UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Vulnérabilité aux inondations dans le contexte du changement climatique : cas de la ville de Bujumbura

Ninganza, Bède; Sous la direction de : Dr Sindayihebura Bernard

2024-09
UB, FLSH
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2070

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

MASTER EN SOCIETES, POUVOIRS, TERRITOIRES ET DEVELOPPEMENT DURABLE (SPTD)

VULNERABILITE AUX INONDATIONS DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CAS DE LA VILLE DE BUJUMBURA

Par :

NINGANZA Bède

Mémoire

Présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du diplôme de Master en Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement Durable

Spécialité : Aménagement et Environnement

Sous la direction de :

Dr SINDAYIHEBURA Bernard

Bujumbura, Septembre 2024

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Président du Jury : Pr Aloys NDAYISENGA

Directeur de Mémoire : Dr Ir Bernard SINDAYIHEBURA

Secrétaire du Jury : M.A Jean Bosco NGABIRANO

DEDICACES

A ma mère, pour son affection, son encouragement, et son soutien sans faille

A ma chère épouse, pour son soutien, sa patience et sa confiance qu'elle a investies à ma personne

A mes enfants, pour tous les jours passés à mon absence pendant la réalisation de ce travail

REMERCIEMENTS

Nous remercions chaleureusement le professeur Bernard SINDAYIHEBURA, directeur de mémoire qui, au-delà de ses nombreuses obligations a accepté volontiers de diriger ce mémoire avec patience et assiduité et n'a cessé de me prodiguer des conseils scientifiques utiles pour que ce travail soit réalisé. Par ses conseils avisés, ses exigences scientifiques et sa disponibilité, la qualité du présent travail lui revient.

Nos vifs remerciements s'adressent également à tous les professeurs au Master en Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement Durable (SPTD) et plus particulièrement à ceux de la filière Aménagement. Qu'ils trouvent dans ce travail nos sentiments de reconnaissance pour leurs efforts fournis durant toute ma formation.

Nous Nous exprimons notre reconnaissance à l'endroit du Pr. Paul NGARAMBE et Dr. Père Fidèle INGIYIMBERE pour leur contribution importante.

Nos sentiments de gratitude s'adressent également au Père Felix BARUTWANAYO qui a suscité en moi une grande soif d'étudier.

Que toutes les personnes qui m'ont témoigné de leur sympathie au cours de ma formation et qui ont fait de ma réussite un de leurs soucis, trouvent ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

NINGANZA Bède

RESUME

Dans le monde entier, les effets du changement climatique ne cessent de se manifester à travers des catastrophes naturelles. Ils sont aggravés par diverses activités anthropiques telles que le changement d'affectation des terres, l'implantation humaine et l'urbanisation rapide dans des zones à risque.

Le Burundi lui aussi en souffre. Récurrentes et dévastatrices, les inondations se présentent comme une menace sérieuse pour le pays en général et pour la ville de Bujumbura en particulier. Ces phénomènes climatiques rendent cette ville très vulnérable et constituent par conséquent un défi majeur pour son développement durable. Il est donc essentiel de mieux comprendre, leurs causes et leurs dynamiques afin de mieux développer des stratégies résilientes dans le but de réduire la vulnérabilité face à ces aléas.

Après avoir mis en évidence les preuves du changement climatique dans la ville de Bujumbura, et montré la relation qui existe entre ce changement climatique et les inondations, le présent travail contribue également à l'identification des facteurs d'aggravation de la vulnérabilité et à constituer une base de données historiques pour les inondations. Cela pourrait servir d'orientation pour la prise de décisions préventives et adaptatives et pour la réduction des couts des dommages liés à ce fléau.

Sur le plan méthodologique, cette étude a combiné la recherche documentaire, la collecte et le traitement des données pluviométriques et les observations directes sur terrains pendant et après les inondations.

Les résultats montrent que le changement climatique se combine à d'autres facteurs naturels et anthropiques pour expliquer les inondations dans la ville de Bujumbura et que ces dernières causent de nombreux dommages socio-économiques et environnementaux.

Ces résultats apportent une contribution à la compréhension des aléas naturels qui hantent la ville de Bujumbura et plus particulièrement les inondations. Ils posent également des bases pouvant stimuler d'autres études en la matière et qui peuvent trouver usage dans d'autres entités en situation similaire.

Mots-clés : vulnérabilité, aléa, catastrophe, crue, exposition, inondation, risque et sensibilité

ABSTRACT

Around the world, the effects of climate change continue to manifest through natural disasters. These are exacerbated by various human activities such as land-use change, human settlement, and rapid urbanization in risk-prone areas.

Burundi is also suffering from this phenomenon. Recurrent and devastating floods present a serious threat to the country in general and to the city of Bujumbura in particular. These climatic events make the city highly vulnerable and thus pose a major challenge for its sustainable development. It is therefore essential to better understand their causes and dynamics to develop resilient strategies to reduce vulnerability to these hazards.

After highlighting the evidence of climate change in the city of Bujumbura, and showing the relationship between this climate change and flooding, this work also contributes to the identification of factors that exacerbate vulnerability and to the establishment of a historical database for floods. This could serve as a guide for making preventive and adaptive decisions and for reducing the costs of damage related to this scourge.

Methodologically, this study combined documentary research, the collection and processing of rainfall data, and direct field observations during and after floods.

The results show that climate change combines with other natural and human factors to explain the floods in the city of Bujumbura and that these floods cause significant socio-economic and environmental damage.

These results contribute to the understanding of natural hazards that plague the city of Bujumbura, particularly floods. They also lay the groundwork that can stimulate further studies on the subject and may be useful in other entities facing similar situations.

Keywords: vulnerability, hazard, disaster, flood, exposure, flooding, risk and sensitivity.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY i

DEDICACES ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

TABLE DES MATIERES vi

LISTE DES FIGURES x

LISTE DES TABLEAUX xii

LISTE DES PHOTOS xiii

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS xiv

AVANT-PROPOS xv

INTRODUCTION GENERALE 1

1. Problématique 1

2. Questions notre de recherche 2

3. Hypothèse de travail 2

4. Objectifs de cette recherche 2

5. Intérêt de ce travail de la recherche 2

6. Méthodologie de recherche et protocole de travail 3

7. Articulation de notre travail 4

8. Choix, localisation et présentation générale de la zone d'étude 4

8.1. Localisation 4

8.2. Aspect lithologique 7

8.3. Aspect démographique 7

8.4. Naissance et croissance de la ville de Bujumbura 7

CHAPITRE I : VULNERABILITE DES TERRITOIRES : REVU DE LA LITTERATURE ..... Erreur ! Signet non défini.

I.1. Cadrage du concept de vulnérabilité 11

I.2. Vulnérabilité territoriale 13

I.3. Risque et Aléa climatique 14

I.3.1. Risque et catastrophe 14

I.3.2. Aléa climatique et enjeux 16

1.4. Changement climatiques 17

1.5. Adaptation au changement climatique 17

I.6. De la Vulnérabilité territoriale à la vulnérabilité sociétale 18

I.7. Risque d'inondation 19

I.8. Notion de crue 21

I.9. Le processus de formation des crues 21

CHAPITRE II : APERCU SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA VILLE DE BUJUMBURA 23

II.1. Analyse des précipitations mensuelles 1960 – 2021 23

II.2. Évolution annuelle décennale de la pluviométrie dans la zone d'étude depuis 1960 à 2021 24

II.3. Analyse des écarts à la moyenne décennale 26

II.4. Variabilité interannuelle des paramètres pluviométriques de 1960-2021 : les années sèches et pluvieuses 27

II.5. Variabilité mensuelle des paramètres pluviométriques dans la zone d'étude 29

II.6. Fréquences des pluies journalières exceptionnelles et extrêmes de 1960-2021 32

II.7. Variation des jours des pluies et de jours sans pluies 34

CHAPITRE III : LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET SES IMPACTS DANS LA VILLE DE BUJUMBURA 38

III.1. Les pluies extrêmes ou exceptionnelles et les inondations 38

III.1.1. Sensibilité de l'aléa d'inondation face aux précipitations 38

III.1.2. Cumul des précipitations : source des inondations 38

III.1.3. Précipitations et la variation du niveau du lac Tanganyika 40

III.2. Impacts des inondations dans la ville de Bujumbura 45
III.2.1. Montée des eaux du lac Tanganyika entre 1961-1964 45
III.2.2. Inondation de 1986,1997 et 2001 47
III.2.3. Les crues du janvier 1997 47
III.2.4. Inondations de 2009 48
III.2.5. Inondations de janvier 2010 48
III.2.6. Les inondations de 2011 50
III.2.7. Les inondations du février 2014. 51
III.2.8. Inondations du janvier 2015. 56
III.2.9. Les inondations du janvier 2018. 56
III.2.10. Les inondations du janvier 2019. 60
III.2.11. Inondations de 2020-2024 60
CHAPITRE IV : FACTEURS AGGRAVANT ET LA GESTION DES INONDATIONS DANS LA VILLE DE BUJUMBURA 63
IV.1. Facteurs aggravants 63
IV.1.1. Facteurs naturels 63
IV.1.2. Rôle des activités humaines 65
IV.1.3. Part de l'urbanisation 66
IV.2. Les mesures de prévention et d'adaptation 67
IV.2.1. Aménagement réfléchi 67
IV.2.2. Réglementer les pratiques agricoles intensives sur les Mirwa 68
IV.2.3. La transmission de l'information 69
IV.2.4. Développer la culture du risque 70
IV.2.5. Orienter le développement urbain en dehors des zones à risque 70
IV.2.6. Limiter le ruissellement à la source 71
IV.2.7. Développer une stratégie locale de prévention 71
IV.2.8. Intégrer les risques d'inondations aux nouveaux projets 72

CONCLUSION GENERALE 73

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 75

ANNEXES 82

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la ville de Bujumbura 6

Figure 2 :Occupation du sol de la ville de Bujumbura de 1986 à 2019. 9

Figure I.1: courbe représentant le risque 16

Figure I.2 : Présentation schématique des concepts d'aléa, enjeux et risque 17

Figure I.3 : Schémas explicatifs des inondations 20

Figure II.1 : Fréquences des précipitations mensuelles depuis 1960 jusqu'à 2021 24

Figure II.2 : Moyennes annuelles des précipitations de 1960-1989 25

Figure II.3 : La variation inter-décennal des précipitations 1960-1989 25

Figure II.4 : Moyennes annuelles des précipitations de 1990-2021 26

Figure II.5 : Variations inter-décennales des précipitations 1990-2021 26

Figure II.6 : Evolution des précipitations décennales de 1960-2021 27

Figure II.7 : Fréquences des régimes pluviométriques durant la période d'étude (1969-2021) 29

Figure II.8 : Fréquences des précipitations mensuelles ≥ 60mm, ≥ 100mm et ≥ 200mm 30

Figure II.9 : Inégale répartition interannuelles des pluies exceptionnelles et extrêmes de 1960-2021. 31

Figure II. 10 : Variation des jours de pluies de 1960-1989 34

Figure II.11 : variation des jours de pluies de 1900-2021 35

Figure II. 12 : Écarts interannuels des jours de pluies de 1960-2021 36

Figure III.1. Fluctuations du niveau annuel moyen du lac Tanganyika de 1929 à 1997 42

Figure III.2 : Variation du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021 44

Figure III.3 : Partie de la zone inondee en avril 1878,en 1964 le long du lac Tanganyika et l'etendue de la zone inondee par le debordement de Ntahangwa le 8avril 1986 . 46

Figure III.4 : Les zones inondées en 2014 au Nord de la ville de Bujumbura 55

Figure IV.1 : Les bassins versants aux alentours de Bujumbura, ayant engendré un phénomène de crues rapide en 2014 64

Figure IV.2. Modèle numérique de terrain de l'écoulement torrentiel et divagations naturelles des rivières : cas de Mirwa vers la ville de Bujumbura 65

Figure IV.3 : L'effet du déboisement intensif sur la crue d'un cours d'eau 67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1 : Fréquences des précipitations mensuelles depuis 1960 jusqu'à 2021 23

Tableau II. 2 : Classes des régimes pluviométriques durant la période d'étude (1969 à 2021). 28

Tableau II.3 : Fréquences des précipitations mensuelles ≥ 60mm à ≥ 200mm..... 29

Tableau II. 4 : Fréquence des pluies journalières exceptionnelles et extrêmes) de 1960 à 2010. 33

Tableau III.1. Surfaces littorale du lac Tanganyika inondées en 1964 39

Tableau III.2 : Fluctuation du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021 43

Tableau III.3 : Les dommages causés dans la commune de Buterere en 2009 48

LISTE DES PHOTOS

Photo III. 1 : Coulées de boue à la société d'entreposage pétrolier S.E.P. et Niveau de l'eau et dépôts des vases après l'inondation d'avril 1986 47
Photo III.2 : Inondation de l'Aéroport international de Bujumbura en 2010 49
Photo III.3 : Lycée la Convivialité de Kanyosha menacé d'effondrement 50
Photo III.4 : Inondation du site Sabe de la commune Ngagara par Mutimbuzi en 2011 51
Photo III.5 : Destruction des infrastructures scolaires (écoles Gasenyi III (à Gauche) et Kamenge II 52
Photo III.6 : Pertes agricoles suite aux inondations de 2014..... 52
Photo III.7 : Destruction des réseaux de distribution d'eau à Kamenge 53
Photo III.8 : Destruction de réseau de distribution d'eau à Kamenge..... 53
Photo III.9 : Perte de vies humaines suite aux pluies diluvienne du 9-10 février 2014 54
Photo III. 10 : Inondation de l'avenue Kibonobono en date du 13 avril 2018..... 56
Photo III.11 : Rupture de la digue sur la rivière Mutimbuzi en 2018 57
Photo III. 12 : Hauteur de submersion à l'Est de la RN5 au niveau la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere 58
Photo III. 13 : Envahissement de l'entreprise de construction KAZE 59
Photo III.14 : Inondation du secteur SABE..... 59
Photo III. 15 : Maison inondée a KIBENGA rural 61
Photo III. 16 : Maisons inondées et abandonnées à Kabondo (1) 61
Photo III. 17 : Maisons inondées et abandonnées à Kabondo (2) 61

LISTE DES SIGLES ET ABBREVIATIONS

ABUTIP : Agence Burundaise pour la réalisation des Travaux d'Intérêt Public

CCNUCC : Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques

FAO : Food and agriculture Organisation

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

IGEBU : Institut Géographique du Burundi,

ISTEEBU : Institut des Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi

MEEATU : Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme

OBPE : Office Burundais pour la protection de l'environnement

OCAF : Offices des Cités Africaines

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PNPRGC : Plateforme Nationale de Prévention des Risques et de Gestion des Catastrophes

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PNUE : Programme des Nations Unis pour l'Environnement

PURI : Projet d'Urgence pour la Résilience des Infrastructures

PVC : Pseudo Vraie Couleur

RDC : République Démocratique du Congo

REGIDESO : Régie de Production et de Distribution de l'Eau et de l'Electricité

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

ROBUCO : Road Building Company

RN : Route National

SDAU : Schéma Directeur d'Aménagement Urbain

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SCOT : Schéma Communal d'Organisation Territoriale

SPTD : Société, Pouvoir, Territoire et Développement durable

SEP : Société d'Entreposage Pétrolier

AVANT-PROPOS

Selon le GIEC (2018), le changement climatique est considéré comme l'une des plus grandes menaces pour le développement durable et les moyens de subsistance des populations dans les pays en développement, avec des effets néfastes attendus sur la santé humaine, la sécurité alimentaire, l'activité économique, les ressources naturelles et les infrastructures. L'objectif de cette recherche est de montrer la relation entre le changement climatique et les inondations qui sont récurrentes dans la ville de Bujumbura.

La compréhension des inondations dans le contexte du changement climatique, va contribuer à leur gestion durable quant à la prise de décision chez les décideurs. Pour ce faire, la compréhension des facteurs de la vulnérabilité aux inondations reste indispensable. Au cours de notre travail, nous avons constaté qu'à part la pluviométrie, les facteurs anthropiques participent activement à l'ampleur des dégâts de ces inondations.

A la fin de ce travail, on a procédé à la proposition des mesures en vue de faire face à ces inondations récurrentes et réduire le niveau de la vulnérabilité de la zone d'intérêt, tout en rappelant que la résilience aux effets du changement climatique appelle la participation de tout le monde.

INTRODUCTION GENERALE

1. Problématique

Le changement climatique est un phénomène qui préoccupe le monde entier compte tenu des fluctuations qui touchent le climat terrestre, et leurs conséquences sur le mode de vie de l'humanité. Ce phénomène tient son importance du fait qu'il touche des secteurs sensibles. Ses conséquences peuvent déboucher sur une catastrophe à l'échelle planétaire ce qui peut mettre en péril le devenir du genre humain.

Le Burundi fait partie des pays touchés. Dans ces dernières années, dans sa capitale économique Bujumbura, les événements et les catastrophes liés à ce phénomène se multiplient avec des conséquences parfois meurtrières.

La variabilité et les impacts de ce changement du climat à long terme influencent les perspectives globales du développement mondial en générale et des pays en voie de développement en particulier. Or, le Burundi fait partie des pays les plus pauvres, donc moins susceptibles de se protéger et de s'adapter aux effets de la variabilité du climat.

C'est dans ce cadre que la ville de Bujumbura s'inscrit parmi les villes vulnérables aux effets du changement climatique. Les inondations récurrentes, le glissement de terrains, les crues des rivières et la montée des eaux du lac Tanganyika, affirment cet état de vulnérabilité. Le manque de capacité institutionnelle, économique et financière nécessaires pour faire face aux impacts du changement climatique, aggrave la situation.

Durant la saison des pluies, lorsque les précipitations intenses surviennent croisant une surexploitation des Mirwa, des changements irréversibles et une détérioration des potentiels de production agricole s'ensuivent. Cette situation détermine alors les conditions environnementales, sociétales et territoriales de cette ville. Elles engendrent également des limitations sévères au développement socio-économique des zones agricoles au moment où l'économie et la vie de la population burundaise dépendent principalement de l'agriculture. La forte densité de la population dans les quartiers spontanés, le taux de croissance démographique très élevé et l'urbanisation anarchique favorisent une dégradation accélérée des milieux naturels déjà fragilisés. Cette situation est empirée par la topographie de la région qui est contrastée, l'aménagement parfois mal adapté que subissent certaines zones et la dégradation des bassins versants des rivières qui prennent source dans les Mirwa et qui traversent la ville.

Comme ces effets sont déjà visibles et qu'ils s'aggraveront probablement, il est logique d'agir maintenant afin de préserver l'environnement, la santé et la sécurité de la population.

2. Questions notre de recherche

Notre travail de recherche est centré sur trois questions centrales. Y a-t-il une relation entre le changement climatique et les inondations récurrentes dans la vile de Bujumbura ? Est-ce que les grandes inondations qu'a connues la ville de Bujumbura correspondent aux périodes de pluies intenses ? Comment réduire la vulnérabilité aux inondations de la ville de Bujumbura ?

3. Hypothèse de travail

Restant convaincu que le changement climatique pose un défi majeur au développement des sociétés, et que les aménagements territoriaux dans notre zone d'intérêt ne respectent pas des critères et mesures urbanistiques, l'analyse de la vulnérabilité est incontestable pour une meilleure adaptation.

Dans le cadre de cette étude, nous répondons progressivement aux questions posées précédemment. En vue d'orienter le cheminement de nos idées et pour bien mener notre travail de recherche, nous proposons une hypothèse qui va nous servir de pilier. Nous considérons donc qu'à travers les précipitations exceptionnelles et extrêmes couplés aux autres facteurs naturels et anthropiques, le changement climatique est responsable de la vulnérabilité de la ville de Bujumbura face aux inondations.

4. Objectifs de cette recherche

L'objectif de ce travail est de montrer la relation qui existe entre le changement climatique et les inondations dans la ville de Bujumbura. Les résultats constituent une base de données qui pourra servir pour éveiller la conscience de toutes les parties prenantes en matière d'aménagement durable et de gestion des risques dans le but de réduire le coût des dommages liés aux inondations.

5. Intérêt de ce travail de la recherche

Comme intérêt personnel, cette recherche nous permet de mettre en pratique et de valoriser les connaissances acquises durant notre cursus de formation en en SPTD ; option Aménagement.

Parlant de l'intérêt scientifique et public, notre travail pourra servir de base à d'autres études et aider les décideurs quant à la compréhension du changement climatique et la gestion des

inondations dans la ville de Bujumbura dans le but d'améliorer la qualité de l'environnement et les conditions de vie des sociétés urbaines.

6. Méthodologie de recherche et protocole de travail

Ce travail est basé sur des **techniques documentaires**. Les documents préexistants sur la zone d'étude en particulier la région ou ville de Bujumbura ont été consultés. L'exploitation des ouvrages scientifiques et les documents officiels traitant le sujet en question nous ont servi de grandes sources d'information. De même, les travaux effectués ailleurs dans le monde et contenant des informations diverses et essentielles se rapportant à nôtre sujet ont été explorés et exploités. Les publications qui se rapportent sur l'inondation, la vulnérabilité des territoires et des sociétés, des documents s'intéressant au climat et à ses différentes composantes constituent des bases scientifiques les plus sûres. A travers les informations fournies par des organisations internationales et nationales travaillant dans le domaine du changement climatique et de l'environnement, notre documentation est assurée. Ce sont par exemple le GIEC (groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat, PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), IGEBU (Institut Géographique du Burundi), l'OBPE (Office Burundais pour la Protection de l'Environnement) et d'autres institutions qui abordent le même sujet.

Les données sur la pluviométrie de 61 ans (1960 à 2021) ont été fournies par l'IGEBU. Le traitement de ces données a été fait par le logiciel SPSS12 (logiciel de statistique) Excel. Le groupement de 5 ans dans une série de 30 ans ont été fait en Excel et nous permis de bien analyser et définir les pluies exceptionnelles que la région a connues, en tenant compte des données météorologiques de la station météorologique de Bujumbura aéroport. Les moyennes mensuelles et annuelles, la variation interannuelle des jours de pluies, et autres réalités climatiques, nous révélé l'existence du changement climatique. Les résultats comparés aux dates d'inondation nous ont permis de décrire les pluies qui peuvent déclencher l'inondation et les crues.

Dans un **angle cartographique**, les données que nous avons utilisées rassemblent celles spatialisées regroupant les cartes topographiques du Burundi au 1/50000ème et les cartes pédologiques du Burundi à la même échelle qui couvrent la ville de Bujumbura qui fait l'objet de notre étude. Le logiciel Arcgis 10.7 a été utilisé pour la confection des cartes illustratives.

Des descentes sur terrains, pour être conscient et témoin des conséquences du changement climatique à travers les inondations, des visites de terrains ont été effectuées dans des zones

concernées ou les zones les plus touchées, pour compléter les données existantes. Nous y avons pris les photos dont certaines sont présentées dans ce travail.

Après le traitement des données sur la pluviométrie, nous avons distingués des catégories des pluies durant les 61 ans étudiés en deux séries de 30 et de 31 ans. Après, nous avons montré la relation qui existe entre les pluies extrêmes et les inondations. Après cela, une autre étape a été de présenter les dégâts qui ont été causés par ces inondations dans des périodes différentes et la description des facteurs participant à la multiplication des dégâts.

7. Articulation de notre travail

Le présent travail s'articule autour de quatre chapitres. Le premier chapitre clarifie les concepts et les définitions des mots clés et expose le cadre de l'étude. Le changement climatique est présenté au deuxième chapitre, après des analyses pluviométriques des données de la station Bujumbura aéroport du 1960 jusqu'en 2021. Ce chapitre met en évidence les extrêmes et anomalies pluviométriques.

Le troisième chapitre quant à lui présenter des évènements extrêmes climatiques, les cas d'inondations qui se sont produites dans la ville de Bujumbura. Les facteurs susceptibles d'aggraver et de multiplier les dégâts avec les mesures de mitigation sont développés dans le quatrième chapitre.

8. Choix, localisation et présentation générale de la zone d'étude

8.1. Localisation

La zone d'étude choisie pour mener ce travail de recherche est une zone principalement urbaine, connaissant des inondations récurrentes depuis 1984 soit par les eaux de ruissellement ou par la montée des eaux de rivières ou du lac Tanganyika (SINDAYIHEBURA 2005). Les inondations sont historiquement présentées dans notre recherche avec les dégâts y relatifs.

La ville de Bujumbura est située au bord Est du lac Tanganyika jusqu'aux escarpements des Mirwa (les contreforts), à l'ouest de la République du Burundi entre 3°30' - 3°51' de latitude sud et 29°31'- 29°42' de longitude est (Figure 1). Elle comprend trois communes qui sont Muha au sud, Mukaza au centre et Ntahangwa au nord qui sont subdivisées en 13 zones administratives dont Buterere, Buyenzi, Bwiza, Cibitoke, Gihosha, Kamenge, Kanyosha, Kinama, Kinindo, Musaga, Ngagara, Nyakabiga et Rohero.

Elle occupe la partie centrale de la plaine occidentale du Burundi. L'altitude est comprise entre 774m, niveau du lac Tanganyika et 1000m au début des escarpements des Mirwa (SINDAYIHEBURA, 2005). Elle part de la plaine de la Rusizi au Nord, à la rivière Mugere au Sud. La figure 1 délimite la zone d'étude. Nous soulignons aussi que la zone Gatumba est évoquée pour l'intérêt qu'elle apporte à notre sujet.

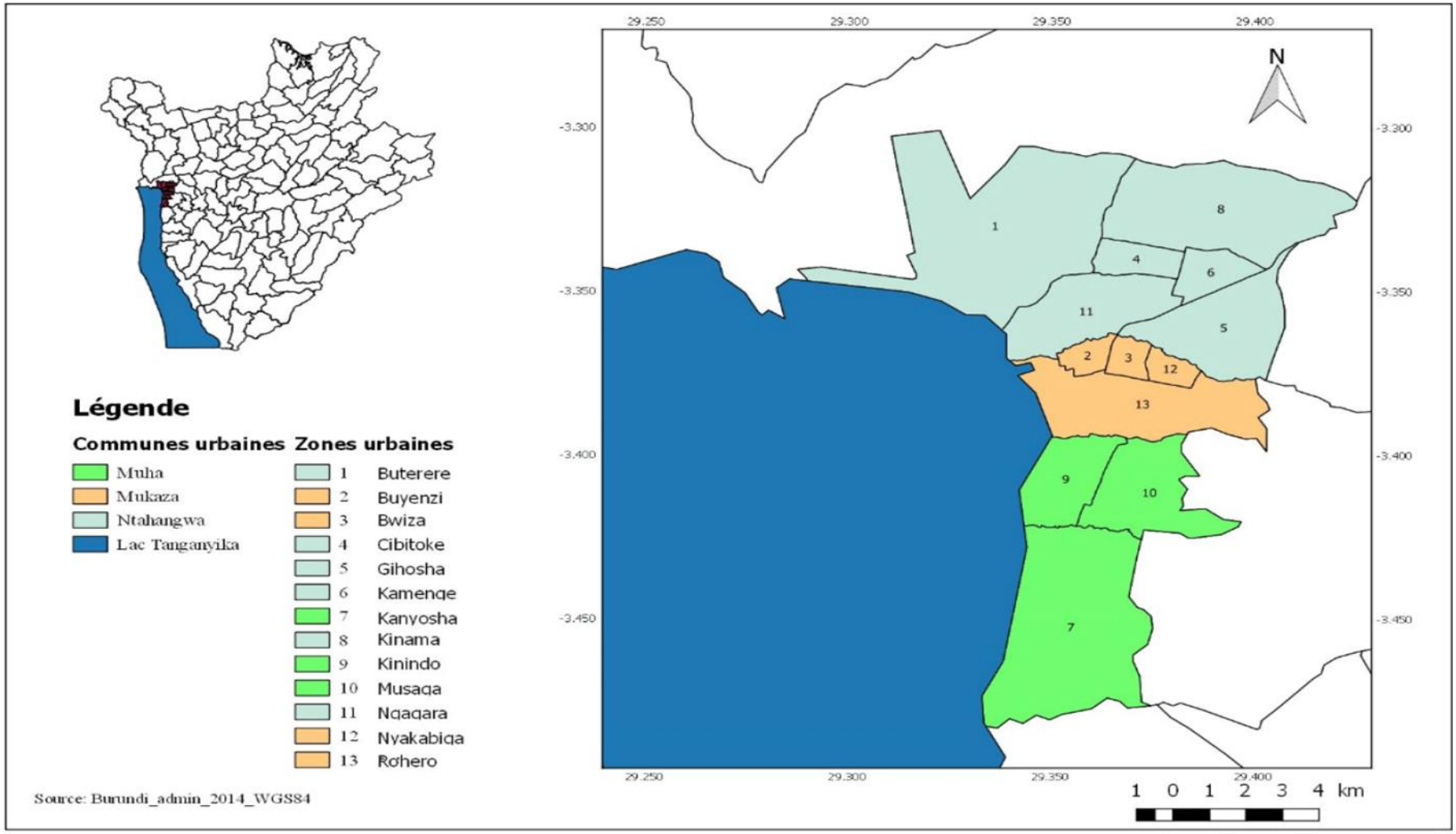


Figure 1: Localisation de la ville de Bujumbura (KABANYEGEYE et al. 2019)

8.2. Aspect lithologique

La ville de Bujumbura elle bénéficie les mêmes conditions lithologiques que la plaine de l'imbo où elle se trouve. Elle est composée d'une formation d'alluvionnement fluvio-lacustre découlant d'un processus relativement ancien. Parmi les alluvions lacustres, les dépôts récents se localisent essentiellement le long de la côte du lac Tanganyika et les alluvions lacustres relativement anciennes occupent la marge des plaines (SINDAYIHEBURA, 2005).

8.3. Aspect démographique

La population de la ville de Bujumbura ne cesse de s'accroitre. Selon les enquêtes démographiques et les recensements réalisés elle était de 143020 en 1979 dans la mesure où en 1990, elle comptait 228 618. Nous remarquons déjà une augmentation de 85 598 dans 14 ans, soit 6114 par an (SDAU, 2014). Le recensement de 2008 lui représente 479 155. Selon les données de ce même recensement, (RGHP 2008), les quartiers périphériques sont plus peuplés par rapport aux quartiers centraux et le taux d'accroissement annuel moyen dans l'ensemble est de 4,2% pour les périodes 1979-1990 et 1990-2008 (SDAU, 2014). Avec les projections démographiques, la ville de Bujumbura possède 770681 de populations, et aura 1016395 de populations en 2040 (ISTEEBU, 2020).

8.4. Naissance et croissance de la ville de Bujumbura

Le noyau de la ville de Bujumbura fut un terrain de 100 hectares achetés au chef WAKANA par le missionnaire allemands Van der Biessen et Van der Burget le 10 aout 1897. C'est là où ils ont érigé une mission de saint Antoine de l'Uzige. Ce site était situé entre la rivière Ntahangwa au nord et celle de muha au sud. Le capitaine Van Ramsay transfère le camp militaire des proximités de delta de la Rusizi à Kajaga à la terrasse lacustre où se trouvait déjà la mission (NTABONA, 1997& TOYI, 1997).

Depuis 1897 ; les allemands font appel à des artisans swahili d'Ujiji pour y construire le Boma un fort militaire, messe des officiers, habitations du chef de station, hôpital avec logement des médecins. Ce site est relié par une route aux rives du lac Tanganyika et ou sera créé par la suite un port en 9014 sur le site actuel de cercle nautique de Bujumbura (TOYI, 1997).

En 1901, Bujumbura le chef-lieu du district du Rwanda-Urundi. En 1907, ce district est divisé en deux résidences Urundi et Rwanda et Bujumbura demeure le chef-lieu de la résidence de l'Urundi. Ce rôle administratif favorise le développement de la ville de Bujumbura. Depuis lors, Bujumbura devient un centre commercial permettant au reste du pays par son approvisionnement de sortir du système

d'autoconsommation. Des Asiatiques essentiellement Arabes et Hindu rejoigne les artisans d'Ujiji et forment le quartier asiatique actuel en 1908.

En 1934, Bujumbura reçoit le statut de centre extra coutumier dépendant de Léopoldville. Il est alors créé le camp Belge A qui est Bwiza actuel. En 1938, le village Buyenzi est construit pour loger les swahilis et en 1958 il se forme le Fond d'Avance qui est quartier Nyakabiga actuel.

Parallèlement à la naissance de ces quartiers dits centre extra-coutumiers, d'autres quartiers sont installés au nord de la Ntahangwa pour loger la main d'œuvre. Il s'agit de Kinama, Kamenge et Ngagara. De 1952 à 1956, l'Office des Cites Africaines (OCAF) a bâti 2500 logements, qui sont des maisons construites pour la prise en charge des administratifs et qui sont ensuite louées à des cadres moyens. (NTABONA, 1997& TOYI, 1997).

Avec l'indépendance, la ville a connu une extension. En 1960, Bujumbura est érigée en commune urbain. Depuis 1963 à 1969 furent crée le quartier de Cibitoke, destiné à accueillir les populations chassées par la montée des eaux du lac Tanganyika, qui a eu lieu de 1962 à 1964. De 1962 à 1978 l'espace séparant le quartier résidentiel européen Rohero I de Bwiza devient Rohero II pour résoudre en partie le problème de logement posé par l'afflux des coopérants et des nouveaux cadres nationaux (NTABONA, 1997& TOYI, 1997).

Le décret-loi n^{o} 1/26 du 30 juillet 1977 portant réforme de l'organisation communale, donna le statut de municipalité à la Mairie de Bujumbura. A partir de 1980, de nouveaux quartiers sont aménagés. Il s'agit de Musaga, Gatoke, Gikungu, Gihosha, Kinanira, Ngangara Q.6 et Q.7, Kanyosha, Mutakura et Buterere (TOYI, 1997& NINGANZA, 2018). De ces propos ci haut mentionnés, la dynamique de l'occupation du sol montre que les changements de l'occupation de sol de la ville de Bujumbura sont caractérisés par une diminution des surfaces végétales parallèlement à une augmentation de la surface du bâti et une séquence de progression/régression de la surface de sol nu. **(**KABANYEGEYE et al. 2021).

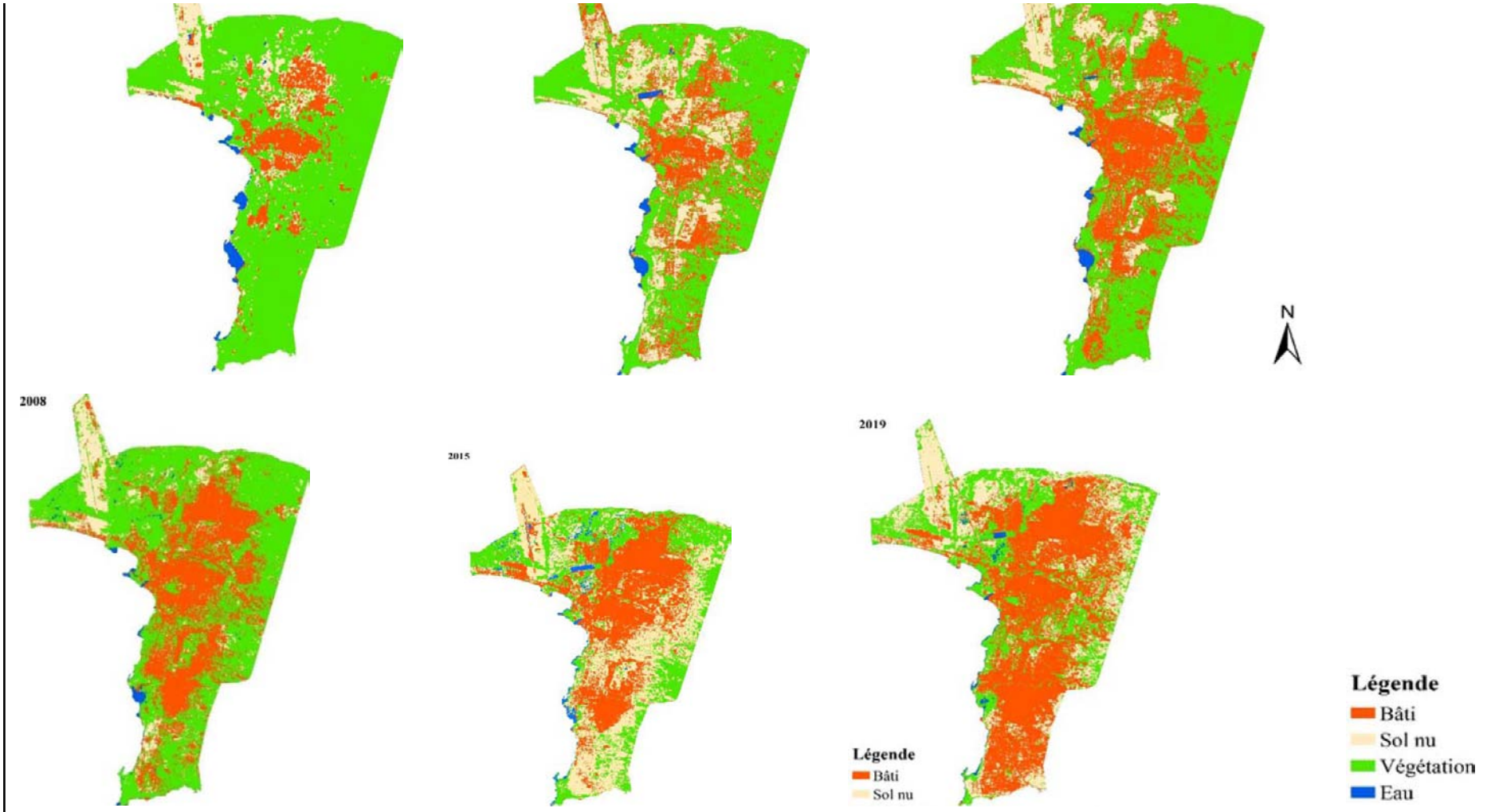


Figure 2 :Occupation du sol de la ville de Bujumbura de 1986 à 2019 (KABANYEGEYE et al.2021).

A base de la figure 2, des nouveaux quartiers sont érigés sur des zones marécageuses, des zones de crues et sur la rive du lac Tanganyika, donc des zones à haut risque d'inondation. Cas de Kibenga rural, Kinindo bas, Gisyo à Kanyosha, Kabondo à cote du Lac Tanganyika et autres.

Notons que la croissance de la ville de Bujumbura confronte à un certain nombre de contraintes naturelles posées par les collines escarpées à l'Est et le lac Tanganyika à l'Ouest. Cela limite la croissance urbaine à l'Est et à l'ouest formant une ville linéaire se développant dans le sens Nord-Sud.

Le premier chapitre définit des concepts clés qui nous vont aider à la compréhension de notre travail et sur lesquels il se base. Ce sont surtout la vulnérabilité, l'inondation, le risque, enjeux et toute autre notion ayant le même champ lexical que notre sujet, à travers de nombreux auteurs.

Face au changement climatique, les populations et la ville de Bujumbura sont fortement vulnérables. Divers facteurs participent à cette vulnérabilité. Ces facteurs sont liés à l'environnement urbain (densité, croissance démographique, urbanisation incontrôlée galopante, imperméabilisation du sol, etc.) et sa gestion, ainsi qu'à la pauvreté avec tous ses corollaires. Tous ceux-là rendent la ville de Bujumbura plus sensible aux catastrophes naturelles, surtout les inondations. Dans ce chapitre, nous définissons les concepts clés relatif au changement climatique, inondation, risque et autres, indispensables à la compréhension de notre travail. Nous décrivons également dans de différents aspects le vocable de vulnérabilité, tout en déterminant et en caractérisant ses facteurs d'aggravation.

I.1. Cadrage du concept de vulnérabilité

Le terme vulnérabilité a son origine dans la littérature des risques naturels, de la pauvreté, de l'insécurité alimentaire et du développement. Il est largement appliqué aux études d'impacts face aux changements climatiques (DOWNING, 2003 ; FAO, 2000).

Dans un sens général, la vulnérabilité désigne l'ensemble des facteurs de faiblesse. Elle peut être humaine, matérielle, fonctionnelle (BOURRELIER et al. 2000). Ces vulnérabilités sont en fonction de l'exposition et de la sensibilité d'un système aux effets négatifs de l'aléa, et de la capacité d'y faire face (GIEC, 2007).

La vulnérabilité est un terme très polysémique. Cette notion demeure floue si l'auteur ne donne pas des éclaircissements selon son domaine. Elle caractérise tantôt le matériel (dégâts) et tantôt l'immatériel (vécu des populations) (LAGANIER, SCARWELL, 2004).

Avec sa polysémie, chaque auteur et acteur donne sa définition selon son domaine d'application. Ceci doit avoir des conséquences, car il engendre des divergences et lacunes pour la gestion du risque.

Dans sa portée, la vulnérabilité est liée aux susceptibilités, aux prédispositions, aux capacités d'adaptation et à la résilience (BIRKMANN. et al. 2011 ; CARDONA et al. 2012 ; GALLOPIN, 2006). Dans ce cas, les susceptibilités représentent les facteurs de prédisposition des enjeux face au risque, alors que la vulnérabilité constitue une situation préexistante à l'évènement qui induit le risque.

FIELD et al. 2012, définissent la vulnérabilité comme étant la propension d'éléments exposés tels que les êtres humains, leurs moyens de subsistance et leurs actifs à subir des effets néfastes lorsqu'ils sont touchés par des évènements dangereux. WISNER et al. (2004) soulignent qu'il y a une évolution du concept de vulnérabilité au cours des dernières décennies ainsi qu'une augmentation de la littérature scientifique qui lui est consacrée et que l'on a l'absence de prise en compte des pertes immatérielles comme les dimensions historiques, psychologiques et culturelles. Pourtant, la vulnérabilité devrait être utilisée au sens large du terme et ainsi intégrer les aspects sociaux tels que le patrimoine culturel, le sentiment d'appartenance, et autres.

Dans le domaine des risques naturels, la vulnérabilité est définie comme étant « le degré auquel une unité à risque est susceptible de subir des dommages via l'exposition à une perturbation ou à une contrainte, et la capacité (ou l'impossibilité) de l'unité à risque de faire face, de s'en sortir ou de s'adapter de manière fondamentale ou de disparaître (KASPERSON et al. 2002).

Le GIEC donne dans son troisième et quatrième rapport (GIEC, 2001 et 2007) une définition de la vulnérabilité en relation avec les changements climatiques : la vulnérabilité représente le degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. Elle dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation. Par conséquent, un système fortement vulnérable est un système qui est extrêmement sensible aux moindres changements du climat pour lesquels la capacité de s'adapter est sévèrement limitée (FANTAMAR, 2010).

La pluralité des définitions confère à la vulnérabilité de multiples aspects. Il y a :

- La vulnérabilité physique ou matérielle qui se traduit par l'évaluation quantitative ou monétaire des dommages ou impacts (TORTEROTOT, 1993). Elle représente la susceptibilité du cadre bâti à subir des dommages (CARDONA et al. 2012).

- La vulnérabilité biophysique qui privilégie les aspects d'exposition. Dans ce cadre, Paul-Henri BOURRELIER 1997, propose de définir le risque inondation comme la «co-occurrence d'un aléa hydrographique et d'une vulnérabilité en un point géographique donné ». Ainsi cet aspect d'analyser le risque comme croisement d'un

aléa, d'une vulnérabilité et d'une exposition débouchera à l'interdiction d'urbanisation des zones à risques d'inondation.

- La vulnérabilité sociale qui dépend de la capacité à anticiper l'aléa, de la capacité à faire face à l'urgence, du comportement en temps de crise et de la capacité de reconstruction (WISNER et al. 2004). La vulnérabilité sociale se résume à « *la propension au bien-être humain à être endommagé par la perturbation individuelle (santé mentale et physique) et collective (santé, services éducatifs, etc*.)» (BIRKMANN et al. 2011.
- La vulnérabilité économique qui réfère à la prédisposition, à savoir que la capacité de production d'un système soit perturbée par des dommages matériels et des perturbations liées à l'occurrence d'un aléa (BALICA et al. 2009).
- La vulnérabilité socioéconomique, elle, étudie les individus, les systèmes sociaux et leurs caractéristiques (genre, âge, marginalisation des groupes sociaux, etc.) (CUTTER et al. 2003).
- La vulnérabilité environnementale qui s'intéresse au rôle des écosystèmes, leur dégradation face au risque et l'impact cumulatif sur la société. Elle représente aussi l'interrelation entre différents écosystèmes, leur capacité à faire face à des perturbations et se remettre suite à une diminution des ressources plus ou moins importante dans le temps et dans l'espace (CARDONA et al. 2012).

Les chercheurs D'ERCOLE (2022), METZGER, (2002) ; DAUPHINE, (2003) ; PIGEON, (2005) et REGHEZZA, (2006) ; précisent la définition du concept de vulnérabilité dans la discipline géographique ainsi que les modalités de son évaluation. Leurs recherches aboutissent également à la remise en cause de la conception fondamentale du risque basée sur la conjonction de l'aléa et de la vulnérabilité (D'ERCOLE & METZGER, 2002, PIGEON, 2005).

I.2. Vulnérabilité territoriale

La vulnérabilité représente une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux, qui prédisposent les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages (MORIN, 2008). Elle s'évalue en fonction des dommages que cet événement peut engendrer, que ce soit sur les populations, les biens (le bâti privé, les établissements et équipements…), les activités (industrielles, commerciales, artisanales…) ou encore sur les ressources naturelles (DAUPHINE, 2001). Mais cette approche de la vulnérabilité est considérée comme restrictive. D'ERCOLE (1994) propose une définition

plus large en considérant la vulnérabilité des sociétés à travers leur capacité de réponses à des crises potentielles.

De là découle l'approche de la vulnérabilité territoriale, qui trouve son origine dans l'idée qu'il existe une solidarité de fait entre enjeux majeurs et territoire, car, les enjeux majeurs sont identifiés par rapport à un territoire et le territoire dépend de ses enjeux majeurs. Il existe une liaison entre enjeux majeurs et territoire qui implique la transmission inévitable de la vulnérabilité d'un enjeu majeur identifié et localisé, à l'ensemble du territoire. Cela signifie que la vulnérabilité d'un territoire peut s'appréhender par la vulnérabilité de ses enjeux majeurs (ALEXIS, (2009).

Dans ce même ordre d'idées, la vulnérabilité territoriale s'explique du fait qu'il existe, au sein de tout territoire, des éléments localisables susceptibles d'engendrer et de diffuser leur vulnérabilité à l'ensemble d'un territoire. Dans ce cas, il peut se produire des effets qui peuvent perturber, compromettre, voire interrompre le fonctionnement et le développement de ce territoire (ALEXIS, (2009).

Dans cette logique, l'analyse de vulnérabilité territoriale vise prioritairement à identifier, caractériser et hiérarchiser les espaces à partir desquels se crée et se diffuse la vulnérabilité au sein du territoire. Elle permet donc de définir les espaces pour lesquels des actions de prévention des risques auraient une grande efficacité, prenant ainsi le contre-pied des interventions habituelles visant la réduction des risques, le plus souvent ponctuelles et choisies de manière contingentes.

I.3. Risque et Aléa climatique

Le risque et l'aléa, au même titre que la vulnérabilité, sont les notions centrales de cette étude. Leurs définitions sont variables selon les domaines d'expertise.

I.3.1. Risque et catastrophe

Le terme de risque est utilisé par le GIEC concernant le changement global de climat et certains événements climatiques extrêmes (GIEC, 2007). Selon les spécialistes, le niveau de risque est conditionné par le croisement entre la sévérité de l'aléa et l'importance donnée aux enjeux sociétaux, dont dépend la vulnérabilité, dans un temps et sur un espace donné (ANTOINE et al. 2008).

Dans ce contexte, le risque est le résultat de l'interaction entre un aléa et la vulnérabilité des éléments exposés à son égard. Il correspond ainsi à la combinaison de la probabilité

d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné (MORIN, 2008). Les pertes peuvent être estimées en termes de vies humaines, de destruction d'infrastructures ou en termes financiers (UNDRO, 1979).

Dans un aspect géographique, les dangers qu'engendre le risque sont alors liés à la conjonction territoriale d'un ou plusieurs dangers et d'une présence humaine directe ou non. C'est pourquoi les inondations sont classées parmi les risques naturels. Elles sont liées à des processus physiques et sont la possibilité de survenance d'un événement susceptible de porter atteinte à l'équilibre naturel (YVETTE, 2017).

Quant à la catastrophe, c'est l'interruption de la capacité de fonctionnement d'une société, occasionnant des pertes de vies humaines, de biens naturels et de biens matériels, et qui dépasse la capacité de la société affectée à récupérer par ses propres moyens (BAILLY, 1998).

Le risque donc peut suivre et précéder la catastrophe mais celle-ci survient souvent à un moment non prévu malgré l'anticipation possible par le risque.

Concernant la différence entre la catastrophe et le risque, ce dernier possède une part de probabilité, car il peut rester dans le domaine de l'inachevé. Lorsqu'elle s'inscrit dans le temps cette probabilité est appelée « période d'incubation ». Elle peut s'inscrire également dans l'espace car le risque ne concerne pas une zone précise, mais plutôt une aire aréolaire.

La catastrophe possède, elle, un caractère plus réel, concret. Elle a donc une inscription territoriale beaucoup plus restreinte, généralement ponctuelle, et presque toujours interne à une aire de risque. « *Pour que l'on parle de catastrophe il faut que le phénomène soit d'une certaine ampleur et qu'il présente un caractère soudain et exceptionnel. Le risque n'est pas la catastrophe mais la potentialité, voire l'éventualité de l'accident* » (MORIN, 2008). Autre différenciation est que le risque est difficilement caractérisable, alors que la catastrophe possède sept dimensions :

- L'amplitude : niveau atteint sur une échelle de gravité en comparaison avec d'autres catastrophes
- La fréquence : nombre d'accidents qui se produisent en un temps donné
- La durée
- L'aire
- La dispersion spatiale : proximité ou non d'autres catastrophes
- La rapidité : temps écoulé entre l'apparition de la catastrophe et son intensité maximale
- L'espacement temporel : intervalles temporelles lors d'une succession de catastrophes

Le risque et la catastrophe sont donc des notions différenciables. De plus la catastrophe est compréhensible à travers ses composantes. Il est en de même pour le risque qui se compose de deux grandes composantes, sous l'équation : **Risque = (Aléa x Vulnérabilité).** Cette équation est représentée par la courbe suivante :

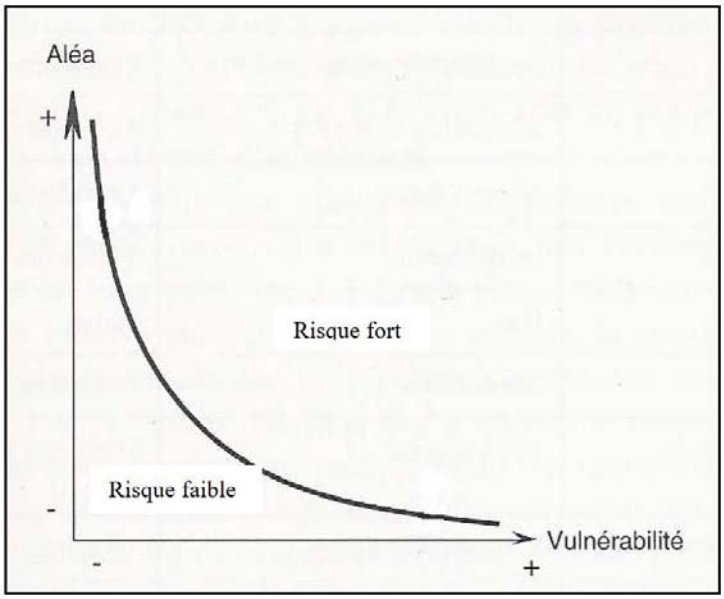


Figure I.1: courbe représentant le risque (DAUPHINE , 2001**)**

I.3.2. Aléa climatique et enjeux

L'aléa est un événement qui survient de façon imprévisible et dont les scientifiques tentent d'établir la probabilité d'occurrence grâce aux données de fréquence des phénomènes (ANTOINE et al. 2008). Le 4ème rapport du GIEC indique que les évènements climatiques extrêmes (sécheresses, vagues de chaleur et inondations) devraient se multiplier et être accompagnés d'effets défavorables. Depuis les évaluations de 2001, ces phénomènes ont augmenté en fréquence et en intensité (GIEC, 2007).

MORIN (2008), lui dit que l'aléa désigne la probabilité d'occurrence d'un événement (inondation, glissement de terrain, etc) et qu'il est également en fonction de son intensité et de sa durée dans l'espace pris en compte. Il constitue un phénomène, une manifestation physique ou une activité susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement. L'aléa étant toujours l'élément de départ, on doit comprendre son impact, à travers l'exposition et la sensibilité de la société, de l'objet ou enjeux soumis au risque.

Quant aux enjeux, ils représentent tout ce qui serait affecté par les dommages (biens, activités, relations sociales, etc.). Dans ce sens, la vulnérabilité indique le degré variable mais pas

nécessairement quantifié, auquel les enjeux sont susceptibles d'être endommagés par la réalisation de l'aléa. La figure suivante nous explique les notions d'alea, enjeux et risque.



Figure I.2 : Présentation schématique des concepts d'aléa, enjeux et risque. (REGHEZZA, 2002)

1.5. Adaptation au changement climatique

L'expression « adaptation aux changements climatiques » fait référence à toute action qui réduit les impacts négatifs des changements climatiques ou qui permet de tirer profit des nouvelles occasions qui en découlent. Une adaptation réussie ne veut pas dire qu'il n'y aura pas d'impacts négatifs, mais plutôt que les composantes exposées seront moins vulnérables à ces impacts que s'il n'y avait pas eu d'adaptation (SUNZU–NTIGAMBIRIZWA, 2001 & NINGANZA, 2018)

Pour réduire les impacts négatifs des changements climatiques, il importe de :

- ✓ réduire les vulnérabilités des composantes sensibles de la société qui sont exposées aux effets néfastes des changements climatiques (individus, communautés, environnement bâti, activités économiques, environnement naturel) ;
- ✓ accroître la résilience des composantes de la société aux facteurs de stress d'ordre climatique.

L'évaluation des vulnérabilités de la société et de l'environnement, l'acquisition des données et la communication des informations dont ont besoin les acteurs de l'adaptation marquent leur importance. En plus, la conception et la mise en œuvre des techniques et les technologies optimales ; l'adaptation des outils administratifs (lois, règlements, politiques, directives, etc.) ainsi que les structures organisationnelles, participent activement dans une meilleure adaptation (SUNZU–NTIGAMBIRIZWA, 2001 & NINGANZA, 2018)

I.6. De la Vulnérabilité territoriale à la vulnérabilité sociétale

Partant des différentes définitions de la vulnérabilité déjà évoquées, la vulnérabilité est considérée comme un système, articulé autour d'un grand nombre de variables, naturelles et humaines. Sa dynamique dans le temps et dans l'espace peut engendrer des situations plus ou moins dangereuses pour une société exposée. Il semble ainsi difficile de distinguer une vulnérabilité liée aux phénomènes naturels, d'une vulnérabilité, produit de phénomènes sociaux spécifiquement urbains. D'où l'expression « risque urbain » parfois préférée à celle de « risques naturels dans la ville ».

C'est pourquoi dans le cadre social, le sentiment d'insécurité et la demande sociale de protection vont en croissant (WHITE et al. 2001 ; CASTEL, 2003 & LEONE, 2007).

Dans le cadre social, la vulnérabilité polymorphe des communautés et activités humaines aux aléas naturels ou problèmes environnementaux est un phénomène significatif de ce que l'on reconnaît aujourd'hui comme étant une « société du risque » ou une société vulnérable (FABIANI, 1987). Constatant que des phénomènes naturels violents deviennent récurrents, il est admis que, si l'on ne peut prévoir ou maîtriser ces évènements, on peut toutefois agir pour réduire les dommages ou les pertes directes ou indirectes liées à leur occurrence. Cela veut dire qu'il faut agir sur la vulnérabilité ou renforcer la capacité des sociétés de faire face et de résilience (WISNER et al. 2004).

Toujours dans la logique sociale, la vulnérabilité des sociétés est comprise dans un sens que certaines activités de subsistance de certains groupes sociaux, deviennent extrêmement fragiles

et sont entraînées dans des cercles vicieux de vulnérabilité. Ainsi, l'analyse de ce dernier impose une vision pluridisciplinaire et systémique ; car, d'un autre sens, la vulnérabilité est le produit d'une exposition ou fragilité physique des enjeux sociaux dont la localisation dans les aires d'influence du phénomène et de leur faible résistance physique expliquent leur état.

Comme origine, la vulnérabilité sociétale résulte d'une fragilité socio-économique, c'est-à-dire la prédisposition à subir un dommage du fait de la marginalité, de la ségrégation sociale, ou de conditions de vie difficiles.

C'est tout simplement le résultat du manque de résilience entendue comme l'expression des contraintes à l'accès et à la mobilisation des ressources permettant l'installation humaine et l'incapacité conséquente à résister à l'impact d'un aléa. Moins la population dispose de moyens et de capacités d'adaptation face à un risque élevé, plus la vulnérabilité est grande. Plusieurs facteurs, surtout la concentration des populations dans les zones à risque d'inondation participent à l'élévation du niveau de vulnérabilité (OUEDRAOGO, 2010).

I.7. Risque d'inondation

Le phénomène d'inondation lors des précipitations est défini comme l'envahissement passager des lieux habituellement émergés par l'eau de pluie. Les inondations résultent de l'accumulation des eaux en raison de facteurs géomorphologiques, hydrologiques, topographiques, météorologiques ou anthropiques (ANTOINE et al. 2008).

Le risque d'inondation est intrinsèquement lié au lieu : certains espaces sont plus à risque que d'autres. L'aléa prend forme physiquement lorsque des inondations surviennent : il a une durée, une fréquence, une magnitude, une extension spatiale, etc. (LAGANIER et al. 2004).

La figure suivante montre en résumé que les inondations résultent de l'accumulation des eaux en raison de facteurs géomorphologiques, hydrologiques, topographiques, météorologiques ou anthropiques et que le risque d'inondation est intrinsèquement lié au lieu. Cela signifie que certains espaces sont plus à risque que d'autres.

Le premier schéma distingue deux zones, l'une inondable et l'autre non inondable ; le lit mineur et majeur d'un ours d'eau. Le deuxième montre la situation normale sans précipitation. Dans des zones à haut risque d'inondation, pendant la saison sèche, il n'y a pas de souci. C'est quand les pluies tombent en abondance que les occupants de cette zone réalisent l'ampleur du danger. Ceci est illustré par le troisième schéma, qui montre le temps de fortes précipitations ayant à l'origine des inondations.

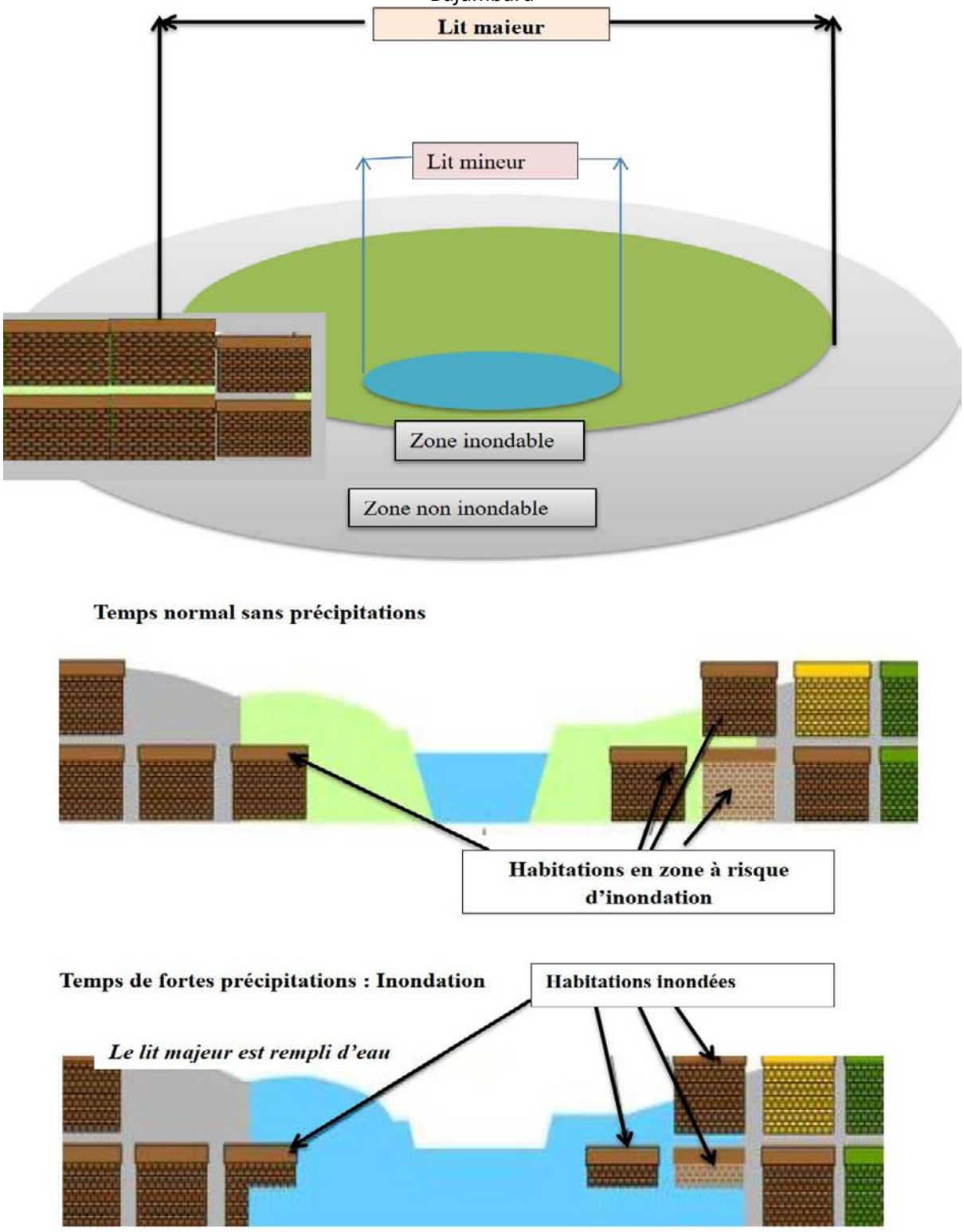


Figure I.3 : Schémas explicatifs des inondations (Auteur à base des informations tirées de Aïlo , 2010, p. 34, Cité par Djigo, 2008)

C'est lorsque des précipitations intenses, telles des averses violentes, tombent sur tout un bassin versant, ou sur une portion de bassin versant, et que ce dernier est nu, que le ruissellement de surface se multiplient. Les crues torrentielles brutales et violentes se forment et les cours d'eau

n'ont qu'à transporter de grandes quantités de sédiments. Ce sont des phénomènes qui sont récurrents dans la ville de Bujumbura. Le cas des inondations de 2010, le cas de 2014 et celui de 2018 nous servent d'illustration.

I.8. Notion de crue

La crue définit les hautes eaux qui peuvent demeurer dans le lit mineur du cours d'eau. Dès que celui-ci ne suffit plus à contenir l'écoulement, l'eau déborde et se répand dans le lit majeur provoquant une inondation. Il peut donc y avoir une crue sans inondation ». La crue se caractérise donc par une augmentation des eaux d'un cours d'eau tandis que l'inondation induit la notion de débordement et d'invasion d'un territoire (VEYRET & REGHEZZA, 2006).

Les crues peuvent être lentes ou rapides selon la pente du terrain et sont qualifiées selon le débit, la vitesse de la montée des eaux et de la décrue. Elles peuvent aussi être consécutives au ruissellement urbain (pluvial) accentué par l'imperméabilisation des sols.

Les temps de réponses des bassins versants aux précipitations sont très courts et le temps des fortes pluies souvent est court mais intense et localisé. De plus, des critères topographiques et anthropiques modifient localement les conditions d'écoulements.

I.9. Le processus de formation des crues

La compréhension de ce processus revient à analyser les différents facteurs concourant à la formation et à l'augmentation temporaire des débits d'un cours d'eau (HUBERT & LEDOUX, 1999). Ainsi, on distingue l'eau mobilisable, constituée de l'eau reçue par le bassin versant ; les eaux de ruissellement, qui correspondent à la part de l'eau qui n'a pu s'infiltrer dans le sol. Il dépend de la nature du sol, de son occupation de surface et de l'intensité de l'épisode pluvieux, le temps de concentration, qui est défini par la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau partant du point le plus éloigné de l'exutoire du bassin versant parvienne jusqu'à celui-ci ; la propagation de l'onde de crue, qui est fonction de la structure du lit et de la vallée alluviale, notamment de la pente et des caractéristiques du champ d'inondation.

Dans ce processus, de nombreux facteurs interviennent. Il s'agit notamment de la quantité et surtout la répartition spatiale et temporelle des pluies, par rapport au bassin versant**.** Il peut s'agir de pluies répétées et prolongées ou d'averses intenses de courte durée, qui touchent de petits bassins versants (HUBERT & LEDOUX, 1999).

En conclusion, ce chapitre vient de définir des concepts clés qui sont les piliers de la compréhension de notre travail notre travail. Ces mots-clés sont aussi développés et éclaircis à travers plusieurs auteurs, dans le but de faciliter la lecture par les lecteurs.

Le chapitre suivant fait un aperçu sur le changement climatique dans La ville de Bujumbura, en analysant les données pluviométrique de la station aéroport de Bujumbura de depuis 1960 jusqu'à 2021.

CHAPITRE II : APERCU SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA VILLE DE BUJUMBURA

Selon les études menées par OGOUWALE (2004) au Bénin, les changements climatiques s'identifient par une franche modification du statut des précipitations et des températures. Pour le GIEC, le terme « changement climatique » désigne toute évolution du climat dans le temps (modification significative de la moyenne et/ou variabilité de ses propriétés pendant des décennies), qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines (GIEC, 2007). Dans ce chapitre, nous analysons les pluies de deux stations Bujumbura aéroport et Buhonga, depuis 1960 à 2021. Une période de 61 ans. Nous dressons des pluies extrêmes, nous montrons la variabilité des mois secs et pluvieux, des pluies optionnelles et extrêmes. Nous dressons encore la relation entre la variation climatique et les évènements extrêmes.

II.1. Analyse des précipitations mensuelles 1960 – 2021

L'analyse des précipitations mensuelles sur une période de 61 ans, (1960-2021), présente des moyennes pluviométriques élevées, apparaissent 373 mois, dont 173 de pluies ≥ 60mm, 183 des pluies ≥ 100 mm et 19 mois de précipitations ≥ 200 mm. Cette fréquence représente 51% des mensualités de toute la période d'observation. Les mois représentant des précipitations dont la valeur est nulle de précipitations sont quantifiés à 66 cas, représentant 9 % des mensualités totales. Le reste des cas représente 293 cas, s'élevant à 40 % du total. Le tableau suivant montre les fréquences mensuelles des précipitations depuis 1960 jusqu'à 2021.

Tableau II. 1 : Fréquences des précipitations mensuelles depuis 1960 jusqu'à 2021

no	classes des Pmm	Fréquences
1	valeur nulle	66
2	]0-15[	113
3	[15-60[	178
4	[60-100[	173
5	[100-200[	183
6	[200 et plus	19
	Tot	**732**

Source : Auteur à base des données fournies par l'IGEBU

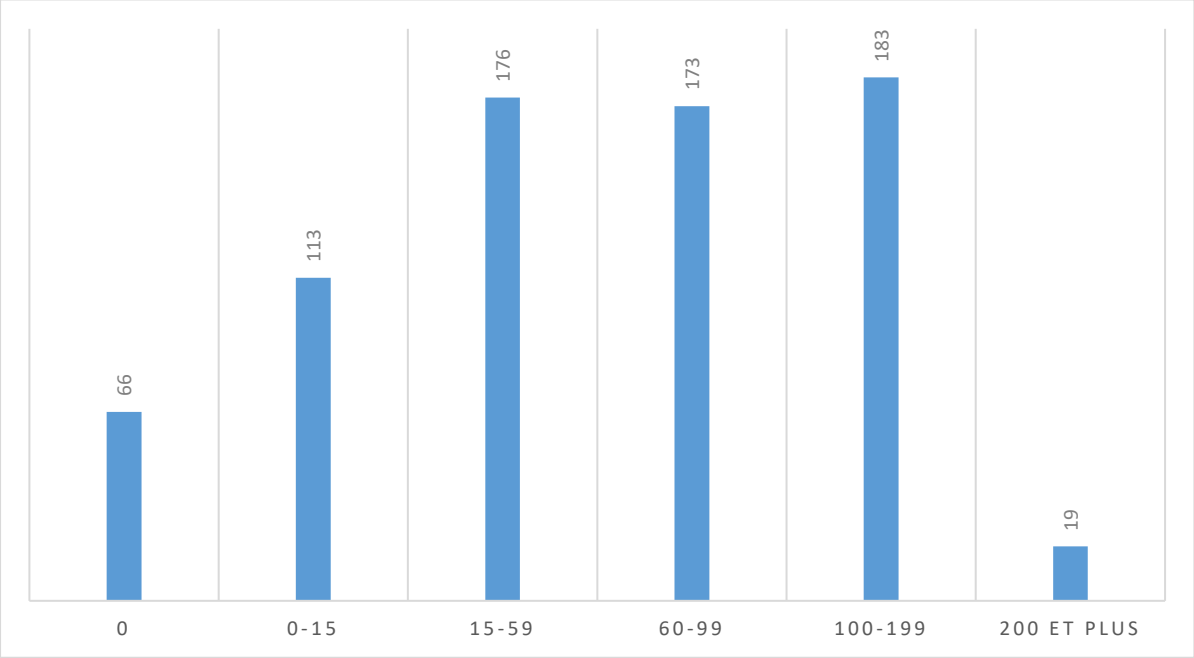


Figure II.1 : Fréquences des précipitations mensuelles depuis 1960 jusqu'à 2021(auteur à base du tableau II.1)

Cette figure montre que les tranches des précipitations, entre 100 et 199 représente une bonne fréquence de 183, après vient la tranche d'entre 15 et 59 avec 178 de fréquence, dans la mesure où la tranche entre 60 et 99 représente 173. Celle de 200 et plus représente une fréquence 19, considérée comme minimal, mais reste trop dangereux dans le contexte des évènements extrêmes climatiques.

II.2. Évolution annuelle décennale de la pluviométrie dans la zone d'étude depuis 1960 à 2021

Les quantités de précipitations à BUJUMBURA se caractérisent par un maximum de 1293mm en 1961 soit une proportion de 107,8 % de la première série de 30ans, par pour la décennie 1960 - 1969, et un minimum de 776.2 mm en 1969, soit une proportion de 64.68% de la même série. Pour la décennie 1970-1979, marque son maxima en 1979 avec 952.4mm représentant une proportion de 79.36% de proportion par rapport à la série évoquée ci-haut, et le minima se dessine en 1975 avec 664.1mm soit 55.34 % proportionnelle des 30ans premiers. L'année 1989 prend le record de la décennie 1980-1989. Elle a enregistré 10108.8mm représentant 92.4%. Le minimum est de 701.5mm présentant une proportion de 58.4%. Les figures suivantes montrent les maximas et les minimas dura toute la période d'analyse : 1960 à 2020.

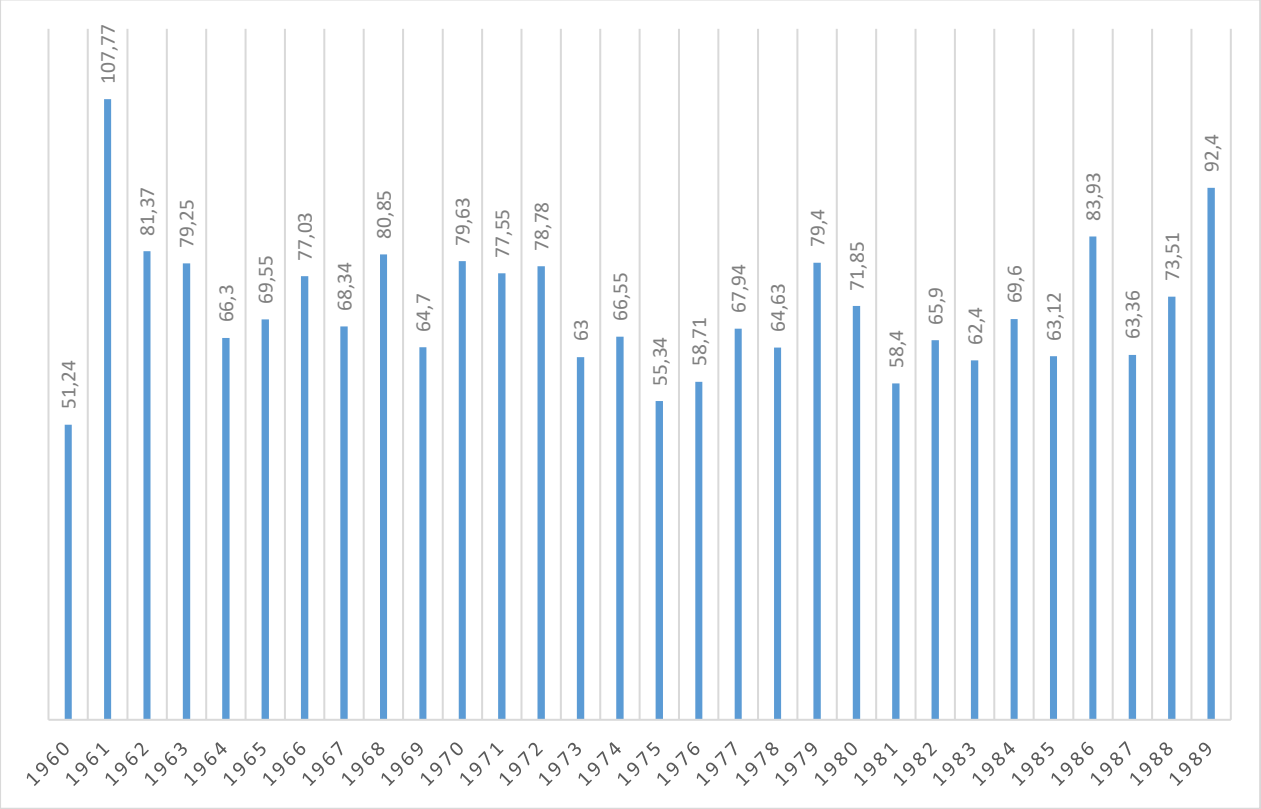


Figure II.2 : Moyennes annuelles des précipitations de 1960-1989 (auteur à base des moyennes de la première série :1960-1989)

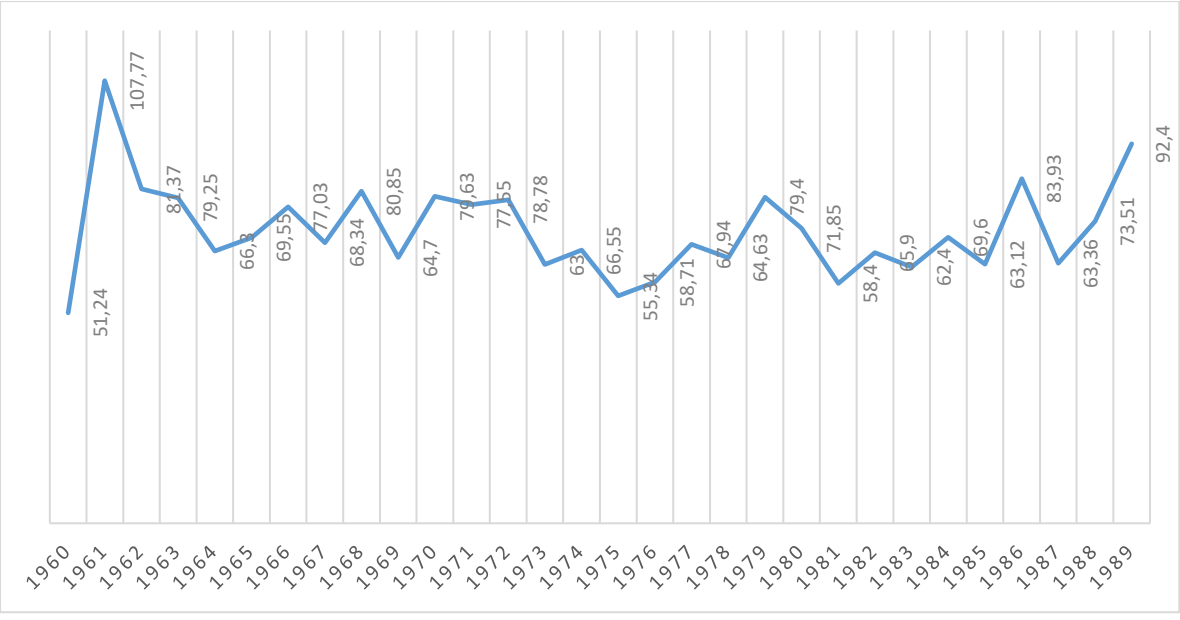


Figure II.3 : La variation inter-décennal des précipitations 1960-1989 (auteur à base des moyennes de la première série : 1960-1989*)*

Dans la deuxième série de 1990 -2021, les trois décennies marquent une différence que les précédentes. 1990-1999 possède un minimum en 1997 avec 332,1mm soit 27.6% et le maximum en 1998, avec 883.5mm présentant à son tour 73.6% de proportion. Celle de 2000 - 2009, l'année la plus arrosée est 2009 avec 1231.7mm, soit 102.6% et la moins pluvieuse est celle de 2003 avec 545.4mm, soit 45.4% de toute la série d'analyse.

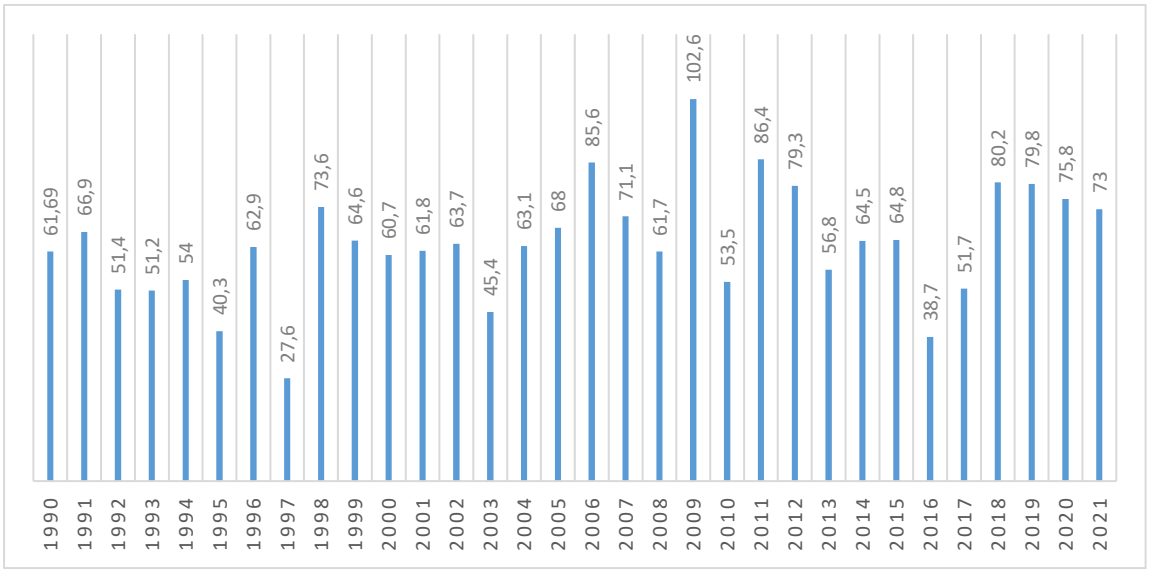


Figure II.4 : Moyennes annuelles des précipitations de 1990-2021 (auteur à base des moyennes de la deuxième série : 1990-2021)

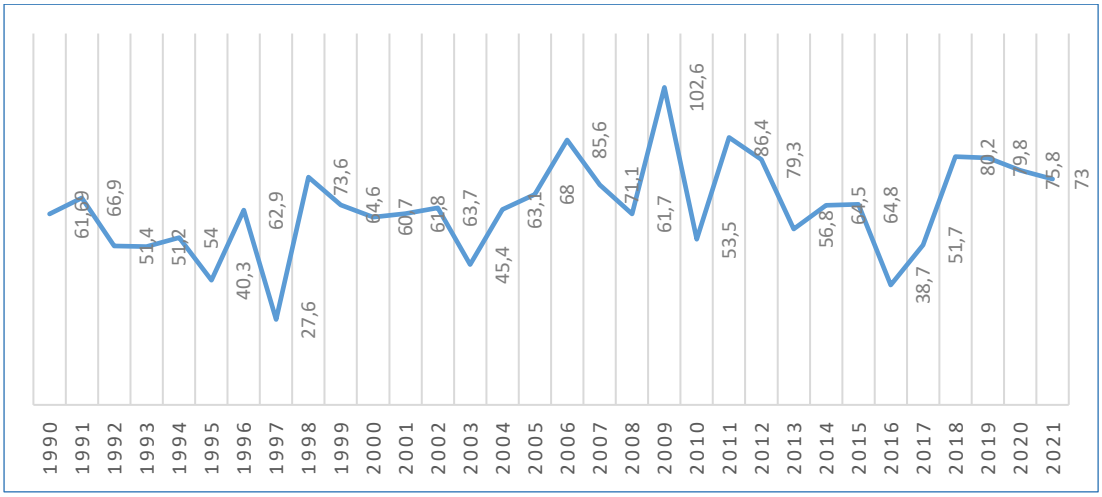


Figure II.5 : Variations inter-décennales des précipitations 1990-2021 (auteur à base de la figure II.4 : 1990-2021)

II.3. Analyse des écarts à la moyenne décennale

Concernant les écarts à la moyenne, il est à noter que les quantités de précipitations décennales excédentaires au cours de la décennie 1960-1969, avec une moyenne de 74.6%. Les deux autres

décennies de la première série ont été déficitaires. Il s'agit de 69.2% pour la décennie de 1970 -1979 et de 70.4% pour celle de 1980 -1989. Pour la deuxième série, 1990-1999 enregistre 55.5%. La moyenne de 69.2% est attribuée a 2000-2009 tandis que 2010-2021, elle, possède 80.3%. La figure suivante montre l'évolution des précipitations décennales depuis 1960 à 2021.

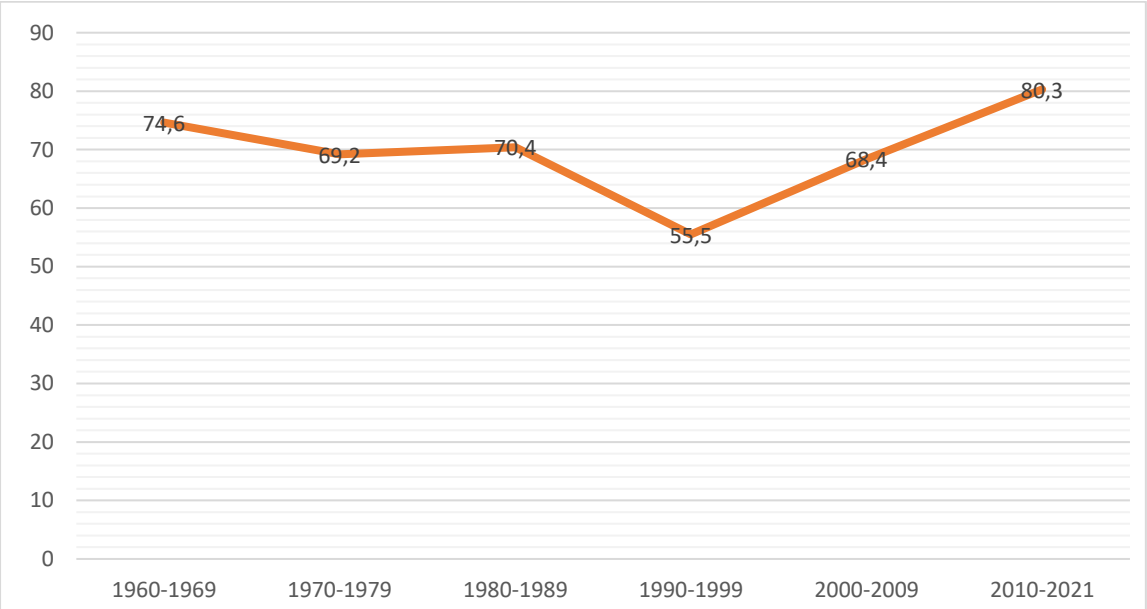


Figure II.6 : Evolution des précipitations décennales de 1960-2021 (auteur à base des données de l'IGEBU)

Notre période d'analyse se distingue par une phase décroissance de la décennie 1960-1969 à la décennie 1970-1979, une phase légèrement ascendante, de la décennie 1970-1979 à la décennie 1980-1989, suivie par une phase de décroissance de la décennie 1980-1989 à celle de 1990-1999. Il s'en suit une nouvelle séquence ascendante de la décennie 1990-1999 jusqu'à la fin de la série.

II.4. Variabilité interannuelle des paramètres pluviométriques de 1960-2021 : les années sèches et pluvieuses

L'analyse des relevés pluviométriques de la station de Bujumbura aéroport permet de constater la coexistence trois catégories de régimes pluviométriques (tableau II.2.).

Tableau II. 2 : Classes des régimes pluviométriques durant la période d'étude (1969 à 2021)

Moyennes	Fréquences
20-50	4
50-60	10
60-70	24
70-80	14
80-90	6
90-100	1
100 et plus	2

Source : Auteur à base des données fournies par l'IGEBU

Considérant ce tableau avec des moyennes regroupées en classes, et par rapport à la moyenne annuelles de toute la période d'analyse, nous trouvons que d'une part nous quantifions 40 soit 65.5% des années déficitaires dont certaines plus sèches et une autre partie moyennement arrosée. Les années les plus déficitaires sont première partie, il s'agit des années présentant des moyennes entre 20 et 50. Ce sont 1995, avec 40.3%, 1997 avec 27.6%, 2003 qui enregistre 45.4% et 2016 comptabilisant 38.7%.

Une autre catégorie est celle avec des précipitations qui s'alternants entre les excédents ou les déficits. Ils sont à 18 années représentant 26.8% de proportion par rapport à toute la période d'étude.

Une autre catégorie est celle des années les plus pluvieuses avec des précipitations excédentaires énormes. Ces années-là sont trop dangereuses quant aux inondations. Il s'agit de 1961 avec une moyenne de 107.7%, et présentant un excédent de 470mm de précipitations par rapport à la moyenne. La moyenne de 102.6% est attribuée à 2009, avec des précipitations excédentaires de 408.4mm. L'année 1989, elle, présente 92.4%, avec l'excédent de 285.3mm de précipitations. La figure suivantes montre les effectifs des années déficitaires et celles moyennement arrosées et les plus arrosées.

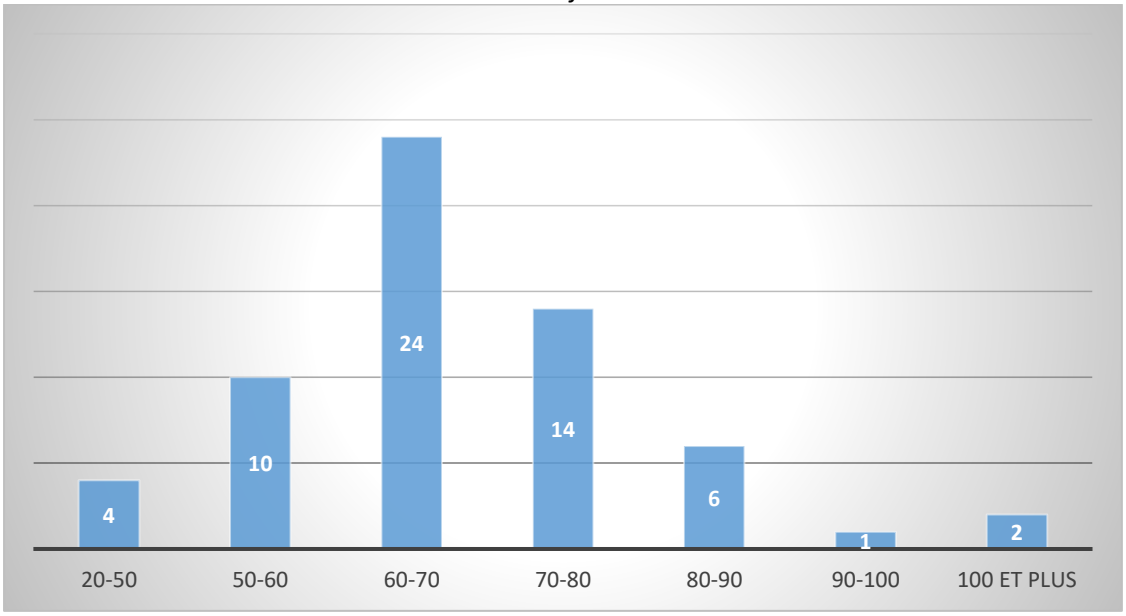


Figure II.7 : Fréquences des régimes pluviométriques durant la période d'étude (1969-2021) (auteur a base des données du tableau II.2)

II.5. Variabilité mensuelle des paramètres pluviométriques dans la zone d'étude

La variabilité annuelle de la pluviométrie à Bujumbura se distingue par de nombreuses disparités d'un mois à un autre, caractéristique de son climat à régime bimodal. Alternance des mois secs et des mois humides.

Pour ce qui est des quantités de précipitations, les mois qui ont enregistré plus de précipitations sont les mois de décembre à avril. C'est dans le mois de novembre que l'on commence à observer des grandes précipitations et le mois de mai marque le début de la décroissance des précipitations. Le tableau suivant nous illustre de telle situation.

Tableau II.3 : Fréquences des précipitations mensuelles ≥ 60mm à ≥ 200mm

	Mois											
Valeurs	**J**	**F**	**M**	**A**	**M**	**J**	**Jt**	**A**	**S**	**O**	**N**	**D**
≥60mm	23	24	19	22	14	1	0	2	9	26	11	20
≥100mm	29	27	33	30	8	0	0	0	1	9	26	20
≥200mm	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	3	7

Source : Auteur à base des données fournies par l'IGEBU

La figure suivante nous montre avec exactitudes les fréquences des précipitations mensuelles exceptionnelles et extrêmes à base du tableau II.2.

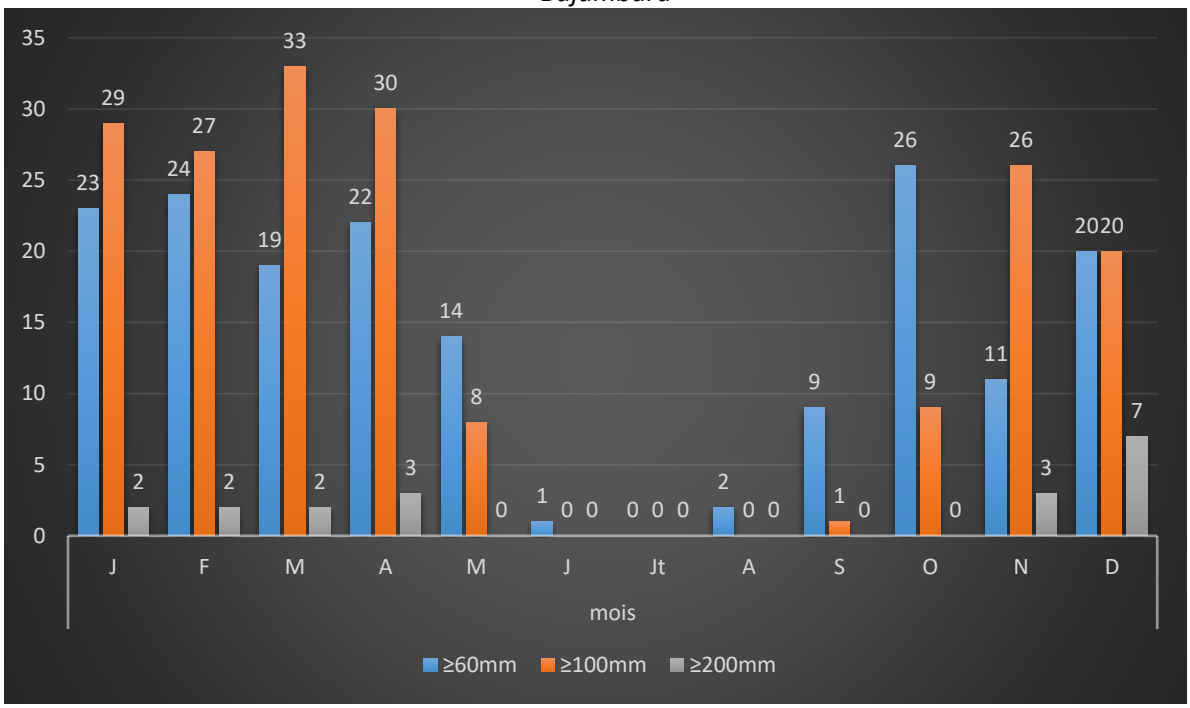


Figure II.8 : Fréquences des précipitations mensuelles ≥ 60mm, ≥ 100mm et ≥ 200mm
(Auteur à base des données du tableau II.3)

Cette graphique montre clairement que les précipitations mensuelles varient beaucoup. Depuis les mois de novembre, de grandes averses commencent à se démarquer. Le mois d'octobre à 26 cas de précipitations ≥ 60mm, et 9 cas de précipitations ≥100mm. Le mois de novembre lui marque le contraire. Les précipitations ≥ 100mm augmentent à 26 fois avec 3 cas des précipitations ≥200mm. Cette augmentation continue avec une faible variation jusqu'au mois de mai, ou la décroissance de paramètres pluviométriques se dessinent. Il est à noter que les mois secs le restent toujours, sauf quelques 2cas en aout durant tous les 61 ans. Sur toute cette période, nous avons dégagé 373 cas de ces cas extrêmes dont 171cas des précipitations ≥ 60mm, 183 cas de celles ≥ 100mm et une autre catégorie ≥ 200mm de précipitations représentant 19 cas.

Quant à la répartition annuelle de ces précipitations exceptionnelles et extrêmes, le constant reste qu'elles toujours inégale. Il y a des années avec de grandes fréquences et d'autre non. Les graphiques suivants montrent cette inégale répartition

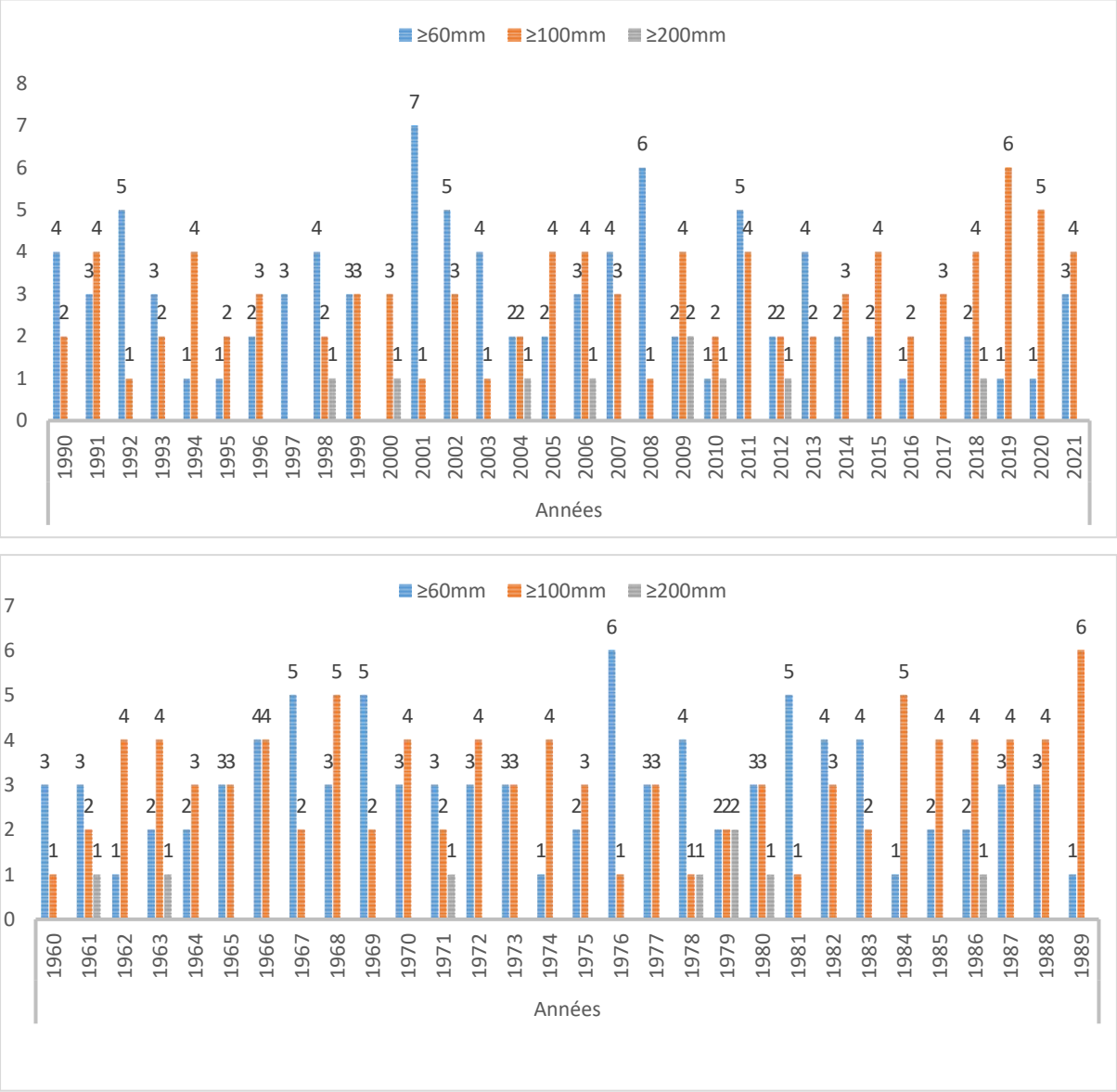


Figure II.9 : Inégale répartition interannuelles des pluies exceptionnelles et extrêmes de 1960-2021 (Auteur à base des données fournies par l'IGEBU).

Notre zone d'étude se trouve dans une région de l'Imbo qui se caractérise par un climat dit intertropical à régime bimodal. Ce climat est ponctué par quatre saisons, dont deux saisons des pluies (grande et petite), entre lesquelles sont intercalées deux saisons sèches (grande et petite).

Pour la période allant de 1960 à 2021, la station BUJUMBURA AEROPORT présente une augmentation des quantités de précipitations de novembre à mai (figure II.4). Cette phase est succédée par une diminution desdites précipitations, du mois de mai jusqu'au mois d'aout. Cette phase est suivie par une nouvelle phase ascendante, de septembre à novembre, précédant une petite saison sèche de décembre à février. Depuis ce dernier mois, une grande saison humide arrive de mois de mars au mois de mai.

Sur la période allant de 1960 à 2021, la moyenne mensuelle des précipitations totales est de 823,32mm et le pic mensuel moyen de précipitations a été observé au mois de décembre, soit 453,2mm en 1961.

II.6. Fréquences des pluies journalières exceptionnelles et extrêmes de 1960-2021

Des pluies qui s'élèvent à 60 mm ou plus sont des pluies exceptionnelles. Il s'agit des événements rares. En milieu tropical humide, les jours où les précipitations supérieures à 60 mm sont considérées comme exceptionnels (NINGANZA B, 2018)

Notre analyse de 61 ans (1960-2021) nous montre une nette présence des pluies exceptionnelles et extrêmes durant toute la période d'analyse. Considérant une moyenne journalière de toute la période qui s'élève à 2.25mm, plusieurs cas se montrent excédents. Ces cas se regroupent en trois catégories. Ceux ≥ à 60 mm et d'autres ≥ à 100 mm. Par exemple, l'année 1961 a enregistré 4 fois des pluies exceptionnelles : 67.1 mm, 84.2 mm, 70.6 mm 80.2 mm tombées respectivement le 5/2/1961 et le 9, 10 et 27 décembre 1961. En 1962, le 6 mais on a enregistré 60mm, en 1965, on a eu deux cas du 7novembre et 23 mars avec respectivement 77,9mm et 95.8mm. Un autre exemple parlant est l'année 2009. Dans cette année, 4 cas des pluies exceptionnelles ont été identifiés : 60.7 mm, 71.5 mm, 142 mm, 121.5 mm tombées respectivement le 08/02/2009, le 12/4/2009, le 11/11/2009 et le 22/12/2009. Il y a d'autres cas. Le tableau suivant nous donne plus de détails.

Tableau II. 4 : Fréquence des pluies journalières exceptionnelles et extrêmes) de 1960 à 2010.

Années	Date	Pmm	fréquence		Années	Date	Pmm	fréquence
1961	*05-févr*	*67,8*			1984	09-déc	60,4	1
	09-déc	*84,2*			1986	08-avr	88,1	1
	10-déc	*70,6*			1989	16-mars	64,4	
	27-déc	*92*	*4*			06-avr	60,6	2
1962	*06-mai*	*60*	*1*		1990	16-févr	77,8	1
1965	*07-nov*	*77,9*	*1*		1991	18-déc	61,7	1
1966	*23-mars*	*95,8*	*1*		1998	07-mars	60,7	1
	18-mai	*81,8*			1999	29-déc	71,2	1
1967	*24 -ov*	*62,1*	*2*		2000	16-nov	77	1
1969	*29-janv*	*76,4*	*1*		2004	31-mars	64,8	1
1970	*06-janv*	*63,7*			2006	31-déc	110	1
	12-févr	*115,9*	*2*		2007	13-janv	63	1
1971	*31-janv*	*96,2*	*1*		2008	05-févr	75,2	
1972	*25-févr*	*60*	*1*			04-juin	79,8	2
1977	*29-avr*	*93*	*1*		2009	08-fevr, 12-avril, 11-nov et 22-dec	60.7, 71.5, 142, 121.5	4
1979	*30-nov*	*61,6*	*1*		2014	9-fevr	80	1
1980	*04-déc*	*68,6*			2017	11-dec	113	1
	18-déc	*60,3*	*2*		2018	2-avr	60.5	1
1982	*01-déc*	*94,6*	*1*		2019	27-dec	60.5	1
					2021	14-avr	71.1	1

Source : ABUTIP 2010, mis à jour par l'auteur

En analysant ce tableau, nous constatons que le mois de décembre bat le record avec une fréquence de 12 fois, sur 39 cas des données disponibles. L'analyse débouche sur le constant que les mois les plus pluvieux correspondent aux périodes des extrêmes climatiques.

A partir de 1960 jusqu'à 2021, on a enregistré quatre cas des pluies journalières extrêmes. Le 12 février 1970 : 115.9 mm ; le 31 décembre 2006 : 110 mm et le 11novembre 2009 : 142 mm et le 22 décembre 2009 : 121.5 mm). Pendant cette période trois se sont produites en 2006, deux en 2009 et un en 2017 avec 113. Sur 61 ans d'observation (de 1960 à 2021) le maximum du 20ème siècle a été atteint avec une hauteur de pluie de 142 mm le 11 novembre 2009 avec une précipitation supplémentaire par rapport à la moyenne normale sur 30 ans de 78.4 mm. Il faut toujours marquer que de 2011 à 2018, selon les données de l'IGEBU, d'autres pluies extrêmes se sont présentées avec une grande fréquence de janvier à avril. Ces pluies extrêmes sont à l'origine des inondations. Cas de 2011, 2014, 2015 et 2018.

II.7. Variation des jours des pluies et de jours sans pluies

La variation des jours de pluies est un indice important dans l'étude des changements climatiques. Sur ce point, il est à noter que le nombre de jours de pluies n'implique pas le volume des pluies tombées. Durant notre période d'analyse, des jours des pluies ont marqué une nette variation. Depuis des années 1961, nous avons constaté des jours supérieurs à 100, alors que dans leur évolution, une baisse se dessine. Des années qui possèdent peu de jours se sont remarquées. C'est notamment 1997 avec 47jours, qui présente le minimum, et l'an 1961 enregistre 141 jours marque le maximum de la période. La première figure montre la variation des trente (30) premières années.

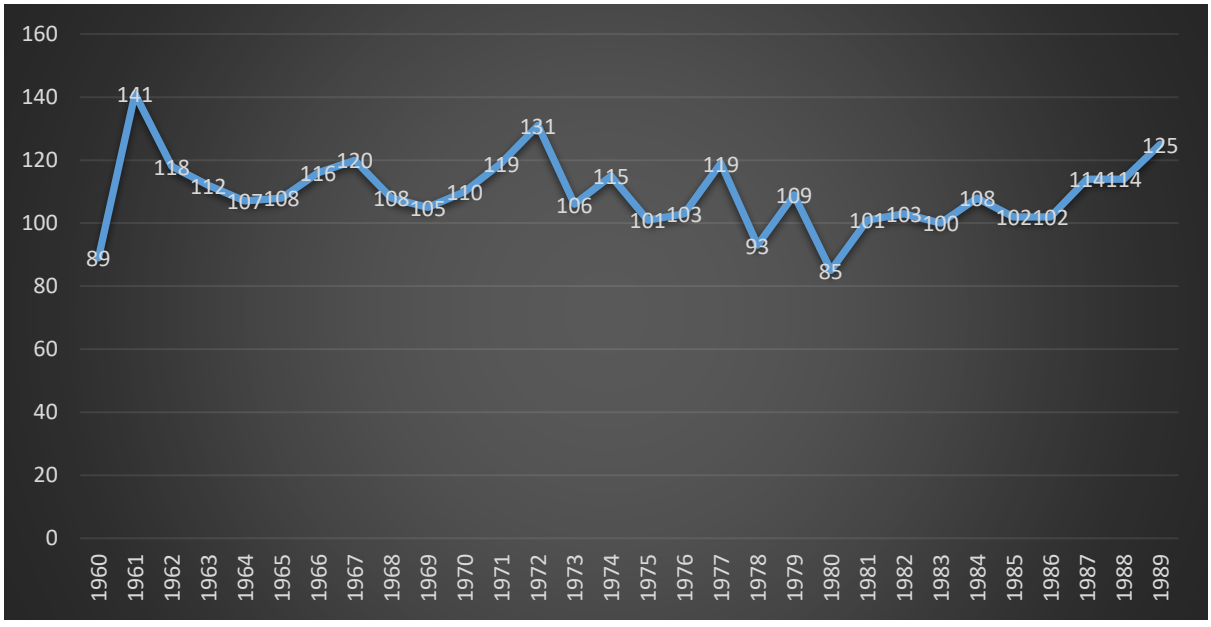


Figure II. 10 : Variation des jours de pluies de 1960-1989 (auteur a base des données fournies par l'IGEBU)

Toute la première série, toutes les années possèdent plus de 100 jours des pluies, sauf seulement trois années qui sont 1960 avec 89 jours, 1978 s'appropriant de 93jours et en fin 1980 qui enregistre 85 jours, une année de peu de jour dans la série. La seconde figure elle correspond à la variation des jours de pluies dans la période de 1990 à 2021.

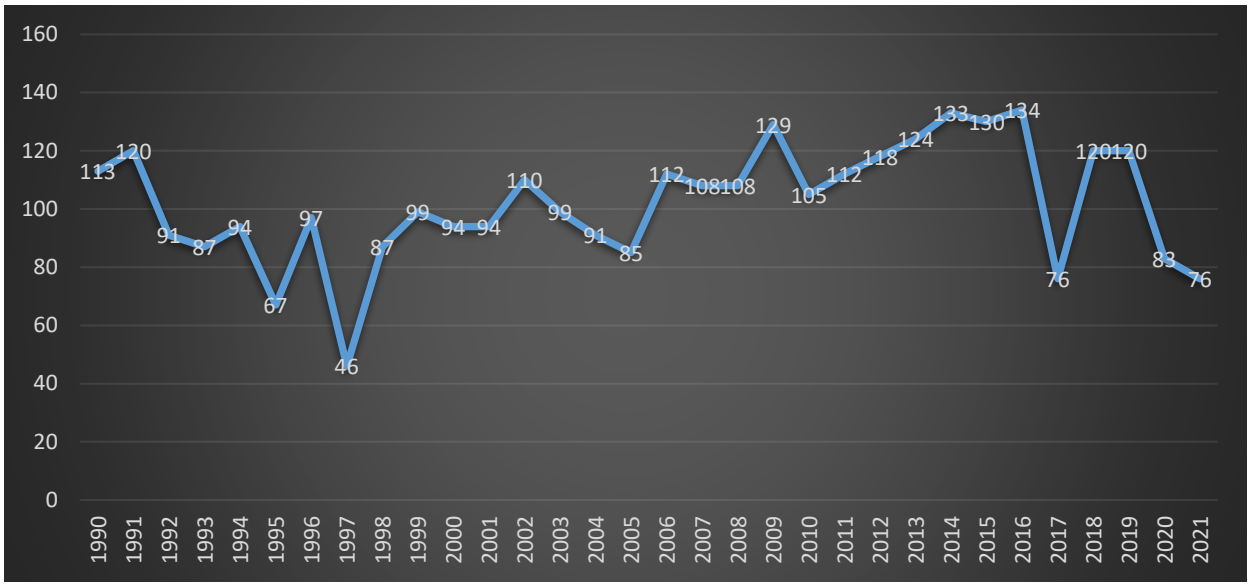


Figure II.11 : variation des jours de pluies de 1900-2021 (auteur a base des données fournies par l'IGEBU)

Dans notre analyse, durant toute la période, des périodes de hausse de jours s'observent. Cas de 1960 à 1961. La moyenne de jours de pluie du premières 30 années, est 109.4 jours, alors que dans la deuxième série de 31ans 1990 à 2021, possède 105,2 jours. Théoriquement on dirait une légère variation. Mais analysant les écarts interannuels, c'est là que l'on remarque pratiquement le changement de la courbe comme le prouve la figure II.10.

Dans le la première série, les écarts ne se remarque pas importants que pour la seconde série. Nous constatons 14 années légèrement déficitaires dans la mesure où la deuxième série (1990-2021) compte 16 années de différence déficitaires. Depuis 1990, les jours de pluies ont sensiblement diminué comparativement à la moyenne des 30 premières années (de 1990 - 2021) qui est de 105,2 jours. Si nous considérons le maxima de cette série, celui de 134 en 2016, nous trouvons 28,8 jrs excédentaires alors que l'année présentant peu de jours nous montre une valeur déficitaire plus élevée qui est -59.2 jours. Les figures suivantes illustrent ces cas.

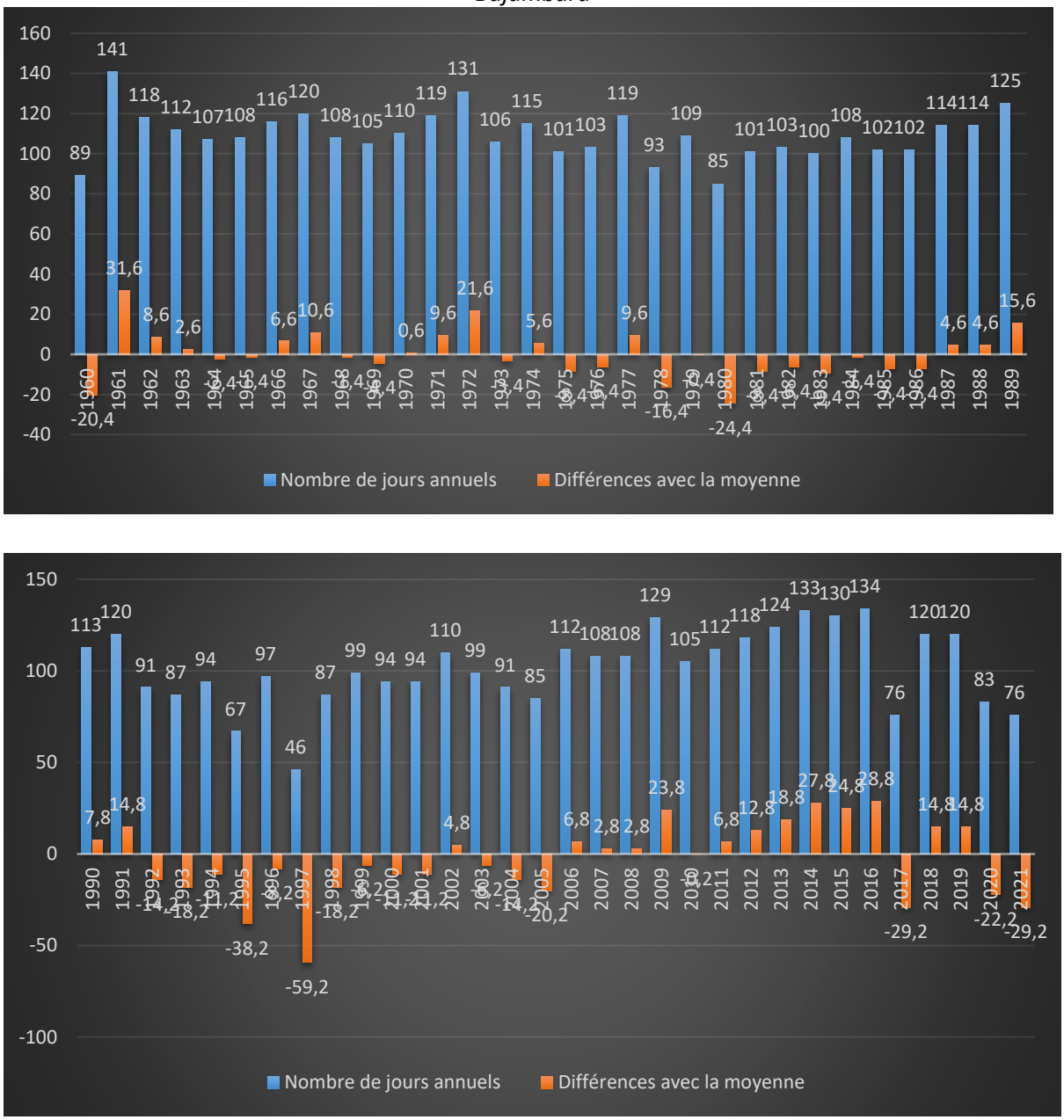


Figure II. 12 : Écarts interannuels des jours de pluies de 1960-2021 (auteur à base des données fournies par l'IGEBU)

Sur base des données de la station Bujumbura-Aéroport, dans une période de 61 ans (1980-2021) nous constatons qu'il y a eu un changement en termes de nombres de jours pluvieux au fil des années avec des valeurs élevées depuis 1981 à 1991. Les records sont remarquables en 1986, 1991, 2006 et 2011 alors que l'année 1997 n'en a connu que très peu. Depuis 1992 nous avons constaté une décroissance des jours jusqu'à un nombre trop bas de 46 en 1997. Cela étant, alors que depuis cette année, une autre phase de croissance de nombre de jours s'observe jusqu'à 2005. De cette phase, le maintien des nombres élevés revient jusqu'à 2016, depuis ou

commence une autre diminution a 76 jours en 2017. Une autre phase commence à 120 jours en deux ans successifs pour une autre décroissance depuis 2020 (figure II.11).

NIBIGIRA (2018), en constate aussi dans sa thèse. Il souligne que l'évolution des précipitations journalières maximales enregistrées annuellement au cours de 34 années de son analyse (1980-2014) a connu une alternance des minima et maxima, avec une périodicité variable. Selon ses analyses, ces valeurs oscillent autour d'une moyenne de 59.3 mm, avec une valeur remarquablement élevée en 2009. Les années très humides sont 1986, 1989, 2006, 2009 et 2011. Les années particulièrement sèches sont 1995, 1997 et 2003 avec des valeurs significativement faibles par rapport à la moyenne de 786 mm.

Il en est de même. SINDAYIHEBURA (2011) dans ses analyses, il débouche sur la même réalité. Dans une période de 50 ans (1960 à 2010), c'est dans 4 années que des pluies exceptionnelles annuelles ≥ à 1000 mm ont été enregistrées : 1961 (1293 mm), 1986 (1007 mm), 1989 (1109 mm) et 2006 (1028 mm). Entre 1960 et 2010, 3 pluies journalières extrêmes ont été observées. Comme son homologue, il souligne que l'année de 2009 reste la plus arrosée de cette période avec un record 142 mm et que la plus ancienne date est de 1967 (116 mm). Soulignons que la date (11 novembre 2009) correspond avec l'inondation très généralisée dans toute l'agglomération de Bujumbura (ABUTIP, 2011).

Au cours de ce chapitre, l'analyse des données météorologiques (précipitations) de la station de Bujumbura aéroport, montre des signes réels du changement climatique. Des variations de précipitations mensuelles, annuelles, la répartition inégale des pluies dans le temps et dans l'espace, la variation interannuelles des jours de pluies, les mois et les années secs et autres pluvieux, la présences des pluies journalières et mensuelles et annuelles exceptionnelles et extrêmes et autres , sont des signes montrant que le changement climatique dans la ville de Bujumbura n'est pas fictif. Ce phénomène se manifeste encore par des évènements climatiques extrêmes qui se présentent avec des conséquences sur des sociétés et sur des territoires de la zone d'intérêt.

Le chapitre suivant montre la relation qui existe entre ces évènements climatiques extrêmes avec les inondations récurrentes dans la ville de Bujumbura.

CHAPITRE III : LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET SES IMPACTS DANS LA VILLE DE BUJUMBURA

III.1. Les pluies extrêmes ou exceptionnelles et les inondations

Selon la définition du GIEC (2007), les extrêmes climatiques sont les occurrences rares d'un phénomène climatique. Il souligne l'augmentation probable des « risques de phénomènes météorologiques extrêmes » en lien avec les changements climatiques. Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la relation entre les inondations et les changements climatiques, à travers ses évènements extrêmes. Ces évènements extrêmes sont caractérisés par des fortes averses et sont parfois caractérisés par des quantités d'eau très élevées, sur une période réduite.

III.1.1. Sensibilité de l'aléa d'inondation face aux précipitations

Les précipitations constituent un paramètre climatique par excellence. De grandes averses occasionnent d'une part l'augmentation des débits des cours d'eau, débouchant au débordement du lit et aux inondations des zones en aval. Dans cette logique, l'accumulation massive des matériaux mobilisables peuvent entrainer la création des phénomènes aggravant comme embâcles /débâcles. C'est le cas de la rivière Gasenyi en 2014.

D'une autre part, ces averses accélèrent la saturation du sol avec les phénomènes associés. Il donne lieu à un écoulement de surface, à la vitesse d'écoulement et hauteur d'eau plus ou moins importante selon la topographie et la nature de terrain. Ces phénomènes à leur tour peuvent provoquer la saturation des ouvrages hydrauliques, caractérisée par la remontée de l'eau dans les réseaux d'assainissement ou des ruissellements en surface et les écoulements aussi plus ou moins importants et rapides dans les rues. C'est le cas de Carama et du secteur SABE en 2018.

III.1.2. Cumul des précipitations : source des inondations

Les inondations peuvent être causées par de grandes averses, mais aussi par les cumuls de précipitations d'une certaine période. Partant des exemples concrets ; le cumul des précipitations sur 3 mois en 1961(octobre, novembre et décembre) a atteint 755.2 mm et février 1962 a enregistré 230,1 mm et 204 mm en 1963. Cette récurrence des pluies extrêmes de la période de 1961 -1963 explique la montée du niveau du lac Tanganyika en 1964. Cette année une frange zone côtière de largeur non négligeable a été inondée. Elle varie selon les endroits (entre 1 à 2 km dans la zone du port et du quartier industriel) et selon la hauteur de submersion (SINDAYIHEBURA, 2005). Toute la partie comprise entre les rivières Muha et Kanyosha a été envahie, comme le montre le tableau suivant.

Tableau III.1. Surfaces littorale du lac Tanganyika inondées en 1964

Côtes		**777,00m d'altitude**	**777,50 m d'altitude**	**778,00 m d'altitude**
Surfaces	H=0,50m	54,30 ha	33,50 ha	26,50 ha
inondables	cumulées	54,30 ha	87,80 ha	114,80 ha

Source : NDAYIRAGIJE, 1978

En avril 1986, en date du 7 et 8, plus de 200 mm de pluie ont été enregistrés en moins de 36 heures. Les crues de la Ntahangwa ont provoqué de grandes inondations le long de son cours inférieur. La magnitude de ces crues et de ses effets avec la déviation déjà ancienne de la rivière Ntahangwa, expliquent la gravité de cet évènement. (SINDAYIHEBURA, 2005).

Dans ce même contexte, les précipitations répétitives observées sur le bassin versant de la rivière Mugoyi au sud de la ville de Bujumbura ; ont été à la base des inondations de la zone Kanyosha en 2010. La lame d'eau enregistrée les 5, 6,7 et 8/01/2010 était successivement de 37.8 ; 25.5 ; 27.3 ; et 11.5 mm. Elle témoigne l'ampleur des pluies qui ont été à l'origine des crues. Le mois de janvier de cette année, à lui seul a enregistré 210.4mm, soit 23.3% sur une moyenne annuelle de 900mm ce qui marque la rigueur des précipitations dans une zone moins pluvieuse (NKUNZIMANA, 2012).

En 2014, le Nord de la ville de Bujumbura a connu des précipitations importantes, avec un total de 122 mm entre le 1er et le 10 février, et de 153 mm sur l'ensemble du mois de février. Dans son « *Etude d'impact environnemental et social des travaux d'assainissement du quartier Carama en zone KINAMA et de protection de la station d'épuration de Buterere en zone Buterere dans la commune urbaine de NTAHANGWA* » réalisée par SINDAYIHEBURA (2017). Dans le cadre du projet PURI (projet d'urgence pour la résilience des infrastructures), ABUTIP montre que la pluviométrie journalière de 80 mm dans la nuit du 9 au 10 février 2014 constitue un événement de période de retour environ décennale (Pj10=87mm).

Ces pluies au cours du mois de février 2014 ont été clairement supérieures à la moyenne, notamment au niveau de Bujumbura (153 mm comparés à une moyenne de 105.2 mm de la deuxième série de 1990 à 2021).

La répartition de ces pluies sur le territoire montre que la ville de Bujumbura est dans la zone ayant reçu le maximum de précipitations, avec plus de 120 mm sur dix jours (SINDAYIHEBURA , 2005).

Ces pluies ont provoqué le débordement des rivières Gikoma, Kinyankonge et Nyabagere et inondé la plaine en bordure du lac Tanganyika.

Dans les 61 ans d'analyse dans le chapitre précédent, le mois d'avril n'a jamais été pluvieux comme en 2018. Les cumuls les plus élevés étaient de 212,4 mm en 1979 et 231,3 mm en 1986. Selon les données de l'IGEBU celui de 2018 est de 239,9 mm soit presque la moitié de la pluie tombée en 2004, une année qui était considérée comme sèche.

Pour le cas d'avril 2018, cinq dates, sont considérées comme particulièrement marquantes. Ce sont les 2,13, 22, 25 et 26 où plus de 193.2 mm de pluie ont été enregistrés correspondant respectivement à 60.5mm, 31.5mm, 57.2mm, 21.7mm et 22,3mm. Les inondations ont été particulièrement prononcées le long de la rivière Gasenyi surtout à Carama en zone Kinama (NINGANZA, 2018).

C'est aussi suite à ces précipitations intenses que la rupture de la digue sur Mutimbuzi a sérieusement impacté le quartier Kiyange le 28 avril 2018 après un cumul de précipitation sur deux jours (25 et 26 avril 2018) égal à 44 mm.

Les extrêmes pluviométriques sont à l'origine des crues d'inondation. Par exemple, Pour la station de l'aéroport de Bujumbura servant notre analyse, les mois qui enregistrent les pluies extrêmes ou les mois présentant des précipitations journalières exceptionnelles ou extrêmes, sont ceux qui connaissent les inondations : 1962, 1964,1986, 1997, 2001, 2006, 2010, 2014, 2018. Les mois de décembre, janvier, février, mars et avril enregistrent plus de précipitations et sont ceux connaissant les inondations récurrentes. Pour un cas illustratif, le mois de janvier 1962 a cumulé 230,1 mm, avril 1986 231mm et décembre 1961 avec 439mm.

Dans la zone d'étude, les averses sont caractérisées par des quantités d'eau très élevées, sur une période réduite. Les hauteurs d'eaux relevées après un épisode pluvieux peuvent parfois correspondre aux moyennes mensuelles (DASYLVA, 2009). Ce sont par exemple les cas du février 2014 et d'avril 2018 où on a enregistré respectivement 60,5 mm, 31,5 mm et 57,2 mm.

De plus, l'intensité des pluies s'explique par des phénomènes météorologiques spécifiques. Les plus violents sont celle de 2010 qui a couvert presque toute la ville de Bujumbura et celle de 2014 qui a causé la mort de presque une centaine de vies humaines.

III.1.3. Précipitations et la variation du niveau du lac Tanganyika

Dans les années 1962 à 1964, le lac Tanganyika a envahi sauvagement les routes, le port de Bujumbura, les champs de cultures, les quartiers résidentiels de la ville de Bujumbura.

Le 20 mai 1962, le niveau du lac a atteint la côte d'alerte 775.39 m. En 1963, une nouvelle hausse de 1.15 m porte son niveau à 776.24, avant la crue catastrophique de 1964. Dimanche le 3 mai 1964, les habitants riverains du lac, ont dû être évacués (JOURNAL NDONGOZI, 1964 in SINDAYIHEBURA. 2005).

La variation du niveau du lac Tanganyika date de longtemps. D'après le travail de CAMUS (1965), plusieurs dates sont à retenir. En 1846, le niveau était à 776,16 m, la côte de 748 m a été atteinte vers 1876, la période de 1877 à 1878 représente la débâcle de la rivière Lukuga, le niveau était trop bas : 772.5 à 773 m. Plus tard, d'autres niveaux ont été enregistrés de 1894 à 1908 où on enregistrait une montée de 2 m alors qu'une baisse de niveau de 0,80 m était constatée depuis 1908 à 1924.

Une hausse du niveau de 1,68 m a été enregistrée de 1925 à 1938, et une baisse de 2,06 fut enregistrée dans les années 1938 aux années 1950. Depuis les années 1950, plusieurs scenarios se sont succédé. De 1950 à 1961, le niveau du lac Tanganyika était relativement bas. En 1962, le niveau du lac atteint la cote d'alerte 775,39 m. Depuis 1965 une baisse du niveau s'annonce progressivement malgré quelques interruptions jusqu'à 1977. La période de 1977-1979 marque une petite hausse, dans la mesure où celle de 1980-1986 marque le cycle de baisse (SINDAYIHEBURA. 2005).

Le niveau moyen du lac, pour la période de 1961 à 1990 a été de 775,09 m d'altitude. On relève que les hausses de 1961-1962, 1962-1963, 1963-1964, 2018-2021 et 2022-2024 sont consécutives à une pluviométrie très supérieure à la normale pendant trois années de suite sur l'ensemble de son bassin versant.

L'effet cumulé de ces hausses a porté le plan d'eau à un niveau de 773,55 à la fin de la saison sèche en 1961 à celui de 777,08 m d'altitude à la fin de la saison des pluies en 1964, soit une hausse totale de 3,51m, et plus de 2 m au-dessus du niveau annuel moyen (NZIGIDAHERA & NTAKIMAZI, 1999).

De 1993 à 1997, les hausses et les baisses annuelles ont été respectivement de 87 cm et 80 cm. Les hausses sont corrélées positivement avec les précipitations sur le bassin versant, tandis que les baisses sont essentiellement en rapport avec l'évaporation. Ces dernières varient peu d'une année à l'autre (VERBURG et al. 1997 in NZIGIDAHERA 2011).



Figure III.1. Fluctuations du niveau annuel moyen du lac Tanganyika de 1929 à 1997 (Ntakimazi, 2006)

Selon Ntakimazi (2006), le niveau moyen du lac pourrait continuer à se situer autour de 775 m, mais les minimas tels qu'on les a enregistrés en 1959 (773,47 m) et les maxima connus en 1964 (777,08 m) pourront encore revenir ponctuellement d'ici 2050 (NZIGIDAHERA et NTAKIMAZI, 1999).

Dans les années récentes, la montée du lac a gardé son allure. Le 2 novembre 2005, le niveau de l'eau atteignait 772,62m. Le 12 mai 2016, le niveau était à 775,16 m soit une montée de 2,54 m par rapport à la dernière fois. Depuis 2018, une montée régulière a été observée, avec une côte de 776,52 m en avril 2021. Ce n'est qu'en 2020 que s'est manifeste l'augmentation des niveaux depuis mars de cette année. Selon Bernard SINDAYIHEBURA cité par Rhett Butler Mongabay Founder and CEO, les niveaux du lac ont passé de 772,7 m à 776,5 m soit une augmentation de 3.8m[1] en une année seulement. Le tableau suivant met en évidence les fluctuations du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021.

[1] https://fr.mongabay.com/2021/10/burundi-la-montee-des-eaux-du-lac-tanganyika-cree-une-crise-humanitaire/?amp=1

Tableau III.2 : Fluctuation du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021

Période	**Côte (en mètre) maximum**
2005	774,6
2006	773,9
2007	774,05
2008	774,30
2009	774,97
2010	774,92
2011	774,96
2012	774,52
2013	774,86
2014	774,98
2015	774,88
2016	775,12
2017	774,90
2018	775,30
2019	775,24
2020	776,10
2021	776,58

Source : Auteur à base des données d'IYANKUNZE, 2023

Ce tableau nous débouche sur la figure montrant la variation du niveau du lac Tanganyika, depuis 2005 à 2021.

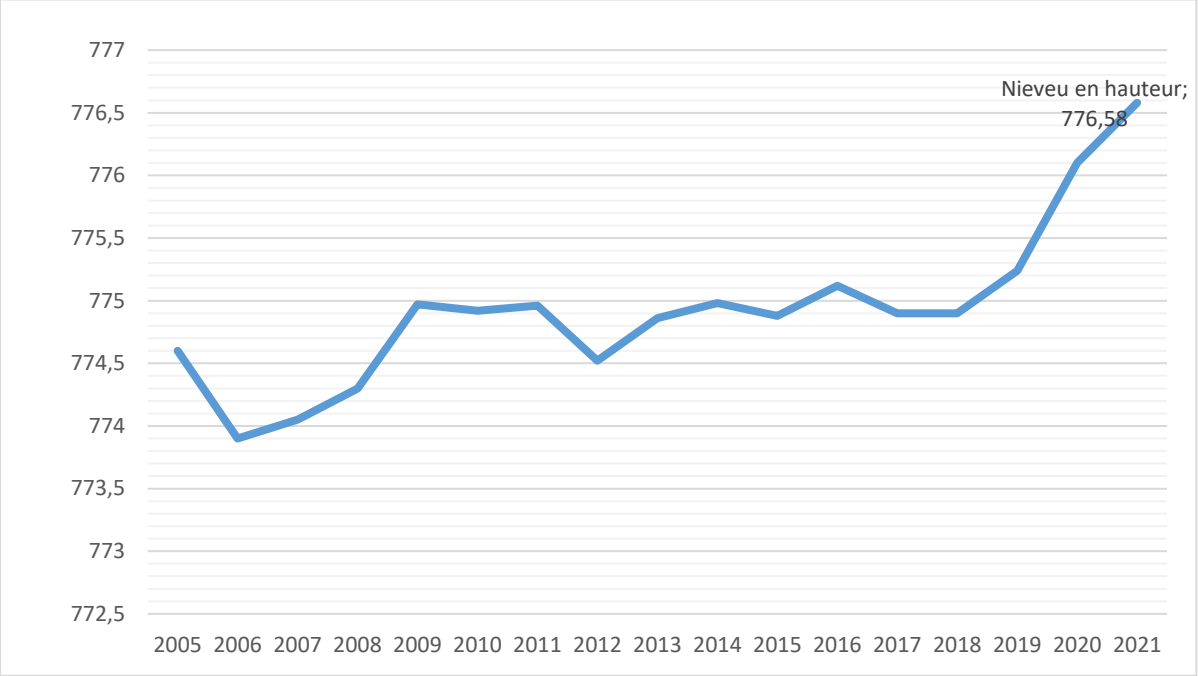


Figure III.2 : Variation du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021(Auteur à base des données du tableau III.2)

L'effet de ces oscillations du niveau du plan d'eau se manifeste par l'extension horizontale du lac. Le niveau moyen actuel du lac indiqué est à 773 m. Quand le niveau monte jusqu'à 776 m, près de 80% des écosystèmes du delta de la Rusizi et toute la terrasse inférieure de la ville de Bujumbura (Partie Sud de la RN4, port, chanic, Kibenga, etc.) se trouvent sous eaux. Ceci a été le cas dans les années 1962 à 1966, 1968 à 1970 ; 1998 à 1999 et 2020 à 2024. De 1963 à 1964, le niveau a même atteint 777,08 m, les eaux ont alors recouvert tout le village de Gatumba (SINDAYIHEBURA, 2005).

L'impact de ces fluctuations annuelles et interannuelles sur le lac Tanganyika n'est pas négligeable. La montée du niveau des eaux et l'extension de la côte lacustre jusque à une distance, par endroit, de plus d'un kilomètre en amont, met la zone supra littorale dans une inondation quasi permanente surtout quand le niveau moyen du lac reste à un niveau élevé pendant plusieurs années.

III.2. Impacts des inondations dans la ville de Bujumbura

Les changements du climat, notamment de la pluviométrie, cumulés à d'autres facteurs menacent la ville de Bujumbura de manière globale et systémique. Des infrastructures scolaires, des enjeux socio-économiques, de vies humaines sont sous menace presque perpétuelle. En termes d'impact des fortes précipitations, des inondations et des crues, la zone urbaine de Bujumbura est plus concernée car elle concentre plus les établissements humains. Dans ce point, à base de quelques exemples, nous présentons les couvertures financières des certains dégâts causés par les événements extrêmes, en l'occurrence les inondations, comme le coût de l'inaction freinant ainsi le développement du pays.

III.2.1. Montée des eaux du lac Tanganyika entre 1961-1964

La montée des eaux du lac Tanganyika a atteint le 16 Mai 1964 la côte de 777,07 m (SINDAYIHEBURA, 2005). Celle-ci a entraîné de très grandes inondations dont la surface inondable était estimée à environ 114,80 ha pour la seule zone comprise entre la Muha et la Kanyosha. Les sociétés pétrolières Socopétrol et B.P. Congo, localisées à proximité du port, ont respectivement supporté des dépenses de l'ordre de 8 à 4 millions de francs burundais pour protéger leurs installations de stockage.

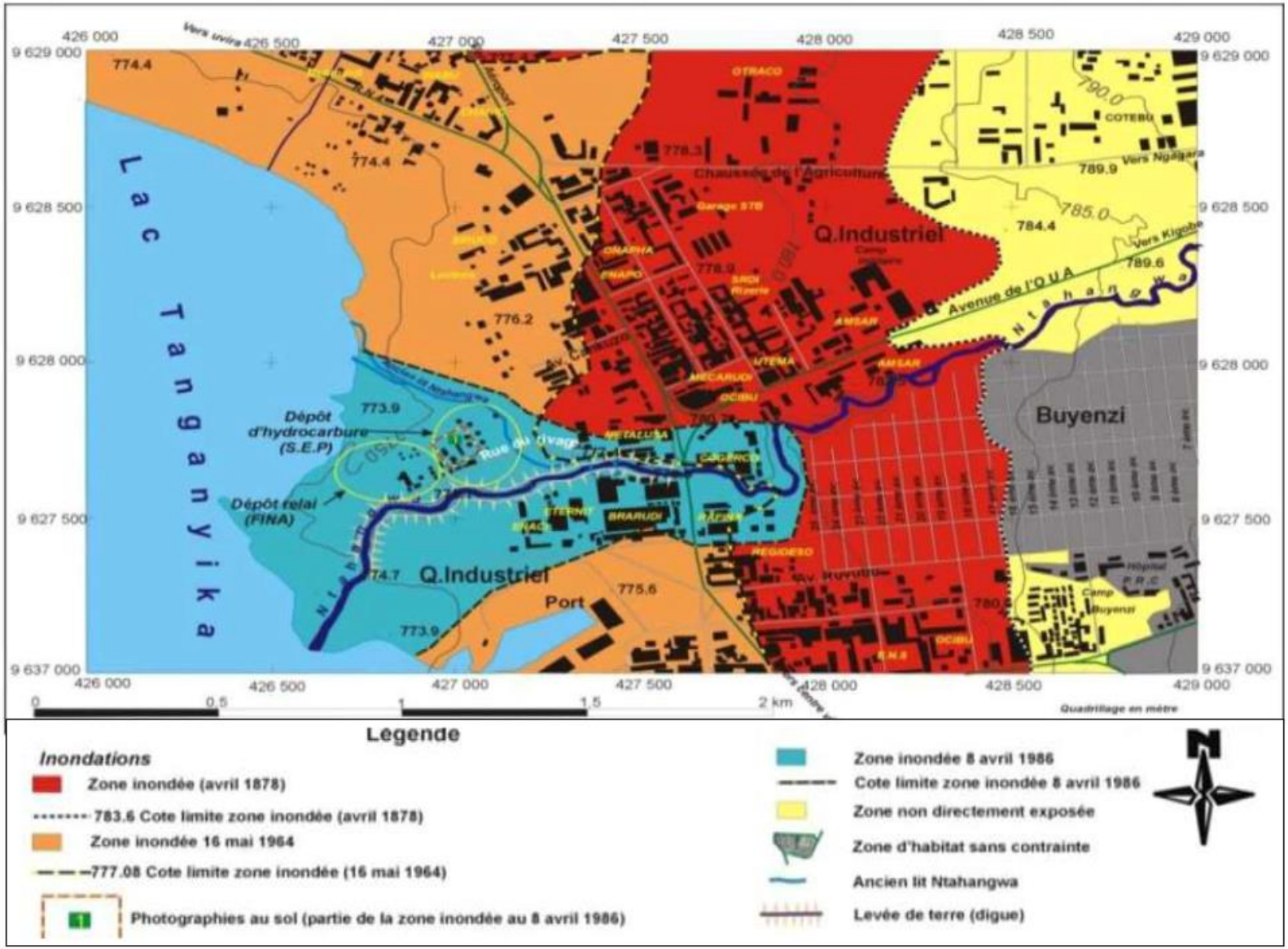


Figure III.3 : Partie de la zone inondée en avril 1878, en 1964 le long du lac Tanganyika et l'étendue de la zone inondée par le débordement de Ntahangwa le 8 avril 1986 (SINDAYIHEBURA B.2005)

III.2.2. Inondation de 1986,1997 et 2001

Les inondations des années 1986 et 1997 ont provoqué des crues de la rivière Ntahangwa (SINDAYIHEBURA, 2005).

En 1986, de nombreux dégâts ont été enregistrés, en particulier dans le quartier industriel situé à l'ouest du boulevard du 28 Novembre et en rive droite de la Ntahangwa. Toutes les rues situées à l'ouest de ce boulevard étaient inondées, le boulevard lui-même était recouvert par 1 m d'eau, interrompant le trafic en direction d'Uvira en RDC et vers l'aéroport international de Bujumbura. L'eau a atteint 2.20 m de hauteur à la Société d'entreposage pétrolier (S.E.P), située à 2.6 km du centre-ville de Bujumbura. (SINDAYIHEBURA, 2005).

Des milliers de fûts d'huile de 200 litres et les bouteilles de gaz du dépôt-relais et d'entreposage de la société Fina (actuellement connue sous le nom d'Engen) ont été emportés par le courant dans le lac Tanganyika. L'ensemble des dommages causés dans le quartier industriel a été estimé à au moins 400 000 dollars, ce qui fait de ce sinistre l'une des catastrophes naturelles les plus coûteuses de l'histoire du Burundi (SINDAYIHEBURA, 2005).



Photo III. 1 : Coulées de boue à la société d'entreposage pétrolier S.E.P. et Niveau de l'eau et dépôts des vases après l'inondation d'avril 1986 (SINDAYIHEBURA , 2005**)**

III.2.3. Les crues du janvier 1997

En janvier 1997, dans des conditions météorologiques assez proches des précédentes, la Ntahangwa sort de son lit. Les moulins de la société Rafina situés sur la partie droite de la Ntahangwa ont été détruits.

Le fait que la Ntahangwa ait de nouveau inondé une grande partie de la zone, en janvier 2001, tient sans doute à cet état de fait. L'inondation de janvier 1997 a provoqué de lourds dégâts (SINDAYIHEBURA, 2005).

Une grande partie de Kinogono dans le quartier Buyenzi est construite dans le lit majeur. Chaque année, ce quartier est sous menace de l'eau et les maisons sont détruites après les fortes pluies.

III.2.4. Inondations de 2009

L'inondation du 11 avril 2009 a concerné presque tous les quartiers de Buterere et de Mutakura. Beaucoup de maisons et bâtiments publics ont été sérieusement touchés par l'inondation. Au total 1442 maisons ont été effondrées. Le coût du bâtiment du lycée de l'avenir de Buterere était évalué à plus de 450 millions de Francs Burundais et les salles de classe sont en étages. Pour la seule journée du 12 avril 2009, le coût total des dégâts audit lycée s'estimait à plus de 10 millions de Francs Burundais sans tenir compte de la valeur réelle du bâtiment.

Tableau III.3 : Les dommages causés dans la commune de Buterere en 2009

Quartiers	**Maisons détruites**
Kiyange 1 (Population)	400
Kiyange 2	107
Buterere 1	156
Buterere II.a	129
Buterere II.b	284
Mugaruro 1 (site nyarumanga)	33 + 238 shirtings pour les Batwa
Mugaruro 2	137
Kabusa	37
Mubone	73
Maramvya	119
Total	1442

Source : NINGANZA (2018)

III.2.5. Inondations de janvier 2010

Lors des crues de Mugoyi en 2010, à Kanyosha, plus de 300 maisons ont été totalement endommagées[2] et plusieurs d'autres touchées. Les maisons qui ont été détruites complètement sont celles construites en adobes. La même année, au Nord-Ouest de la ville de Bujumbura, les inondations causées par la rivière Mutimbuzi ont causé plusieurs dégâts.

[2] Rapport du chef de quartier Kajiji dans cette période.

Une grande partie de l'Aéroport International de Bujumbura a été inondée y compris quelques-unes de ses installations et une partie du camp Gakumbu, 1200 maisons de Buterere ont été détruites (Buterere I et II et Kiyange) et des champs des cultures de plus de 60 ha ont été endommagés. Le domaine aéroportuaire et ses installations (les antennes gonio, les localiseurs, le balisage sous forme de lampe) étaient sous l'eau. Tous les équipements de guidage d'avion et de télécommunications étaient menacés. L'eau qui a stagné longtemps sur la chaussée sur une superficie de 2 km² environ a entrainé son affaissement (ABUTIP 2017).



Photo III.2 : Inondation de l'Aéroport international de Bujumbura en 2010
(NKUNZIMANA, 2010)

A Kanyosha, la rivière Mugoyi a débordé et inondé plus de 300 ménages dans les quartiers de Kajiji et de Kirwati. Des ravins de 3 mètres environ se sont formés en une heure et des routes ont été coupées.

Plus loin, en bas de la RN3 dans le quartier Kanyosha à Gisyo III, le Lycée de la convivialité était menacé d'effondrement. Un ravin de 50 m de largeur et de 30 mètres de hauteur s'est formé et la remise en état du site a couté environ 300 000 000 FBu (ABUTIP 2017).



Photo III.3 : Lycée la Convivialité de Kanyosha menacé d'effondrement (SINDAYIHEBURA, 2011**)**

III.2.6. Les inondations de 2011

En 2011, le site Sabe dans la zone Ngagara a été attaqué par les inondations issues du débordement de la rivière Mutimbuzi. Ce site hébergeait 450 ménages avec en moyenne 6 à 8 personnes par ménage soit plus de 2700 personnes (NINGANZA, 2018).



Photo III.4 : Inondation du site Sabe de la commune Ngagara par Mutimbuzi en 2011 (SINDAYIHEBURA, 2011)

III.2.7. Les inondations du février 2014.

En 2014, le Nord de la ville de Bujumbura, zone de KINAMA (Carama) a connu des précipitations importantes avec des crues et des inondations trop meurtrières. Les grandes modifications du paysage se sont observées sur les berges des rivières Ntahangwa, Muha, Kanyosha et Nyabagere, comme sur les berges des autres rivières. Ces inondations ont été plus atroces, avec de vies humaines perdues.

Cet événement avait à lui seul un coût exorbitant. Dans le rapport d'évaluation rapide des inondations de cette même année, les estimations des dommages sont au total de 6,9 milliards FBu pour les infrastructures comprenant 3,4 milliards FBu pour les routes, 775 millions FBu pour les ponts, 75 millions FBu pour les écoles, 650 millions FBu pour les infrastructures agricoles, 640 millions FBu pour les marchés, 627 millions FBu pour le système d'adduction en eau potable et 80 millions FBu pour le réseau électrique.

Au niveau des infrastructures scolaires, c'est au total 14 salles de classe et 6 latrines qui ont été impactées. Les écoles Gasenyi III (à Gauche) et Kamenge II (à droite) nous semblent des illustrations éloquentes (photo III.5).



Photo III.5 : Destruction des infrastructures scolaires (écoles Gasenyi III (à Gauche) et Kamenge II (PNPRGC, 2014)

Pour les dommages agricoles, les pertes sont évaluées à 2,5 milliards de francs burundais comme le souligne la FAO. Selon toujours la même source, 2245 hectares des champs agricoles ont été endommagés a Gatunguru, Rubirizi, Kinama, Kamenge et Buterere. La photo suivante illustre le cas. (SINDAYIHEBURA,2014)



Photo III.6 : Pertes agricoles suite aux inondations de 2014. (SINDAYIHEBURA, 10 février 2014)

Le même événement a causé des dommages plus sérieux sur le réseau de distribution d'eau situé à l'endroit du pont du peuple Murundi franchissant la rivière Ntahangwa

En aval, l'exutoire d'un caniveau était détruit et les piliers de la passerelle de la canalisation DN 700 étaient effondrés.

Pond du peuple Murundi



Conduite d'amenée DN 300



Photo III.7 : Destruction des réseaux de distribution d'eau à Kamenge (PNPRGC, 2014**)**

Un effondrement a été également signalé sur une conduite DN 200 en fonte à un point de passage sur la rivière Nyabagere en amont du pont de Kamenge, comme le montre la photo suivante.



Photo III.8 : Destruction de réseau de distribution d'eau à Kamenge (PNPRGC, 2014)

Le coût total des dommages d'un seul événement du février 2014 est de 164 milliards FBu, 134 milliards FBu concernent la réhabilitation ou le développement d'infrastructures et la

gestion des risques de catastrophes. Le rapport d'évacuation rapide détermine que parmi ces 134 milliards FBu, 26 milliards FBu étaient considérés comme prioritaires (urgence / moyen terme) pour permettre la réhabilitation résiliente des infrastructures avec une approche résiliente.

En parallèle, 30 milliards FBu étaient recommandés pour la stabilisation des bassins versants aux alentours de Bujumbura (PNPRGC, 2014).

En gros, l'évènement de 2014, a totalisé, dans les quartiers Nord de Bujumbura, près de 1.000 habitations effondrées, un grand marché emporté, 12.000 personnes retrouvées sans abri, 2.000 personnes gravement blessés et 77 morts recensées, comme le prouve la photo suivante.



Photo III.9 : Perte de vies humaines suite aux pluies diluvienne du 9-10 février 2014
(Protection civile, Rapport 2014)

Les zones les plus impactées par les inondations de février 2014 sont celles qui sont identifiées sur la carte ci-dessous comme présentant un déficit d'urbanisation. Ce sont notamment le quartier Carama, la commune de Buterere, et le long de la rivière Nyabagere dans la commune de Kamengé (BURUNDI, RAPPORT 2014).

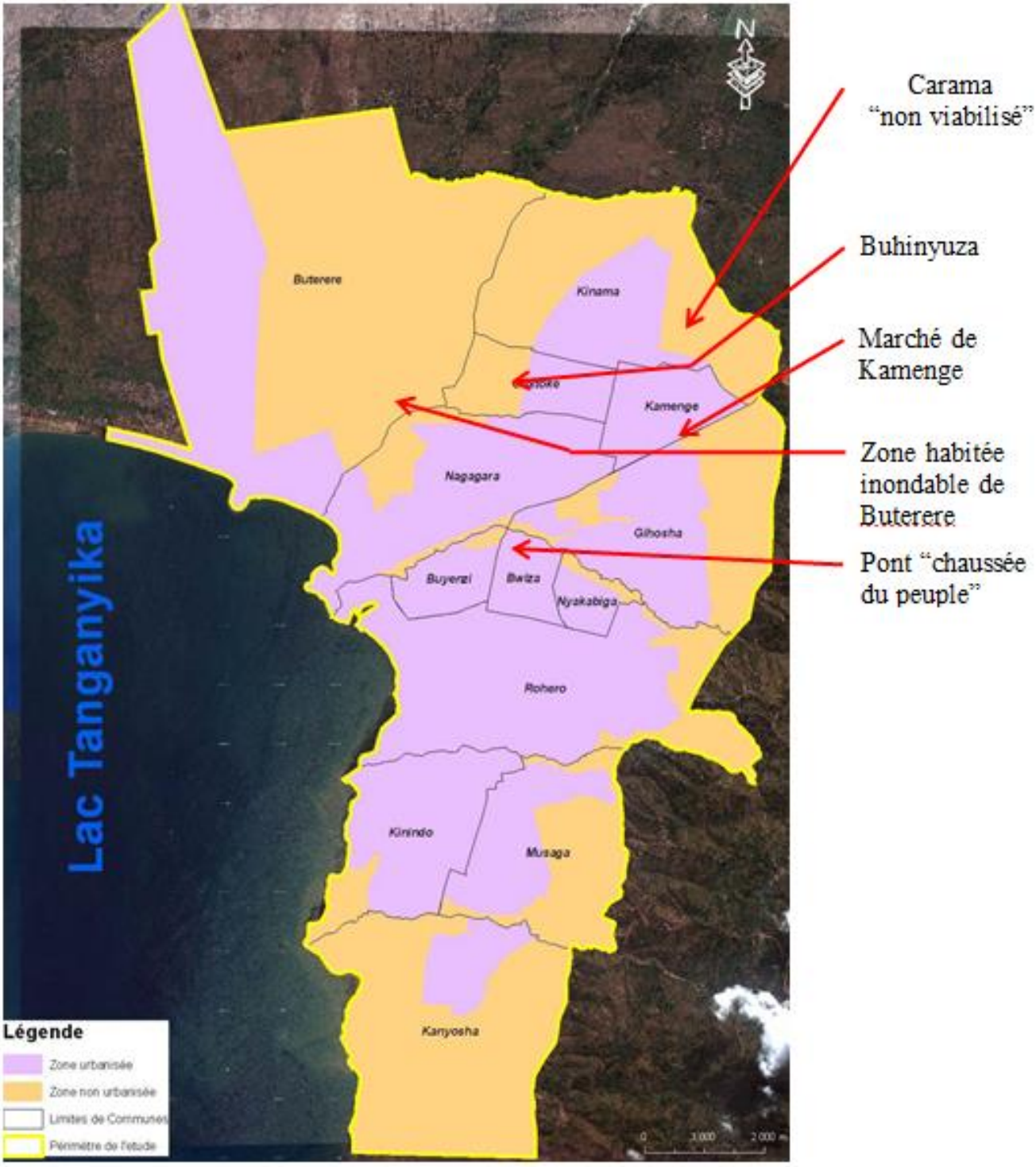


Figure III.4 : Les zones inondées en 2014 au Nord de la ville de Bujumbura ((PNPRGC, 2014)

III.2.8. Inondations du janvier 2015.

En 2015, les averses des 21 et 28 février respectivement de 15.4 mm et de 24.5 mm ont occasionné le débordement des eaux de ruissellement. Suite à la crue torrentielle de la Gasenyi qui longe l'avenue Muka, les passages busés situés sur la jonction des Mukuyangoma et Muka ont été emportés par le torrent (SINDAYIHEBURA, 2015).

Les pertes liées au débordement des rivières Kidumbugwe et Gasenyi étaient énormes. Des champs de riz ont été dévastés. Dix ménages situés sur l'avenue Muka près de la RN9 sont également inondés sur une longueur de 100 m suite au retour des eaux. De même, suite au débordement de la rivière Kinyankonge, trois cent ménages (300) du quartier de Mugaruro I ont été sérieusement affectés. Ces pluies ont engendré la rupture de la digue située de part et d'autre de l'exutoire et des champs ensemencés du riz ont été inondés. (NINGANZA, 2018).

III.2.9. Les inondations du janvier 2018.

Le même phénomène que les précédents s'est produit le 13 avril 2018.



Photo III. 10 : Inondation de l'avenue Kibonobono en date du 13 avril 2018 (Cliché, auteur, le 14 et 23 avril 2018)

La pluie tombée était de 31,5 mm selon les données de l'IGEBU. Malgré les travaux d'aménagement de la rivière Gasenyi par l'entreprise ROBUCO, plusieurs avenues ont subi des inondations en provenance du quartier Carama et dues au débordement de la rivière

Gasenyi. Les photos suivantes illustrent comment l'avenue Kibonobono a été inondée en date du 13 avril 2018.

Le 28 avril 2018, s'est produit la rupture de la digue survenue sur la rivière Mutimbuzi et a été catastrophique. L'érosion a été la principale cause de rupture de la digue de protection en remblai (également appelée levée de terre) contre les inondations des riverains et des rizières de Bujumbura. Elle a été dérangée également par les cultivateurs qui la grignotent et en mettent en valeur une partie de celle-ci. La photo suivante montre la rupture de la digue.



Photo III.11 : Rupture de la digue sur la rivière Mutimbuzi en 2018
(SINDAYIHEBURA, 29 avril 2018)

Depuis l'effondrement de la digue, la rivière Mutimbuzi a changé de tracé et a inondé le quartier de Kiyange I, le quartier Miroir, les hangars de stockage du quartier Industriel, la RN5, les rizières et les champs de culture de Kiyange. Elle a suivi la ligne de la plus grande pente là où la vitesse de l'eau est maximale. Comme conséquences, les activités industrielles, agricoles, commerciales ainsi que les infrastructures telles que les routes, les ponts, les canaux, les réseaux d'eau, d'énergie et de télécommunication ont été sérieusement impactées.

Cet évènement a laissé une trace durable dans la mémoire des habitants de Kiyange. La piste reliant la RN5 et la zone urbaine Buterere a été submergée et bloquée pendant 4 jours. Il en est de même pour la liaison entre la ville de Bujumbura et l'aéroport. Tout le trafic a été arrêté pendant 4 heures.

Les crues de la Mutimbuzi qui s'étaient frayé un chemin après la rupture avaient déjà un caractère torrentiel (NINGANZA, 2018).



Photo III. 12 : Hauteur de submersion à l'Est de la RN5 au niveau la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere (SINDAYIHEBURA, 29 avril 2018)

Du point de vue agricole, les pertes subies par les agriculteurs ont pris une allure de catastrophe. Les cultures et les champs étaient lessivés par le passage de l'eau et il fallut au moins plusieurs jours pour que le niveau baisse. Environ 50 ha de riz ont été dévastés.

L'ensemble des dommages (constitués par le ciment, les ouvrages, les mazouts, les machines compacteurs et les moteurs pour camion marque actros endommagés) pour l'entreprise de construction KAZE est estimé à au moins 800 000 millions de francs burundais. La photo suivante nous présente l'entreprise Kaze envahie par les eaux.



Photo III. 13 : Envahissement de l'entreprise de construction KAZE
(SINDAYIHEBURA, 29 avril 2018)

Dans le secteur de Sabe, les inondations ont emporté 80 hectares de riz. L'usine fabriquant les tanks et les tuyaux PVC située sur la RN5 près de la rivière Mutimbuzi était entièrement sous l'eau. Deux jours après l'inondation, la piste située à l'Ouest de la RN5 en bas de l'usine pharmaceutique SIPHAR menant vers Sabe était transformée en torrent (photo 37 droite).



Photo III.14 : Inondation du secteur SABE (SINDAYIHEBURA ,2018)

Au 30 avril 2018, la Croix Rouge Burundi (2018) a fourni le bilan selon lequel 352 maisons ont été complètement détruites, 186 maisons partiellement détruites, 416 maisons sous menace. Au total 2576 personnes sans-abris dont 1918 enfants.

III.2.10. Les inondations du janvier 2019.

Du 21 au 22 décembre 2019, les précipitations torrentielles ont engendré d'importants dégâts matériels et humains dans la commune de Ntahangwa, quartier Winterekwa et de Buterere au Nord de la ville de Bujumbura.

• A Winterekwa, on a recensé 14 décès, 33 blessés, 49 maisons partiellement détruites et 57 maisons totalement détruites et 132 maisons inondées. Au total, 238 ménages ont été affectés. Selon la Croix Rouge du Burundi, 77 ménages ont trouvé asile à l'Ecole fondamentale de Winterekwa.

• A Buterere, le bilan était de 218 maisons totalement détruites, 255 partiellement détruites, 1760 inondées et 3740 personnes déplacées et ont trouvé refuge à l'Ecole Fondamentale Mobile et aux anciens locaux de la Commune de Mutimbuzi (à Mubone) (CROIX ROUGE BURUNDI, 2018)

III.2.11. Inondations de 2020-2024

Depuis 2020, on observe un retour décennal avec une grande virulence, une période dans laquelle la montée des eaux du lac Tanganyika cause des dégâts plus lourds. Le camp de Kinyinya II, situé à quelques kilomètres derrière Gatumba, qui accueille plus de 2 300 personnes déplacées climatiques A été érigée suite aux inondations.

Presque tous les mois d'avril et mai 2021, toutes les zones littorales du lac ont été inondées, du nord au sud du pays, des personnes se sont déplacées.

Les communes urbaines de Bujumbura ont été touchées. L'enregistrement présente 2563 personnes qui ont été affectées avec 562 personnes déplacées et 170 ménages inondées. Le site temporaire de Kigaramango a été affecté, 365 ménages ont été relocalisés dans le site de SOBEL. Depuis 2020, ce phénomène persiste. Les localités de Kinyinya et Kajaga, au nord de la ville de Bujumbura et Gatumba sont les plus vulnérables. Les photos suivantes montrent les cas des maisons inondées à Kibenga rural dans la zone Kinindo et Kabondo dans la zone Rohero.



Photo III. 15 : Maison inondée a KIBENGA rural (KURIYO,2023)



Photo III. 16 : Maisons inondées et abandonnées à Kabondo (1) : (cliché, Auteur, Novembre 2023)



Photo III. 17 : Maisons inondées et abandonnées à Kabondo (2) (cliché, Auteur, Novembre 2023)

En conclusion, dans certains quartiers, de la ville de Bujumbura, la saison des pluies signifie automatiquement périodes des inondations, selon leur emplacement géographique.

Les changements du climat, notamment de la pluviométrie, cumulés ou non, frappent les sociétés urbaines de manière sélective car tous les quartiers de la ville ne sont pas vulnérables au même degré. Au cours de ce chapitre nous avons montré l'ampleur des dégâts produits des inondations dans des années et zones différentes.

Ces dégâts ont un coût trop élevé entravant ainsi l'économie du pays, présentant déjà une situation économique aussi précaire. Il revient donc de réveiller la conscience de toutes les parties prenantes ayant la compétence en la matière, afin de considérer les périodes historiques des inondations pour enfin trouver les mesures de mitigation.

Le chapitre suivant a pour objet de présenter les facteurs participant à l'aggravation des dégâts et de présenter certaines mesures de gestion des risques d'inondation pour en réduire les impacts dans la ville de Bujumbura.

CHAPITRE IV : FACTEURS AGGRAVANT ET LA GESTION DES INONDATIONS DANS LA VILLE DE BUJUMBURA

Le chapitre précédent a développé plusieurs cas d'inondation dans la ville de Bujumbura avec des exemples concrets et vécus de manières différentes. Les dégâts de ces inondations sont rendus énormes par la participation de multiples facteurs tant naturels qu'anthropique. Ce chapitre décrit ces facteurs, tout en proposant des mesures pour une gestion rationnelle pouvant atténuer la situation de la vulnérabilité de la ville de Bujumbura face à ces inondations

IV.1. Facteurs aggravants

IV.1.1. Facteurs naturels

Le risque d'inondation connait un certain nombre de facteurs, susceptibles d'influencer son ampleur. C'est le cas de l'intensité et la durée des précipitations, la surface et la pente du bassin versant, la couverture végétale et la capacité d'absorption du sol. Il y a aussi la présence d'obstacles à la circulation des eaux (dans le chenal du cours d'eau), l'état du sol : les conséquences d'une averse ne sont pas les mêmes lorsqu'elle est déversée sur un sol saturé ou non saturé en eau ou encore, sur un sol recouvert de végétaux.

Ces facteurs naturels peuvent être aggravés aussi par la présence d'activités humaines sur un territoire donné.

Pour le cas de Bujumbura, le profil en long du Mirwa vers l'Imbo est convexe, la pente est plus forte vers le haut (Mirwa) et faible vers l'aval (Imbo). Cela conditionne de fortes crues après des averses et des écoulements violents des cours d'eau qui y prennent source

Davantage, l'encaissement des vallées des cours d'eaux et la longueur des versants influent beaucoup sur la vitesse d'écoulement et le volume de matériaux transportés. Aux alentours de Bujumbura, cinq bassins versants sont présents dont certains ont principalement contribué aux inondations de 2010 et de 2014 : Gikoma, Kinyankonge, Muzazi, Ntahangwa et Nyabagere.

Le bassin versant de la Gasenyi, avec une superficie de 4 km² en amont de la RN1, est le plus petit de tous et c'est celui qui a contribué à la majorité des dommages liés à cette catastrophe d'inondation de 2014 au Nord de la ville de Bujumbura.

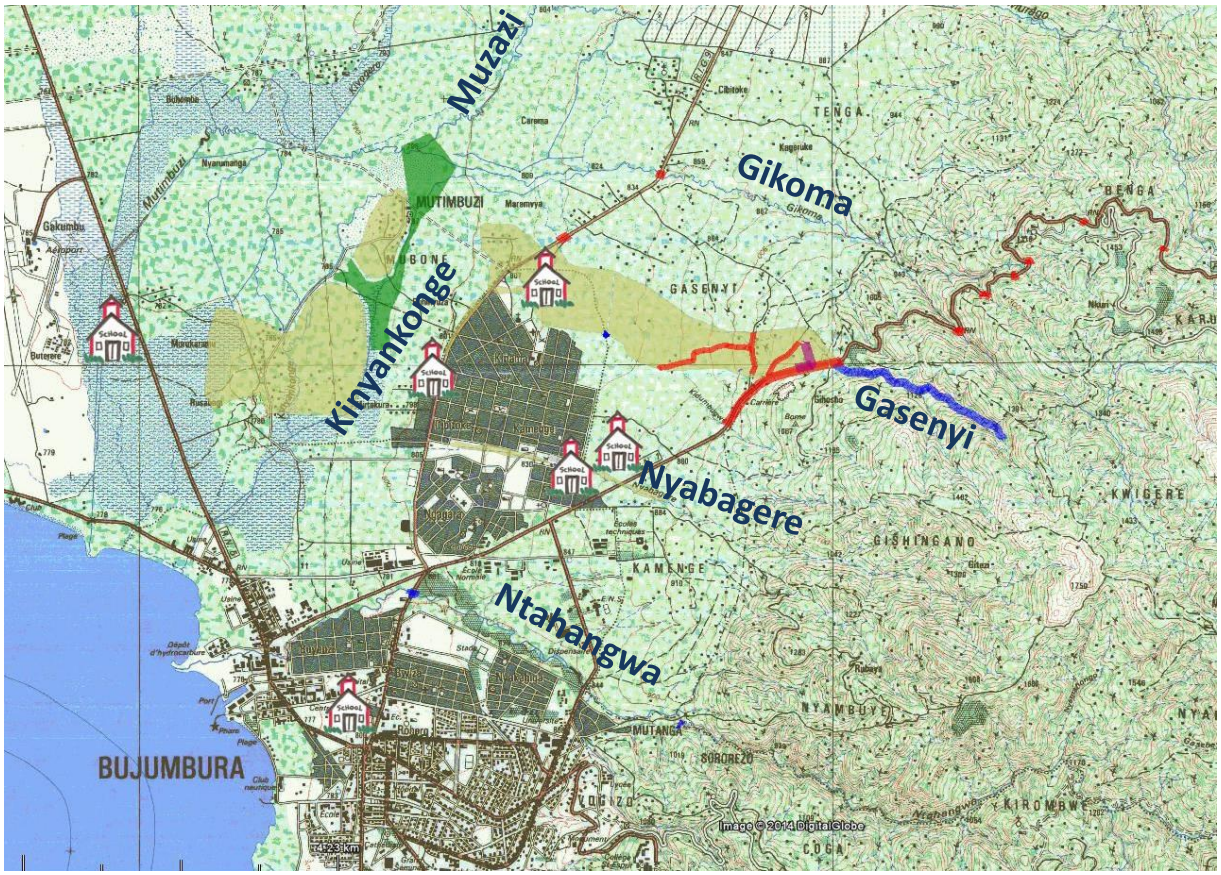


Figure IV.1 : Les bassins versants aux alentours de Bujumbura, ayant engendré un phénomène de crues rapide en 2014 (PNPRGC, 2014)

De surcroit, la ville de Bujumbura est située sur la rive Est du lac Tanganyika, dans la vallée du rift africain. Cette situation lui confère une topographie aux pentes abruptes avec des écoulements torrentiels, depuis les hautes montagnes qui forment la crête Congo-Nil et qui hébergent les sources de grandes rivières qui traversent cette ville d'est en ouest ; puis aux pentes très faibles dans la plaine avec des divagations naturelles des cours d'eau.

Ces sont ces rivières avec leur caractère torrentiel, et sous l'influence des paramètres hydrologiques et naturels qui sont à l'origine des inondations dans cette ville.

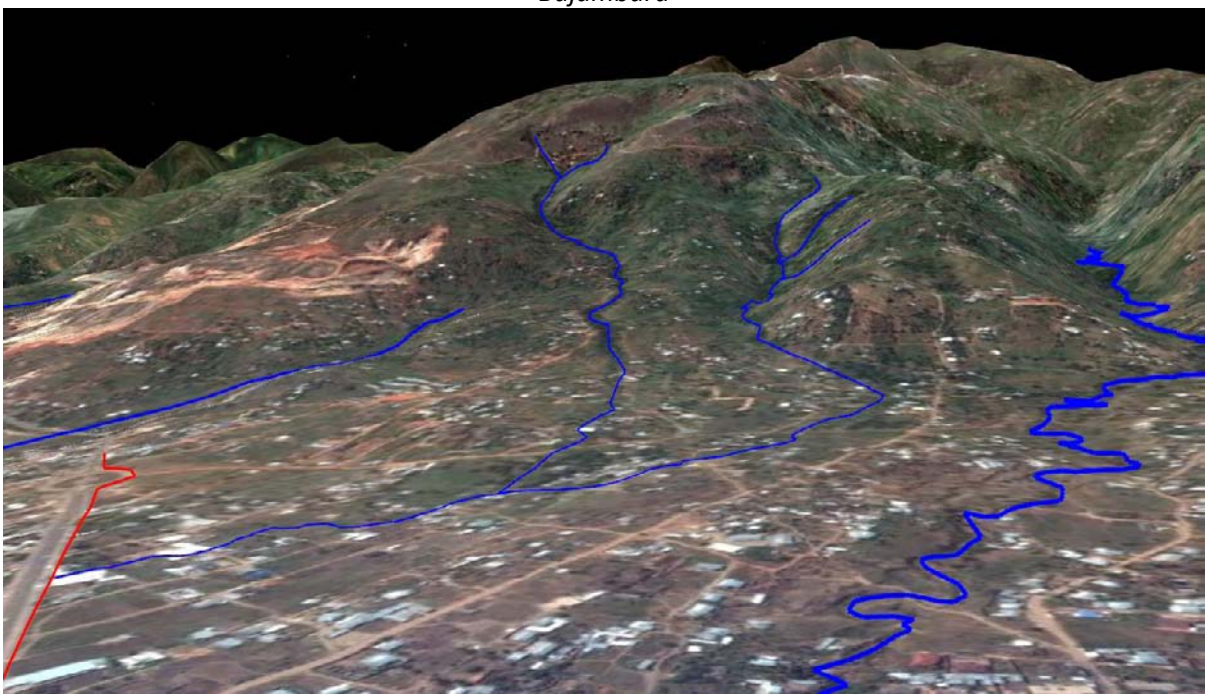


Figure IV.2. Modèle numérique de terrain de l'écoulement torrentiel et divagations naturelles des rivières : cas de Mirwa vers la ville de Bujumbura (PNPRGC, 2014)

Les Mirwa très proches de la zone urbanisée, sont excessivement exploités et ont des pentes fortes ce qui conduit à une érosion intense en saison des pluies. Avec l'imperméabilité de la plaine et surtout des zones urbanisées, l'eau des averses s'infiltre peu lentement.

IV.1.2. Rôle des activités humaines

A part les paramètres naturels, les facteurs anthropiques constituent des facteurs aggravants et ont un rôle fondamental dans la formation et l'augmentation des débits des cours d'eau.

L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables constituent une des causes d'aggravation du risque d'inondation. C'est le cas du quartier Miroire en zone Buterere, Kiyange, Kajaga, et certaines localités de la zone Kinama en l'occurrence quartier Carama.

La diminution des champs d'expansion des crues consécutive à l'urbanisation a pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues, bénéfique aux secteurs habités en aval des cours d'eau. Certaines rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval. Cela montre un aménagement parfois hasardeux des cours d'eau.

Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir des pour conséquences sur l'accélération de crues en aval et l'altération du milieu naturel si la rivière n'est pas régulièrement curée. C'est le cas de la rivière Gasenyi.

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêche le laminage des crues et la pénétration des eaux. Il favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux. C'est le cas encore du bassin versant des rivières Gasenyi et Nyabagere en particulier et de toutes les rivières qui traversent la ville de Bujumbura en général.

IV.1.3. Part de l'urbanisation

Le processus hydrologique est perturbé dans le contexte urbain. Par exemple, changer l'usage des sols modifie les facteurs d'infiltration, car les superficies perméables deviennent réduites (DASYLVA, 2009). Parfois corrélées avec la déforestation surtout sur les zones pélagiques des rivières ou du Lac Tanganyika, l'exploitation excessive des Mirwa et l'augmentation des surfaces urbanisées sont d'autant plus problématiques (DASYLVA, 2009).

Les populations vivant dans les quartiers inondables de la ville de Bujumbura, mettent parfois en corrélation l'explosion démographique et l'installation anarchique (DASYLVA, 2009). Les processus d'urbanisation causent la perturbation du cycle hydrologique en milieu urbain, entraînant inondations et impacts corrélés. Elle est un facteur essentiel à prendre en considération pour gérer et réduire le risque d'inondation.

L'urbanisation du territoire passe par un déboisement intensif (cas de la forêt qui couvrait le quartier Nyakabiga et la savane de Kabondo) et l'imperméabilisation du sol sur de grandes superficies. On a souvent l'objectif de la création des aires de stationnement et rues asphaltées, maisons, édifices publics, commerciaux et industriels, etc. Les eaux des surfaces rendues imperméables sont rapidement drainées par le système d'égout pluvial jusqu'au cours d'eau le plus près. Les zones qui sont restées perméables, constituées essentiellement de pelouses, sont également drainées rapidement vers l'égout pluvial. La figure suivante nous montre les conséquences qui en résultent pour le débit de pointe. Le temps de réaction du cours d'eau se mesure en heures. Dès lors, le régime hydraulique du cours d'eau urbain devient caractérisé par des crues subites et de forte intensité. C'est le cas des rivières Gasenyi et Mutimbuzi en 2014.

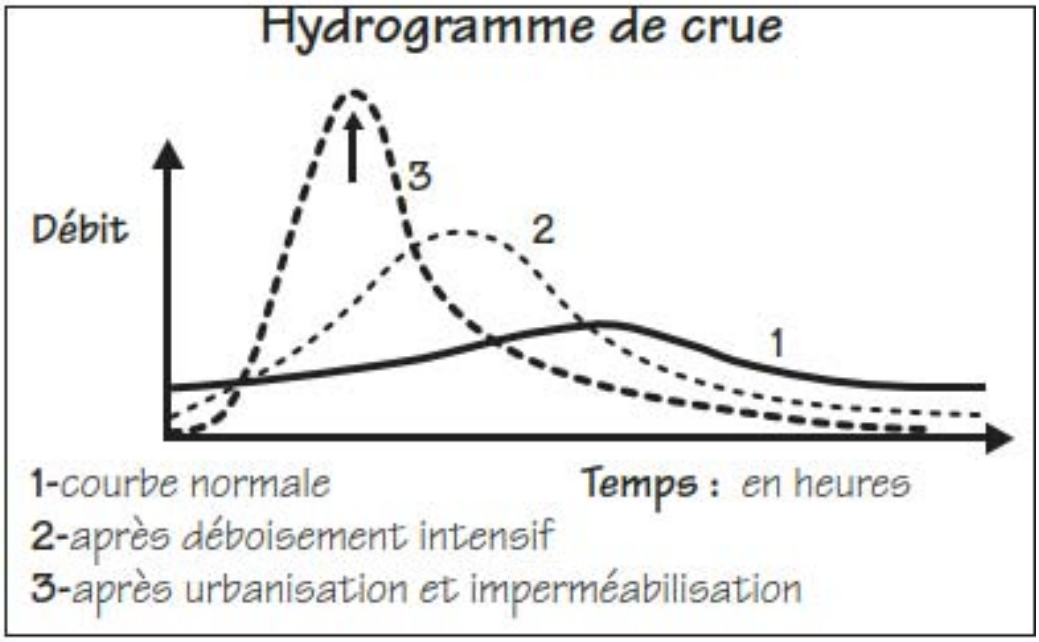


Figure IV.3 : L'effet du déboisement intensif sur la crue d'un cours d'eau (Nature Centre, Cahier technique « *Ministère de l'écologie et du développement durable 2014*)

A partir de cette figure, on conclut que l'enlèvement du couvert végétal dans un bassin versant, y compris sur les rives des lacs et au cours d'eau, n'est donc pas sans conséquence sur l'environnement. Il a comme conséquence des crues plus importantes et plus soudaines et par une augmentation du risque d'inondation.

IV.2. Les mesures de prévention et d'adaptation

Pour limiter les inondations en secteurs urbains, souvent génératrices de forts dégâts et d'un risque élevé pour la population, il est nécessaire d'arrêter le développement urbain dans les zones inondables. La conception des villes, quartiers et habitations doit être basée sur les règles urbanistiques pour limiter les risques pour la population et ses biens face aux inondations. Par ailleurs, la réfection des quartiers et habitations en zone à risque doit être l'occasion d'adopter des solutions innovantes permettant de limiter les risques pour les habitants (MOREL, et al. 2010**).**

IV.2.1. Aménagement réfléchi

La prévention des risques d'inondation est étroitement liée aux choix d'aménagement du territoire. De ce point de vue, la cohérence entre les démarches d'aménagement du territoire et les politiques de gestion des risques d'inondation est un enjeu essentiel pour la ville de Bujumbura et les Mirwa qui connaissent de fortes activités anthropiques, agricole et explosion démographique.

Dans les zones à haut risque d'inondation, concevoir un aménagement plus adapté aux risques et réduire progressivement la vulnérabilité nécessitent de poser des diagnostics partagés sur les conséquences dommageables des aléas, sur les réductions envisageables et sur les moyens d'y faire face. Il est important de travailler à l'échelle communale, pour trouver des solutions alternatives en matière d'aménagement.

Dans ce cadre, pour maîtriser l'urbanisation, il est primordial de proposer et prioriser les plans de prévention de risques naturels surtout les inondations, contrôler le respect des prescriptions surtout sur les zones littorales. Il est encore important d'encourager les aménagements plus adaptés aux risques, adapter et assurer la sécurité de l'habitat. Ces derniers sont des pistes pour lesquelles il est recommandé de considérer afin de trouver des solutions durables et permettre aux populations de vivre en sécurité en mobilisant tous les moyens possibles.

Pour progresser vers la réussite, on doit concevoir des aménagements et construire les ouvrages en tenant compte des risques auxquels la société s'expose (MARTIN, 2007). A partir de là, il importe que les politiques d'aménagement du territoire intègrent le plus à l'amont possible les enjeux liés aux risques d'inondation.

IV.2.2. Réglementer les pratiques agricoles intensives sur les Mirwa

Les Mirwa sont excessivement exploités. Les pratiques intensives en agriculture ont d'une part transformé le paysage, d'autre part modifié la structure du sol par des actions mécaniques et chimiques. Par exemple, « *pour la seule région de Mirwa qui représente 12% de la superficie du pays ; avec une pente moyenne supérieure à 70% et une densité moyenne de la population de plus ou moins 300 habitants au km², les pertes en terres sont estimées à 150 tonnes de terres à l'hectare, soit un décapage du sol arable d'un cm/an. Dans ces conditions, tout le sol dans certaines zones de cette région pourrait être dégradé et perdu d'ici une vingtaine d'année si de fortes mesures ne sont pas prises »* (MINEEATU, 2011).

Les haies et bois sont supprimés au profit de gigantesques parcelles cultivées et construites. Il en résulte des sols à faible pouvoir d'infiltration, entrainant en période de fortes pluies des ruissellements importants à l'origine d'inondations. Pourtant, les végétations et les arbres ont la capacité de ralentir les écoulements et ainsi de maintenir l'eau sur une parcelle, limitant ainsi le ruissellement de l'eau qui peut être à l'origine d'inondations (JACKSON, 2014).

A partir de ce constat, la lutte contre les inondations doit alors s'intéresser sur l'action de protéger les bassins versants des rivières, prenant source dans les Mirwa et qui traversent la

ville de Bujumbura. Avec cette action on aura une assurance de limiter les glissements de terrain et les éboulements et une réduction du coefficient de ruissellement.

La solidarité à l'échelle du bassin versant constitue un levier qui permet d'agir en amont des centres urbains au travers de la préservation des champs d'expansion des crues ou encore la limitation du ruissellement à la source.

Cette solidarité réduit des conséquences négatives des inondations par une répartition équitable des responsabilités et des efforts entre les différents territoires concernés. Les actions de solidarité à l'échelle des bassins versants doivent être conduites de manière concertée avec l'ensemble des acteurs et des propriétaires concernés.

IV.2.3. La transmission de l'information

L'objectif de l'information préventive est de permettre au citoyen d'être conscient des risques auxquels il peut être exposé. En étant averti sur les phénomènes, leurs conséquences et les mesures pour s'en protéger et en limiter les dommages, le citoyen deviendra donc moins vulnérable, car il adoptera un comportement adapté à chaque situation et sera acteur de sa propre sécurité.

Selon BOTZEN (2009), les personnes qui connaissent bien les causes des inondations auraient une perception du risque plus élevée que les autres. De même, bien que l'information en elle-même ne suffise pas pour induire un comportement ou un changement de comportement, celles qui sont bien informées à l'égard du risque d'inondation et des mesures à prendre adopteront des comportements de protection (GROTHMANN & REUSSWIG, 2006; RUIN & LUTOFF, 2004; THIEKEN ET AL., 2007). Plus les avertissements sont émis à l'avance, plus les mesures préventives seraient efficaces et permettraient une réduction des dommages (PARKER et al., 2003; THIERKEN et al., 2007).

Avec cette culture de l'information sur les catastrophes naturelles, la gestion des risques d'inondation sort progressivement d'une logique unidimensionnelle limitée à une approche en termes de protection.

IV.2.4. Développer la culture du risque

En complément des actions d'information préventive réglementaires, la conduite d'une politique de sensibilisation des populations au risque d'inondation est recommandée. Cette sensibilisation peut être poursuivie à travers différents types d'actions :

- Actions de sensibilisation au sein d'établissements scolaires ;
- Des actions de diffusion de la connaissance du risque auprès des populations concernées ;
- Des actions de diffusion de la connaissance du risque auprès des entreprises et des acteurs économiques ;
- Des actions en matière de vulgarisation de la donnée technique : à titre d'exemple des publications accessibles donnant un état des lieux de la connaissance des cours d'eau et de leurs débordements, le développement de nouvelles représentations cartographiques des zones à risques ;
- Des actions sur la mémoire des inondations, en complément de la disposition sur les repères de crues : à titre d'exemple réalisation de film documentaire sur le vécu des inondations du passé mais également sur l'histoire de l'aménagement du territoire dans les secteurs inondables, valorisation des documents d'archives, constitution de bases de données historiques ;

En s'appuyant sur cette disposition, les études d'évaluation de la perception par les populations du risque sont recommandées et les stratégies locales doivent s'attacher à intégrer un volet relatif à la conscience du risque et à la sensibilisation des populations concernées.

IV.2.5. Orienter le développement urbain en dehors des zones à risque

La maitrise de l'urbanisation en zone inondable ou présentant un aléa fort d'inondation est une priorité. Cela nécessite une bonne prise en compte du risque inondation dans l'aménagement du territoire, au travers des documents d'urbanisme et de planification. Dans ce cas, il faut

considérer une échelle compatible avec celles des bassins versants, notamment les schémas de cohérence territoriale (SCOT) et directeur d'aménagement urbain (SDAU).

IV.2.6. Limiter le ruissellement à la source

Dans la ville de Bujumbura comme dans les Mirwa, des mesures doivent être prises, notamment par les collectivités par le biais des documents et décisions d'urbanisme et d'aménagement du territoire. Elles auront pour but de limiter les ruissellements à la source, y compris dans des secteurs hors risque mais dont toute modification du fonctionnement pourrait aggraver le risque en amont ou en aval. Ces mesures qui seront proportionnées aux enjeux du territoire, doivent s'inscrire dans une démarche d'ensemble assise sur un diagnostic du fonctionnement des hydro systèmes (les rivières prenant sources dans les Mirwa à caractères torrentielle) prenant en compte la totalité du bassin générateur du ruissellement, dont le territoire urbain vulnérable ne représente qu'une petite partie par rapport à ces bassins versants.

IV.2.7. Développer une stratégie locale de prévention

Les inondations peuvent faire courir un risque grave, voire mortel aux populations, comme c'est produit en 2014 au Nord de la ville de Bujumbura. Suite à ces genres de cas, la priorité, mise en avant par la stratégie nationale de gestion des risques d'inondation, est de limiter au maximum le risque de pertes de vies humaines en développant la prévision, l'alerte, la mise en sécurité et la formation aux comportements qui sauvent.

Dans cette logique, la mise en sécurité des populations protégées par des ouvrages existants (comme les digues sur les rivières et les canaux d'évacuation) impose l'entretien pérenne de ces ouvrages conformément aux objectifs poursuivis par le plan national dans le cadre de prévention des risques naturels.

Tenant compte des inondations catastrophiques récurrentes dans la ville de Bujumbura, à la vulnérabilité des biens et des personnes, il est hautement souhaitable de :

- Développer un système d'alerte local couplé à un réseau de dispositifs de surveillance, de stations de mesures de précipitations intenses très localisées (stations pluviométriques) et de mesure de débits et de hauteurs d'eau (stations hydrométriques). Ainsi, en cas de dépassement d'un certain cumul ou d'une certaine intensité de précipitation et/ou d'une côte de hauteur d'eau ou d'un débit, l'information devrait être diffusée en temps réel à l'IGEBU, aux zones urbaines, aux communes et à la Mairie concernées pour relayer l'alerte auprès des citoyens ;

- Planifier la gestion de crise à l'échelle locale intégrant des objectifs relatifs à la gestion de crise qui tiennent compte de :
- Identifier, localiser et prioriser les secteurs et les enjeux exposés aux risques de ruissellement pluvial et autres alea d'inondation ;
- Proposer des mesures d'adaptation des zones de production du ruissellement visant à réduire les volumes et vitesse de concentration.

IV.2.8. Intégrer les risques d'inondations aux nouveaux projets

A travers le PLU et les permis de construire, la ville de Bujumbura peut intégrer des aménagements et matériaux adaptés à la vie pendant et après l'inondation. Elle doit prévoir systématiquement dans les nouveaux projets des surfaces de pleine terre, qui sont des surfaces non-imperméabilisées ou éco-aménageables gérées de façon écologique (Végétalisation), en plus de substituer au pavés situés derrière les parcelles par de nouveaux matériaux perméables notamment le gazon. Œuvrant dans ce sens on aurait protégé les espaces naturels de l'artificialisation via les documents d'urbanisme. Dans ce cas,

Au cours de ce chapitre, nous avons montré les facteurs qui aggravent les dommages issus des inondations dans la ville de Bujumbura. Après la description de ces facteurs, nous avons proposé des mesures de mitigation, qui une fois considérées, et appliquées pourraient participer à la gestion rationnelle des inondations dans la ville de Bujumbura. Cette mise en application doit s'inscrire dans le cadre de la volonté du gouvernement qui est le principal responsable dans cette action. De plus, la réduction des risques d'inondation doit être spécialement adaptée à chaque situation particulière, car la situation politique, socio-économique, culturelle et environnementale et les circonstances liées aux risques inondations varient grandement selon les zones.

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail étudie la vulnérabilité de la ville de Bujumbura face aux inondations dans un contexte de changement climatique. En plus d'une recherche documentaire et des descentes sur terrain, cette étude se base sur une analyse des données pluviométriques de la station de Bujumbura aéroport sur une période de 61 ans. Avant de faire l'analyse proprement dite, une revue de la littérature sur la vulnérabilité des territoires a été faite pour élucider les concepts relatifs à cette problématique.

Les résultats révèlent que le changement climatique qui se manifeste souvent sous forme de précipitations extrêmes et exceptionnelles menace de plus en plus la ville de Bujumbura. Ces précipitations extrêmes provoquent des inondations avec des dommages innombrables, particulièrement sur les populations à faibles revenus, et dans les zones à haut risque. Les impacts sont d'autant plus importants dans le contexte d'urbanisation galopante incontrôlée et ce sont les quartiers spontanés qui sont plus touchés par rapport aux autres, aussi bien au sud qu'au nord de la ville.

L'analyse des données pluviométriques a permis de repérer des cas de pluies extrêmes et exceptionnelles, des années sèches et d'autres pluvieuses, des mois secs et d'autres arrosés, des inégalités interannuelles des jours de pluies et autres réalités climatiques. Cette analyse prouve que le changement climatique est une réalité dans la ville de Bujumbura et souligne également la relation entre les pluies extrêmes et les inondations car le constant est que les inondations de grandes ampleurs correspondent aux mois, années et périodes de fortes pluies.

A côté du changement climatique, d'autres facteurs naturels et anthropiques ont été identifiés comme éléments qui aggravent la vulnérabilité de la ville de Bujumbura face aux inondations. Les premiers sont relatifs aux aspects morphologiques et hydrologiques de la zone, à la nature du sol et à la situation de la ville de Bujumbura entre les escarpements de faille de Mirwa à l'Est et le lac Tanganyika à l'ouest. Les facteurs anthropiques sont liés principalement à l'urbanisation anarchique et à l'exploitation irrationnelle des terres dans les Mirwa qui provoquent la dégradation de l'environnement en général et du couvert végétal en particulier amplifiant ainsi le ruissellement et la torrentialité des cours d'eau. A cela s'ajoute le disfonctionnement et la défaillance du réseau d'évacuation des eaux au niveau de la ville.

Ces résultats démontrent donc qu'à travers les précipitations exceptionnelles et extrêmes couplés aux autres facteurs naturels et anthropiques, le changement climatique est responsable

de la vulnérabilité de la ville de Bujumbura face aux inondations. Cette vulnérabilité est élevée car les facteurs qui l'influencent sont cumulés sur un territoire restreint soumis naturellement à ce genre de risque.

C'est à partir de ce constat que nous avons proposé des mesures de prévention et d'adaptation qui pourraient aider à réduire les dégâts liés à ces risques. Ces mesures proposées s'articulent autour de l'aménagement réfléchi et du développement de la culture du risque en passant par la transmission de l'information et l'intégration du risque d'inondation dans tous les nouveaux projets. Si ces mesures étaient bien suivies par les décideurs et les organes compétents, le produit escompté serait la réduction de la vulnérabilité et le renforcement de la résilience face à ces inondations récurrentes.

Au terme de ce travail, il faut rappeler que la mise en place d'une vraie solidarité territoriale entre l'amont et l'aval des cours d'eau et le partenariat public-privé pourraient offrir la possibilité de combiner les ressources et l'expertise et d'agir conjointement pour réduire les risques et les pertes éventuelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ABUTIP (2017). *Etude d'impact environnemental et social des travaux d'assainissement du quartier Carama en zone de Kinama et de protection de la zone d'épuration de Buterere en zone de Buterere dans la commune urbaine de Ntahangwa*, 89p.
2. ALEXIS S., (2009). *Vulnérabilités urbaines au sud*, CYBERGEO, dossiers 2009, Article 456 · 13 mai 2009
3. ANTOINE J.M. et al. (2008). *Les mots des risques naturels*. Presses universitaires du Mirail, 127 p.
4. BAHATI J., 2014, Inondations au nord de Bujumbura : témoignages et reportages *Journal iwacu* (2014) : numéro 263.
5. BAILLY A. (1998) : *Introduction à la géographie humaine*, Paris, A. Colin, coll. U, (7e édition), 208 p
6. BALICA S.F et al. (2009): Flood vulnerability indices at varying spatial scales, *Water Sci Technol* 60 (10): 2571–2580,.https://doi.org/10.2166/wst.2009.183
7. BIRKMANN J.et al (2011), Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework, *Natural Hazards*, vol. 67, no 2, 2011, p.193-211
8. BOTZEN, W.J. (2009), Dependence of flood risk perceptions on socio-economic and objective risk factors, *Water Resources Research*, DOI (link to publisher) 10.1029/2009WR007743
9. BOURRELIER P.H. (dir.) (1997). *La prévention des risques naturels* ; *Rapport d'évaluation*, Paris, La Documentation Française, 702 p.
10. CAMUS C. (1965), Fluctuation du niveau du lac Tanganyika, *Bull.Acad.R.SCi.d'autre-Mer*,4 :1242-1256
11. CANADA-QUEBEC (RAPPORT). *Perception du risque d'inondation dans un contexte de changements climatiques* : *recension systématique des articles scientifiques sur sa mesure (1990-2011)*
12. CARDONA O. D., et al., (2012). *Determinants of risk: exposure and vulnerability, Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), New York, Cambridge University Press, 2012
13. CASTEL. R. (2003), *L'insécurité sociale. Qu'est-ce qu'être protégé ?,* Seuil et La République des Idées, Paris, 2003, 95 p.

14. CROIX ROUGE BURUNDI (2018). *Rapport sur les inondations et ses conséquences de la ville de Bujummbura et ses environs*, Bujumbura, Burundi.
15. CUTTER et al (2003) : « *Social Vulnerability to Environmental Hazards », Social Science Quarterly,* vol. 84, no 2, 2003, p. 242-261, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/ 10.1111/1540-6237.8402002, page consultée le 8 août 2022.
16. CUTTER et al. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters, *Global Environmental Change*, vol. 18, no 4, 2008, p. 598-606.
17. D'Ercole, R. et ali, (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modèles d'analyse*, Revue de Géographie Alpine*, vol. 82, no 4, p. 87-96.
18. DARTAU B., (1999) : *L'étude économique des crues du bassin de l'Orb de décembre 1995 et janvier 1996* », dans HUBERT G., LEDOUX B., *Le coût du risque… L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*, Paris, Presses de l'ENPC, pp. 111-114,
19. DASYLVA J., (2009). *La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain Vulnérabilités urbaines au sud* (CYBERGEO) ,143p.
20. DAUPHINE A. (2001). *Risques et catastrophes, « Observer, spatialiser, comprendre, gérer,* Paris, Armand Colin, 193 p
21. DAUPHINE, A., (2003) : *La théorie de la complexité chez les géographes, Economica*, Paris,188 p
22. De VANSSAY, B. (2001). Risques naturels et relations homme/environnements dans les Caraïbes. *in Centre National de la recherche scientifique*, Vaux-en-Velin (dir.). *Colloque International : risques et territoires* (p. 75-91), CNRS.
23. D'Ercole. R. et METZGER, P. (2009). La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain*', Cybergeo : European Journal of Geography* [en ligne], document 4. Available at: http://www.cybergeo.eu/index22022.html.
24. DOWNING, TE. (2003). Lin king sustainable livelihoods and global climate change 111 vulnerable food systems, *Die Erde*, vol. 133, p. 363-378.
25. FABIANI J.L (éd.), (1987) : *La Société vulnérable. Évaluer et maîtriser les risques*, Paris, Presses de l'École normale supérieure, 688p
26. FANTAMARA (2010) *Développement et analyse des critères de vulnérabilité des dans la zone urbaine ;* presse universitaire de Septentrion no 36 ; 118p

27. FAO. (2000). The challenges of sustainable forestry development in Africa. In *Twenty-first FAO regional conference for Africa*, Yaoundé, Cameroon (21-25 February 2000): *Food* and Agriculture Organization, 16 p.
28. FIELD et al. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Research report, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, Royaume Uni, 2012
29. GALLOPÍN G., (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity, *Global Environmental Change*, vol. 16, no 4, 2006, p.293-303.
30. GIEC (2007). *Changements climatiques 2007. Rapport de synthèse. Bilan 2007des changements climatique* : rapport de synthèse.114 p. [En ligne] http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf (Page consultée le 30 mars 2023)
31. GIEC (2008). *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. p16
32. GIEC (2001). *Bilan 2001 des changements climatiques conséquences, adaptation et vulnérabilité. Résumé à l'intention des décideurs* ; Contribuion du Groupe de travail JI au troisième rapport d'évaluation du GIEC. Coll. «Changement climatique». Cambridge : University Cambridge Press, l0I p.
33. GIEC (2007). *Résumé à l'intention des décideurs. Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat». In Bilan 2007 des changements climatiques*, Parry, M.L., O.F. Canziani, 1.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Cambridge University Press. Cambridge, 25 p.
34. GROTHMANN T, REUSSWIG F (2006). People at risk of flooding. Why some residents take precautionary action while others do not, *Natural Hazards* 38: 101-120
35. HUBERT G., LEDOUX B.,(1999) . *Le coût du risque… L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations,* Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 232 p., 1999
36. ISTEEBU (2017). *Projections démographiques 2010-2050. Niveau national et Provincial. Bujumbura.*

37. ISTEEBU (2020). *Rapport des projections démographiques au niveau communal 2010-2050*. Bujumbura.
38. IYANKUNZE J.C., (2023). *Enjeux, Risques et Vulnérabilité de la zone péri-urbaine de la ville de Bujumbura (Burundi). Exemple de la rive droite du lac Tanganyika*, Mémoire, U.B, FLSH, 115p.
39. KABANYEGEYE, H. et al. (2021). Trente-trois ans de dynamique spatiale de l ' occupation du sol de la ville de Bujumbura, République du Burundi Résumé, *Afrique SCIENCE*, 18 (1), pp. 203–215
40. KASPERSON et al. (2002). *Vulnerability to global environmental change». In The human dimensions of global environmental change*, Thomas Dietz Andreas Diekmann, Carlo C. Jaeger, and Eugene A. Rosa. Cambridge, 194 p
41. KURIYO B. (2023). Lac Tanganyika : Que faire pour endiguer la montée des eaux ? *Burundi Eco* du 24 mai 2023
42. LAGANIER, R. et SCRAWELL, H.J (2004). *Risque d'inondation et aménagement durable des territoires*. Presses Universitaires du Septentrion, 226 p.
43. LEONE, F. (2007). *Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones),* Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Section 23 (Géographie), Université Paul Valéry – Montpellier III, Laboratoire GESTER, Montpellier, 245 p.
44. M Reghezza 2002. *Utiliser la polysémie de la résilience pour comprendre les différentes approches du risque et leur possible articulation*- EchoGéo, 2013 - journals.openedition.org France
45. METZGER (2002). *Modélisation des inondations par approches déterministe et stochastique avec prise en compte des incertitudes topographiques pour la gestion des risques liés aux crues.* Thèse doctorale, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2002.
46. MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT, MINISTERE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (2002) : *Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques inondation. Mesures de prévention*. Paris, France, La documentation française. 2002. 159 p.

47. MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2004). *Nature Centre, Cahier technique « Le risque d'inondation* », octobre 2004
48. MINISTRE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (2010). *Rapport 2010 du délégué aux risques majeurs - Direction générale de la prévention des risques* ; paris-France
49. MOREL V. et al. (2010). *Les risques environnementaux lectures disciplinaires et champs de recherches interdisciplinaires*, Paris (FRA) ; Paris : Lavoisier ; Tec et Doc, 7-30. (Sciences du Risque et du Danger. Série Références) ISBN 978-2-7430-1246-5
50. MORIN, M., (2008) : *Concepts de base en sécurité civile*, 60 p
51. NDAYIRAGIJE, G., (1978). *Problème de croissance urbaine en Afrique Centrale : Un exemple de Bujumbura (Burundi)*, Université de Nice, UER, Lettres et Sciences Humaines : Géographie, Mémoire de Maîtrise, 122p.
52. NINGANZA B., (2018). *Les effets du changement climatique et les moyens d'adaptation dans la ville de Bujumbura*, Bujumbura, Mémoire, U.B, FLSH, 176p
53. NKUNZIMANA A., (2011). *Etude de l'influence climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du Burundi et leur impact sur l'aménagement du territoire/ cas des bassins versants de la Nyabage, de la Mogoyi et de la Mutimbuzi*, Bujumbura, Mémoire, U.B, FLSH
54. NTABONA A., (1997). Au cœur de l'Afrique : Bujumbura, Presse Lavigerie, Tome LXV No 4, Octobre 1997.
55. NZIGIDAHERA B, et al 2011. *Réserve Naturelle du Nord du lac Tanganyika : Etude d'identification* ; Ministere de l'Eau, de l'Environnement, de l'Amenagement du Territoire et de l'Urbanisme, Buruundi
56. NZIGIDAHERA, B. ET NTAKIMAZI G. (1999). *Secteur Delta du Parc National de la Rusizi : Conditions écologiques, flore et faune.* Projet sur la Biodiversité du lac Tanganyika, NDP/GEF-RAF/92/G32, 92 p.
57. OCHA (2021). *Burundi : inondations des zones riveraines du Lac Tanganyika*. Flash Update N°1 du 20 Avril 2021. https://www.unoocha.org/burundi
58. OGOUWALE, E. (2004) : *Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional*. Mémoire de DEA, UAC/EDP/FLASH, 119p.

59. OUEDRAOGO, M., DEMBELE, Y., & SOME, L. (2010. *Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso*. Sécheresse, 12p.
60. PARKER, G., C. M. TORO-ESCOBAR, M. RAMEY, AND S. BECK (2003): *The effect of floodwater extraction on the morphology of mountain streams, J. Hydraul*. Eng., 129, 885 – 895.
61. PIGEON, P., (2005). *Géographie critique des risques*, Économica, collection Anthropos, Paris, 217 p
62. PNPRGC (2014*). Rapport d'évaluation rapide de catastrophe du* 9-10 février 2014, Bujumbura.
63. PRESIDENCE DE LA REPUBLIQUE DU BURUNDI (2011) . *Vision Burundi 2025. Bujumbura, Burundi*.
64. REGHEZZA M., (2006) : *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine : la métropole parisienne face au risque de crue centennale*. Thèse, Géographie, Université de Nanterre 336 p
65. REPUBLIQUE DU BURUNDI (2014). *Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la Ville de Bujumbura à l'horizon 2025*. Rapport 4. SDAU Final. Bujumbura, Goupe Huit/SHER, MTTPE, 248p.
66. REPUBLIQUE DU BURUNDI (MINEEATU) (2011). *Réserve Naturelle du Nord du lac Tanganyika: Etude d'identification* 2011, 94p
67. RHETT B. (2021). *Annual repport* Mongabay Founder and CEO
68. RUIN, I., (2010). *Conduite à contre-courant et crues rapides, le conflit du quotidien et de l'exceptionnel. Ann. Georgr., 674, 419–432, and C. Lutoff, 2004: Vulnérabilité face aux crues rapides et mobilités des populations en temps de crise*. Houille Blanche, 6, 114–119.
69. SCOLOBIG A., DE MARCHI B., BORGA M. (2012). The missing link between flood risk awareness and preparedness. Findings from case studies in an Italian Alpine Region, *Natural Hazards*, 63(2): 499-520. doi: 10.1007/s11069-012-0161-1
70. SINDAYIHEBURA B., (2005). *De l'Imbo au Mirwa ; Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaines et risques naturels dans la région de Bujumbura*, Toulouse le Mirail, U.F.R science espace et sociétés, Thèse de doctorat 336p
71. SINDAYIHEBURA B., (2011). *MSF Belgique. Etude qualitative et quantitative liée à l'inondation en cas de pluie exceptionnelle pour le Ruisseau Nyabagere*. 85p.

72. SUNZU–NTIGAMBIRIZWA, S. (2001)- *Etude de vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques - Secteur de l'énergie*, p39.
73. THIEKEN AH et al. (2007). *Insurability and mitigation of flood losses in private households in Germany. Risk Analysis, 2007*; 26(2):383–395.
74. TORTEROTOT J.-P., (1993). *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*, Thèse ENPC. 263 p.
75. TOYI O., (2012). *Crises de la démocratisation et politiques publiques urbaines de l'habitat dans la ville de Bujumbura de 1962 à 2009*. Thèse, France, 446 P
76. UNDRO, (1979): "*Natural Disasters and Vulnerability Analysis*": Report of Expert Group Meeting.

    vallée de la sirba au Burkina Faso, Thèse, octobre 2010
77. VERLYNDE N. (2019). *De la perception du risque d'inondation aux propositions d'adaptation en territoire de côtes basses densément peuplées : le cas de la communauté urbaine de Dunkerque*, Thèse, Pris 2019
78. WHITE, G. F., (2001). *Papers on Flood Problems*, Research Paper n◦70, University of Chicago, Department of Geography, Chicago.
79. WISNER B. et al. (2004). At *Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*, 2nd ed. Routledge, London, UK, 2004.
80. YVETTE V. et REGHEZZA, MAGALI, (2006). Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité, *Responsabilité & Environnement*, nº 43, 2006, p. 9-14, http://annales.com/re/2006/ re43/Veyret.pdf, (page consultée le 6 juillet 2024).
81. YVETTE V., (2017) *dictionnaire de l'environnement* Sold by Ammareal ; Publisher, Presses Universitaires France; 3rd edition (June 1/2017) ; Language, French ; ISBN-10, 2853192431.

ANNEXES

ANNEXE 1. Donées pluviométriques 1960-2021

		Années						
Mois		**1960**	**1961**	**1962**	**1963**	**1964**	**moyennes**	**Max**
Janvier		57.9	63.6	178.2	77.6	134.1	102,28	178,2
Février		86.4	230.1	47.4	122.5	123.6	122,00	230,1
Mars		75.4	85.3	142.4	139	89.6	106,34	142,4
Avril		168	67.3	103.4	77.3	153	113,86	168,3
Mai		12.9	34.5	189.5	117.1	54.8	81,76	189,5
Juin		1.1	0	25.2	8.4	6.6	8,26	25,2
Juillet		1.2	1.8	0.8	0.3	2.9	1,40	2,9
Août		8.9	0	45.2	1.7	0	11,16	45,2
Septembre		22.9	55.5	31.8	19	36.7	33,18	55,5
Octobre		35.1	114.1	56.5	29.2	81.1	63,20	114,1
Novembre		45.3	187.9	58.6	154.8	58.2	100,96	187,9
Décembre		99.5	453.2	97.5	204	55	181,84	453,2
Totaux		**615**	**1293**	**976.5**	**950.9**	**795.6**		
Moyennes Annuelles		**51,24**	**107.8**	**81.37**	**79.25**	**66.3**		

	Années							
MOIS	**1965**	**1966**	**1967**	**1968**		**1969**	MOYENNE	MAX
Janvier	46.1	49.3	36.6	109.9		181.7	84,72	181,7
Février	86.7	168.1	85.4	130.2		50.2	104,12	168,1
Mars	152	158	73.3	134.7		130.9	129,78	158,0
Avril	134.1	71.8	68.6	169.6		78.2	104,46	169,6
Mai	28	64.8	132.3	67.9		88.5	76,30	132,3
Juin	4.3	0	9.3	0.9		0	2,90	9,3
Juillet	0	0	0.4	0.8		0	0,24	0,8
Août	9.6	11.7	0	0		1.6	4,58	11,7
Septembre	53.5	69.8	47.3	30.3		13.7	42,92	69,8
Octobre	77	106.8	72.6	82.6		94.5	86,70	106,8
Novembre	151.1	146.3	196	145.1		76.3	142,96	196,0
Décembre	92.2	77.8	98.3	98.3		60.6	82,23	98,3
Totaux	**834.6**	**924.4**	**820.1**	**970.3**		**776.2**		
Moyennes Annuelles	**69.55**	**77.03**	**68.34**	**80.85**		**64.68**		

		Années						
MOIS		**1970**	**1971**	**1972**	**1973**	**1974**	MOYENNE	MAX
Janvier		196	249	129.4	137.7	108.5	164,20	249,0
Février		160	46.4	190.7	83.8	82.5	112,62	190,7
Mars		127	107.8	110.1	61.6	110.8	103,50	127,2
Avril		163	160.9	71.2	112.8	140.4	129,74	163,4
Mai		33.3	77	53.1	131.7	50.8	69,18	131,7
Juin		5.9	3.7	45.2	23.2	10.6	17,72	45,2
Juillet		0	9.7	0	0	33	8,54	33,0
Août		13.9	5.7	27.2	0.2	30.3	15,46	30,3
Septembre		23.5	41	28.6	64.3	23.2	36,12	64,3
Octobre		60.2	91.3	79.7	50.3	20	60,30	91,3
Novembre		79.7	80.4	119	58.2	130.2	93,50	130,2
Décembre		92.3	57.7	91.2	32.2	58.3	66,34	92,3
Totaux		**956**	**930.6**	**945.4**	**756**	**798.6**		
Moyennes Annuelles		**79.6**	**77.55**	**78.78**	**63**	**66.55**		

	Années							
MOIS	**1975**	**1976**	**1977**	**1978**		**1979**	MOYENNE	MAX
Janvier	122.2	85.9	103.3	78.2		76.9	93,30	122,2
Février	74.5	80.9	83.3	70.5		142.7	90,38	142,7
Mars	132.1	63.9	79.5	213.9		109.4	119,76	213,9
Avril	61.2	79.3	174.9	146.5		212.4	134,86	212,4
Mai	10.5	88.3	32.3	22.4		97.8	50,26	97,8
Juin	10.1	5	1	10		8.6	6,94	10,1
Juillet	15.9	1.1	0	0		0.4	3,48	15,9
Août	0	20.8	44.8	26.8		3.1	19,10	44,8
Septembre	52.8	56.1	45.6	17.3		3.1	34,98	56,1
Octobre	43.6	60.7	14.3	27.9		49.4	39,18	60,7
Novembre	40.5	51.7	142.6	62.2		201.1	99,62	201,1
Décembre	100.7	110.9	93.7	99.9		47.5	90,54	110,9
Totaux	**664.1**	**704.6**	**815.3**	**775.6**		**952.4**		
Moyennes Annuelles	**55.34**	**58.71**	**67.94**	**64.63**		**79.36**		

		Années						
MOIS		**1980**	**1981**	**1982**	**1983**	**1984**	MOYENNE	MAX
Janvier		113.5	73.5	40	78.4	157.8	92,64	157,8
Février		25.2	95.1	67.7	72.5	78.8	67,86	95,1
Mars		70.2	92.9	76.7	147	108.5	99,06	147,0
Avril		84.6	64.1	148.1	157	104.2	111,60	157,0
Mai		105	48.9	75.2	16.8	37.1	56,60	105,0
Juin		2.2	0	9.1	2.1	0	2,68	9,1
Juillet		0	0.3	0	0	6.5	1,36	6,5
Août		0	62	1.4	19.1	1.3	16,76	62,0
Septembre		60.2	35.1	18.1	53.3	9	35,14	60,2
Octobre		54.1	50.1	74.3	78.1	58.5	63,02	78,1
Novembre		115.7	62.1	117.9	53.4	109	91,62	117,9
Décembre		231.5	117.4	162.9	71.1	165.3	149,64	231,5
Totaux		**862.2**	**701.5**	**791.4**	**748.8**	**836**		
moyennes annuelles		**71.85**	**58.46**	**65.95**	**62.4**	**69.666667**		

	Années							
MOIS	**1985**	**1986**	**1987**	**1988**		**1989**	MOYENNE	MAX
Janvier	74.1	119.8	96.5	134.2		147.8	114,48	147,8
Février	119.7	90.9	84.6	44.8		151.5	98,30	151,5
Mars	163	139.3	81.4	89.1		162.3	127,02	163,0
Avril	104.7	231.3	110.3	122.6		130.3	139,84	231,3
Mai	45.9	27.4	100.5	8.1		147.2	65,82	147,2
Juin	3.9	35	0.3	0		10.8	10,00	35,0
Juillet	0	0	0.2	0.1		6.7	1,40	6,7
Août	0	0.4	0	67.4		13.6	16,28	67,4
Septembre	41.4	38.4	106.1	31.1		23.3	48,06	106,1
Octobre	9.8	92.3	34.6	96.2		96.9	65,96	96,9
Novembre	136.5	112.8	123.4	139.9		48.9	112,30	139,9
Décembre	70.5	119.6	22.5	148.7		169.5	106,16	169,5
Totaux	**769.5**	**1007.2**	**760.4**	**882.2**		**1108.8**		
moyennes annuelles	**63.12**	**83.93**	**63.36**	**73.51**		**92.4**		

		Années						
MOIS		**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	MOYENNE	MAX
Janvier		68.6	45.6	64.8	83.2	156.8	83,80	156,8
Février		167	128	85.9	134.3	11.5	105,34	167,0
Mars		74.7	131.7	96.5	116.1	59.2	95,64	131,7
Avril		119	93.9	52.4	64.5	109.1	87,82	119,2
Mai		70.9	71.6	108.8	59	35.8	69,22	108,8
Juin		0	5.5	7.7	0.5	0.6	2,86	7,7
Juillet		0	8	0	0	0	1,60	8,0
Août		0.4	3.6	0	0	1	1,00	3,6
Septembre		48.1	13.5	15.7	1.2	5.7	16,84	48,1
Octobre		92	110.7	33	28.7	64.6	65,80	110,7
Novembre		56.9	79.8	84.8	71.1	100.4	78,60	100,4
Décembre		42.5	111	68.2	56.7	104.4	76,56	111,0
Totaux		**740**	**802.9**	**617.8**	**615.3**	**649.1**		
Moyennes Annuelles		**61.7**	**66.91**	**51.483**	**51.275**	**54.09167**		

	Années							
MOIS	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**		**1999**	MOYENNE	MAX
Janvier	29.4	150.7	19.4	105.7		65.8	74,20	150,7
Février	139.9	42.8	18.6	114.9		13.9	66,02	139,9
Mars	20.2	178.5	0	217.4		147.1	112,64	217,4
Avril	104.8	81.3	90.5	78.8		92.5	89,58	104,8
Mai	51.4	7.6	31.6	93.6		25.3	41,90	93,6
Juin	9.7	20.4	0	19.9		0.3	10,06	20,4
Juillet	0	0	0	3.8		4.5	1,66	4,5
Août	0	1.2	0	2		30.3	6,70	30,3
Septembre	6.8	39.1	9.4	97.3		60.1	42,54	97,3
Octobre	66.5	105	91.8	41.1		48.2	70,52	105,0
Novembre	55.4	51.6	10.8	31.2		128.3	55,46	128,3
Décembre	0	77	60	77.8		159.6	78,60	159,6
Totaux	**484.1**	**755.2**	**332.1**	**883.5**		**775.9**		
Moyennes Annuelles	**40.3417**	**62.9333**	**27.675**	**73.625**		**64.65833**		

		Années						
MOIS		**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	MOYENNE	MAX
Janvier		103	113.1	135.4	46.5	103.2	100,26	135,4
Février		37	77.21	122.1	60.9	23.1	64,06	122,1
Mars		149	99.9	124.4	100.8	162.8	127,46	162,8
Avril		42.1	97.9	79.5	68.1	93.5	76,22	97,9
Mai		0	9.3	34	25	0.7	13,80	34
Juin		0	49.8	0	1.9	0	10,34	49,8
Juillet		0	7.6	0	0.5	1.5	1,92	7,6
Août		0	0	0	2.5	1.7	0,84	2,5
Septembre		2.5	62.3	4.8	54.6	73.7	39,58	73,7
Octobre		40.2	67.6	74.9	78.35	37.1	59,63	78,35
Novembre		204	82.9	57.1	68	45.44	91,45	203,8
Décembre		151	74.6	133.3	38.3	214.7	122,32	214,7
Totaux		**729**	**742.2**	**765.5**	**545.45**	**757.44**		
Moyennes Annuelles		**60.7**	**61.85**	**63.792**	**45.454**	**63.12**		

	Années							
MOIS	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**Totaux**	**moyennes**
Janvier	195.2	87	142.7	99	125.5	210.4	**859.8**	**143.3**
Février	61	121	81.7	166.7	148.8	123.9	**703.1**	**117.1833**
Mars	145.9	111.1	86.5	71.4	184.8	155.8	**755.5**	**125.9167**
Avril	70.2	111.2	149.9	69.2	133.3	63.3	**597.1**	**99.51667**
Mai	130.6	88.9	22.2	23.2	86.8	33.8	**385.5**	**64.25**
Juin	1,1	2.5	10.7	89.2	1.6	4.4	**108.4**	**18.06667**
Juillet	0	0.9	52.3	15.1	0	0	**68.3**	**11.38333**
Août	4.8	38.1	6.9	3.6	3.5		**56.9**	**9.483333**
Septembre	4.2	32.3	29.9	31.9	5	9	**112.3**	**18.71667**
Octobre	33.5	63	112.8	69.7	67.6	11	**357.6**	**59.6**
Novembre	116.1	157.1	63.4	65.1	249	16	**666.7**	**111.1167**
Décembre	55	214.8	94.6	37	225.8	15	**642.2**	**107.0333**
Totaux	**816.5**	**1027.9**	**853.6**	**741.1**	**1231.7**	**642.6**		
Moyennes Annuelles	**68.0417**	**85.6583**	**71.1333**	**61.7583**	**102.642**	**53.55**		

		Années						
MOIS		**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**Totaux**	**Moyennes**
Janvier		75.6	68.4	91.6	113.1	76.2	**424.9**	**84.98**
Février		88.4	96.2	66	160.4	136.4	**547.4**	**109.48**
Mars		173	43.6	85.9	80.6	54.7	**438.1**	**87.62**
Avril		117	104.1	113.4	55.6	100.4	**490.4**	**98.08**
Mai		64.3	54.4	37.8	5.7	43	**205.2**	**41.04**
Juin		33.3	46.8	0	18.5	2.9	**101.5**	**20.3**
Juillet		23.6	0	0	0	0	**23.6**	**4.72**
Août		4.6	29.5	13.5	22.5	6.4	**76.5**	**15.3**
Septembre		86.1	33.62	79.4		23.1	**222.22**	**44.444**
Octobre		67.5	172.7	12.4	76.4	118.9	**447.9**	**89.58**
Novembre		109	56.7	59.5	45.2	97.5	**367.8**	**73.56**
Décembre		195	246	123.2	196.3	118.6	**878.9**	**175.78**
Totaux		**1037**	**952**	**682.7**	**774.3**	**778.1**		
Moyennes Annuelles		**86.4**	**79.34**	**56.892**	**64.525**	**64.84167**		

	Années					
MOIS	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**Totaux**	**Moy**
Janvier	113.7	37.7	85.7	91	**328.1**	**82.025**
Février	110.5	123.1	120.6	108.3	**462.5**	**115.625**
Mars	31.4	119.9	126.7	100.2	**378.2**	**94.55**
Avril	78.8	53.9	239	108.3	**480**	**120**
Mai	27.5	34.4	91.2	38.5	**191.6**	**47.9**
Juin	0	0	3	9.9	**12.9**	**3.225**
Juillet	0	0	21.6	5.1	**26.7**	**6.675**
Août	0	21	16.8	6.2	**44**	**11**
Septembre	22.4	25.4	4.3	54.8	**106.9**	**26.725**
Octobre	4.6	28.1	42.1	133.5	**208.3**	**52.075**
Novembre	53.6	126.9	112.4	124.2	**417.1**	**104.275**
Décembre	22.9	50.4	100	177.9	**351.2**	**87.8**
Totaux	**465.4**	**620.8**	**963.4**	**957.9**		
Moyennes Annuelles	**38.7833**	**51.7333**	**80.2833**	**79.825**		

		Années				
MOIS	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**
Janvier	119.7	130	97.8			
Février	103.2	69.8	151.1			
Mars	96.3	127				
Avril	132.3	76.6				
Mai	13.3	43.9				
Juin	14	39.6				
Juillet	0	0				
Août	22.1	25.6				
Septembre	39.9	42.9				
Octobre	21.7	121				
Novembre	155.5	113				
Décembre	192.3	61.1				
Totaux	**910.3**	**849**	248.9			
Moyennes Annuelles	**75.8583333**	**70.8**	**20.74**	**0**	**0**	**0**

Annexe 2 : Jours de pluies annuelles de 1960 à 2010 à Bujumbura (station aéroport de Bujumbura)

ANNEE	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	TOTAL ANNUEL
1960	15	15	22	19	3	1	1	3	6	9	18	13	125
1961	10	19	16	18	8	0	1	0	12	20	29	20	153
1962	23	14	21	21	12	5	1	8	4	10	16	15	150
1963	23	14	24	22	23	4	1	3	6	15	23	22	180
1964	19	19	16	29	8	3	3	0	4	13	20	20	154
1965	13	16	24	24	13	3	0	2	12	15	24	21	167
1966	18	18	21	21	5	0	0	5	14	17	18	17	154
1967	13	14	19	19	15	5	2	0	15	18	23	21	164
1968	18	16	21	20	14	2	1	0	7	13	22	22	156
1969	14	17	21	19	12	0	0	2	5	23	23	13	149
1970	20	18	20	21	11	3	0	2	5	8	19	21	148
1971	17	14	15	27	15	4	5	2	11	17	21	20	168
1972	24	17	22	17	11	5	0	5	8	19	22	18	168
1973	21	18	18	19	14	2	0	1	10	16	21	15	155
1974	20	14	17	23	17	8	5	3	9	13	19	17	165
1975	20	16	16	22	7	2	1	0	14	19	20	19	156
1976	10	17	14	17	10	4	1	4	14	11	20	20	142
1977	21	16	22	21	8	1	0	9	11	10	27	16	162
1978	13	11	18	17	5	2	0	3	5	10	20	18	122
1979	15	14	16	21	12	2	1	3	3	14	20	18	139
1980	12	13	18	20	13	1	0	0	7	15	21	26	146
1981	17	10	22	17	12	0	1	8	8	16	9	25	145
1982	13	15	12	19	16	1	0	2	6	25	24	20	153
1983	14	7	20	19	10	2	0	3	8	21	17	21	142
1984	18	16	24	17	6	0	2	2	6	15	25	20	151
1985	18	18	14	25	11	2	0	0	12	7	18	20	145
1986	14	15	18	21	8	5	0	1	8	15	27	17	149
1987	17	12	20	22	17	1	1	0	15	18	19	8	150
1988	22	17	17	22	7	0	1	7	9	16	20	23	161
1989	24	15	23	18	16	3	2	2	7	18	15	23	166
NORMALE (moyenne sur 30 ans	**17**	**15**	**19**	**21**	**11**	**2**	**1**	**3**	**9**	**15**	**21**	**19**	**153**
1990	15	15	19	16	9	0	0	1	14	17	21	20	147
1991	15	19	18	21	15	2	1	1	7	28	19	17	163
1992	13	14	18	18	14	3	0	0	7	18	20	17	142
1993	17	13	18	14	12	1	0	0	2	7	16	18	118
1994	20	7	18	19	12	1	0	3	1	25	21	19	146

1995	8	11	6	16	8	5	0	0	1	18	14	0	87
1996	10	10	22	12	5	4	0	1	11	15	19	13	122
1997	12	9	0	16	10	0	0	0	2	14	4		67
1998	14	11	23	11	8	1	1	1	6	7	7	15	105
1999	16	6	21	13	5	1	1	10	8	8	19	15	123
2000	14	16	17	14	0	0	0	0	3	8	17	23	112
2001	20	10	21	11	3	1	2	0	11	14	14	11	118
2002	18	12	19	20	7	0	0	0	4	16	15	15	126
2003	9	11	14	14	6	2	1	1	10	11	17	13	109
2004	13	10	11	16	1	0	1	2	7	14	16	19	110
2005	17	7	11	7	7	3	0	3	5	10	20	12	102
2006	16	11	12	20	15	3	1	4	6	11	20	17	136
2007	19	11	14	18	7	5	2	4	6	18	18	14	136
2008	17	15	19	15	6	3	5	3	6	8	17	15	129
2010	18	16	16	15	9	2	0		9	11	16	15	127
Moyenne sur 20 ans	**15**	**12**	**16**	**15**	**8**	**2**	**1**	**2**	**6**	**14**	**17**	**15**	**120**
Moyenne sur 50 ans	**16**	**14**	**18**	**19**	**10**	**2**	**1**	**2**	**8**	**15**	**19**	**18**	**140**
MAX	24	19	24	29	23	8	5	10	15	28	29	26	
MIN	8	6	0	7	0	0	0	0	1	7	4	0	