ] présent sur tout l'étendu de la zone d'étude. Cette classe couvre une superficie d'environ  $842,89 \text{ km}^2$  représentant  $26,55\%$  de la superficie totale.

Un domaine de très faible densité de drainage [ $< 0,42 \text{ km/km}^2$ ]. Cette classe couvre une superficie d'environ  $1180,30 \text{ km}^2$  représentant environ  $37,18\%$  de la zone d'étude.

#### ❖ Carte de la proximité des cours d'eau

La **Figure 19-f** montre les zones d'influence des cours d'eau sur la base du décret portant réglementation des servitudes des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales, des zones inondables inconstructibles et des zones submersibles dans la ville de Ouagadougou. Ainsi :

- Les zones inondables inconstructibles définies par les zones de servitude de 100 mètres de part et d'autre des limites des canaux primaires d'évacuation des eaux pluviales.
- Les zones submersibles définies par les berges des cours d'eau sur une bande de 200 mètres à partir de la servitude.

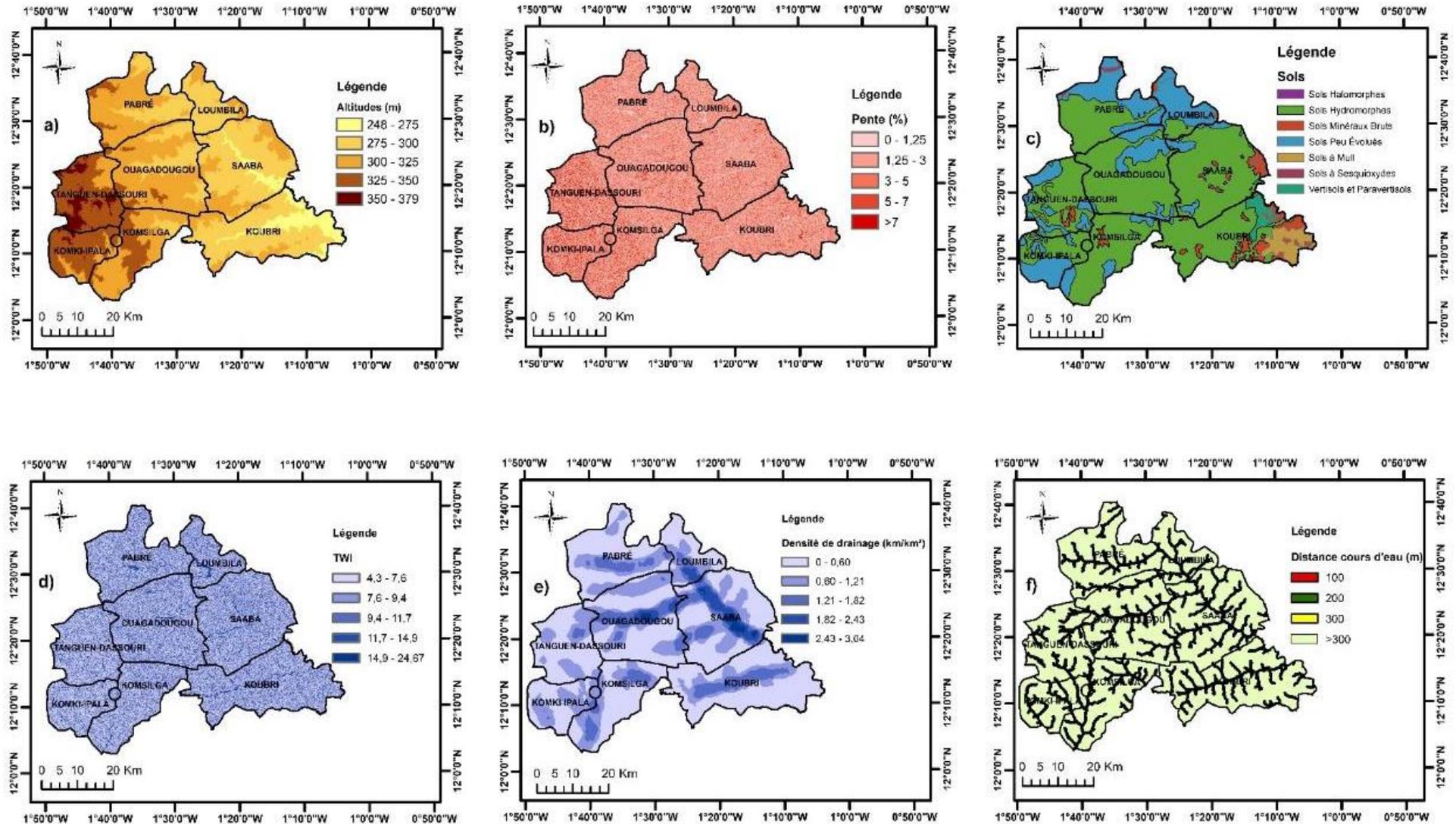


Figure 19 : Cartes des facteurs géomorphologiques et hydrographiques

#### IV.2.3.2 Cartographie des zones vulnérables au risque d'inondation par l'analyse hiérarchique des procédés

##### IV.2.3.2.1 Standardisation des facteurs

- **Altitude**

Les inondations sont généralement concentrées vers les zones de basses altitudes du fait de l'accumulation des eaux. Le rang 1 est attribué à la classe d'altitude très faible tandis que le rang 5 est attribué à la classe d'altitude très élevée.

- **Pente**

L'espace « Grand Ouaga » est majoritairement constitué de zones plates à faible pente. Les surfaces de faible pente sont les surfaces les plus exposées au risque d'inondation. Ainsi, le rang 5 est attribuée à la classe de pente très faible tandis que le rang 1 moins élevée est attribué à la classe de pente très élevée en raison du ruissellement relativement élevé

- **Type de sol**

L'importance du type de sol dans la survenue des inondations est liée à la perméabilité et à la capacité de rétention de l'eau. Plus la capacité de rétention de l'eau en surface (saturation) est grande, plus la susceptibilité au risque d'inondation est grande. Ainsi le rang 5 est attribué au type de sol favorable à la saturation. La classification et les caractéristiques des sols sont données par l'ORSTOM (1965) :

- **Densité de drainage**

Une densité de drainage élevée signifie une importante concentration du réseau hydrographique par rapport aux zones de faible densité de drainage. Plus le réseau hydrographique est dense, plus le risque de débordement est élevé. Les zones de faible densité de drainage sont moins susceptibles d'être inondées. Ainsi, la classe de très faible drainage s'est vu attribuer le rang 1. Inversement, la classe de très forte densité s'est attribué le rang 5.

- **Indice d'humidité topographique**

Plus l'indice d'humidité topographique est grand plus la zone est humide et plus la susceptibilité aux inondations est grande. Le rang 5 est attribuée à la classe de TWI très élevée.

- **Proximité des cours d'eau**

Les débordements des cours d'eau peuvent également déclencher une inondation. Plus la distance par rapport au cours d'eau augmente plus le risque diminue. Les zones les plus proches du réseau de drainage sont les plus sujettes au risque d'inondation. Le rang 5 est attribuée à la classe de distance plus proche du cours d'eau.

La reclassification des facteurs est reprise dans le **Tableau 4**.

**Tableau 4:Récapitulatif de la reclassification des facteurs biophysiques**

<b>Facteur</b>	<b>Classe</b>	<b>Classe de susceptibilité</b>	<b>Rang</b>
<b>Altitude (m)</b>	248 – 275	Très fort	5
	275 – 300	Fort	4
	300 – 325	Moyen	3
	325 – 350	Faible	2
	350 - 379	Très faible	1
<b>Pente (%)</b>	< 2	Très faible	5
	2 – 4	Faible	4
	4 – 6	Moyen	3
	6 – 8	Fort	2
	> 8	Très fort	1
<b>Type de sol</b>	Sols peu évolués	Très faible	1
	Sols hydromorphes	Faible	2
	Sesquioxyde Sols halomorphes	Moyen	3
	Sols à Mull	Fort	4
	Vertisols Sols minéraux brute	Très fort	5
<b>Densité de drainage (km/km<sup>2</sup>)</b>	< 0,42	Très faible	1
	0,42 – 0,86	Faible	2
	0,86 – 1,38	Moyen	3
	1,38 – 1,96	Fort	4
	1,96 – 3,07	Très fort	5
<b>Indice d'humidité topographique</b>	4,3 – 7,6	Très faible	1
	7,7 – 9,4	Faible	2
	9,5 – 11,8	Moyen	3
	11,9 – 15	Fort	4
	15,1 – 24,7	Très fort	5
<b>Proximité des cours d'eau (m)</b>	< 100	Très fort	5
	100 - 200	Fort	4

	200 - 300	Moyen	3
	> 300	Faible	2

#### IV.2.3.2.2 Attribution des poids par le processus d'analyse hiérarchique

- **Matrice de comparaison par paire des facteurs**

L'échelle numérique de comparaison binaire de Saaty a permis de construire la matrice de comparaison deux à deux des différents facteurs. Suite à un examen approfondi des travaux antérieurs de même nature et à fonction de notre sens de jugement, la matrice de jugement de comparaison par paire a été obtenu et présenté dans le **Tableau 5**.

**Tableau 5 : Matrice de comparaison par paire**

Facteurs	DE	P	Alt	TWI	DD	TS
<b>DE</b>	1	3	5	5	7	7
<b>P</b>	1/3	1	3	3	5	5
<b>Alt</b>	1/5	1/3	1	3	3	5
<b>TWI</b>	1/5	1/3	1/3	1	3	3
<b>DD</b>	1/7	1/5	1/3	1/3	1	3
<b>TS</b>	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1

**DE** : distance par rapport au cours d'eau ; **P** : pente ; **Alt** : Altitude **TWI** : indice d'humidité topographique ; **DD** : Densité de drainage ; **TS** : type de sol.

Les valeurs propres et les coefficients de pondération de chaque facteur sont résumés dans le **Tableau 6**.

**Tableau 6 : Valeurs des vecteurs propres et coefficients de pondérations**

Facteurs	Vecteur propre	Coefficient de pondération (Cp)
<b>Distance par rapport au cours d'eau</b>	3.93	0.45
<b>Pente</b>	2.05	0.24
<b>Altitude</b>	1.20	0.14

<b>Indice d'humidité topographique</b>	0.76	0.09
<b>Densité de drainage</b>	0.46	0.05
<b>Type de sol</b>	0.29	0.03
<b>Somme</b>	8,70	1

▪ **Evaluation de la cohérence de la matrice**

Dans le cadre de notre étude, le nombre de facteurs retenus étant 6, la valeur de l'indice aléatoire de Saaty est alors égale à 1,24 (voir **Tableau 2**).

Le ratio de cohérence (RC) est obtenu suivant les étapes décrites plus haut et les résultats sont présentés dans les tableaux 10, 11 et 12.

**Tableau 7 : Matrice de comparaison normalisée**

<b>Facteurs</b>	<b>DE</b>	<b>P</b>	<b>Alt</b>	<b>TWI</b>	<b>DD</b>	<b>TS</b>	<b>Vecteur de poids normalisé</b>
<b>DE</b>	0.50	0.59	0.51	0.39	0.36	0.29	0.44
<b>P</b>	0.17	0.20	0.30	0.24	0.26	0.21	0.23
<b>Alt</b>	0.10	0.07	0.10	0.24	0.16	0.21	0.14
<b>TWI</b>	0.10	0.07	0.03	0.08	0.16	0.13	0.09
<b>DD</b>	0.07	0.04	0.03	0.03	0.05	0.13	0.06
<b>TS</b>	0.07	0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04
<b>Somme</b>	1	1	1	1	1	1	1

**DE** : distance par rapport au cours d'eau ; **P** : pente ; **Alt** : Altitude **TWI** : indice d'humidité topographique ; **DD** : Densité de drainage ; **TS** : type de sol.

**Tableau 8 : Matrice de poids propres**

Facteurs	DE	P	Alt	TWI	DD	TS	Vecteur de poids propre
<b>DE</b>	0.44	0.69	0.72	0.46	0.40	0.25	2.97
<b>P</b>	0.15	0.23	0.43	0.28	0.29	0.18	1.56
<b>Alt</b>	0.09	0.08	0.14	0.28	0.17	0.18	0.94
<b>TWI</b>	0.09	0.08	0.05	0.09	0.17	0.11	0.59
<b>DD</b>	0.06	0.05	0.05	0.03	0.06	0.11	0.35
<b>TS</b>	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04	0.22

**DE** : distance par rapport au cours d'eau ; **P** : pente ; **Alt** : Altitude **TWI** : indice d'humidité topographique ; **DD** : Densité de drainage ; **TS** : type de sol.

**Tableau 9 : Synthèse du calcul du ratio de cohérence**

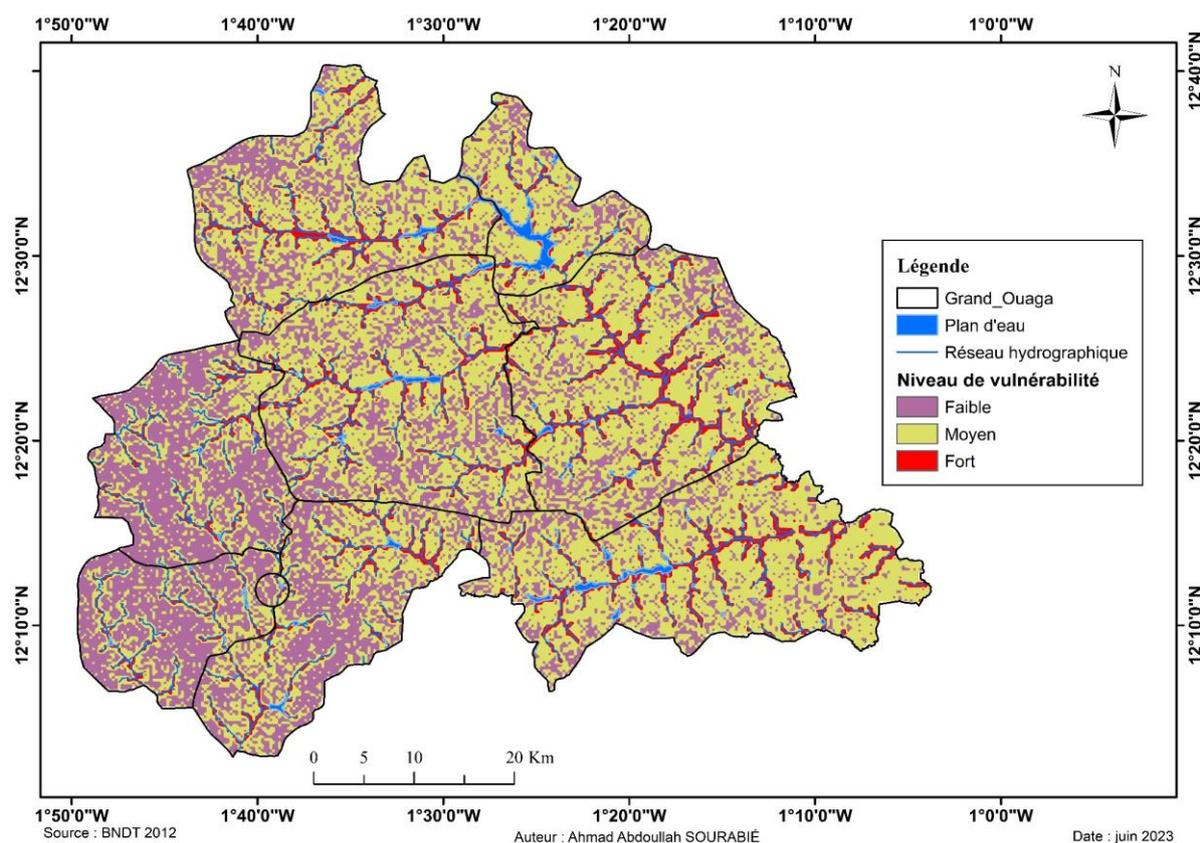
Facteurs	Vecteur de poids normalisé (1)	Vecteur de poids propre (2)	(1)/(2)	$\lambda_{max}$ .	IC	IA	RC
<b>Altitudes</b>	0.44	2.97	6.74	6.45	0.09	1.24	0.07
<b>Pente</b>	0.23	1.56	6.81				
<b>Type de sol</b>	0.14	0.94	6.51				
<b>Indice d'humidité topographique</b>	0.09	0.59	6.31				
<b>Densité de drainage</b>	0.06	0.35	6.11				
<b>Distance par rapport au cours d'eau</b>	0.04	0.22	6.22				

Le ratio de cohérence  $RC < 0,1$  la matrice de comparaison par paire est considérée comme cohérente.

#### IV.2.3.2.3 Analyse des zones vulnérables au risque d'inondation

La **Figure 20** montre la spatialisation du niveau de vulnérabilité de l'espace « Grand Ouaga » sur le plan biophysique. Il apparaît trois niveaux de vulnérabilité :

- **Zone de Faible Vulnérabilité** : Cette zone, couvrant environ 32,99% (1047,2 km<sup>2</sup>) de l'espace « Grand Ouaga », est située principalement dans les communes de Tanghin Dassouri, de Komki-Ipala, et une partie de Komsilga. La faible vulnérabilité suggère que ces zones ont des caractéristiques topographiques, hydrographiques et géomorphologiques qui les rendent moins sujettes aux inondations. Cela pourrait être dû à une altitude plus élevée, une pente modérée,
- **Zone de Moyenne Vulnérabilité** : Couvrant une superficie plus importante de 53,70% soit 1704,64 km<sup>2</sup>, cette zone est étendue sur diverses parties de l'espace "Grand Ouaga". La vulnérabilité moyenne suggère que ces zones présentent un certain niveau de risque, mais peuvent être gérées efficacement avec des mesures de prévention appropriées. Cela peut inclure des interventions telles que l'amélioration des systèmes de drainage urbain, la régulation de l'urbanisation.
- **Zone de Forte Vulnérabilité** : Cette zone, représentant 13,31%, 422,50 km<sup>2</sup>. Elle se concentre principalement autour des cours d'eau et des plans d'eau. La forte vulnérabilité indique que ces zones sont plus exposées aux risques d'inondation, en raison de l'effet combiné de la topographie, de la proximité des cours d'eau et d'une densité de drainage moins efficace. Pour ces zones il est important de respecter et faire respecter la réglementation en ce qui concerne les zones inondables.



**Figure 20 : Vulnérabilité biophysique de l'espace "Grand Ouaga"**

#### **IV.4 Mesures de protection des zones les plus inondées**

Ces dernières années, les quartiers les plus touchés par les inondations sont : Bissighin, Marcoussi, Kilwin, Nonsin, Rimkieta, Bonheur-ville, Somgandé...

Les inondations récurrentes constatées lors de chaque saison pluvieuse sont liées de façon générale à la faiblesse des ouvrages devant faciliter l'écoulement des eaux de pluies vers des exutoires. Elles sont dues également à l'occupation des voies d'eau et des zones inondables. En effet, les quartiers Bissighin, Zongo, une partie de Somgandé sont des zones d'habitation spontanées constituées d'habitats précaires. Ces quartiers des zones non loties construits aux abords des cours d'eau sont dépourvus de couloir d'évacuation des eaux pluviales. Les populations qui y sont installées sont bien plus vulnérables en cas d'inondations.

Le quartier Kilwin est situé dans une zone où la nappe d'eau souterraine est peu profonde. Les eaux de pluies saturant rapidement le sol, ce qui favorisent la stagnation des eaux et les inondations. Des réseaux de drainage inexistantes comme c'est le cas dans les quartiers Rimkieta et Nonssin

Dans le quartier Bonheur-ville, les constructions ont été faites sur des passages d'eau. Il existe un bassin de rétention qui déverse ses eaux dans le quartier. Les canalisations destinées à drainer les eaux de pluies sont inachevées.

Par une urbanisation accélérée on assiste à un non-respect du plan d'occupation du sol. Et cela se manifeste par une occupation anarchique des lits majeurs et mineurs des cours d'eaux, une obstruction des lits d'eaux par les ordures de toute nature.

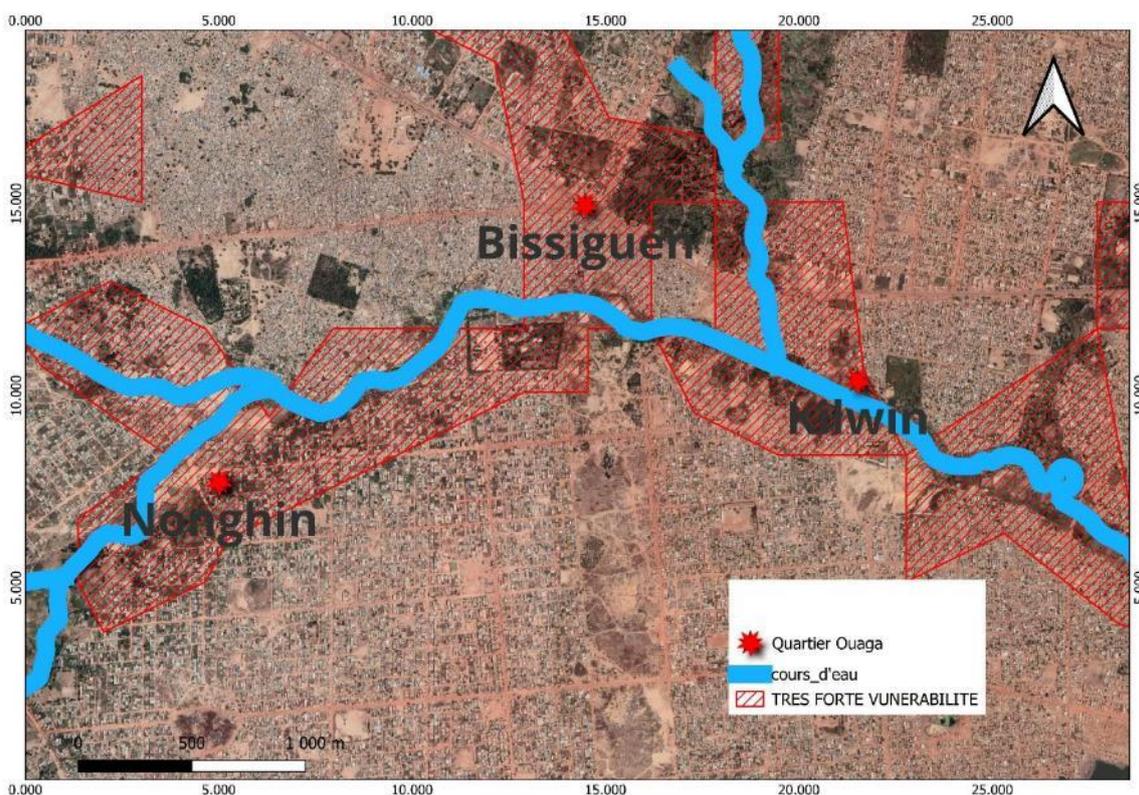
La mise en œuvre de mesures structurelles et non structurelles permettra de réduire le risque d'inondation :

- Faire appliquer et respecter des réglementations en matière d'aménagements et d'occupation du sol ;
- Mettre en place d'un plan d'aménagement des eaux pluviales plus rigoureux qui prend en compte l'évolution démographique de la ville.
- Développer et entretenir le réseau de canaux de drainage ; installer des grilles d'égout pour empêcher les débris de bloquer les canalisations.
- Redynamiser les programmes d'assainissements de la ville
- Vulgariser les prévisions Météorologiques saisonnières
- Restaurer les cours d'eau naturels pour augmenter leur capacité à gérer les crues.
- De plus, il est urgent de regarder de près l'ensablement chronique des canaux de drainage, le colmatage par les déchets des caniveaux et l'ensablement des barrages numéros 1, 2 et 3 réduisant ainsi leurs capacités de rétention d'eau.
- Créer des zones d'expansion des crues pour réduire les risques d'inondations dans les zones habitées en permettant à l'eau de s'étendre de manière contrôlée pendant les crues.

#### ❖ Cas du quartier Bissighin

Le quartier Bissighin est le quartier le plus fréquemment inondé. Il est construit dans une zone « non lotie » non réglementée donc dépourvu de couloirs d'évacuation comme mentionné plus haut. Les habitations sont construites dans le lit du cours d'eau longeant le quartier. Ce qui augmente le risque d'inondation dans la zone. La plupart des inondations survenues dans cette zone est due à des crues qui inondent le lit majeur occupé par les habitations.

La **Figure 21** présente la zone de très forte vulnérabilité des quartiers Bissighin, Kilwin et Nonghin



**Figure 21 : Zones de forte vulnérabilité des quartiers Bissighin, Kilwin et Nonghin**

La mise en place d'ouvrage de gestion d'eaux pluviales permettra de réduire le risque d'inondation dans le quartier Bissighin.

- Puits d'infiltration : structure creusée dans le sol pour permettre l'infiltration naturelle de l'eau de pluie dans les couches souterraines. La mise en place d'un puits d'infiltration permettra de gérer efficacement les eaux pluviales en permettant à une partie de l'eau de s'infiltrer dans le sol, contribuant ainsi à la recharge des nappes phréatiques et à la réduction du ruissellement en surface.
- Bassin de rétention : les bassins de rétention permettront de stocker temporairement l'excès d'eau pendant les périodes de crue et pour la libérer plus lentement dans le cours d'eau en aval. En stockant temporairement l'eau excédentaire, elles contribuent à réduire les pics de crue en régulant le débit d'eau qui atteint les cours d'eau en aval. Cela aide à atténuer les impacts des inondations et à protéger les zones situées en aval. Ces bassins de rétentions vont faciliter la mise en place de zones tampons vertes qui peuvent aider à absorber l'excès d'eau lors des crues. Ces zones peuvent être constituées de végétation adaptée, comme des forêts, qui absorbent l'eau et réduisent la vitesse de l'écoulement.

## V. DISCUSSION

---

Cette étude a porté sur l'analyse de la dynamique spatiale et temporelle du risque d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga » sur la période de 1986 à 2022, l'implication des facteurs biophysiques dans la survenue des inondations, complétée par les mesures de protection à l'échelle locale pour minimiser le risque d'inondation.

### V.1 De l'analyse de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga »

Dans cette étude, l'identification des zones les plus sensibles aux phénomènes d'inondation et la cartographie des zones inondées ont été réalisés à partir des données historiques sur la période de 1986 à 2022. De façon générale, les inondations sont moins fréquentes dans les communes rurales mais très fréquentes dans la commune urbaine de Ouagadougou. (Bruckmann et al., 2019) rapporte qu'une tendance à l'augmentation de la fréquence des inondations est observée dans les différentes zones urbaines d'Afrique. Avant les années 2002, les inondations survenaient en moyenne une fois tous les deux ans, puis une fois en moyenne jusqu'à 2012. Cette fréquence a doublé partir de 2013. Cette augmentation des inondations est due à la croissance démographique qui rime avec la croissance urbaine. En effet, la population de Ouagadougou est passée de 465.969 à 1.915.102 habitants entre 1985 et 2012 (Hangnon et al., 2015) puis à 2 215 266 habitants en 2019 (RGPH, 2019). En 2009, la commune de Ouagadougou s'est vue attribué un nouveau découpage administratif du fait de l'expansion spatiale démesurée, pour une gestion de proximité. Ainsi, la ville de Ouagadougou est passée de 5 à 12 arrondissements et 30 à 55 secteurs. On assiste à un accroissement des surfaces constructibles, conjugués à l'occupation anarchique des sols qui se fait le plus souvent de façon spontanée.

Les inondations survenues entre 1986 et 2002 ont touché les secteurs 3, et les secteurs aux abords du barrage de Boulmiougou (secteur 13, 26, 27, 28). Avant la mise en place du projet ZACA (Zone d'Activité Commerciale et Administrative), une partie du secteur 3 (Koulouba) érigé pendant la période coloniale, était constitué d'installation anarchique, caniveaux bouchés et à ciel ouvert, voix exigüe (Fournet et al., 2008). Ce qui explique les inondations dans le secteur 3 durant la période de 1986 – 2002. Les inondations des quartier Pissy, Zongo ont été causé par le débordement de lit de cours d'eau. « *Les résidents du secteur 18 (ex secteur 13),*

*dans l'arrondissement de Boulmiougou, ont eu les pieds dans l'eau qui a envahi les cours et les habitations. Les victimes d'inondation sont principalement celles résidant dans le bas-fond. A ce niveau, il y a une voie d'eau reliant le barrage de Boulmiougou à celui de Baskuy. Ces 2 barrages ayant été remplis à ras bord, il y a eu des crues, d'où les inondations ».* Déclare Seni DABO, journaliste chez Editions « le pays » à la suite des inondations du 25 août 2002.

La période de 2003 à 2012 a été marquée par des inondations qui ont touché plus les quartiers riverains des barrages, en l'occurrence Dapoya, Norghin, Nemnin, Paspanga, Tanghin dans les secteurs 10, 11, 17 et Rimkieta, Nonsin dans le secteur 14. A Dapoya, Norghin, Nemnin, les constructions sont faites dans les bas-fonds longeant le barrage n°2 à moins de 50 m de la rive. Dans les autres secteurs touchés, les sinistrés estiment que les premiers responsables de leur commune ont failli dans le plan de lotissement car les aménagements ont été faits sans tenir compte des caniveaux à creuser. Suite à la pluie du 25 mai 2008 qui a causé des inondations avec des dégâts importants dans le secteur 29, le maire de la commune de Ouagadougou a reconnu en effet l'insuffisance de caniveaux dans la zone. « Une situation due à une insuffisance de moyens financiers alloués au projet de désenclavement de la périphérie de Ouagadougou ». Cette période a été marquée également par l'avènement de l'inondation la plus catastrophique ayant causé de nombreux dégâts. L'évènement du 1 septembre 2009 a provoqué une prise de conscience du risque d'inondation par la population. Ainsi, un ensemble de décisions et d'actions peuvent être regroupées en deux catégories : la mise en place de structures pour la gestion de la crise et la réalisation d'activités d'assistance. (Sanfo, 2018).

On observe globalement une augmentation du nombre d'inondation à partir de 2013. On dénombre sur la période de 2013 à 2022 24 évènements d'inondations ont touché deux communes rurales (Tanghin Dassouri et Komsilga) et impactés 41 secteurs de la ville de Ouagadougou. Les inondations s'étendent sur toute la ville, au centre comme à la périphérie. Les secteurs les plus touchés sont le secteur 35 (Bissighin Bassinko) secteur 14 (Rimkieta, Nonsin) ; secteur 11 (Dapoya, Paspanga) ; Secteur 15 (Kilwin), secteur 17 (Tanghin), secteur 19 (Nioko II, Polesgo) secteur 46 (Karpala), secteur 1 (Bilbalogho), secteur 37 (Marcoussi)... Ces inondations pour la plupart ont été causées par un manque de réseau de drainage c'est le cas dans les quartiers Bassinko, Bissighin, Kilwin, Rimkieta Nonsin, Marcoussi, Karpala qui deviennent pratiquement inaccessibles en cas de grosse pluie. ; Une occupation anarchique des zones non loties c'est le cas des quartiers Bissighin, Marcoussi, Nioko II, Polesgo ; Une occupation et obstruction des caniveaux c'est le cas du quartier Paspanga qui occasionnait des inondations dans l'hôpital CHU Yalgado. Cependant, plusieurs actions ont été entreprises pour

réduire les inondations. La réhabilitation de l'avenue Kumdayonré avec la construction de caniveaux plus larges, la construction du canal de drainage traversant les quartiers Nioko II, Bendogo, la construction d'un canal de drainage long de 5 km dans le quartier Tanghin.

L'expansion urbaine de la ville de Ouagadougou au cours des dernières décennies a été accompagnée d'une augmentation significative des inondations, une corrélation qui peut être expliquée par plusieurs facteurs interreliés. L'urbanisation rapide a entraîné une transformation substantielle du paysage, avec une occupation importante de terres naturelles (routes et bâtiments). Cette imperméabilisation accrue du sol limite considérablement l'infiltration naturelle de l'eau de pluie dans le sol, créant ainsi des conditions propices à un ruissellement accru vers les cours d'eau. Parallèlement, le changement dans l'occupation du sol, lié à la construction de nouvelles infrastructures, a considérablement altéré les schémas naturels de drainage. Des zones qui étaient autrefois capables d'absorber et de dissiper l'eau de manière équilibrée sont désormais soumises à des flux d'eau concentrés, augmentant ainsi la pression sur les systèmes de drainage existants. De plus, malgré les tentatives de mettre en place des systèmes de drainage, la croissance rapide de la ville a dépassé la capacité de ces infrastructures de drainage à gérer efficacement le ruissellement accru. L'insuffisance des systèmes de drainage urbain peut entraîner des débordements fréquents, exposant davantage les anciens quartiers tels que Ouidi, Nemnin, Bilbalogho, Wemtenga.... Aussi, la planification urbaine inadéquate a permis la construction dans des zones à risque élevé d'inondation (zones non loties), agissant comme un catalyseur pour les conséquences négatives de l'urbanisation rapide sur le risque d'inondation. Ces zones agissaient autrefois comme des réservoirs naturels absorbant l'excès d'eau pendant les périodes de fortes précipitations, mais ont été remplacées par des

## **V.2 De l'analyse des facteurs pluviométriques dans la survenue des inondations**

Dans cette étude, l'analyse des hauteurs de pluies journalières enregistrées à la station synoptique de Ouagadougou a permis de mettre en évidence la relation existante entre les inondations et les précipitations afin de comprendre le caractère de ces pluies. Environ 78 % des pluies enregistrées sur la période 1986 – 2022 sont de type normal et ont occasionnées 32 évènements d'inondation sur 41 évènements. Les évènements pluvieux rapportés ayant engendrés des inondations dans l'espace « Grand Ouaga » ne se révèlent pas (pour la plupart) d'un caractère exceptionnel (période de retour supérieure à 30 ans). Des constats similaires ont été rapportés dans des études antérieures. (Hangnon et al., 2015) en analysant une chronique de

données de pluie journalière de 1950 – 2012 enregistré à la station synoptique de Ouagadougou et des données historiques d'inondation sur la période 1983 – 2012. De même (Fowe et al., 2019) pour une période de 1961 – 2015 avec des événements d'inondation de 1986 à 2015. Récemment, (Da, 2021) a aussi rapporté que la majeure partie des inondations qui ont eu lieu à Bamako et à Ouagadougou sont dues à des pluviométries normales. Aussi, on observe une forte proportion (75,61 %) de pluies intenses associées aux inondations. Ce qui suggère que les pluies sont souvent caractérisées par des précipitations rapides et abondantes. Cela peut indiquer une vulnérabilité accrue aux inondations pendant des averses intenses.

Cependant, il convient d'être prudent quant à la variabilité pluviométrique du point de vue spatiale.

L'évolution des indices pluviométriques a été mis en évidence dans cette étude. Une amélioration significative des conditions pluviométriques totales annuelles dès 1997 a été observé ; ainsi qu'une augmentation des jours très humides. Ces observations démontrent clairement le retour à la normal des pluies après la grande sécheresse des années 1970 et 1980 qui s'élevait dans le sahel comme l'ont souligné (Ibrahim et al., 2012; Lodoun et al., 2013; Sarr et al., 2013). Ce qui concorde avec l'augmentation observée des cumuls annuels de pluie sur la période de référence de notre étude. Récemment, (Da, 2021)) a mis en évidence une tendance à la baisse à Bamako à Ouagadougou sur la période 1950-2015 pour la ville de Bamako et de 1950-2017 pour la ville de Ouagadougou. L'écart entre les tendances rapportées est probablement dû aux périodes de référence prises en compte dans chaque étude. L'amélioration globale des précipitations s'est accompagnée d'une augmentation du nombre d'inondations aux conséquences socio-économiques désastreuses. Les résultats obtenus pour l'évolution des précipitations maximales journalières (Rx1day) montrent que celles-ci n'ont pas changées de façon significative depuis 1986. Par contre ; une augmentation significative du cumul maximum de précipitations de 5 jours consécutifs RX5day est observé. Ce qui est en partie cohérent avec les résultats de (Fowe et al., 2019). Dès lors, les événements d'inondation sont parfois attribués à l'aléa pluviométrique. Pourtant, Il apparait clairement que l'aléa naturel explique moins le risque d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga », comme l'a mentionné Kaboré 2015 dans son étude. Il est donc probable que l'augmentation des inondations soit liée à l'aggravation de la vulnérabilité, notamment en l'absence de planification urbaine efficace, plutôt que de l'aléa. (Hangnon et al., 2015).

D'autres facteurs physiques existent donc et favorise l'accroissement de la vulnérabilité aux risques d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga ».

### **V.3 De l'analyse des facteurs physiques dans la survenue des inondations**

Dans cette étude, l'analyse hiérarchique des processus par la méthode de Saaty a permis d'élaborer la cartographie des zones vulnérables aux risques d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga ». Cette cartographie permet une compréhension du risque d'inondation. La méthode d'analyse hiérarchique (AHP) a largement été utilisé dans l'évaluation des risques naturels. Les facteurs hydrographiques et géomorphologiques utilisés dans notre étude sont : l'altitude, la pente, le type de sol, la densité de drainage, l'indice humidité topographique et la distance par rapport au cours d'eau. Les résultats obtenus montrent que l'espace « Grand Ouaga » est moyennement vulnérable aux inondations dans son ensemble avec des zones fortement vulnérables principalement aux abords des cours d'eau et des plans d'eau. Le facteur proximité des cours d'eau se présente comme le facteur physique le plus important dans l'analyse de la vulnérabilité au risque d'inondation dans notre contexte urbain. Nos résultats corroborent avec ceux de (Da, 2021) pour la ville de Ouagadougou. Les communes les plus exposées au risque d'inondation son les communes de Saaba, Koubri, Loumbila, Ouagadougou, Pabré. Tanghin Dassouri, Komki Ipala et Komsilga représentent les communes les moins exposées au risque d'inondation de l'espace « Grand Ouaga »

### **V.4 Limites de l'étude**

L'analyse de la vulnérabilité biophysique au risque d'inondations effectué dans cette étude s'est basée plus sur l'approche géo historique pour la collecte de données d'évènements d'inondations et sur la méthode d'analyse hiérarchique des procédés pour la cartographie des zones vulnérable. Cette étude comporte certaines limites.

#### **➤ Des limites liées à l'approche géo historique**

Selon (Amanejieu, 2019), l'approche géo historique se veut insuffisante car tous les évènements d'inondation n'ont pas été couvert par la presse. En effet, la publication d'un événement dommageable dépend de plusieurs facteurs : son ampleur, son étendue spatiale et de l'intérêt porté aux évènements d'inondations.

➤ **Des limites liées aux données pluviométriques**

Les données de pluies utilisées pour l'analyse des facteurs météorologiques posent le problème de la représentativité spatiale. Les données ponctuelles de pluie ne représentent qu'un seul point dans l'espace, ce qui peut ne pas être représentatif des conditions de précipitations sur une zone plus large. Les inondations peuvent résulter de précipitations à petite échelle, ce qui peut biaiser la mesure des hauteurs de pluies contribuant aux inondations.

➤ **Des limites liées à l'utilisation de la méthode de Saaty (AHP)**

La méthode AHP de Saaty présente également certaines limites. En effet, elle repose sur des jugements subjectifs dans l'évaluation des relations entre les facteurs. Les échelles de comparaisons utilisées dans la méthode sont basées sur les opinions et les évaluations individuelles, ce qui peut entraîner des biais personnels et des variations d'une personne à l'autre.

## VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

Cette étude avait pour objectif principal de contribuer à une meilleure compréhension des facteurs biophysiques à l'origine du risque d'inondations afin de les intégrer dans les politiques et plan de développement. Une analyse de l'évolution spatio-temporelle des événements d'inondation et une analyse des facteurs biophysiques impliqués dans la survenue des inondations ont été réalisées. La chronologie des événements d'inondation à travers une approche géo-historique dans l'espace « Grand Ouaga » entre 1986 et 2022 a mis en lumière des tendances évolutives marquées par des changements significatifs dans la fréquence et l'impact de ces phénomènes naturels. Les résultats soulignent l'urgence de la gestion des risques et de la planification urbaine résiliente pour atténuer les conséquences de ces inondations croissantes. Au cours de la première période (1986-2002), la ville a connu une fréquence modérée d'événements d'inondation, avec un événement tous les deux ans en moyenne, représentant 19,51% du total des inondations. La décennie suivante (2003-2012) a été caractérisée par une augmentation significative de la fréquence, atteignant plus d'un événement par an en moyenne (26,83%). Cette période a également été marquée par un événement exceptionnellement dévastateur en 2009, affectant des centaines de milliers de personnes. La période la plus récente (2013-2022) a été témoins d'une augmentation notable de l'ampleur des inondations, représentant environ 53,66% du total des inondations. La fréquence a augmenté, avec des pics enregistrés en 2016 et 2018. Les dégâts substantiels de l'année 2020 ont conduit le gouvernement à déclarer l'état de catastrophe naturelle, soulignant l'impact croissant de ces événements sur la vie quotidienne des habitants. L'analyse des quartiers révèle une disparité importante dans les niveaux de vulnérabilité, avec certains quartiers, tels que Bissighin et Rimkiéta, étant particulièrement touchés. Environ 62 des 93 quartiers ont été impactés, soulignant la nécessité de stratégies de gestion différenciées en fonction des niveaux de risque. Les résultats obtenus à partir de l'analyse des données pluviométriques à Ouagadougou entre 1986 et 2022 a révélé des tendances significatives dans le régime des précipitations, offrant des éclairages précieux sur l'évolution climatique de la région. Bien que cette tendance soit marquée par une hausse du régime pluviométrique, les événements d'inondation ont été causés pour la plupart par des pluies de types normales. Ceci indique une régularité apparente des pluies de type normal dans les schémas pluviométrique. La spatialisation des facteurs hydrographiques et géomorphologiques a permis de mettre en évidence et de comprendre leur implication dans

la survenue des inondations dans l'espace « Grand Ouaga ». La méthode d'analyse multicritère utilisée a permis de combiner les cartes d'altitude, de pentes, de sols, de densité de drainage, d'indice d'humidité topographique, de distance par rapport au cours d'eau afin d'obtenir la carte de vulnérabilité au risque d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga ». Cette carte comporte niveau de vulnérabilité à savoir : faible ; moyen et fort. Au terme de cette étude, il ressort que l'espace « Grand Ouaga » est moyennement vulnérable à l'inondation dans son ensemble. La carte obtenue constitue un outil d'aide à la décision qui peut ainsi aider dans l'élaboration des plans communaux et des stratégies de gestion des risques. Il faut de noter que l'occupation du sol, bien que non inclus dans cette analyse, pourrait jouer un rôle significatif dans la cartographie de la vulnérabilité. Des études futures devraient envisager d'inclure ce facteur pour une compréhension plus holistique des risques d'inondation.

Cette étude met en évidence la nécessité cruciale d'une approche proactive pour atténuer les risques d'inondation dans l'espace « Grand Ouaga ». Les autorités locales doivent mettre en œuvre des mesures de gestion des risques adaptées, intégrant des pratiques de planification urbaine résiliente, et des infrastructures adaptées aux conditions climatiques changeantes. Ces efforts sont essentiels pour préserver la sécurité des habitants et assurer un développement urbain durable dans le contexte des risques accrus d'inondation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Ajjur, S.B., Mogheir, Y.K., 2020. Flood hazard mapping using a multi-criteria decision analysis and GIS (case study Gaza Governorate, Palestine). *Arab J Geosci* 13, 44. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-5024-6>
- Akindede, A.A., Todome, L., 2021. Flood risk assessment by a multicriteria spatial analysis in the municipalities of Pobè and Adja-Ouèrè. *IJELS* 6, 120–131. <https://doi.org/10.22161/ijels.63.20>
- Amanejieu, A., 2019. Analyse temporelle de la représentation du risque d'inondation de 1980 à 2018 à Douala-Cameroun. (Travail de fin d'études).
- Amaya, A., Ntoubé, M., Diguim, A.K., Kah, E., 2021. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG) : Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun) 33.
- Armand, R., 2009. Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Université de Strasbourg.
- Baccari, N., Sebei, A., Soussi, D., Zouhri, L., Saidi, S., 2023. Flood risk assessment using GIS-MCDM-AHP model: case of the Wadi Chafrou watershed (Northern Tunisia).
- Bani, S.S., 2016. Risques d'inondation dans la ville de Ouagadougou : cartographie des zones à risques et mesures de prévention. *Journal Ouest-Africain des Sciences de Gestion* Vol.1, 19.
- Banque Mondiale, L.B., 2010. Rapport sur le développement dans le monde 2010: Développement et changement climatique. Pearson Education France.
- Bensaid, A., Barki, M., Talbi, O., Benhanifia, K., 2007. L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique : le cas du département de Naâma en Algérie. *Revue Télédétection* 7, 359–371.
- Bonnet, E., Robert, E., 2018. Connaissances des inondations par les Ouagalais.
- Bronfort, S., 2017. Les stratégies d'adaptation face au risque d'inondation dans les zones d'habitat spontanés de Ouagadougou, Burkina Faso. *Burkina Faso* 100.
- Bruckmann, L., Amanejieu, A., Moffo, M.O.Z., Ozer, P., 2019. Analyse géohistorique de l'évolution spatio-temporelle du risque d'inondation et de sa gestion dans la zone urbaine de Douala (Cameroun). *physio-geo* 91–113. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.8038>
- Da, M., 2021. Vulnérabilité urbaine au Sahel: Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations. Université Paris-Saclay; Université Joseph Ki-Zerbo (Ouagadougou, Burkina Faso).
- Danumah, J.H., Odai, S.N., Saley, B.M., Szarzynski, J., Thiel, M., Kwaku, A., Kouame, F.K., Akpa, L.Y., 2016. Flood risk assessment and mapping in Abidjan district using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques, (cote d'ivoire). *Geoenviron Disasters* 3, 10. <https://doi.org/10.1186/s40677-016-0044-y>
- Darwish, K., 2023. GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis for Flash Flood Hazard and Risk Assessment: A Case Study of the Eastern Minya Watershed, Egypt, in: *The 7th International Electronic Conference on Water Sciences*. Presented at the International Electronic Conference on Water Sciences, MDPI, p. 87. <https://doi.org/10.3390/ECWS-7-14315>

- Dauphiné, A., Provitolo, D., 2013. Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre, gérer. Armand Colin.
- Diongue, M., 2014. Périphérie urbaine et risques d'inondation à Dakar (Sénégal) : 45 le cas de Yeumbeul Nord.
- Eba, A.E.L., Ake, G.E., Gouadou, D.F., Jourda, J., 2021. Evaluation de la Vulnérabilité à l'Inondation des Communes à Proximité des Grandes Villes Ouest Africaines : Cas de la Commune de Bingerville (Est d'Abidjan – Côte d'Ivoire). *ESJ* 17.  
<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n14p277>
- Ehsanzadeh, E., El Adlouni, S., Bobée, B., 2010. Frequency Analysis Incorporating a Decision Support System for Hydroclimatic Variables. *J. Hydrol. Eng.* 15, 869–881.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000261](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000261)
- Faye, C., Dièye, S., Fall, A., Solly, B., 2021. Cartographie des risques d'inondation à l'échelle du bassin fluvial à l'aide de l'indice de potentiel d'inondation: Cas du sous-bassin du Niéri-Ko (Bassin de la Gambie).
- Fournet, F., Meunier-Nikiema, A., Salem, G., 2008. Ouagadougou, 1850-2004: une urbanisation différenciée, Collection "Petit atlas urbain." Institut de recherche pour le développement, Marseille.
- Fowe, T., Diarra, A., Kabore, R.F.W., Ibrahim, B., Bologo/Traoré, M., Traoré, K., Karambiri, H., 2019. Trends in flood events and their relationship to extreme rainfall in an urban area of Sahelian West Africa: The case study of Ouagadougou, Burkina Faso. *J Flood Risk Management* 12, e12507. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12507>
- Gemene, F., Blocher, J., Longueville, F.D., Diaz, S.V., Zickgraf, C., Gharbaoui, D., Ozer, P., 2017. Changement climatique, catastrophes naturelles et déplacements de populations en Afrique de l'Ouest.
- Giacona, F., Martin, B., Eckert, N., Desarthe, J., 2019. Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement* 171–199. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.9186>
- Goula, B.T.A., Soro, E.G., Kouassi, W., Srohourou, B., 2012. Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *Hydrological Sciences Journal* 57, 1067–1080.  
<https://doi.org/10.1080/02626667.2012.692880>
- Gue, A., Afouda, A., 2015. Analyse fréquentielle et nouvelle cartographie des maxima annuels de pluies journalières au Bénin. *Int. J. Bio. Chem. Sci* 9, 121.  
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i1.12>
- Guélbeogo, S., Ouédraogo, L., 2022. Cartographie des risques d'inondation dans le bassin versant du Kou au Burkina Faso. *Afrique SCIENCE* 21, 60–75.
- Guivarch, C., Taconet, N., 2020. Inégalités mondiales et changement climatique: Revue de l'OFCE N° 165, 35–70. <https://doi.org/10.3917/reof.165.0035>
- Habibi, B., Meddi, M., Boucefiane, A., 2013. Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui. . C.
- Hagos, Y.G., Andualem, T.G., Yibeltal, M., Mengie, M.A., 2022. Flood hazard assessment and mapping using GIS integrated with multi-criteria decision analysis in upper Awash River basin, Ethiopia. *Appl Water Sci* 12, 148. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01674-8>
- Hangnon, H., De Longueville, F., Ozer, P., 2015. Précipitations 'extrêmes' et inondations à Ouagadougou; quand le développement urbain est mal maîtrisé..., in: 28e Colloque International de l'Association Internationale de Climatologie. ULg-Université de Liège, Liège, Belgium.

- Ibrahim, B., Polcher, J., Karambiri, H., Rockel, B., 2012. Characterization of the rainy season in Burkina Faso and its representation by regional climate models. *Clim Dyn* 39, 1287–1302. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1276-x>
- INSD, 2022a. Monographie de la région du Centre (Cinquième recensement général de la population et de l'habitation). Institut national de la statistique et de la démographie.
- INSD, 2022b. Monographie de la région du Plateau Central (Cinquième recensement général de la population et de l'habitation). Institut national de la statistique et de la démographie.
- KABORE, W.F.R., 2016. Evènements pluvieux extrêmes et inondations dans l'espace « Grand Ouaga » au Burkina Faso.
- Karambiri, H., Tazen, F., Traore, K., Bologo, M., Coulibaly, M.G., 2015. Floods vulnerability index “Grand Ouaga” area (Burkina Faso). Technical Report No. VI 47.
- Kouassi, A.M., Nassa, R.A.-K., Kouakou, K.E., Kouame, K.F., Biemi, J., 2020. Analyse des impacts des changements climatiques sur les normes hydrologiques en Afrique de l'Ouest : cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *rseau* 32, 207–220. <https://doi.org/10.7202/1067305ar>
- Koudamilo, O., Dipama, J.-M., Vissin, E.W., 2017. Analyse de la vulnérabilité à la sécheresse et à l'inondation dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bétérou au Bénin (Afrique de l'Ouest). *TSM* 29–40. <https://doi.org/10.1051/tsm/201711029>
- Koumassi, D.H., Tchibozo, A.E., 2014. SIG et télédétection pour l'optimisation de la cartographie des risques d'inondation dans le bassin de la Sota au Bénin.
- Leumbe, O.L., Bitom, D., Mamdem, L., Tiki, D., 2015. Cartographie des zones à risques d'inondation en zone soudano-sahélienne : cas de Maga et ses environs dans la région de l'extrême-nord Cameroun.
- Lodoun, T., Giannini, A., Traoré, P.S., Somé, L., Sanon, M., Vaksmann, M., Rasolodimby, J.M., 2013. Changes in seasonal descriptors of precipitation in Burkina Faso associated with late 20th century drought and recovery in West Africa. *Environmental Development* 5, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2012.11.010>
- Loumi, K., Redjem, A., 2021. Integration of GIS and Hierarchical Multi-Criteria Analysis for Mapping Flood Vulnerability: The Case Study of M'sila, Algeria. *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.* 11, 7381–7385. <https://doi.org/10.48084/etasr.4266>
- Mahmoud, S.H., Gan, T.Y., 2018. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production* 196, 216–229. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.047>
- McKenzie, R., Gala, T., 2022. GIS-Based Analytical Hierarchy Process (AHP) for Flood Hazards and Risks Assessment: A Case Study of the Port City of Montego Bay and the surrounding St. James Parish, Jamaica.
- Mokhtari, E., Mezali, F., Abdelkebir, B., Engel, B., 2023. Flood risk assessment using analytical hierarchy process: A case study from the Cheliff-Ghrib watershed, Algeria. *Journal of Water and Climate Change* 14, 694–711. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.316>
- Morales, F.F., De Vries, W.T., 2021. Establishment of Natural Hazards Mapping Criteria Using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Front. Sustain.* 2, 667105. <https://doi.org/10.3389/frsus.2021.667105>
- Morales-Ruano, J.V., Reyes-Umaña, M., Sandoval-Vázquez, F.R., Arellano-Wences, H.J., González-González, J., Rodríguez-Alviso, C., 2022. Flood Susceptibility in the Lower Course of the Coyuca River, Mexico: A Multi-Criteria Decision Analysis Model. *Sustainability* 14, 12544. <https://doi.org/10.3390/su141912544>

- Nadège, K.J., Bertrand, A.H., Vincent, O., Muller, Y.Y., 2023. Contribution of multicriteria analysis and GIS in the discrimination of flood risk areas on the Allada plateau in Southern Benin 38.
- Nasiri, H., Shahmohammadi-Kalalagh, S., 2013. Flood vulnerability index as a knowledge base for flood risk assessment in urban area. *Journal of Novel Applied Science* 2, 269–272.
- Nouaceur, Z., 2020. La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement* 89–109. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.10966>
- Ntouda, O., Kanda, J., Kamto, G., 2022. Contribution à la cartographie de l'aléa inondation dans le bassin versant du Mfoundi à Yaoundé (Cameroun) par l'Analyse Multi Critère (AMC) basée sur le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP).
- Osman, S.A., Das, J., 2023. GIS-based flood risk assessment using multi-criteria decision analysis of Shebelle River Basin in southern Somalia. *SN Appl. Sci.* 5, 134. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05360-5>
- Osman-Elasha, B., 2009. Impacts des changements climatiques, adaptation et liens avec le développement durable en Afrique 60.
- Ouma, Y., Tateishi, R., 2014. Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. *Water* 6, 1515–1545. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Panthou, G., Vischel, T., Lebel, T., 2014. Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *Int. J. Climatol.* 34, 3998–4006. <https://doi.org/10.1002/joc.3984>
- Panthou, G., Vischel, T., Lebel, T., Blanchet, J., Quantin, G., Ali, A., 2012. Extreme rainfall in West Africa: A regional modeling. *Water Resources Research* 48, 2012WR012052. <https://doi.org/10.1029/2012WR012052>
- Rentschler, J., Salhab, M., 2020. People in Harm's Way: Flood Exposure and Poverty in 189 Countries, Policy Research Working Papers. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-9447>
- Rincón, D., Khan, U., Armenakis, C., 2018. Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study. *Geosciences* 8, 275. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
- Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 18.
- Sahraei, R., Kanani-Sadat, Y., Homayouni, S., Safari, A., Oubennaceur, K., Chokmani, K., 2023. A novel hybrid GIS-based multi-criteria decision-making approach for flood susceptibility analysis in large ungauged watersheds. *Journal of Flood Risk Management* 16, e12879.
- Saley, M.B., Kouamé, F.K., Penven, M.J., Biémi, J., 2005. Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire : apports des MNA et de l'imagerie satellitaire. *Téledétection* 5, 53–67.
- Sami, G., Hadda, D., Mahdi, K., Abdelwahhab, F., 2020. A multi-criteria analytical hierarchy process (AHP) to flood vulnerability assessment in Batna watershed (Algeria). *AUOG* 30, 41–47. <https://doi.org/10.30892/auog.301105-810>
- Sanfo, O., 2018. La gestion institutionnelle des inondations du 1er septembre 2009 au Burkina Faso. *Monographies Sud-Nord* 28.
- Sarr, M.A., Zoromé, M., Seidou, O., Bryant, C.R., Gachon, P., 2013. Recent trends in selected extreme precipitation indices in Senegal – A changepoint approach. *Journal of Hydrology* 505, 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.032>

- Serdar, M.Z., Ajjur, S.B., Al-Ghamdi, S.G., 2022. Flood Susceptibility Assessment in Arid Areas: A Case Study of Qatar. *Sustainability* 14, 9792. <https://doi.org/10.3390/su14159792>
- Sharir, K., Rodeano, R., Mariappan, S., 2019. Flood Susceptibility Analysis (FSA) Using Analytical Hierarchy Process (AHP) Model at The Kg. Kolopis area, Penampang, Sabah, Malaysia. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1358, 012065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1358/1/012065>
- SOKEMAWU, K., 2017. Les inondations et leurs répercussions socio-économiques et sanitaires dans la basse vallée du Zio au sud du Togo. *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes* 2521–2125.
- Soma, A., 2015. Vulnérabilité et résilience urbaines: perception et gestion territoriale des risques d'inondation dans la ville de Ouagadougou. Université de Ouagadougou Pr Joseph Ki-Zerbo.
- Souissi, D., Souie, A., Sebei, A., Mahfoudhi, R., Zghibi, A., Zouhri, L., Amiri, W., Ghanmi, M., 2022. Flood hazard mapping and assessment using fuzzy analytic hierarchy process and GIS techniques in Takelsa, Northeast Tunisia. *Arab J Geosci* 15, 1405. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10541-4>
- SP/CONASUR, OCHA, 2020. BURKINA FASO - Inondations 2020 Rapport de situation N°01 11 septembre 2020 (Rapport de situation No. N°01).
- Stefanidis, S., Stathis, D., 2013. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Nat Hazards* 68, 569–585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>
- Tomety, Y.D., 2017. Exposition et vulnérabilité face aux risques d'inondation au Burkina Faso : Cas de la ville de Dori 89.
- Vandiepenbeek, M., 1997. Bilan climatologique saisonnier-Hiver 1997. *Ciel et Terre* 113, 65–66.
- Zhang, X., Yang, F., 2004. RCLimDex (1.0) User Manual.
- Zogning Moffo, M.O., Ozer, P., Dewals, B., 2017. Contribution des Systèmes d'Information Géographique pour la cartographie des zones à risques d'inondation à Yaoundé, in: *Multidisciplinary Workshop Disasters and Resilience in the 21st Century*.

## WEBOGRAPHIE

---

- 24 Juin 2015 : une forte pluie avec des dégâts matériels et pertes en vie humaines au Burkina. – LABORPRESSE.NET. <https://www.laborpresse.net/24-juin-2015-une-forte-pluie-avec-des-degats-materiels-et-pertes-en-vie-humaines-au-burkina/>. Consulté le 03 novembre 2022.
- À Ouagadougou, penser l'après-inondations. <https://www.la-croix.com/Monde/A-Ouagadougou-penser-lapres-inondations-2020-09-24-1201115902>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Arrondissement 6 : le secteur 25 de ouaga inondé et des riverains en colère. <https://burkina24.com/2013/09/04/arrondissement-6-le-secteur-25-de-ouaga-inonde-et-des-riverains-en-colere/>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Boureima. « Ouagadougou les pieds dans l'eau ». *Wakat Séra*, 18 mai 2017, <https://www.wakatsera.com/ouagadougou-les-pieds-dans-leau/>. Consulté le 03 novembre 2022
- Burkina – Faso : Inondations et dégâts matériels à Kilwin, Rimkieta et Bissighin | REVERIES CO. <https://chancesoro.wordpress.com/2020/09/01/burkina-faso-inondations-et-degats-materiels-a-kilwin-rimkieta-et-bissighin/>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Burkina Faso : Inondations à Ouagadougou - allAfrica.com. <https://fr.allafrica.com/stories/201607120389.html>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Burkina Faso: Inondés de Bissighin - Le ciel n'en finit pas de leur tomber sur la tête - allAfrica.com. <https://fr.allafrica.com/stories/201509030602.html>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Burkina Faso: Ouagadougou - Des rues et quartiers inondés par la pluie de ce mercredi - allAfrica.com. <https://fr.allafrica.com/stories/201607200570.html>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Burkina Faso: Pluie diluvienne du 4 juillet - Ouagadougou a trop bu - allAfrica.com. <https://fr.allafrica.com/stories/201907050342.html>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Dabo, Par Seni. « Burkina Faso: Puie du 25 août dernier: des dégâts à la pelle ». *Le Pays*, 27 août 2002. AllAfrica, <https://fr.allafrica.com/stories/200208270189.html>. Consulté le 03 novembre 2022
- Fortes pluies à Ouaga : des quartiers inondés, des dégâts matériels enregistrés - Wakat Séra. <https://www.wakatsera.com/30711-2/>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Fortes pluies à Ouagadougou : Des populations du quartier Markoussis ont les pieds dans l'eau - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article71290>. Consulté le 03 novembre 2022.
- Grande pluie à Ouaga : Un mort à Bissighin, plusieurs quartiers inondés - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article65451>. Consulté le 03 novembre 2022.

Grosses pluies du 26 juillet sur Ouagadougou : plus de peur que de mal ! - leFaso.net.

<https://lefaso.net/spip.php?article84824>. Consulté le 03 novembre 2022.

INFOWAKAT. « Infowakat - Ouagadougou : De nombreuses zones envahies par les eaux ».

Infowakat, 3 août 2022, <https://infowakat.net/ouagadougou-de-nombreuses-zones-envahies-par-les-eaux/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Infowakat - Ouagadougou : De nombreuses zones envahies par les eaux.

<https://infowakat.net/ouagadougou-de-nombreuses-zones-envahies-par-les-eaux/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation à Kilwin et Bissighin : Christian Aid et le réseau MARP au secours de 500 ménages -

leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article67158>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation à Koubri : Le ministère en charge de l'eau sur les lieux.

<https://burkina24.com/2017/08/28/inondation-a-koubri-le-ministere-en-charge-de-leau-sur-les-lieux/>. Consulté le 03 novembre 2022.

INONDATION A LA PATTE- D'OIE : L'ombre du 1er septembre 2009 a plané sur Ouaga -

leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article37855>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation à l'hôpital Yalgado : Des désagréments, mais pas de grands dégâts matériels - leFaso.net.

<https://lefaso.net/spip.php?article56109>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation à l'hôpital Yalgado: des mesures d'urgence pour sauver les meubles - aOuaga.com.

<http://news.aouaga.com/h/99736.html>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation à Ouagadougou : Des sans-abri au secteur n°17.

[https://lefaso.net/spip.php?page=impression&id\\_article=27989](https://lefaso.net/spip.php?page=impression&id_article=27989). Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation à Somgandé : De nombreux sinistrés, les services de l'action sociale à pied d'œuvre -

leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article72246>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation au secteur n° 20 de Ouagadougou : Des dizaines de familles sans abri - leFaso.net.

<https://lefaso.net/spip.php?article7975>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation au secteur n° 28 de Ouagadougou : Des sinistrés exigent de l'ONATEL des dédommagements - leFaso.net.

[https://lefaso.net/spip.php?page=web-tv-video&id\\_article=28570&rubrique4](https://lefaso.net/spip.php?page=web-tv-video&id_article=28570&rubrique4). Consulté le 03 novembre 2022.

Inondation du Centre Delwendé de Tanghin : Les pensionnaires vont regagner leur centre de Sakoula

- leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article72426>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations à Ouaga : 8 arrondissements touchés. <https://burkina24.com/2018/07/26/inondations-a-ouaga-8-arrondissements-touches/>.

Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations à Ouagadougou | Sciences Campus Info. <https://www.sciences-campus.info/inondations-dans-la-ville-de-ouagadougou-le-president-du-faso-visite-des-infrastructures-endommagees-et-marque-sa-solidarite-avec-les-sinistres/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations à Ouagadougou : « Après le passage de la pluie, j'ai tout perdu » (Halidou Ouédraogo). <https://burkina24.com/2022/08/05/inondations-a-ouagadougou-apres-le-passage-de-la-pluie-jai-tout-perdu-halidou-ouedraogo/>. Consulté le 03 novembre 2022.

« Inondations à Ouagadougou : Des maisons effondrées ». L'EXPRESS DU FASO, 7 septembre 2020, <https://www.lexpressdufaso-bf.com/inondations-a-ouagadougou-des-maisons-effondrees/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations à Ouagadougou : L'Assemblée nationale décide de faire don de 150 tonnes de vivres aux sinistrés - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article99315>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations à Ouagadougou : Les habitants du quartier Bissighin appellent à l'aide. <https://burkina24.com/2015/08/02/inondations-a-ouagadougou-les-habitants-du-quartier-bissighin-appellent-a-laide/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations à Ouagadougou : Une femme enceinte emportée par les eaux | Quotidien Sidwaya. <https://www.sidwaya.info/inondations-a-ouagadougou-une-femme-enceinte-emportee-par-les-eaux/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations du dimanche 25 mai 2008 : Les vérités de Simon Compaoré - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article27073>. Consulté le 03 novembre 2022.

Inondations récurrentes au Burkina Faso : Comment les éviter ? - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article55769>. Consulté le 03 novembre 2022.

Kaceto.net | Le rythme de l'info ! <https://www.kaceto.net/spip.php?article5135>. Consulté le 03 novembre 2022.

LEPAYS, Editions. « INONDATION AU QUARTIER TANGHIN DE OUAGADOUGOU : La population en colère contre l'entreprise Globex construction ». Editions Le Pays, 28 juin 2016, <https://lepays.bf/inondation-quartier-tanghin-de-ouagadougou-population-colere-contre-lentreprise-globex-construction/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Les inondations au Burkina : une tragédie qui n'est pas une fatalité. <https://radarsburkina.net/index.php/fr/societe/402-les-inondations-au-burkina-une-tragedie-qui-n-est-pas-une-fatalite>. Consulté le 03 novembre 2022.

Météo : 89 mm de pluie à Ouagadougou - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article90580>.

Consulté le 03 novembre 2022.

Obs, Webmaster. Observateur Paalga - Pluie du 17 juillet : Plus de peur que de mal à Rimkiéta et à Bassinko. 17 juillet 2018,

[https://www.lobservateur.bf/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=2876%3Apluie-du-17-juillet-plus-de-peur-que-de-mal-%E0-rimki%E9ta-et-%E0-bassinko&Itemid=148](https://www.lobservateur.bf/index.php?option=com_k2&view=item&id=2876%3Apluie-du-17-juillet-plus-de-peur-que-de-mal-%E0-rimki%E9ta-et-%E0-bassinko&Itemid=148).

Consulté le 03 novembre 2022.

Ouaga : Inondations signalées dans le quartier Kilwin (Images).

<https://burkina24.com/2016/05/20/ouaga-inondations-signalees-dans-le-quartier-kilwin-photos/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Ouaga, les pieds dans l'eau - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article8366>. Consulté le 03 novembre 2022.

Ouagadougou : grosse pluie, caniveaux bouchés, inondations - Wakat Séra.

<https://www.wakatsera.com/ouagadougou-grosse-pluie-caniveaux-bouches-inondations/>.

Consulté le 03 novembre 2022.

Ouagadougou : Le rond-point des Nations-Unies et les urgences de l'hôpital sous les eaux.

[https://lefaso.net/spip.php?page=impression&id\\_article=49292](https://lefaso.net/spip.php?page=impression&id_article=49292). Consulté le 03 novembre 2022.

Ouagadougou-Inondation : Cette situation est loin d'être une surprise - Ouaga24.

<https://ouaga24.com/ouagadougou-inondation-cette-situation-est-loin-detre-une-surprise/>.

Consulté le 03 novembre 2022.

Ouaga/Inondations : Boulmiougou, Nagrin, Rimkieta, Pont Kadiogo... sous les eaux – NetAfrique.net. <https://netafrique.net/ouagainondations-boulmiougou-nagrin-rimkieta-pont-kadiogo-sous-les-eaux/?amp=1>.

Consulté le 03 novembre 2022.

Ernest. INONDATION A LA PATTE- D'OIE : L'ombre du 1er septembre 2009 a plané sur Ouaga - leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article37855>. Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie à Ouaga : Les malades de l'hôpital Yalgado avaient encore les pieds dans l'eau.

<https://burkina24.com/2013/09/30/pluie-a-ouaga-les-malades-de-lhopital-yalgado-avaient-encore-les-pieds-dans-leau/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie à Ouagadougou : De l'eau à l'Avenue Ouezzin Coulibaly.

<https://burkina24.com/2017/05/18/pluie-a-ouagadougou-de-leau-a-lavenue-ouezzin-coulibaly/>. Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie de jeudi soir à Ouagadougou : Inondations dans certains quartiers – NetAfrique.net.  
<https://netafrique.net/pluie-de-jeudi-soir-a-ouagadougou-inondations-dans-certains-quartiers/>.

Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie diluvienne à Ouagadougou : La direction générale de la protection des végétaux sous les eaux  
- leFaso.net. <https://lefaso.net/spip.php?article42556>. Consulté le 03 novembre 2022.

« Pluie diluvienne du 4 juillet Ouagadougou a trop bu ». aouaga.com,

<http://news.aouaga.com/h/124775.html>. Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie diluvienne du mercredi 24 juin : 1 mort, 2 disparus et de nombreux dégâts - aOuaga.com.  
<http://news.aouaga.com/h/69348.html>. Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie du 9 août 2016 à Ouagadougou : 1 mort et des maisons sous les eaux - leFaso.net.  
<https://lefaso.net/spip.php?article72535>. Consulté le 03 novembre 2022.

Pluie Du 18 Juillet : 02 Morts, d'importants Dégâts à Ouagadougou - Burkina Faso | ReliefWeb. 19  
juillet 2011, <https://reliefweb.int/report/burkina-faso/pluie-du-18-juillet-02-morts-d%E2%80%99importants-d%C3%A9g%C3%A2ts-%C3%A0-ouagadougou>. Consulté le 03  
novembre 2022.

Rédacteur. « Bassinko, Kilwin : septembre ou la hantise des inondations chez certains habitants ». Studio Yafa - Information & Dialogue au Burkina Faso, 3 septembre 2020,  
<https://www.studioyafa.org/897-bassinko-kilwin-septembre-ou-la-hantise-des-inondations-chez-certains-habitants>. Consulté le 03 novembre 2022.

Siribie, Par Djakaridia. « Burkina Faso : Inondations à Komsilga - Abdoul service international au secours des sinistrés ». Sidwaya, 27 juillet 2016. AllAfrica,  
<https://fr.allafrica.com/stories/201607270186.html>. Consulté le 03 novembre 2022.

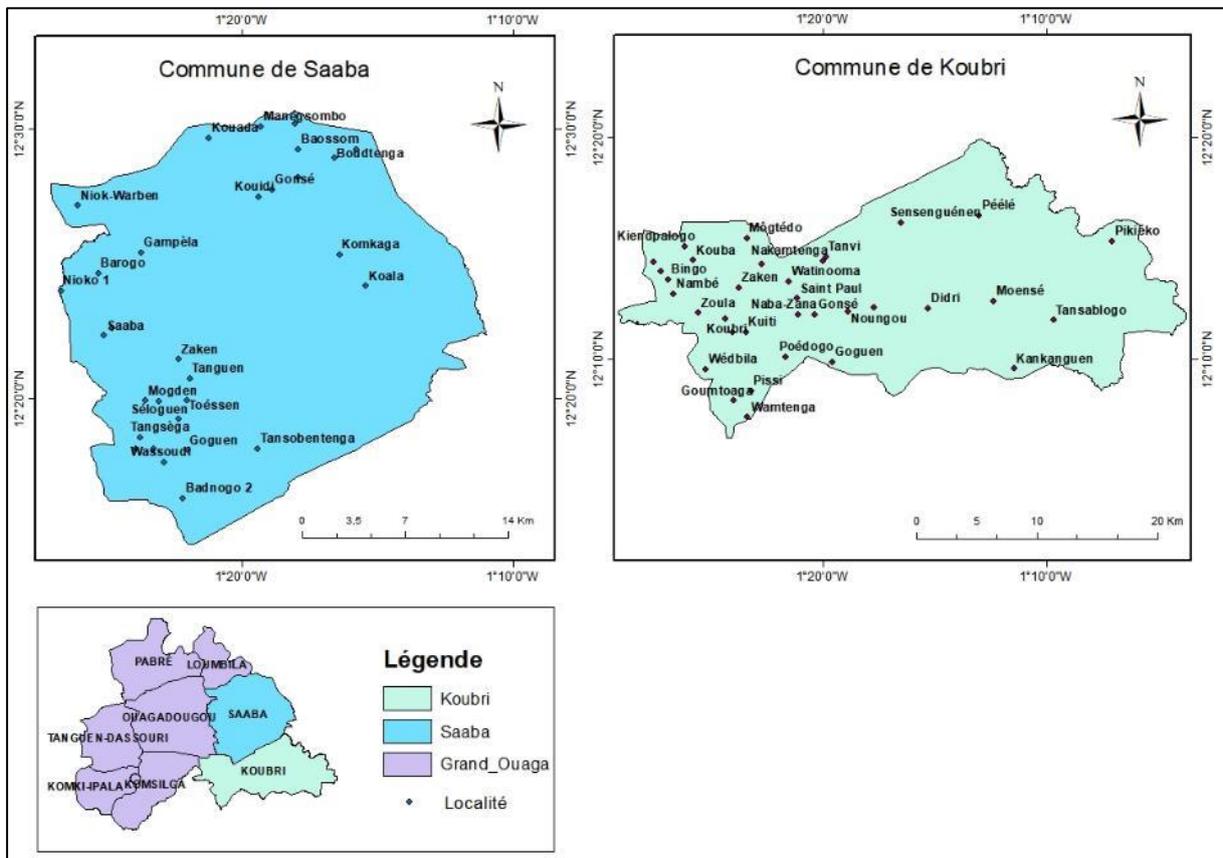
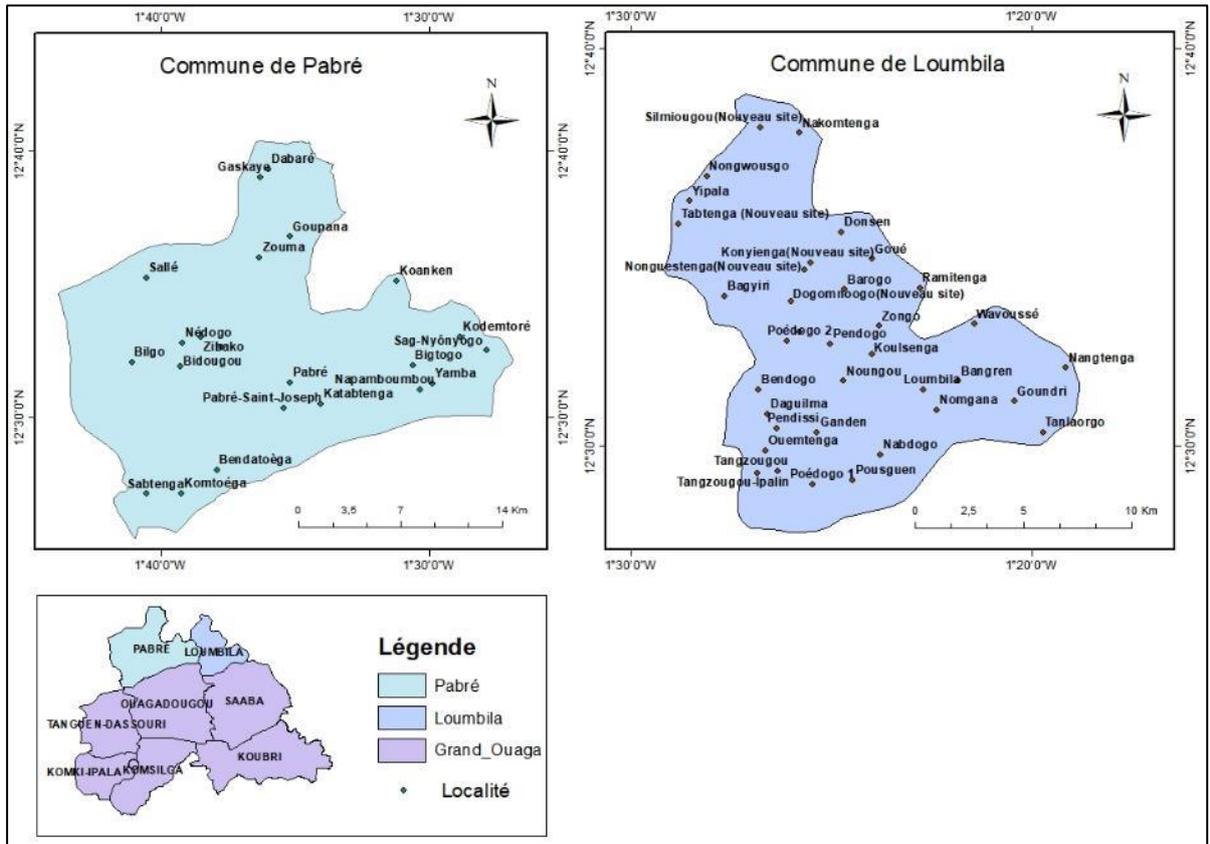
Talha, Hind. « Burkina: pluie sur Ouaga ce samedi 10 juillet, plusieurs quartiers inondés, des images ». YECLO.com, 10 juillet 2021, <https://www.yeclo.com/pluie-diluvienne-burkina-ouaga-sous-les-eaux>. Consulté le 03 novembre 2022.

## ANNEXES

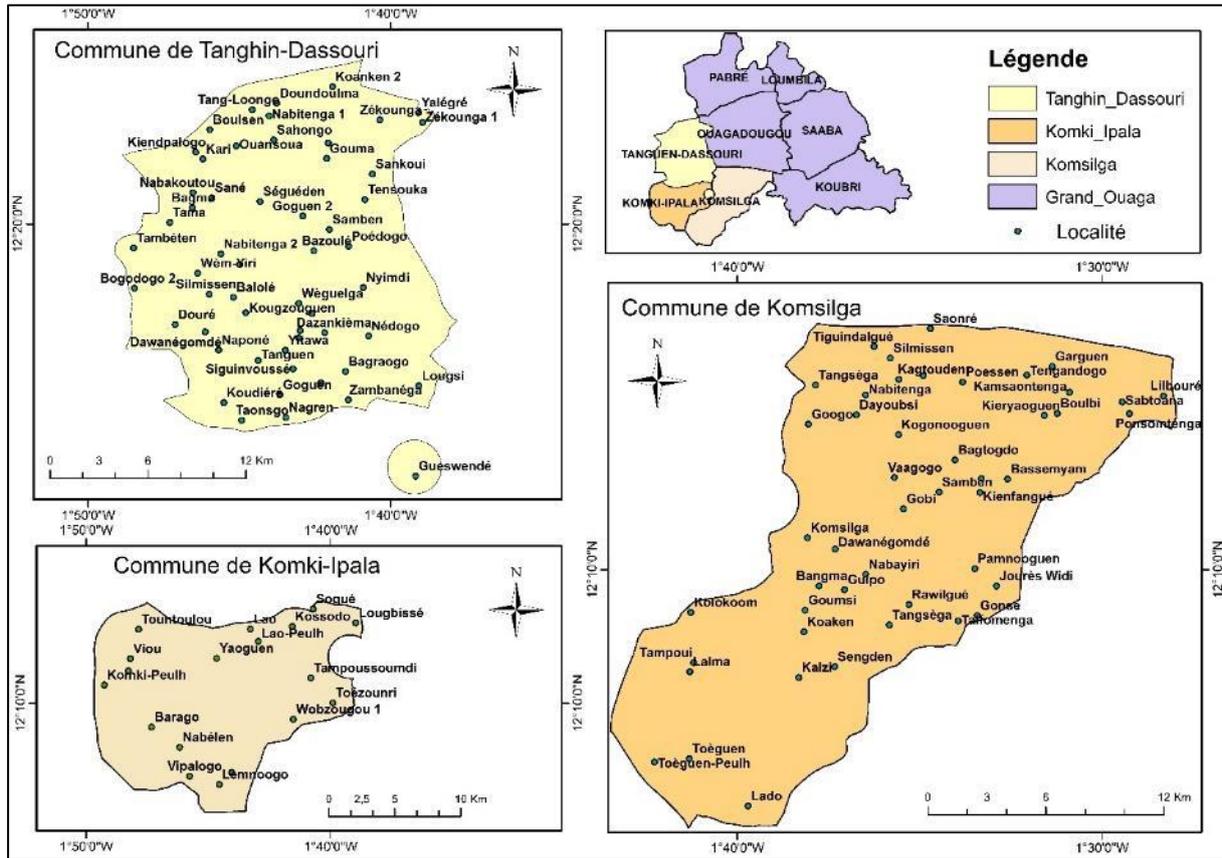
---

<b>Annexe 1 : Communes rurales et localités .....</b>	<b>82</b>
<b>Annexe 2 : Fréquences décennales des inondations .....</b>	<b>84</b>
<b>Annexe 3 : Vérification des tests d'hypothèse pour l'analyse fréquentielle et ajustement des pluies journalières maximales. ....</b>	<b>85</b>
<b>Annexe 4: Evaluation de l'influence du cumul pluviométrique.....</b>	<b>91</b>
<b>Annexe 5 : Formules de calcul des indices pluviométriques .....</b>	<b>93</b>
<b>Annexe 6 : Curage de caniveaux et canaux.....</b>	<b>95</b>

**Annexe 1 : Communes rurales et localités**

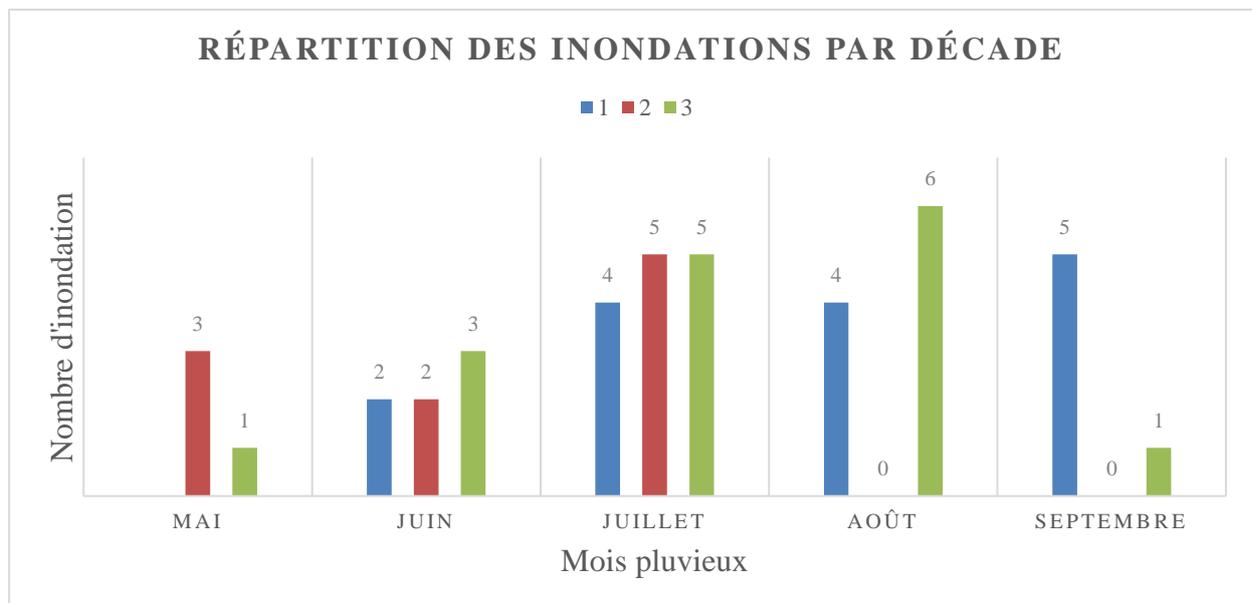


Analyse de la vulnérabilité biophysique au risque d'inondations et mesures de prévention : cas de l'espace « Grand Ouaga » au Burkina Faso



## Annexe 2 : Fréquences décadaires des inondations

Une observation plus détaillée à l'échelle décadaire des mois exposés est réalisée afin de mieux cerner la fréquence du phénomène. On constate que les inondations du mois de mai se concentrent au cours de la deuxième décennie du mois avec 3 événements contre un événement dans la troisième décennie. Ces inondations surviennent avec le début de la saison des pluies. Les inondations du mois de juin sont uniformément réparties dans les deux premières décades du mois avec 2 événements et 3 événements survenus dans la troisième décennie. Les inondations du mois de juillet sont uniformément réparties dans les deux dernières décades avec 5 événements par décennie. Les inondations du mois d'août se situent dans la première et troisième décennie du mois. La troisième décennie du mois d'août est la plus exposée avec 6 inondations survenues. Cela s'explique par la pluviométrie qui est à son optimum durant cette période. Les inondations se concentrent dans la première décennie du mois de septembre avec la fin de la saison des pluies.



**Annexe 3 : Analyse fréquentielle des pluies maximales journalières de 1986 à 2022**

**Vérification des tests d'hypothèse pour l'analyse fréquentielle et ajustement des pluies journalières maximales.**

Loi de probabilité	Fonction de densité	Paramètres
Valeurs extrêmes généralisées (GEV)	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left[ 1 - \frac{k}{\alpha} (x - u) \right]^{\frac{1}{k}-1} \exp \left\{ - \left[ 1 - \frac{k}{\alpha} (x - u) \right]^{\frac{1}{k}} \right\}$	$u, \alpha, k$
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[ - \frac{x - u}{\alpha} - \exp \left( - \frac{x - u}{\alpha} \right) \right]$	$u, \alpha$
Log-normale	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ - \frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right]$	$\mu, \sigma$

Avec :

$u$  : paramètre de position ;  $\alpha$  : paramètre d'échelle ;  $k$  : paramètre de forme ;  $\mu$  : moyenne ;  
 $\sigma$  : écart-type.

Le paramètre de position  $u$  caractérise l'ordre de grandeur de la série des pluies extrêmes. Le paramètre de forme  $k$  indique le comportement des extrêmes ou la forme de la distribution. Suivant le signe de ce paramètre de forme, on définit trois types de lois GEV :

- $k = 0$ , loi à queue légère (ou distribution de Gumbel) ;
- $k < 0$ , loi à queue lourde (ou distribution de Fréchet) ;
- $k > 0$ , loi à queue bornée (ou distribution de Weibull).

Les paramètres  $\mu$  et  $\sigma$  désignent respectivement la moyenne et l'écart-type de la loi log-normale.

Résultats des tests d'hypothèses de l'analyse fréquentielle

Ce tableau montre les résultats de l'application des tests statistiques (test d'indépendance de wald-Wolfowitz, test d'homogénéité de Wilcoxon et test de stationnarité de Kendall) appliquées aux pluies journalières maximales.

Test d'hypothèse	Valeur statistique	p-value	Conclusion
Test d'indépendance de wald-Wolfowitz	0,478	0,632	H <sub>0</sub> accepté au niveau de signification de 5%
Test d'homogénéité de Wilcoxon	1,78	0,0755	H <sub>0</sub> accepté au niveau de signification de 5%
Test de stationnarité de Kendall	1,03	0,301	H <sub>0</sub> accepté au niveau de signification de 5%

L'analyse des données du tableau 7 permet de constater que tous les tests sont acceptés au seuil de 5% (seuil de rejet de l'hypothèse H<sub>0</sub>).

Les données de pluies journalières maximales sont donc indépendantes, homogènes et stationnaires. De ce fait, elles vérifient les conditions d'application de l'analyse fréquentielle.

#### ❖ Analyse des paramètres des lois statistiques appliquées

Les valeurs des paramètres des lois statistiques ont été déterminées et résumé dans le tableau suivant :

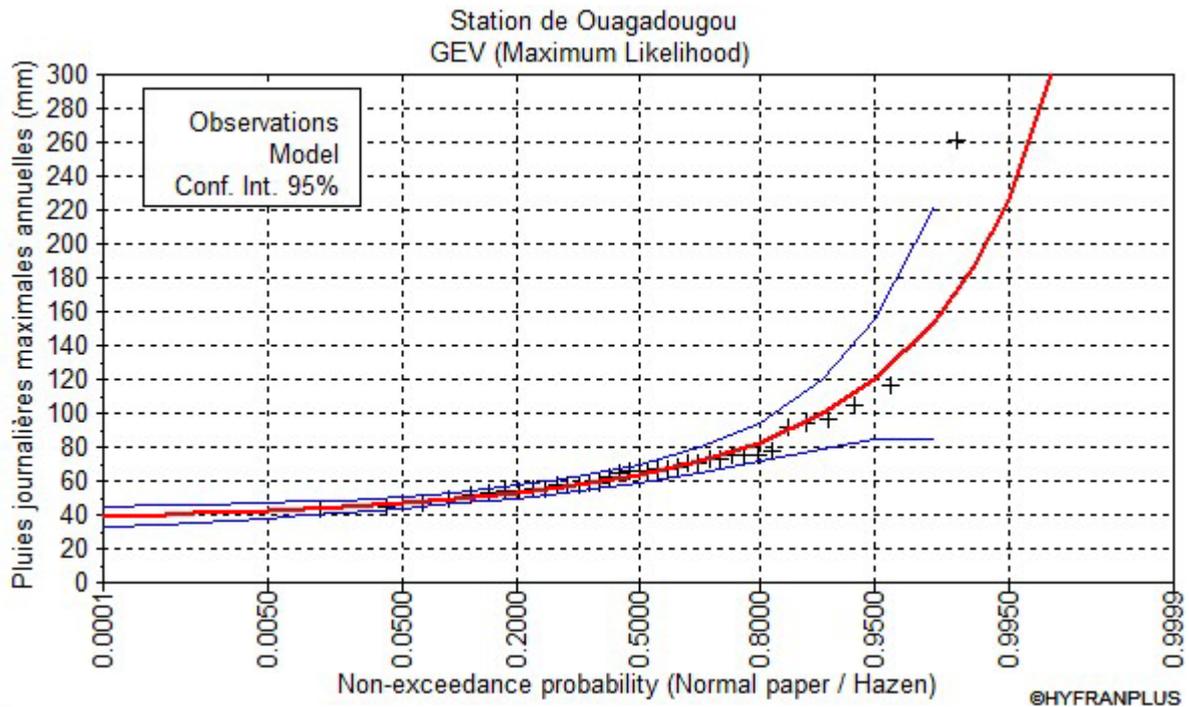
#### Paramètre des lois appliquées

Lois de probabilité	$u$ (mm)	$\alpha$ (mm)	$k$	$\mu$	$\sigma$
Valeurs extrêmes généralisées (GEV)	59,01	12,55	-0,31	-	-
Gumbel	61,35	16,03	-	-	-
Log-normale	-	-	-	4,22	0,32

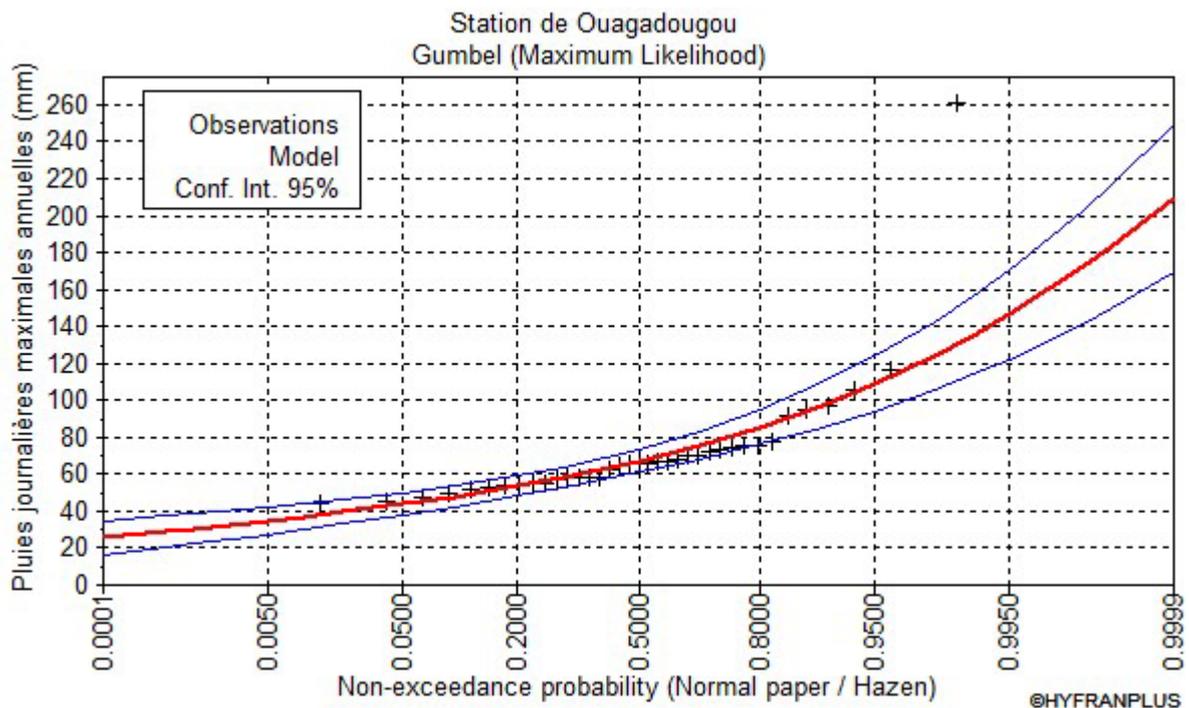
L'analyse du tableau permet de constater que les paramètres de forme  $k$  et de position  $u$  et d'échelle  $\alpha$  de la loi de Gumbel la sont supérieurs à ceux de la loi de valeurs extrêmes généralisée. Le paramètre de forme de la loi de valeurs extrêmes généralisée est négatif. Elle correspond donc à la loi de Fréchet.

#### ❖ Ajustement des pluies journalières maximales annuelles

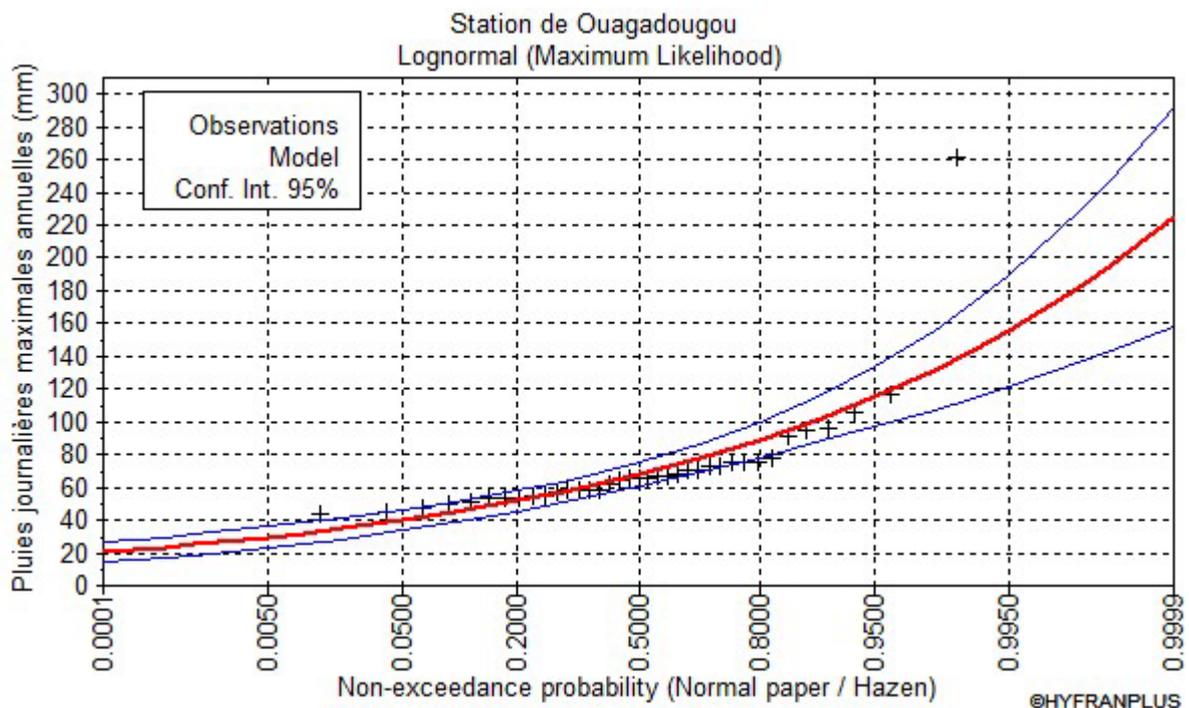
Les figures suivantes illustrent les ajustements graphiques des séries des pluies journalières maximales respectivement par la loi de GEV, la loi de Gumbel, et la loi log-normale avec un niveau de confiance de 95%.



Ajustement des pluies journalières maximales à la loi des valeurs extrêmes généralisées



Ajustement des pluies journalières maximales à la loi de Gumbel



Ajustement des pluies journalières maximales à la loi Log-normale

Les résultats obtenus pour le choix de la meilleure loi de probabilité par les facteurs d'Akaike (AIC) et Bayésien (BIC) disponible dans Hyfran-plus sont consignés dans le tableau suivant :

Critères d'Akaike (AIC) et bayésien (BIC) appliqués aux lois de probabilité utilisées

Lois de probabilité	BIC	AIC
Valeurs extrêmes généralisées (GEV)	327,791	322,958
Gumbel	336,493	333,271
Log-normale	339,604	336,382

BIC : Facteur d'information Bayésien ; AIC : Facteur d'information d'Akaike

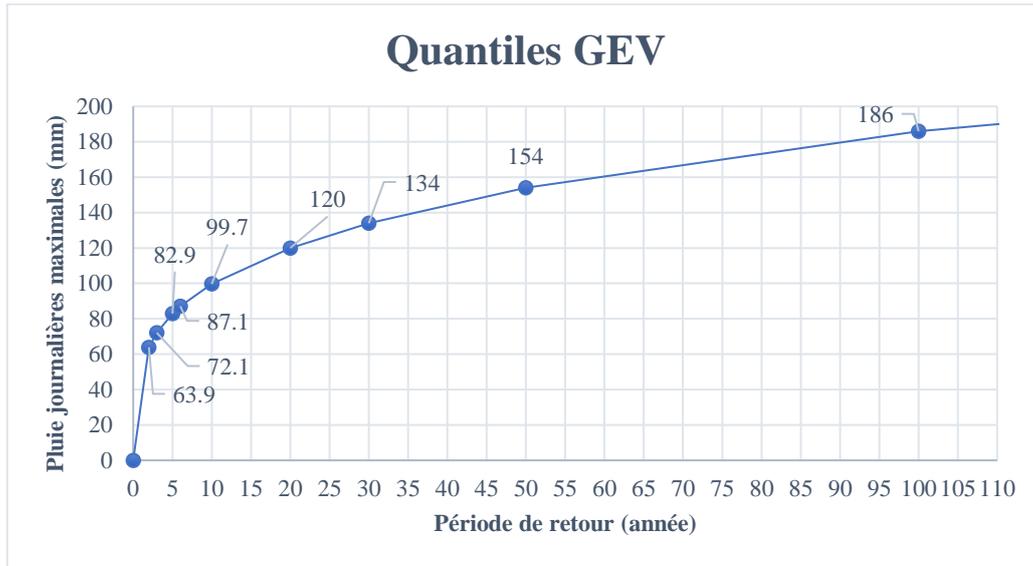
#### ❖ Analyse des résultats de la fréquence de retour des pluies journalières maximales

Le tableau suivant présente les périodes de retour, la probabilité au non dépassement et les quantiles associés.

Fréquence de retour des pluies maximales journalières à la station de Ouagadougou

T	q	XT
10000	0.9999	709
2000	0.9995	439
1000	0.9990	359
500	0.9980	293
400	0.9975	275
200	0.9950	226
100	0.9900	186
50	0.9800	154
30	0.9667	134
20	0.9500	120
10	0.9000	99,7
6	0.8333	87,1
5	0.8000	82,9
3	0.6667	72,1
2	0.5000	63,9

T : période de retour ;  
q : probabilité au non dépassement ;  
XT : Quantiles de pluies (mm)



Pluies maximales journalières en fonction des périodes de retour

**Annexe 4: Evaluation de l'influence du cumul pluviométrique**

<b>Date d'évènement</b>	<b>Hauteur de pluie enregistrée (mm)</b>	<b>Qualification</b>	<b>Cumul des 3 jours précédents (mm)</b>	<b>Cumul des 5 jours précédents (mm)</b>
10/08/1986	47,2	Normale	8,6	10,4
20/08/1991	105,2	Très anormale	0	32,6
28/08/1992	51,9	Normale	2,7	10,9
02/06/1993	46	Normale	45,9	45,9
14/07/1993	20	Normale	0	0
22/07/1993	60	Normale	10,8	33,4
10/09/1996	70,3	Normale	13,5	32,1
25/08/2002	58,1	Normale	0	30,8
20/06/2005	16,7	Normale	12,1	12,1
10/07/2005	75,7	Normale	1,4	1,4
26/08/2007	116,7	Très anormale	14,9	14,9
25/05/2008	34,9	Normale	0	4,3
17/07/2008	64,5	Normale	10,7	10,7
25/08/2008	32,7	Normale	21,6	30
01/09/2009	261,3	Très exceptionnelle	17,2	18
28/07/2010	70,4	Normale	5,3	5,4
16/06/2011	42,3	Normale	10,5	34
18/07/2011	43,8	Normale	17,4	39,7
24/07/2012	67,8	Normale	24,1	61,7
03/09/2013	47,9	Normale	3,5	3,5
30/09/2013	67,3	Normale	0	1,9
24/06/2015	67	Normale	0	17,6
02/08/2015	15,1	Normale	49,6	71,9
01/09/2015	26,9	Normale	12,3	35,7
20/05/2016	15,6	Normale	0	0
26/06/2016	6,8	Normale	26,7	27
10/07/2016	59,8	Normale	0	25,3
20/07/2016	55,3	Normale	130,5	131,2
09/08/2016	87,7	Anormale	4,7	4,7
18/05/2017	96,6	Anormale	17,1	17,1
25/08/2017	0	-	35	77,1
01/06/2018	0,5	-	66,2	69,7
23/06/2018	42	Normale	0	5,7
17/07/2018	11,4	Normale	61,3	61,3
26/07/2018	43,7	Normale	29,9	30
04/07/2019	91,3	Anormale	14,2	14,3
31/08/2020	37,1	Normale	23,8	69,5
05/09/2020	62,1	Normale	34,4	71,8
10/07/2021	5,1	Normale	1	8,5

<b>Date d'évènement</b>	<b>Hauteur de pluie enregistrée (mm)</b>	<b>Qualification</b>	<b>Cumul des 3 jours précédents (mm)</b>	<b>Cumul des 5 jours précédents (mm)</b>
23/07/2021	52,9	Normale	36,1	36,1
03/08/2022	30,6	Normale	1,5	2,3

### **Annexe 5 : Formules de calcul des indices pluviométriques**

- PRCPTOT

Soit  $RR_{ij}$ , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide  $i$  ( $RR \geq 1\text{mm}$ ) de la période  $j$ . Si  $I$  représente le nombre de jours humides sur la période  $j$  alors :

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

- RX1day

Soit  $RR_{ij}$  la précipitation journalière du jour  $i$  dans la période  $j$ . La pluviométrie maximale enregistrée en un jour pour la période  $j$  est donnée par :

$$RX1day_j = \max (RR_{ij})$$

- RX5day

Soit  $RR_{kj}$  la quantité de pluie enregistrée pour un intervalle de 5 jours consécutifs se terminant le jour  $k$  de la période  $j$ . La précipitation maximale enregistrée en 5 jours consécutifs pour la période  $j$  est donnée par :

$$RX5day_j = \max (RR_{kj})$$

- R95p

Soit  $RR_{wj}$ , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide  $W$  ( $RR \geq 1\text{mm}$ ) de la période  $j$  et soit  $RR_{wn95}$ , le 95ème percentile de précipitation des jours humides, calculé sur la période 1986-2022. Si  $W$  représente le nombre de jours humides sur la période  $j$  alors :

$$R95pj = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ où } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

- R99p

Soit  $RR_{wj}$ , la pluviométrie journalière enregistrée en un jour humide  $w$  ( $RR \geq 1\text{mm}$ ) de la période  $j$  et soit  $RR_{wn99}$ , le 99ème percentile de précipitation des jours humides, calculé sur la période 1986-2022. Si  $W$  représente le nombre de jours humides sur la période  $j$  alors :

$$R99pj = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ où } RR_{wj} > RR_{wn99}$$

- CWD

Soit  $RR_{ij}$  la précipitation journalière du jour  $i$  dans la période  $j$ . Le nombre maximal de jours pluvieux consécutifs s'obtient en comptant le plus grand nombre de jours consécutifs où :

$$RR_{ij} \geq 1 \text{ mm}$$

*Annexe 6 : Curage de caniveaux et canaux*

