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

Les effets du changement climatique et les moyens d' adaptation dans la ville de Bujumbura

NINGANZA, Bède; Sous la direction de : Dr. Ir. Bernard Sindayihebura

2018-05
UB, FLSH
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/46

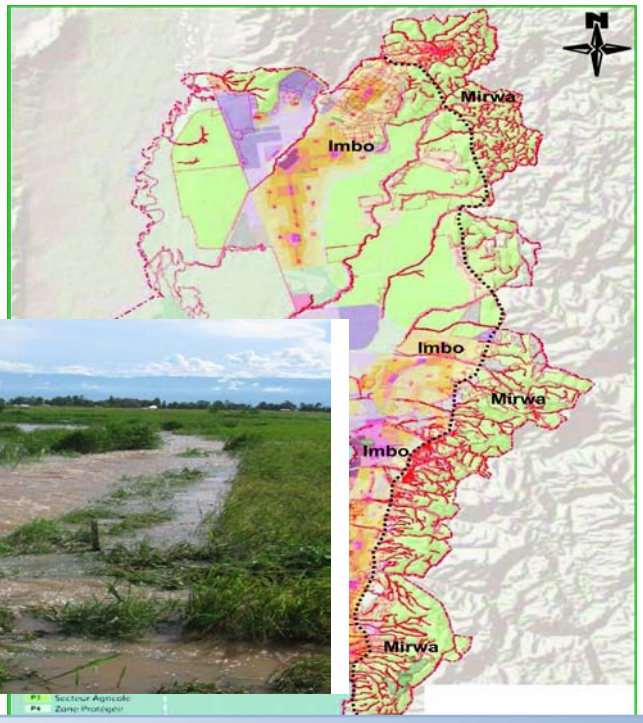
Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE





Les effets du changement climatique et les moyens d'adaptation dans la ville de Bujumbura

Par

Bède NINGANZA

<u>Sous la direction de</u>:

Dr. Ir. Bernard SINDAYIHEBURA

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du diplôme de Licence **en Géographie**

<u>Option:</u> Aménagement du territoire

Bujumbura, Mai 2018

DEDICACE

A mes très chers parents,

A vous mes très frères et sœurs ;

A ma très chère épouse Mme NIZONKIZA Jeanine ;

A mes deux fils, IRIMPUHWE Anchee Hygin Bède et IRUTINGABO Oene Barthil ;

A tous ceux qui me sont chers et qui me font une généreuse confiance ;

Je dédie ce mémoire

REMERECIEMENTS

La réalisation du présent travail résulte de contributions de nombreuses personnes tant physiques que morales qui se sont investies dans le but de pouvoir mener à bien son aboutissement. La reconnaissance en leurs actions louables s'avère ici pour notre personne plus qu'une nécessité.

Nous pensons tout premièrement au Docteur Ingénieur Bernard SINDAYIHEBURA, directeur de ce mémoire. Nous avons été marqués par la pertinence de ses conseils méthodologiques et surtout par sa rigueur scientifique. Malgré nos nombreuses intrusions dans son bureau, il est resté imperturbable et toujours disponible. Nous lui demandons pardons pour tous ces désagréments et lui disons merci de tout cœur pour les peines qu'il s'est données dans le seul souci de notre perfection.

Nous adressons nos sentiments de gratitude à tous les professeurs de l'Université du Burundi et très spécialement à ceux de Département de Géographie pour la formation solide à caractère pluridisciplinaire dont nous avons bénéficié. Nous serons toujours reconnaissant de ce service combien satisfaisant.

Que mon grand frère Père Fidèle INGIYIMBERE et la famille MBONABUCA Terence, pour le rôle qu'ils ont joué dans le processus de cette formation et même avant, qu'ils trouvent dans ce travail le couronnement de leurs efforts.

Nos chers parents, il serait anormal dans ce cadre d'exposer tous les peines et sacrifices encourus depuis notre naissance jusqu'à ce jour dans le seul souci de nous voir émergé. Que notre satisfaction à tous ces égards soit pour vous une fierté sans égale. Nous promettons la reconnaissance permanente de tous ces gestes tout au long de notre vie et de notre descendance. Telle est la façon d'exprimer notre profonde gratitude à votre générosité et, que Dieu vous bénisse.

Nous ne manquerons pas de témoigner notre grande joie à l'endroit de tous nos camarades de classe, et à ceux qui, de près ou de loin, moralement ou matériellement, ont contribué à la réalisation de ce travail, c'est ici le moment de leur exprimer nos sentiments de gratitude.

Bède NINGANZA

SIGLES ET ABBREVIATIONS

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

BAD : Banque Africaine de Développement

BRARUDI : Basserie du Burundi

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

CH_4 : le méthane,

CO : Monoxyde de carbone

CO_2 : le dioxyde de carbone

COMIFAC : Commission des forêts d'Afrique centrale

COV : Composés organiques volatiles

COVNM : Composés Organiques Volatils Non Méthaniques

CSLP II : Cadre Stratégique de Croissance et de Lutte contre la Pauvreté 2

D.P.S.P : Direction provinciale de la santé publique

EIE : Etude d'Impact Environnemental

FAO : Food and Agriculture Organization

GES : Gaz à effet de serre

Gg : Gigagramme

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

GSEAE : Groupe Sectoriel Eau, Assainissement et Environnement

GVdB : Grande Ville de Bujumbura

H_2O : Vapeur d'eau

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

MSF : Médecins sans Frontières

N_2O : Protoxyde d'azote

NO : 0xydes d'azote

O_3 : l'ozone

OBPE : Office Burundais pour la protection de l'environnement

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAGIRE : Plan d'Action de Gestion Intégrée des Ressources en Eau

PANA : Plan d'Action Nationale d'Adaptation

PAN-LCD : Plan d'Action Nationale de Lutte contre la Désertification

PME : Petits et Moyens Entreprise

PNE-Bu : Partenariat National de l'Eau-Burundi

PNIA : Programme National d'Investissement Agricole

PNUE : Programme des Nations Unis pour l'Environnement

Ppm : Parties par Million

PURI : Projet d'Urgence pour la Résilience des Infrastructures

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

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

RN : Route Nationale

ROBUCO : Road Building Company

SBSTA : Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice

SDAU : Schéma Directeur d'Aménagement Urbain

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Débordement de la rivière Gasenyi, le 13 avril 2018 à CARAMA zone KINAMA.....10
Photo 2 : Glissement et effondrement des berges de Ntahangwa (1) et Gasenyi (2).....37
Photo 3 : Approfondissement du ravin de Kamesa.....38
Photo 4 : Effondrement de la rive gauche sur la rivière Ntahangwa à Kigobe sur l'avenue Mukarakara.....38
Photo 5: Exploitation de la rivière kanyosha.....46
Photo 6 : Site de dépôt des déchets à Kizingwe à Kanyosha.....49
Photo 7 : Hauteur de la boue dans la salle d'hospitalisation et sur la clôture.....78
Photo 8 : Dégradation des versants avec naissances des ravins.....82
Photo 9: Ruissellement en nappe accompagné de boues et pierres à Gatunguru.....83
Photo 10: Maison et les arbres menacés sur la Nyabage.....85
Photo11 : Eboulement des talus de déblais au niveau de l'accotement (Muberure) (1) Effondrement côté remblai (Muberure) (2).....87
Photo 12 : Destruction des infrastructures scolaires (écoles Gasenyi III (à Gauche) et Kamenge II) 87
Photo 13 : Captage raviné de la source de Gatunguru et bâtiment de l'aérateur en cascades endommagé à gauche et le canal d'amenée d'eau brute affaissé sur la rive gauche de la rivière Ntahangwa à droite.....88
Photo14: Destruction des réseaux de distribution d'eau.....89
Photo 15: Destruction de réseau de distribution d'eau (Kamenge).....89
Photo 16 : La rizière dévastée par la pluie extrême du 9-10 février 2014.....91
Photo 17: Perte de vie humaine suite aux pluies diluvienne du 9-10 février 2014.....92
Photo 18 : Route coupée sur la jonction Mukuyangoma- Muka en 2015.....93
Photo 19: Les bâtiments à très haut risque d'inondation sur l'avenue Kibonobono et le sable et le gravier charriés par la rivière Gasenyi dans Carama rural suite au débordement de la rivière Gasenyi.....94
Photo 20 : Dépôts des déchets charriés par l'exutoire Kinyankonge près de la rivière Kinyankonge 95
Photo 21 : Inondation de l'avenue Kibonobono en date du 13 avril 2018.....96
Photo 22 : Des maisons inondées avec des voitures coincées dans les coulées boueuses sur les avenues Kinyami et Kibonobono.....96

Photo 23: Les tombes inondées à Mpanda suite au débordement de la rivière Kajeke.....97
Photo 24 : Les tombes effondrées à Mpanda.....97
Photo 25 : Formation d'un ravin très profond près du Lycée la Convivialité de Kanyosha.....100
Photo 26: Stagnation des eaux dans les chaussées vers l'aéroport de Bujumbura et paralysie de la circulation suite à l'inondation.....100
Photo 27 : Barrage et ouvrage de prise et canal tête morte.....101
Photo 28 : Zone de la rupture de la digue située à 486.5mètres du pont Mutimbuzi.....103
Photo 29 : Ensablement de la Muzazi au niveau de l'ancienne prise.....103
Photo 30: Matériaux de construction extraits de la Muzazi.....104
Photo 31 : Travaux de curage sur la rivière Mutimbuzi (guche), champ dévasté (droite) et l'aéroport menacé(en bas) après la rupture de la digue sur la rive droite.....105
Photo 32: Hauteur de submersion à l'Est de la RN5 au niveau la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere.....107
Photo 33 : Camions appartenant à l'entreprise de construction Kaze coincés dans l'eau.....107
Photo 34: Usine fabriquant les tanks et les tuyaux PVC située sur la RN5 près de la rivière Mutimbuzi (Gauche) et la piste située à l'Ouest de la RN5 en bas de l'usine pharmaceutique SIPHAR menant vers Sabe transformée en torrent (Droite).....108
Photo 35 : Trace de remontée capillaire dans l'enduit d'un mur partiellement immergé Kiyange et le tronçon de la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere impraticable.…109
Photo 36 : Des maisons (en adobes) totalement effondrées situées près des rizières de Kiyange et des maisons en matériaux en dur du quartier miroir situées à l'Est de la RN5 sous l'eau. 110
Photo 37 : Eboulements actifs sur Gasenyi (gauche) et Nyabage (milieu et droite).....113

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Limites de la ville de Bujumbura.....4

Figure 2 : Répartition de la population dans de Bujumbura mairie en 2008.....18

Figure 3 : Localisations des quartiers spontanés.....22

Figure 4 : Dynamique de l'occupation du sol de Bujumbura de 1907 à 1983.....23

Figure 5 : Urbanisation de Bujumbura en 1983.....25

Figure 6 : Urbanisation et tendance de l'urbanisation de la ville de Bujumbura avec les zones à risque d'érosion en amont.....27

Figure 7 : Profil en long géologie, pédologie, risques et aléas : Exemple de la rivière Nyabage (profil illustratif).....36

Figure 8 : Profil en long du Mirwa vers l'Imbo (vue d'ensemble).....42

Figure 9 : La part de CO2, CH4 et N2O dans l'ensemble des gaz à effet de serre (en pourcentage). 53

Figure 10 : Représentation schématique de l'effet de serre.....54

Figure 11 : Fréquences des pluies journalières ≥ à 60 mm de 1960 à 2010.....59

Figure 12: Fréquence des pluies exceptionnelles et extrêmes de 1960 à 2010.....60

Figure 13 : Fréquences mensuelles ≥ 100 mm de 1960 à 2010.....63

Figure 14: Diagramme ombrothermique en 2000.....70

Figure 15 : Niveau du lac de retenu de RWEGURA (relevés du premier jour de chaque mois).....71

Figure 16 : Bassin versant et sous bassin versant des collecteurs à construire entre Carama viabilisé et non viabilisé.....98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Températures dans l'aire métropolitaine de Bujumbura: Station Bujumbura aéroport et celle de Bujumbura Ville.....7
Tableau 2 : Synthèse des données numériques de la climatologie.....7
Tableau 3 : Migration dans la ville de Bujumbura de 1947 à 1957.....14
Tableau 4 : Migration par âge et sexe dans la ville de Bujumbura de 1998 à 2002.....15
Tableau 5 : Liste la part des étrangers selon la nationalité et le sexe en 1990 à Bujumbura.....16
Tableau 6 : Répartition de la population dans la ville de Bujumbura en 2008.....17
Tableau 7 : Evolution de la population de Bujumbura de 1979 à 2008.....19
Tableau 8 : Accroissement entre 1990 et 2008 et densités en 1990 et en 2008.....20
Tableau 9 : Surfaces inondées des années 1964 selon la hauteur de submersion pour la partie comprise entre la Muha et la Kanyosha.....40
Tableau 10 : Répartition de l'occupation du sol entre les principaux usages.....47
Tableau 11 : Répartition spatiale des types d'habitat.....48
Tableau 12 : Fréquences journalière des pluies de 1960 à 2010.....58
Tableau 13 : Moyenne, maximum et minimum des précipitations de 1960 à 2010.....62
Tableau 14 : Décalage des moyennes mensuelles par rapport à la « Normale ».....65
Tableau 15: Variation de la température par tranche.....75
Tableau 16 : Les dommages causés dans la commune de Buterere.....99
Tableau 17 : Classe de gravité d'accident de Kiyange.....111
Tableau 18 : Les quartiers qui sont plus menacés par l'inondation.....112

RESUME

Les facteurs locaux dans la ville de Bujumbura (les vents, la pression atmosphérique, l'insolation, l'humidité relative) interfèrent avec la circulation atmosphérique et génèrent ainsi le climat local que bénéficie la zone d'étude. Cette dernière est une zone soumise à une forte érosion et aux glissements de terrain en amont dans les Mirwa et des inondations récurrentes en aval dans l'Imbo.

L'analyse des données des stations météorologiques de Buhonga et de l'aéroport de Bujumbura, prouvent qu'au cours des cinquante dernières années, cette zone a enregistré des pluies extrêmes, des pluies intenses supérieures à la moyenne et des variations des températures importantes.

La répartition inégale des précipitations dans le temps, l'apparition des pluies exceptionnelles, la disparité des moyennes mensuelles par rapport à la normale, la diminution des jours de pluies depuis 1990**,** la variation de la température journalière montre clairement la présence des changements climatiques dans la zone d'intérêt.
En cas de fortes averses, des dégâts matériels ainsi que des pertes en vies humaines sont enregistrés à un nombre important dans la zone des terres basses et surtout dans les quartiers pauvres. De surcroît, le changement climatique augmente la vulnérabilité aux maladies infectieuses comme le choléra, et aux autres maladies comme le paludisme. Les femmes, les enfants et les vieillards sont plus vulnérables. Le ruissellement pluvial urbain (les crues rapides des bassins périurbains), l'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings,...) limitent l'infiltration des pluies et accentuent le ruissellement ; ce qui occasionne souvent la saturation, le refoulement ou le débordement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. Dans ce cas, les axes de circulation deviennent de plus en plus impraticables.

Ces changements du climat ont et auront davantage d'incidences sur la vie des êtres humains, sur les écosystèmes terrestres et marins et sur l'économie du pays en général et sur la ville de Bujumbura en particulier.

Il est également souhaitable que la mise en œuvre des mesures d'adaptation soit coordonnée dans le cadre d'un véritable plan national d'adaptation, qui permettra de décider des niveaux adéquats pour la conduite des activités, tout en assurant un échange de savoir-faire et d'informations. Enfin, l'adaptation aux changements climatiques sera d'autant plus efficace que la stratégie nationale d'adaptation sera intégrée dans le programme stratégique de lutte contre la pauvreté, dans les plans de développement agricole et d'élevage et surtout dans la mise en œuvre des programmes des schémas d'aménagement et d'urbanisme.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....**i**

REMERECIEMENTS.....**ii**

SIGLES ET ABBREVIATIONS.....**iii**

LISTE DES PHOTOS.....**v**

LISTE DES FIGURES.....**vii**

LISTE DES TABLEAUX.....**viii**

RESUME.....**ix**

TABLE DES MATIERES.....**x**

INTRODUCTION GENERALE.....**1**

0.1. Problématique.....1

0.2. Hypothèse de travail.....2

0.3. Méthodologie de la recherche.....3

0.4. Localisation.....3

CHAPITRE I : ASPECTS PHYSIQUES, HUMAINS ET SOCIO-ECONOMIQUES.....**5**

I.1. Aspects physiques.....5

I.1.1. Aspects topographique.....5

I.1.2. Aspect géologique.....5

I.1.3. Les données climatiques et hydrographiques.....6

I.1.3.1. Le Climat.....6

I.1.3.2. Hydrographique.....9

I.1.4. La situation pédologique et la végétation.....11

I.1.4.1. Situation pédologique.....11

I.1.4.2. La végétation.....11

I.2. Aspects démographiques.....12

I.2.1. Historique du peuplement.....12

I.2.2. Les migrations dans la ville de Bujumbura.....14

I.2.3. Structure et évolution de la population.....16

I.2.4. Dynamique de l'occupation du sol.....21

I.3. Les infrastructures socio-économiques et équipements.....28

CHAPITRE II : CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL, TYPOLOGIE DES EVENEMENTS ET LES FACTEURS QUI AMPLIFIENT LA VULNERABILITE DE L'AIRE METROPOLITAINE DE BUJUMBURA.....30

II.1. Définitions…….30

II.1.1. Vulnérabilité.....30

II.1.2. Catastrophe naturelle.....30

II.1.3. Le concept du changement climatique.....31

II.1.4. Adaptation au changement climatique.....31

II.1.5. Inondation.....32

II.1.6. Les mouvement de terrain.....32

II.2. Historique du milieu : Typologie des événements déjà produit à Bujumbura.....33

II.2.1. Les inondations.....33

II.2.1.1. La vulnérabilité des populations de la ville de Bujumbura face aux risques d'inondation.....34

II.2.2. Les glissements de terrains.....35

II.2.3. L'Erosion hydrique.....38

II.2.4. Variation du niveau du lac Tanganyika.....39

II.2.4.1. Les conséquences de ces variations du niveau du lac.....40

II.3. Les facteurs qui amplifient la vulnérabilité de la région de Bujumbura.....41

II.3.1. Les facteurs naturels.....41

II.3.1.1. Les facteurs météorologiques.....41

II.3.1.2. La topographie et la pente.....42

II.3.1.3. La profondeur, type et état du sol.....44

II.3.1.4. Le couvert végétal.....44

II.3.2. Les facteurs anthropiques.....45

II.3.2.1. Déboisement.....45

II.3.2.2. Extraction des matériaux de construction.....46

II.3.2.3. Occupation du sol.....47

CHAPITRE III : LE CHANGEMENT CLIMATIQUE AU BURUNDI EN GENERAL ET A BUJUMBURA EN PARTICULIER.....51

III.1. Généralités.....51

III.1.1. Le mécanisme climatique.....51

III.1.2. Cause de l'évolution climatique.....52

III.1.3. Le Burundi et les gaz à effet de serre.....54

III.2. Le changement climatique au Burundi.....54

III.3. Etude du changement climatique à Bujumbura.....57

III.3.1. Analyse des données journalières de la station Bujumbura-Aéroport de 1960 à 2010. 57

III.3.1.1. La répartition inégale des précipitations dans le temps.....57

III.3.1.2. L'apparition des pluies exceptionnelles : indicateurs des changements climatiques. 58

III.3.2. Analyse des moyennes et des extrêmes (maxima et minima)......61

III.3.2.1 Analyse des précipitations mensuelles ≥ à 100 mm......62

III.3.2.2. Disparité des moyennes mensuelles par rapport à la « Normale ».....64

III.4. Analyse des données journalières de la station Buhonga de 1963 à 2002......65

III.5. Evènements climatiques extrêmes : le phénomène des inondations.....68

III.6. Les années sèches successives et le mois secs, preuve des changements climatiques.....69

III.7. La diminution des jours de pluies depuis 1990 preuve des changements climatique.....73

III.8. Variabilité de la température : Signe avant-coureur des changements climatiques.....74

III.8.1. La variation journalière des températures.....74

CHAPITRE IV : VULNERABILITE SOCIETALE ET TERRITORIALE AUX INONDATIONS DE L'AIRE METROPOLITAINE DE BUJUMBURA DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....77

IV.1. Premier cas : Au Centre Gynéco-Obstétricale de Kabezi.....78

IV.1.1. Caractérisation des pertes et dégâts.....79

IV.1.2. Le bilan humain.....79

IV.1.3.Les équipements.....79

IV.1.4. Les activités agricoles.....80

IV.1.5. Autres dégâts.....80

IV.1.6. Le coût et les travaux d'urgence effectués.....80

IV.2. Deuxième cas : Au Nord de la ville de Bujumbura : Carama-Gatunguru.....81

IV.3. Caractérisation des impacts.....83

IV.3.1. Impacts biophysiques.....83

IV.3.2. Modification de l'aspect physique.....84

IV.3.3. Impacts des eaux de submersion sur le milieu naturel.....85

IV.3.4. Impacts sur les infrastructures socio-économiques.....86

IV.3.5. Impacts sur la vie humaine.....91

IV.4. Cas des inondations de 2009 et 2011 : aperçu d'ensemble......98

IV.5. Cas particulier : inondation à Kiyange en zone Buterere le 28 avril 2018.....101

IV.5.1. Les conséquences des dommages.....106

IV5.2. Caractérisation de l'événement.....110

IV.6. Etude analytique.....112

IV.6.1. Les pluies des mois d'avril de 1960-2010 et celles d'avril 2018.....114

CHAPITRE V : LES MESURES D'ADAPTATION AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUES.....116

V.1. Une démarche amorcée par le BURUNDI contre le changement climatique.....116

V.2. Atouts et les contraintes.....117

V.2.1. Atouts.....117

V.2.2. Contraintes.....118

V.3. Les principaux acteurs.....119

V.3.1. Rôle de l'Etat face à l'adaptation.....119

V.3.2. Rôle de la société civile.....121

V.3.3. Rôle de la population et des media.....122

V.4. Mesure d'adaptation sectorielle.....123

V.4.1. Débordement-inondation et aménagement.....123

V.4.2. Dans le domaine agricole.....126

V.4.2.a. Pistes techniques.....127

V.4.2.b. Des pistes agronomiques :.....128

V.4.2.c. Pistes organisationnelles et institutionnelle.....128

V.4.3. Dans le domaine forestier.....128

V.4.4. Dans le domaine de transport et le littoral du lac.....130

V.4.5. Gestion des Pentes.....132

V.4.6. Maitrise des inondations.....133

V.4.7. Gestion des déchets solides.....133

Conclusion générale et recommandations.....134

BIBLIOGRAPHIE.....136

ANNEXES.....141

INTRODUCTION GENERALE

0.1. Problématique

Les efforts pour réduire la vulnérabilité des zones inondables n'ont eu que peu d'effets significatifs ces dernières années. La constante augmentation du nombre de logements construits en zone inondable dans l'aire métropolitaine de Bujumbura renforce ce constat. Le changement climatique se remarque par des signes les plus dangereux dans des années déterminées et variées. Il accentue la vulnérabilité de notre zone d'intérêt à la dégradation des terres, aux glissements de terrains et aux inondations. Certains éléments permettent de penser que l'augmentation des coûts des dommages continuera à se poursuivre dans les années à venir telle la concentration croissante des enjeux en zones vulnérables comme dans les franges littorales ou à proximité des cours d'eau torrentiels ou encore la probable aggravation des événements extrêmes (fréquence et intensité) due au changement climatique.

La zone d'étude est moyennement sèche. En cas de fortes averses, des dégâts matériels et financiers ainsi que des pertes en vies humaines sont enregistrés à un nombre important dans les terres basses. De surcroît, le changement climatique augmente la vulnérabilité aux maladies infectieuses comme le Choléra, et aux autres maladies comme le paludisme. Les femmes, les enfants et les vieillards sont plus vulnérables.

Les impacts du changement climatique ne se font pas sentir de la même manière et à la même échelle sur toute la ville de Bujumbura. Certaines localités sont plus vulnérables que d'autres suite aux multiples facteurs. Les uns de ces derniers constituent une amplification des risques aux inondations. Ce sont notamment l'extension de la ville de Bujumbura vers les zones péri-urbaines d'une façon spontanée, l'imperméabilisation de certains terrains par bitumage ou pavage de certaines voiries, la mise en valeur des terrains sans tenir compte du dynamisme des rivières qui drainent la ville, comme Ntahangwa, Muha, Nyabagere, Kanyosha, Mutimbuzi, Mpanda, Mugere et autres. L'explosion démographique et exploitation anarchique des terres occasionnent l'élévation de la vulnérabilité aux inondations de la ville de Bujumbura.

A l'échelle locale, la vulnérabilité n'est pas au même niveau. Les basses terres et les zones de pentes raides en connaissent davantage. L'occupation des zones inondables par les bâtiments, cas des quartiers de Gatumba et de Maramvya tous situés respectivement en commune Mutimbuzi, est

un facteur explicatif. Le ruissellement pluvial urbain (les crues rapides des bassins périurbains), l'imperméabilisation du sol (bâtiments, voiries, parkings,...) limitent l'infiltration des pluies et accentuent le ruissellement ; ce qui occasionne souvent la saturation, le refoulement ou le débordement du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Il en résulte des écoulements plus ou moins importants et souvent rapides dans les rues. Dans ce cas, les axes de circulation deviennent de plus en plus impraticables. La route Bujumbura-Gatumba en 1991 et la route Bujumbura-Rumonge le 30 mars 2015 furent systématiquement inondés. La ville de Bujumbura a connu de multiples inondations dangereuses, les unes parmi elles ont causé des pertes humaines dans les années précédentes. Parmi les dernières dates, nous pouvons citer les inondations dévastatrices du 6 janvier 2010 au Centre Gynéco-Obstétricale de Kabezi au Sud et celles de la soirée du 9 février 2014 à Gatunguru au Nord de la ville de Bujumbura.

Les défrichements agricoles qui s'intensifient avec des méthodes agricoles inappropriées sur les pentes fortes des Mirwa dont les roches sont tendres amplifient les risques liés aux glissements des terrains. Le présent travail contribue à comprendre la vulnérabilité et à identifier les facteurs pour enfin constituer les données historiques et d'autres bases de données, qui serviront comme informations préventives ou d'alertes dans l'aire métropolitaine de Bujumbura. Ces données pourront servir également aux décideurs politiques de proposer des projets à mettre en place en matière de la gestion et de la réduction des risques des catastrophes naturelles. En fin, elle propose des mesures d'adaptation aux impacts du changement climatique.

0.2. Hypothèse de travail

Le changement climatique pose un défi majeur au développement économique, sociale et au niveau sanitaire. L'atténuation de la vulnérabilité de la ville de Bujumbura doit être accompagnée de mesures incitatives à l'adaptation aux impacts négatifs du changement climatique, à la prévention des risques naturels et à la protection des milieux. Dans ce contexte, le présent travail pose un bon nombre d'hypothèses qui va nous aider à dégager et expliquer les résultats de notre recherche.

1. Les inondations récurrentes dans la ville de Bujumbura prouvent sa vulnérabilité aux effets du changement climatique.

2. Les mesures d'adaptation aux effets du changement climatiques sont nombreuses mais leur mise en évidence reste insignifiante.

Le travail contribuera à proposer la politique de la gestion durable des ressources naturelles et environnementales vers un développement durable dans la ville de Bujumbura en particulier et en proposant également les mesures d'adaptation aux effets du changement climatique.

0.3. Méthodologie de la recherche

Ce travail est basé sur une recherche bibliographique au moyen de deux sources principales d'informations : L'exploitation des ouvrages scientifiques et les documents officiels traitant le sujet en question, et l'internet. Ces deux sources d'information ont été traitées selon une logique favorisant au mieux le plus d'information en rapport avec le sujet.

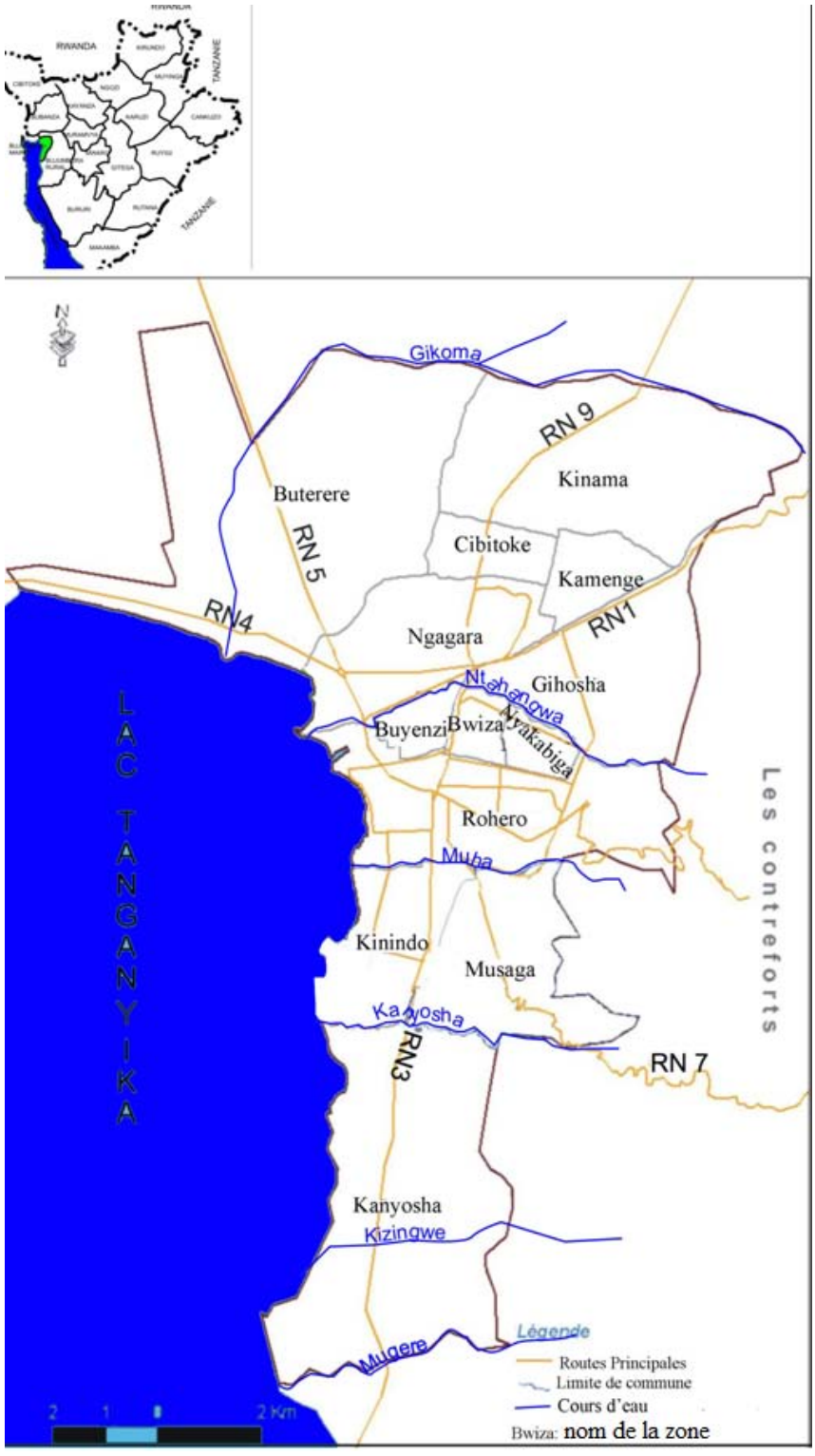
Les publications qui s'intéressent au climat et à ses différentes composantes constituent des bases scientifiques les plus sûres. L'internet a complété ces premières bases, à travers les informations fournies par des organisations internationales et nationales travaillant dans le domaine du changement climatique et de l'environnement. Ce sont par exemple la GIEC (groupe d'expert intergouvernemental sur l'évolution du climat, PNUE (Programme des Nations Unis 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. Des descentes sur terrains, pour une analyse solide de l'existence du changement climatique et ses conséquences ont enrichi ce travail.

Il m'a été utile et nécessaire de m'inspirer de certaines notions portant sur les enseignements reçus au cours de ma formation, pour pouvoir mieux composer, afin de vêture ce travail un caractère pluridisciplinaire.

0.4. Localisation

La zone d'étude concernée par notre étude occupe la partie centrale de la plaine occidentale du Burundi. C'est la partie des basses terres occidentales, formées par la plaine de la Rusizi et les plaines riveraines du lac Tanganyika. L'altitude est comprise entre 774 m, niveau du lac Tanganyika et 1000 m au début des escarpements des Mirwa. Plus de 98 % de la zone d'étude partent du Sud de la basse Rusizi au Nord, à la rivière Mugere au Sud. Les 2% restant est la zone qui prolonge de la rivière Mugere à la rivière Nyabage au sud, choisie pour l'intérêt qu'elle apporte à notre sujet. Sa côte occidentale est délimitée par les plaines riveraines du lac Tanganyika adossées sur de hauts reliefs des escarpements des Mirwa à l'Est (les contreforts). La figure 1 délimite la zone d'étude.

Figure 1 : Les limites de la ville de Bujumbura.



Source : BINUB, GIS, 2006

CHAPITRE I : ASPECTS PHYSIQUES, HUMAINS ET SOCIO-ECONOMIQUES

La ville de Bujumbura a de multiples caractéristiques. Ce chapitre nous montre les principaux aspects, qui vont nous aider à comprendre plutard la vulnérabilité aux effets du changement climatique.

I.1. Aspects physiques

I.1.1. Aspects topographique

A part une petite partie de la région de Bujumbura qui est à plus de 1000 m d'altitude (Sororezo, Kiriri, …), l'essentiel de cette région a une altitude située entre 774 m (niveau du lac Tanganyika) et 1000 m d'altitude (pied des Mirwa). Cette zone est caractérisée par une topographie plus ou moins plane dans tous les cas à faible pente, et de faibles ondulations. Le relief de cette zone frise la monotonie. Cette plaine est constituée par des alluvions récentes déposées par les cours d'eau et par le lac Tanganyika. Ces alluvions sont arrachées sur les fortes pentes des contreforts des Mirwa très sensibles à d'intense érosion pendant la saison pluvieuse[1].

I.1.2. Aspect géologique

Du point de vue géologique, les alluvions lacustres sont des dépôts anciens, d'autres résultant d'un dépôt soit récent, soit actuel. La formation des terrasses de la plaine lacustre doit être rattachée aux abaissements successifs du niveau du lac Tanganyika. « *La plaine lacustre date du pléistocène (5 à 10 millions d'années) et correspond à un moment où la subsidence du lac Tanganyika n'était pas encore prononcé […]. L'élévation des bords du fossé s'est traduite par l'apparition des matériaux grossiers qui marquent la fin de la sédimentation lacustre au moins au Nord* ».[2]

Cette plaine basse est couverte d'alluvions lacustres actuelles et est séparée par une mince transition de sables séparant la terre et l'eau du lac Tanganyika. A quelques endroits, la côte est affectée par quelques lagunes en formation ainsi que par des cônes sableux des rivières qui se déposent sur les formations de la côte basse.

---

1 IYANKUNZE J.C., .,(2012) : *Planification URBAINE, Risques naturels et proposition d'aménagement du quartier Kibenga « rural*»,Bujumbura; p50

2 . NDAYIRUKIYE, S. (Sous la direction), (2002), *Bujumbura centenaire, Croissance et défis*, Paris, Etudes africaines, Harmattan, p 64.

Les alluvions fluviales sont déposées par les rivières traversant la plaine d'Est en Ouest, coulant lentement et décrivant beaucoup de méandres pour se jeter dans le lac Tanganyika.

I.1.3. Les données climatiques et hydrographiques

I.1.3.1. Le Climat

Le climat est défini comme étant l'ambiance atmosphérique constitué par la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle[3]. Plusieurs définitions ont été émises pour tenter de donner une définition la plus correcte, mais cette dernière parait la plus riche. Le climat se défini également par un certain nombre de moyennes de ce que l'on appelle généralement les éléments du climat tel que les vents, les précipitations, la nébulosité, l'insolation et autres.

Ainsi, le climat du Burundi est « *tributaire du système des alizés et il est concerné aussi par la convergence intertropicale. Mais les effets des reliefs vigoureux séparant le haut-pays de la dépression sont à l'origine du microclimat qui règne dans cette dernière.* »[5] Au-dessus de l'Imbo, dont la plaine de Bujumbura qui fait l'objet de notre étude, l'air déchargé d'humidité mais frais s'affaisse très rapidement en provoquant aussi un échauffement de l'air emmenant la dissipation des nuages. Le temps qui règne au-dessus de la plaine est souvent très beau et sans nuages. Les températures moyennes varient beaucoup et restent les plus élevées (23,4ºC). La température moyenne annuelle est supérieur à 23ºC et lorsqu'on examine l'amplitude thermique, celui-ci est caractéristique des basses latitudes équatoriales pendant toute l'année et de nuits qui sont semblablement identiques pendant toute l'année. Les écarts saisonniers du rayonnement solaire sont très faibles en principe. Le tableau 1 fournit les températures dans la plaine d'Imbo de deux sitations Bujumbura Aéroport et celle de Bujumbura Ville.

[3] Idem NDAYIRUKIYE, S. Op cit., p 64.

Tableau 1 : Températures dans l'aire métropolitaine de Bujumbura: Station Bujumbura aéroport et celle de Bujumbura Ville

Station	Tº max. moyenne en ºC	Tº min. moyenne en ºC	Tº max. absolue en ºC	Tº min. absolue en ºC	Amplitude max. min. en ºC	Amplitude absolue en ºC
Bujumbura Aéroport	29,3 º	18 º	35 º	12,1 º	11,3 º	22,9 º
Bujumbura Ville	28,9 º	19 º	34 º	12,1 º	9,9 º	21,6 º

Source : NDAYIKIRUKIYE, S., (1986). La plaine occidentale du Burundi : Etude *Régionale*, Nice, Université de Nice, UER, LSH, Thèse, p56.

La saison humide dure généralement sept à huit mois consécutifs. Cette saison débute en Septembre et se termine en avril ; mai et septembre sont les mois de transition. La saison sèche dure généralement 4 à 5 mois consécutifs. Une sécheresse relative commence dès la fin du mois de mai et s'achève avec le début du mois de septembre ou d'octobre. Elle se remarque par la rareté des pluies et les rares qui tombent sont très faibles et de courte durée[4].

Tableau 2 : Synthèse des données numériques de la climatologie

Paramètres moyens annuels	Précipitations (en mm d'eau)	Température (en ºc)	Vents à 2 m (en m/s)
Maximum	776,60	30,2 º	1,72
Moyenne	734,25	24,77 º	1,23
Minimum	641,9	19,36 º	0,74

Source : NIBARUTA, A., et NDIHOKUBWAYO, S., (2003), *Op. cit*, p21.

Selon les données de la station de l'aéroport de Bujumbura (annexe 2) nous remarquons que les précipitations peuvent être déficitaires ou presque nulles pendant 2 ou 3 mois successifs (Juin, Juillet et Aout). L'humidité relative est de l'ordre de 70% tandis que la température moyenne diurne est de 24ºC (tableaux 3).

La zone de Bujumbura qui nous préoccupe jouit d'un climat particulier par rapport à l'ensemble du climat du Burundi. Les contreforts possèdent un climat modéré et un climat chaud pour la plaine.

La situation de cette plaine dans le graben lui fait bénéficier des conditions atmosphériques contrastées. Sur les contreforts de Mirwa, les brises chaudes qui les franchissent s'opposent à l'alizé venant de l'Est et qui a franchi la crête. Cette convergence est à origine de puissantes ascendances

[4] NDAYIRUKIYE, S., (1986), *La plaine occidentale du Burundi : Etude régionale*, Nice, Université de Nice, UER, LSH, Thèse, p 24.

favorables aux précipitations. Ce mécanisme détermine le début de la saison de pluies depuis le mois de Septembre dans les Mirwa et se prolonge jusqu'à la fin de Mai, avec des précipitations comprises entre 900 mm et 1200 mm et une saison sèche de 5 à 6 mois. Sa position lui place dans l'abri de la crête.[5]

La plaine occidentale est dans la position d'abri par rapport à la crête qui lui est parallèle. « *Tandis que cette dernière reçoit le maximum de précipitations, du pays, la plaine quant à elle subit régulièrement l'effet du Foehn »*[6]. Dès le début de la soirée, leur sens s'inverse. La convergence se recrée au milieu du fossé où la masse des nuages se déplace. Au niveau des contreforts, le climat est modéré par l'altitude caractérisée par des températures relativement faibles et des précipitations moyennes comprises entre 1200 mm et 1700 mm. Ainsi Bujumbura et toutes les rives du lac Tanganyika en général connaissent des précipitations nocturnes, plus fréquentes que partout dans le pays[7].

Il serait moins scientifique de parler d'un climat local de Bujumbura, notre zone d'étude, sans jeter un regard sur son ensoleillement, la pression atmosphérique, l'humidité relative et les vents qui caractérisent le milieu.

Pour l'ensoleillement, la plaine de l'Imbo dans laquelle se trouve l'agglomération de Bujumbura dont il est question, l'ensoleillement se diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de la crête Congo-Nil à partir de la plaine. NDAYIRUKIYE S. l'explique dans sa thèse. « *Elle totalise en effet plus de 2442h, soit 55% d'ensoleillement par an à la station de l'aéroport international de Bujumbura. Le rôle du relief et de l'altitude est fondamental dans l'explication de ces moyennes. Dans ces régimes horaires moyens de l'insolation journalière, on observe une moyenne de 7 à 8 h par jour pendant les mois de Mai à Septembre et de 5 à 6 h par jour pendant les mois pluvieux d'Octobre-Avril avec un bilan de 7 h en Avril »*[8]. La zone intermédiaire entre la plaine et la crête reçoit un ensoleillement faible par rapport à la plaine.

Elle reçoit une moyenne de 5 à 6 h et diminue jusqu'à 3 à 5 h au niveau de la crête à l'exemple de Bugarama où les brouillards couvrent les versants plusieurs heures.

---

5 NDAYIRUKIYE, S. (1991). *Géographie du Burundi*, p 83

6 NDAYIRUKIYE, S. 1986. *La plaine occidentale du Burundi*. Thèse de doctorat 3eme cycle p 57

7 NDAYIRUKIYE, S. 1991. *Géographie du Burundi*, p 83

8 NDAYIRUKIYE, S. 1986. Op cit. p 57

Concernant la pression atmosphérique, c'est pendant la saison des pluies que l'observe de plus basses pressions par rapport à la saison sèche où elles se relèvent légèrement. *« La moyenne annuelle montre de très faibles pressions ainsi que de très faibles variations : 922,4 millibars et 924,8 millibards sont les moyennes extrêmes au cours de l'année à Bujumbura* »[9]. Les variations journalières tout comme les températures sont contrastées en saison sèche. Elles s'élèvent la nuit au moment où les températures s'abaissent et le jour se rabaissent conformément à la hausse thermique.

Du point de vue de l'humidité relative, « *dans la plaine, la moyenne est voisine de 65 à 70%. Les maxima journaliers tombent autour de 50% en saison sèche tandis qu'ils montent et se situent entre 70 et 80% en saison pluvieuse* »[10]. Les contreforts eux enregistrent le maximum autour de 90%.

Enfin pour les vents, la plaine est sous l'influence de la convergence intertropicale qui balaye les latitudes équatoriales d'une manière saisonnière. La plaine bénéficie des vents qui viennent du Nord ou de l'Est. La barrière orographique qui est très perpendiculaire à la direction des vents, empêche les vents à pénétrer dans le couloir de la plaine. Les vents qui sont sensibles à la plaine sont les brises et leur mécanisme est lié aux variations de la pression atmosphérique au cours de la journée. On distingue des brises de vallée et les brises des montagnes. C'est pendant la saison sèche que les températures sont plus contrastées et que la brise est très sensible. Il s'agit de brise de vallée. Les brises de montagnes sont quant à elles, consécutives au refroidissement nocturne des sommets qui provoquent la descente d'air froid et dense par les versants et les vallées vers la plaine.

I.1.3.2. Hydrographique

Parlant de l'hydrographie, les cours d'eau qui traversent la ville de Bujumbura, reçoivent des eaux de plusieurs affluents. Leur régime est irrégulier et souvent violent. Les crues sont brusques selon l'abondance des précipitations et la pente surtout à l'amont (dans les Mirwa où les rivières exploitent les fractures creuses, profondes et à pentes fortes) et ainsi transportent, soit par charriage, soit par dissolution, soit par bon, etc. plusieurs éléments arrachés dans les escarpements et sont déposés dans la plaine au fur du parcours.

Les roches imperméables ou faiblement imperméables telles que les quartzites, gneiss et les granites entraînées par ces cours d'eau et qui sont déposées dans la plaine sont à mettre en rapport avec la

[9] LASSERRE, G., 1979. *Atlas du Burundi, Bordeau, association pour l'Atlas du Burundi*, planche 6
[10] Idem

pente forte des Mirwa. A cela s'ajoute le déboisement presque total des escarpements qui surplombent la région de Bujumbura du sommet au pied.

Le dépôt de ces éléments entraîne souvent le débouchement des lits des cours d'où le problème d'évacuation des eaux qui est l'un des plus importants en ce qui concerne l'assainissement de la zone en aval et qui occasionne souvent et fréquemment des inondations qui menacent les infrastructures. L'aire métropolitaine de Bujumbura est surtout menacée par les inondations récurrentes (photo 1). La photo ci-après montre le débordement de la rivière Gasenyi au Nord de la ville de Bujumbura le 13 avril 2018 à Carama. Les eaux ont submergées pistes Kinobonobo, Muka, Kinyami dans les quartiers et a paralysé la vie quotidienne.

Photo 1 : Débordement de la rivière Gasenyi, le 13 avril 2018 à CARAMA zone KINAMA



Source : Auteur, le 13 avril 2018

I.1.4. La situation pédologique et la végétation

I.1.4.1. Situation pédologique

Les facteurs responsables de l'existence à la surface de la terre des sols sont très différents. Parmi ces facteurs, trois sont strictement indépendants les uns des autres. Ce sont « *la roche mère, la durée d'altération des matériaux d'origine et le climat,* »et deux autres facteurs qui sont liés aux précédents sont « *la topographie et l'ensemble de facteurs biologiques*. »[11] Le Dictionnaire Petit Larousse définit aussi le sol comme étant «*une formation naturelle, superficielle, meuble de l'écorce terrestre, résultat de la transformation, au contact de l'atmosphère et des êtres-vivants de la roche-mère sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques et biologiques*»[12]

Partant de là, le sol est le résultat de l'action climatique sur le matériau géologique, durant une certaine période, dans un environnement biologique et géomorphologique. C'est le cas du granite qui devient une arène sous le climat désertique tandis qu'il devient de la latérite sous climat équatorial par exemple. Le sol de la région de Bujumbura est constitué par de « *xérokaolisol et de xéroferrisols ou sols noirs tropicaux. Ces sols sont développés sur des matériaux alluvionnaires*»[13]. Ce sont des sols récents établis sur des sédiments lacustres ou des alluvions fluviatiles. Ils se différencient par leur substrat et de leur position géographique.

La salinité élevée de ces sols résulte d'une grande évaporation de la saison sèche et l'importance de la teneur en sel de la nappe phréatique. Les vertisols des bas-fonds se caractérisent par une couleur noire, d'où leur non d'argiles noires tropicales. Cette couleur provient de l'association entre les argiles et les matières organiques. Ces sols se développent dans des dépressions mal drainées et en renforcent l'imperméabilité. Ces types de sol couvrent une grande partie du Chef-lieu de Gihanga et ses environs et une grande partie de Buterere, Gatumba et Maramvya.

I.1.4.2. La végétation

L'évolution de la végétation est liée à l'alternance des saisons. C'est durant la saison pluvieuse que l'on rencontre les cultures comme le haricot, le maïs, le riz, le manioc…, dans certaines zones riveraines du lac Tanganyika. C'est même dans cette période qu'un couvert assez dense capable de protéger le sol du battage, de contrôler l'énergie cinétique des pluies et de protéger le sol de

---

[11] AUBERT, G. et BOULAINE, J., (1972), *Pédologie*, 2ème Ed. Refondue, Paris, PUF, p126.
[12] JEUGE-MAYNART, I., (Direction Générale), (2007), *Le Petit Larousse 2008*, Paris, p 948.
[13] ESCOBEDO, J., (1982), Les *sols du versant Ouest de la crête Zaïre-Nil au Burundi*, Bujumbura, ISABU, p58

l'érosion est présent. Par contre, durant la saison sèche, la végétation devient clairsemée, il y a peu ou pas de couvert végétal sauf quelques cultures pérennes tels le bananier et le manioc.

Le boisement naturel et la galerie le long du lac et des rivières qui drainent la ville de Bujumbura, sont aujourd'hui en destruction presque totale au profit de nouvelles implantations urbanistiques, même sur la zone marécageuse comme Maramvya et la partie Sud de Carama. « *La végétation du graben occidental a presque complètement disparu pour faire place à la végétation rudérale, culturale, […] sauf dans la plaine de Rusizi, avec la présence du Parc National et du réserve du delta de la Rusizi*»[14].Cela augmente la vulnérabilité de la région au risque des inondations.

I.2. Aspects démographiques

I.2.1. Historique du peuplement

Le mouvement de l'occupation du sol dans l'Imbo est en parallèle avec celle des Mirwa et date de la première moitié du XXème siècle. Il se caractérise par deux phases. La première va des années 1930 jusqu'au début des années 1970. Cette phase marque une étape décisive de l'anthropisation de la région de Bujumbura. La plaine de l'Imbo a été progressivement drainée, défrichée, aménagée et peuplée tandis que les espaces naturels se sont réduits rapidement. C'est la phase de développement des productions agricoles, avec une agriculture moderne encadrée des paysannats. Les colons belges qui l'encadraient, faisaient apparaitre des périmètres à parcelles cotonnières et les rizières irriguées entre Ninga et Mpanda[15].

En 1935, la plaine de l'Imbo est encore occupée par de grandes étendues des savanes et de bananeraies sauvages. La seconde phase commence vers la fin des années 1970. Elle est marquée par la montée des tensions interethniques, qui s'accentuent pendant les guerres civiles de 1972 et 1993 et aiguisées par les remarquables crises foncières. Celle-ci se traduit par la densification progressive mais rapide de la population rurale dans l'Imbo et dans le Mirwa[16] « *Les régions bordières du lac Tanganyika étaient presque inhabitées avant le XIX*[ème] *Siècle, il était fractionné en*

[14] BIGENGAKO, M. J., GAPUSI J.R. et MASHARABU, (2009), *Connaissances actuelles, expériences et potentialités des espèces ligneuses autochtones du Burundi*, Bujumbura, action ceinture verte pour l'environnement, Ecosystème Grands programmes, p10.

[15] SINDAYIHEBURA.B, 2005 : *De l'Imbo au Mirwa, Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura*, Université de Toulouse le Mirail, Toulouse, pp27-29, Thèse.

[16] Idem

NDAYIRUKIYE, S., (Sous la direction), (2002), *Bujumbura centenaire, Croissance et défis.* Etudes africaines, Paris, Harmattan.

une multitude de royaumes petits ou grands et parfois en de simples et petites communautés. On y trouvait des Babo et des Banyembo du pays d'Imbo […] Le lac Tanganyika fut connu grâce à un Munyamwezi de Zanzibar et islamisé Leif ben Saïd qui avait gagné deux fois ce lac dont la seconde fois en 1831.»[17] Cent ans après (1941), commença l'expédition arabe. Ainsi à partir de 1850, ils commencèrent à s'installer sur les côtes Est du lac avec comme postes en 1870 à Rumonge, Uzige, Nyanza-Lac, Makamba, Magara et Kigwena.

C'est lors de la colonisation, avec la volonté du colonisateur que la migration s'est amplifiée. « *Notre charge de tutelle nous impose le devoir de trouver une solution au problème démographique devenu aigu dans certaines régions et qui est surtout apparent quand nous traversons des périodes aussi critiques que celle d'aujourd'hui, il nous reste une solution, celle de soulager la contrée par l'exode de population vers les terres hospitalières de Rutana et des contre-forts d'Usumbura (Mirwa) où la situation démographique permet d'absorber plusieurs milliers de familles* »[18]. Déclarait le Résident d'Urundi (Schmidt) à l'endroit des indigènes. Cette ambition avait été aussi soutenue par M. Plas Résident d'Urundi en 1947.

« *Jusqu'en 1915, Usumbura comptait à peu près 2500 habitants essentiellement groupés dans l'actuel quartier asiatique et composés de « Swahili » et de commerçants asiatiques,* »[19]. La population de la plaine s'était considérablement accrue à la fin de la colonisation, donc dans la deuxième phase, et toute la plaine ne fut pas touchée de la même manière : le Nord-Ouest et les alentours de Bujumbura furent les plus touchés directement. Cet apport massif de la population volontaire ou involontaire n'allait pas sans poser de problèmes car certaines précautions n'avaient pas été prises au préalable.

---

17 NDAYIRUKIYE, S., (1986), *Op. Cit.* pp149-15.

18 Schmidt R. in, SINDAYIHEBURA, B., (2005), *De l'Imbo au Mirwa, Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura*, Université de Toulouse le Mirail, Toulouse, pp27-29, Thèse.

19. NDAYIRUKIYE, S., (Sous la direction), (2002), *Bujumbura centenaire, Croissance et défis.* Etudes africaines, Paris, Harmattan.

19 NDAYIRUKIYE, S., (Sous la direction), (2002), *Bujumbura centenaire, Croissance et défis.* Etudes africaines, Paris, Harmattan.

I.2.2. Les migrations dans la ville de Bujumbura

Le mouvement migratoire comprend : l'immigration qui est le fait qu'une personne entre dans une zone, région, pays ou continent et s'y installe soit partiellement ou définitivement, et l'émigration qui est la sortie d'une personne d'une zone, région, pays ou continent vers une autre destination. Ces mouvements vident les régions de départ et gonflent les régions d'accueil.

«*L'intérêt de l'individu étant d'avoir un niveau d'existence aussi élevé que possible, il n'émigre de A vers B que s'il trouve en B des conditions d'existence supérieures à celles qu'il a en A* »[20]. Ainsi donc, les populations quittent l'intérieur du pays et gonflent la plaine. En effet, au fur et à mesure que la population accroît dans la campagne, les terres cultivables s'amenuisent, l'héritage foncier génère le démembrement et fait qu'il ne soit pas gérable (portion de terre très petite). C'est cette situation qui pousse les gens à quitter leurs lieux en quête d'emplois ou pour l'agriculture. Justifiant cette logique démographique, la ville de Bujumbura nous sert d'un bon exemple. Les années 1950-1960 ont été considérées comme le coup d'envoi de l'accélération de la croissance urbaine de Bujumbura qui était liée au recrutement des travailleurs servant de main d'œuvre. Il s'agit là de la migration ancienne. ;

Le tableau suivant détaille la migration dans la ville de Bujumbura de 1947 à 1957

Tableau 3 : Migration dans la ville de Bujumbura de 1947 à 1957

Année	Bwiza	Buyenzi	Total
1947	5 572	6 374	11 946
1948	7 262	6 989	14 251
1949	7 637	7 903	15 537
1950	10 758	6 880	17 638
1951	12 487	7 390	19 877
1952	16 131	9 324	25 455
1953	19 002	10 995	29 997
1954	21 311	12 703	34 014
1955	24 379	13 125	37 504
1956	28 379	13 779	42 158
1957	30 379	14 450	44 849

Source : Mairie de Bujumbura, 1973

[20] SAUVY, A., (1962), *Théorie générale de la population*, Economie et population, Paris, PUF, volume I, p302.

La migration concerne en grande partie le sexe masculin. Les résultats du recensement général de la population et de l'habitat de 1990 comme ceux des années 2008, montrent que les immigrants masculins dans la Mairie tendent à doubler ceux de sexe féminin. Selon la culture burundaise les filles et les femmes sont attachées au travail de la terre et aux activités ménagères ; le rôle de sentinelle, d'ouvriers, de maçonnerie, etc. ne leurs conviennent pas. Mais avec le temps, on observe dans une moindre mesure le changement de mentalités car les femmes et les filles s'intègrent bien dans tous les coins d'activités de tâche.

Le tableau suivant fournit la migration par âge et par sexe dans la ville de Bujumbura de 1998 à 2002.

Tableau 4 : Migration par âge et sexe dans la ville de Bujumbura de 1998 à 2002

Age	**Structure**		**Migration**		**Total**
	Masculin	**Féminin**	**Masculin**	**Féminin**	
0-4ans	18,72	19,72	6 683	6 764	13 447
5-9	15,23	15,89	5 437	5 450	10 887
10-14	11,98	12,32	4 277	4 226	8 503
15-19	9,92	10,04	3 541	3 444	6 985
20-24	8,43	8,34	3 010	2 861	5 871
25-29	7,16	6,99	2 556	2 398	4 954
30-34	6,08	5,92	2 171	2 031	4 202
36-39	5,02	4,84	1 792	1 660	3 452
40-44	3,88	3,69	1 385	1 261	2 651
45-49	3,12	2,9	1 114	995	2 109
50-54	2,47	2,19	882	751	1 633
55-59	2,02	1,75	721	600	1 321
60-64	1,69	1,43	603	491	1 093
65-69	1,37	1,17	489	401	890
70-74	1,08	0,94	386	322	708
75-79	0,82	0,76	292	260	552
80 et plus	1,01	1,11	361	381	742
Total	**100 %**	**100 %**	**35 700**	**34 300**	**70 000**

Source : MPR, 2003

L'immigration étrangère est aussi considérable car, au départ, la part des étrangers à Bujumbura était plus remarquable, «*en 1956, 32,8% seulement des 30 000 citadins étaient des Burundais, 51,3% étaient des congolais, 11,1% étaient des rwandais et le reste du monde pour le 4,2%*»[21]. De

[21] BARAMVYA, P., (1988), *Cosmopolitisme de la ville de Bujumbura*, *Bujumbura*, UB, p26.

même le RGPH de 1990 démontre que les étrangers étaient de 50 503 personnes étrangères vivant à Bujumbura, soit 31% de la population totale de la ville.

Tableau 5 : Liste la part des étrangers selon la nationalité et le sexe en 1990 à Bujumbura

Nationalité	**Masculin**	**Féminin**	**Total**
Rwandaise	5212	5924	11136
Congolaise	5247	4677	9924
Tanzanienne	367	331	698
Autres nationalité Africaines	716	507	1223
Européenne	601	453	1054
Autres nationalités	14205	12263	26468
Totaux	**26 348**	**24 155**	**50 503**
%	**52,26%**	**47,74%**	**100%**

Source : MIDCL, Décembre 1992

I.2.3. Structure et évolution de la population

EGROT dit que pour prévoir le développement de la ville, il ne faut pas seulement considérer la population qui se trouve actuellement dans les limites administratives, mais aussi celle située en dehors des limites qui, dans un approche avenir, ou bien va être incorporée dans la ville, ou bien va s'y installer dès que les conditions seront favorables[22]. C'est à partir de cette citation que toute activité d'aménagement doit tenir compte de l'évolution actuelle de la population de la ville de Bujumbura pour une assurance d'un développement durable répondant aux normes urbanistiques. Dans la population totale du Burundi de 8 038 618 selon le RGPH 2008, la ville de Bujumbura représente 479 155. Selon les données de ce même recensement, (RGHP 2008), les hommes sont nombreux par rapport aux femmes.

Cela s'explique par des migrations importantes et des exodes ruraux des hommes vers la ville de Bujumbura à la recherche des emplois, le refuge, les études, etc. C'est pourquoi les quartiers périphériques sont plus peuplés par rapport aux quartiers centraux.

Le tableau 7 montre la répartition de la population dans la ville de Bujumbura en 2008.

Tableau 6 : Répartition de la population dans la ville de Bujumbura en 2008.

	Population

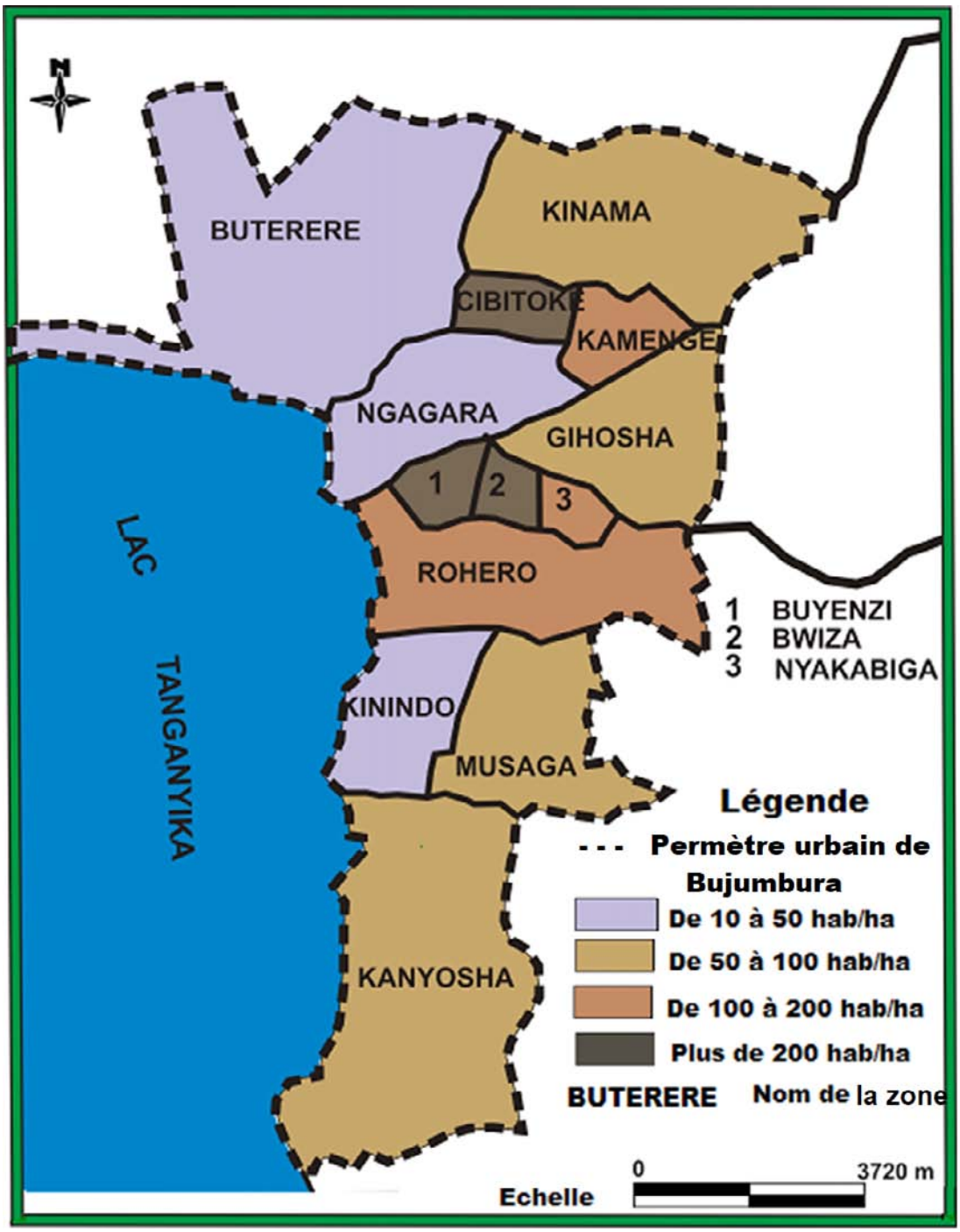
[22] EGROT, (1980), *Etude de croissance urbaine de la ville de Bujumbura*, Bujumbura, MTPE, p14.

Communes	Masculin	Féminin	Total
Buterere	14 451	13 767	28 308
Buyenzi	23 303	17 317	47363
Bwiza	20 431	16 903	37 340
Cibitoke	27 466	24 594	52 060
Gihosha	19 862	15 909	35 771
Kamenge	27 313	22 875	50 188
Kanyosha	19 326	28 027	59 181
Kinama	24 757	24 064	48 825
Kinindo	11 374	9 021	20 395
Musaga	24 123	16 846	43 735
Ngagara	18 498	13 163	31 661
Nyakabiga	10 647	8 153	18 800
Rohero	10 175	5 690	15 865
Total	**274 976**	**222 190**	**497166**

Source : RGHP 2008

En analysant les données du tableau 7, nous constatons que la population de la ville de Bujumbura est de 497.166 habitants avec 274.976 garçons et 222.190 filles. Le constant est que la commune de Kanyosha vient en première position avec 59.181 habitants suivie de Cibitoke, Kamenge, Kinama, Buyenzi et Musaga avec respectivement comme population 52 060, 50.118,48 825, 47.363 et 43.735 habitants. La disparité de la population dans la ville de Bujumbura est le résultat surtout de la position urbaine de ces quartiers. Les quartiers haut standing sont plus chers, les moyens standings moyennement chers et les quartiers élongés de la ville sont facilement accessibles pour les populations dont le pouvoir économique est précaire. La figure 2 illustre les densités de la population de la ville de Bujumbura selon les données du recensement de 2008.

Figure 2 : Répartition de la population dans de Bujumbura mairie en 2008



Source : Egide NAHIMANA, à partir de chiffres du RGPH du 16 au 31/8/2008, (mémoire pge 26).

A base de la figure 2, la répartition de la population de Bujumbura par zone est inégale. Cette inégalité s'explique par le fait que les plus démunis de la ville se réfugient dans les zones populaires ou dans les quartiers spontanés. C'est là qu'ils pourraient survivre dans leur misère.

Dans la politique de la prévision d'une politique d'un développement durable de la ville de Bujumbura, tout en limitant sa vulnérabilité aux effets du changement climatique, l'étude sur l'évolution de la population urbaine serait importante. Le tableau 8 nous montre l' évolution des taux d'accroissement annuel moyen de la ville depuis le premier recensement de 1979 à celui de 2008.

Tableau 7 : Evolution de la population de Bujumbura de 1979 à 2008

Communes	**1979**	**1990**	**2008**	**T.A.A.M 1979-1990**	**T.A.A.M 1990-2008**
Buyenzi	29 680	27 981	47 363	*-0,5 %*	*3,0 %*
Bwiza	24 110	26 612	37 688	*0,9 %*	*2,0 %*
Cibitoke	16 360	25 399	50 899	*4,1 %*	*3,9 %*
Kamenge	17 960	39 357	50 070	*7,4 %*	*1,3 %*
Kinama	14 630	23 560	49 776	*4,4 %*	*4,2 %*
Ngagara	13 520	15 135	30 296	*1,0 %*	*3,9 %*
Nyakabiga	12 880	15 738	20 883	*1,8 %*	*1,6 %*
Rohero	11 900	22 100	17 481	*5,8 %*	*-1,3 %*
Musaga		30 746	43 735	*155,8 %*	*2,0 %*
Kanyosha			59 181		*84,1 %*
Buterere			28 371		*76,8 %*
Kinindo			21 920		*74,2 %*
Gihosha			39 503		*80,0 %*
Totaux	**143 020**	**228 618**	**499 174**	***4,2 %***	***4,2 %***

Source : SDAU 2014

Ainsi à partir des données de ce tableau, le taux d'accroissement annuel moyen est de 4,2% pour les périodes 1979-1990 et 1990-2008. Cependant, ce chiffre ne peut pas être considéré comme une référence pour l'augmentation de la population de la ville.

Le taux réel se rapproche plutôt des 3% car l'accroissement de la population de Bujumbura entre 1979 et 2008 est dû en grande partie au fait que des communes ont été rattachées au fil des années à la circonscription administrative de la Ville[23]. C'est ainsi que si on élargit le tissu urbain, il faudra intégrer une partie des populations de Kabezi (49 079 hab.), Mutimbuzi (69 525 hab.), Kanyosha (78

[23] SDAU 2014, p 9.

823 hab.) et Isale (78 740 hab.). Le tableau ci haut prouve que les quartiers déjà peuples sont ceux qui hébergent beaucoup d'habitant et que par conséquent ont des forts taux d'accroissement. Cibitoke, Kamenge et Kinama par exemple. Une autre analyse est qu'entre les deux derniers recensements (1990 et 2008), on note des taux d'accroissement positifs sur l'ensemble des communes sauf pour Rohero, qui perd une part significative de sa population suite aux multiples facteurs particuliers.

Le tableau 9 détaille l'accroissement entre 1990 et 2008 et densités en 1990 et en 2008

Tableau 8 : Accroissement entre 1990 et 2008 et densités en 1990 et en 2008

Commune	**Population 1990**	**Population 2008**	**Superficies ha**	**Densité en 1990**	**Densité en 2008**	**Accroissement annuel**
Buterere	-	23 308	-	-	-	-
Buyenzi	27 981	40 628	140	2 000	2 901,43	2,1
Bwiza	26 612	37 348	150	1 780	2 489,33	1,9
Cibitoke	25 399	52 060	110	240	473,27	4,1
Gihosha	-	35 771	-	-	-	-
Kamenge	39 537	50 188	1 090	370	460,44	1,4
Kanyosha	-	57 353	-	-	-	-
Kinama	23 560	48 825	350	670	1 375	4,1
Kinindo	-	20 395	-	-	-	-
Musaga	30 746	40 969	1 600	200	256,06	1,6
Ngagara	15 135	31 661	450	340	703,58	4,2
Nyakabiga	15 738	18 800	120	1 320	1 566,67	1,0
Rohero	22 100	15 865	3 650	70	43,47	-1,8
Total	**226 628**	**497 166**	**8 650**	**2 700**	**522,65**	**4,2**

Source : RGPH, 2008

La comparaison des données de 1990 avec celles de 2008 montre que la population de la ville de Bujumbura a sensiblement augmenté passant de 226.628 habitants en 1990 à 479.166 habitants en 2008 soit une augmentation de 270.358 habitants pendant 18 ans.

Le document Burundi 2025 publié avec l'appui du PNUD en juin 2011 prévoit un taux d'urbanisation du Burundi de 40 % dans un peu moins de 15 ans (2025), à comparer au taux d'urbanisation de 10 % constaté par l'ISTEEBU en 2008. Le document prévoit également que Bujumbura contribuera à ce taux d'urbanisation pour 50 % avec une population de 2,255 millions d'habitants.

Selon ce même document, ces prévisions auraient une nécessité d'un taux d'accroissement annuel moyen de la population de Bujumbura de +7,9 % entre 2008 et 2025.

Une population nombreuse est l'un des facteurs qui augmentent la vulnérabilité de la ville de Bujumbura au risque des catastrophes naturelles. L'extension urbaine avec des normes adaptées pour parier l'explosion démographique à l'horizon 2025 constitue l'un des points les plus cruciaux à traiter pour planifier le développement de la ville. En outre, compte tenu de l'occupation anarchique des espaces dans des zones à risque ou fragiles, il paraît primordial d'identifier un périmètre dans lequel les espaces seraient mieux contrôlés en matière d'aménagement.

I.2.4. Dynamique de l'occupation du sol

La ville de Bujumbura apparaît comme un agrégat discontinu de quartiers aux visages très différents. Au moment de l'accession du Burundi à l'Indépendance en 1962, Bujumbura ne comprenait que quelques petits quartiers. Actuellement, elle compte plus de 26 quartiers résidentiels inégalement équipés en infrastructures. Progressivement, la ville se transforme et acquiert une silhouette qui la place au même rang que les autres métropoles africaines en voie de modernisation. Certains espaces jadis réservés à l'agriculture sont actuellement des proies aux lotissements suite à l'agrandissement de la ville qui se développent d'une manière spontanée au Nord et au Sud de Bujumbura. La figure 3 le montre.

Figure 3 : Localisations des quartiers spontanés



Source : Auteur sur fond de carte de YEC, The emergency study of urban transport in Bujumbura city, JICA, 2007, Multipagination.

Les zones réservées à l'agriculture sont actuellement envahies par des constructions. Certaines localités de Ngagara et Kinama étaient jadis inhabitées mais de nouveaux quartiers (9 et 10 dans Ngagara ainsi que Carama dans Kinama) y ont été aménagés. C'est également le cas de la zone Maramvya où plusieurs maisons sont en cours de construction (figure 3). « Les zones agricoles disparaissent au profit des constructions », constate Richard Dusengimana un des habitants de Maramvya. Cet habitant trouve que la ville de Bujumbura s'agrandit : « Les zones rurales deviennent urbaines en quelques mois seulement », fait-il remarquer. Il y a quatre ans, toute cette zone de Maramvya était agricole. «On y cultivait du haricot, du maïs, du manioc et du riz », se souvient-il**.** Des conséquences se manifestent**.** Quand Maramvya était encore une zone agricole, explique Jean Baptiste Rukundo, un autre habitant, les prix des denrées alimentaires étaient relativement abordables car la localité était fertile. La figure 4, illustre la dynamique de l'occupation du sol depuis 1907 à 1983.

Figure 4 : Dynamique de l'occupation du sol de Bujumbura de 1907 à 1983

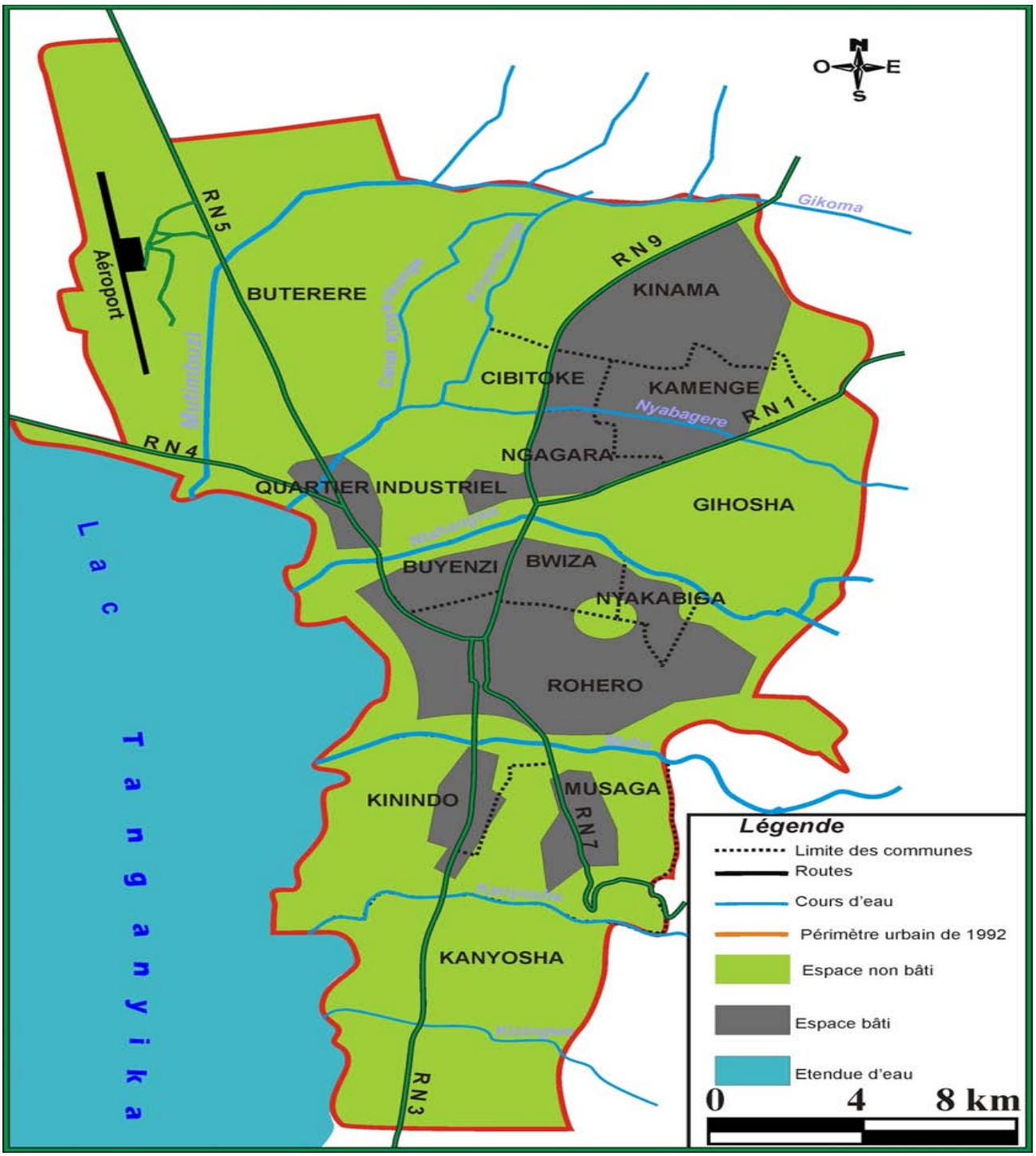


Source : Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la ville de Bujumbura, vision 2025, Rapport 3, Groupe Huit)

Historiquement, Bujumbura était un poste militaire allemande établi en 1889. Après la Première Guerre Mondiale, il a été établi comme une colonie belge. En 1962, le Burundi a obtenu son indépendance et Bujumbura est devenu la capitale. Depuis 1907, la ville a connu un taux de croissance moyen de 2% à 2,5%. La figure 4 illustre l'évolution des limites de la ville depuis 1907 à 1983.

Dans les dernières années, un processus d'urbanisation rapide et incontrôlée et des niveaux élevés de migration vers la ville capitale, associé avec les tendances actuelles de développement, a affecté essentiellement les infrastructures et la qualité de la vie dans la ville. Actuellement, l'urbanisation est allée bien au-delà des frontières administratives. La croissance de la population en migration urbaine-rurale a augmenté les développements informels de fortes densités dans les plaines inondables du Nord de la ville. En plus de ce problème, les données du recensement de 2008 ont montré que la population de l'intérieure de la ville a diminué en raison des prix élevés des terres. Et la population pauvre s'est déplacée principalement au Nord et à l'ouest de la ville, contribuant à l'extension des établissements informels existants. La figure 5 illustre la carte de l'urbanisation existante de Bujumbura en 1983.

Figure 5 : Urbanisation de Bujumbura en 1983



Source : MEEATU, Département de l'Urbanisme, Croissance spatiale de la ville de Bujumbura, 2012, p.14.

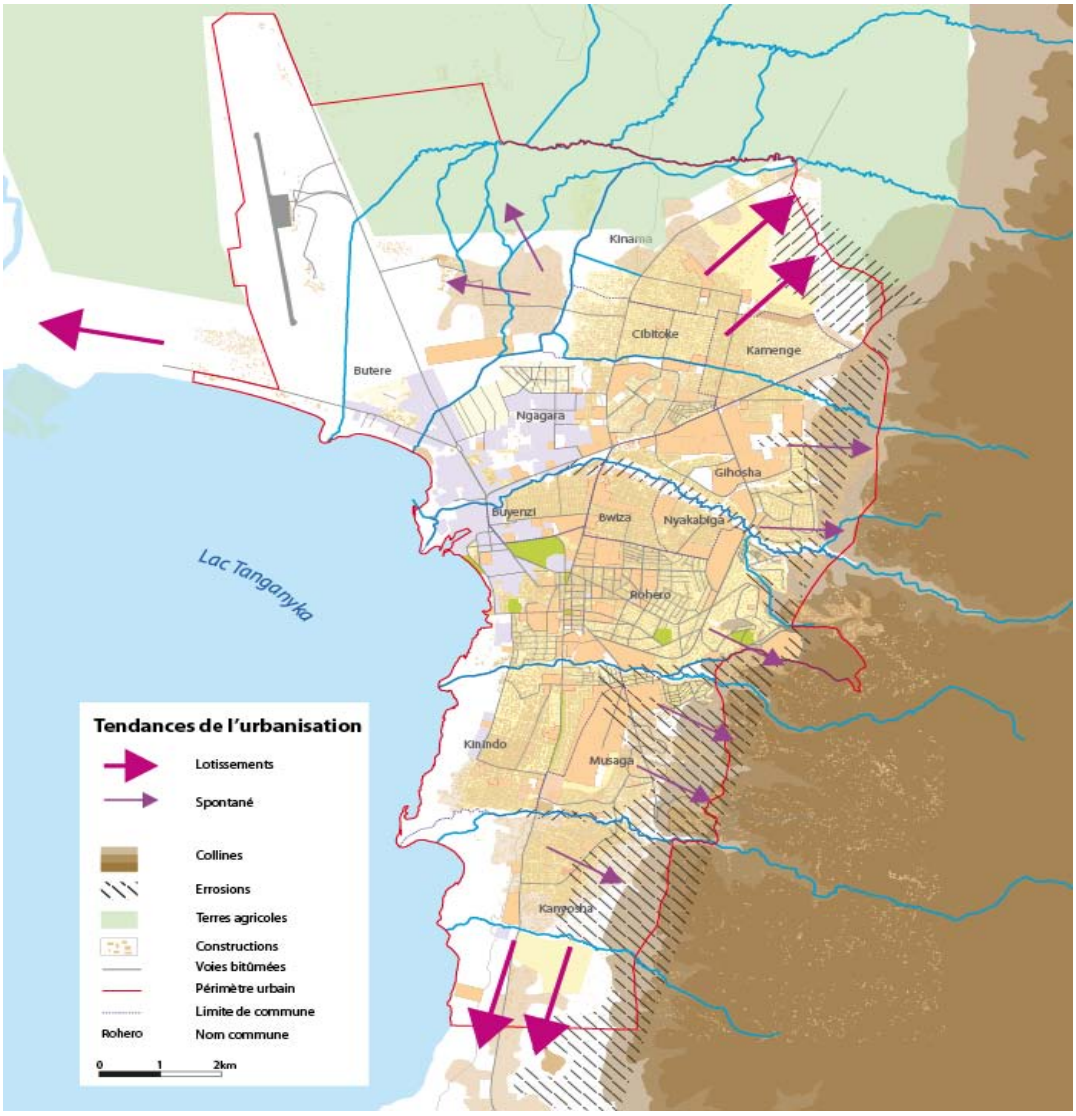
L’urbanisation rapide de la ville de Bujumbura s’explique par le fait que la circonscription administrative de cette ville intègre même les communes périphériques et fortement peuplées avant d'être absorbées par la ville. Celle-ci justifie l’accroissement de la population entre les années 1979 à 2008[24]. Depuis l'indépendance la surface occupée par l'urbanisation présente un taux d'accroissement moyen compris entre 2 et 2,5% par an. On admet alors que plus une ville est importante en population plus la surface urbanisée par habitant est grande. Selon la même source, dans les années 1990, la ville pouvait se déployer dans son site[25].

Mais actuellement on observe l’apparition des zones d’habitat qui présentent des problématiques en termes d’aptitude d’accueil des terrains (facilement érodables ou inondables). Carama au Nord, Kanyosha et Ruziba au Sud sont des derniers lotissements engagés sur des terrains relativement propices à l’urbanisation, mais d’autres quartiers spontanés se développent d’une façon exponentielle dans des zones difficiles (inondables, fortes pentes) et même dans les rizières. Répondre aux problèmes de l’urbanisation actuelle, nécessite une étude minutieuse. Les contraintes majeures du site de la région de Bujumbura qui sont entre autre les fortes pentes des collines à l’Est, les zones inondables au bord du lac, les terrains de faibles pentes difficiles à drainer et les berges des rivières doivent être tenues en compte pour tous les travaux urbanistiques.

La figure 6 montre l’urbanisation et sa tendance de la ville de Bujumbura avec les zones à risque d’érosion en amont.

[24] SDAU 2014, p 9.
[25] SDAU 2014, Op cit p 12.

Figure 6 : Urbanisation et tendance de l'urbanisation de la ville de Bujumbura avec les zones à risque d'érosion en amont



Source : Schéma Directeur D'aménagement et d'urbanisme de la ville de Bujumbura, vision 2025, Rapport 3, Groupe Huit.

Notons que l'urbanisation à Bujumbura est confrontée 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[26].

[26] Plan Directeur Détaillé de Bujumbura 2045, Burundi I Volume 2 : *Rapport d'Analyse, Version Finale*, p.13

I.3. Les infrastructures socio-économiques et équipements

Les infrastructures constituent l'ensemble des installations nécessaires au fonctionnement et se présentent sous plusieurs formes et sont inégalement réparties. Ces sont les écoles, les centres de santé, les infrastructures de transport, les aménagements hydrauliques, énergétiques et commerciaux ; les réseaux d'eau d'assainissement, et autres. Les quartiers centraux et ceux dits haut standing en possèdent davantage au détriment des quartiers périphériques. Le réseau routier aménagé de façon quantitative et qualitative se concentre en général au centre-ville et à quelques axes principaux qui matérialisent le départ des liaisons de la ville avec le reste du pays et constitue l'ossature de la ville. Les quartiers populaires eux bénéficient des voies pavées et ne comportent pas l'intensité égale à celles de centre-ville. Pour le réseau d'eau, presque l'entièreté d'eau consommée dans la ville de Bujumbura vient du Lac Tanganyika à l'ordre de 75%, de la Ntahangwa à l'ordre de 20% et que le reste vient des contres forts de Mirwa[27].

Le branchement individuel d'eau est très limité dans les quartiers populaires et périphériques comme Buterere, Musaga, Kinama et autres. Les habitants font recours à des bornes fontaines pour l'eau potable. De même pour l'électricité, les mêmes quartiers possèdent des ménages qui ne bénéficient pas de l'électricité suites au solde déficitaire de leurs revenus. Concernant l'assainissement, la ville de Bujumbura possède des réseaux collectifs pour l'évacuation des eaux pluviales et celles usées. La ville possède une seule station d'épuration mal gérée se trouvant à Buterere.

Parlant de l'équipement, c'est l'ensemble des installations ouverts au public qui complète l'habitat aggloméré et qui répond à un besoin collectif[28]. On distingue les équipements collectifs et d'intérêt général et des équipements privés. Parmi eux, il y'a ceux qui exercent un rôle moteur attractif comme les marchés et les écoles.

L'installation de ces équipements est commanditée par des exigences politiques, économiques et sociales. Ces équipements sont aussi inégalement répartis. Par exemple, la commune Rohero compte à elle seule 8 centres de santé et 9 hôpitaux et cliniques, dans la mesure où Ngagara possède 2 centres de santé et aucun hôpital.

27

28 RIVUZIMANA J. C 2005. *Evaluation des aménagements effectues dans la ville de Bujumbura : cas du Quartier Gikungu*, p 16.

Par contre Ngagara possède 19 usines et industries combinées alors que Gihosha et Nyakabiga n'en possèdent aucune. Aussi, Rohero possède 9 instituts supérieurs, mais Buterere, Kanyosha n'en ont aucun. Cette inégale répartition s'explique en grande partie par l'ancienneté des quartiers, leur histoire et leur situation géographique.

En conclusion, L'aire métropolitaine de Bujumbura s'adosse sur les contre forts de Mirwa. Leurs pentes raides limitent son développement urbain dans l'Est. Ces zones sont également soumises à une forte érosion et aux glissements de terrain en raison du manque de techniques appropriées d'atténuation. Malgré la rive du lac continue à l'Ouest de Bujumbura Mairie, la Ville possède un front de plage limité dans le Nord. La dynamique de l'occupation humaine du sol est due à la disponibilité des terres cultivables, à l'attraction exercée par la capitale et surtout la proximité et les débouchés offerts par la ville de Bujumbura en général, depuis 1907 jusqu'aujourd'hui. Ainsi en comparant les différentes données des recensements généraux de 1979, 1990 et de 2008, nous voyons que la population a sensiblement augmenté dans la Mairie de Bujumbura (tableaux 7,8 et 9). La croissance rapide de la population à Bujumbura Mairie impose une pression excessive de développement dans la périphérie de la ville et accroît la valeur de l'immobilier dans le centre-ville. Des infrastructures municipales sont limitées selon les quartiers et sont insuffisantes pour la population actuelle. Le réseau actuel est confronté à une forte pression de développement. Planifié depuis longtemps pour une population moindre, il a aujourd'hui dépassé de manière exponentielle sa capacité prévue.

CHAPITRE II : CADRE THEORIQUE ET CONCEPTUEL, TYPOLOGIE DES EVENEMENTS ET LES FACTEURS QUI AMPLIFIENT LA VULNERABILITE DE L'AIRE METROPOLITAINE DE BUJUMBURA

II.1. Définitions

II.1.1. Vulnérabilité

Certains géographes utilisent le terme de vulnérabilité pour englober l'ensemble des facteurs de faiblesse. La vulnérabilité peut être humaine, matérielle, fonctionnelle, à risque environnementale, etc[29]; ces vulnérabilités pouvant se cumuler. La vulnérabilité est 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. Moins la population dispose de moyens et de capacités d'adaptation face à un risque élevé, plus la vulnérabilité est grande[30].

En somme, les régions et les sociétés les plus vulnérables aux inondations et aux changements climatiques ainsi qu'à leurs dommages sont celles dont la situation économique est défavorable et dont la localisation est à risque[31]. C'est le cas de la zone d'étude.

II.1.2. Catastrophe naturelle

En général, les catastrophes sont des événements bien définis, qui se produisent à un moment et à un endroit précis, qui touchent un nombre important d'individus mais dont les conséquences peuvent être gérées. La manifestation du risque conjuguée avec la vulnérabilité est à l'origine de l'occurrence des catastrophes et des revers de fortune que subissent les populations en particulier celle de Bujumbura dans ces dernières années. Les catastrophes sont donc tributaires d'une parfaite combinaison du danger naturel et de la vulnérabilité. Elles contribuent à la dégradation du niveau de vie des populations et constituent par là même un frein à la croissance économique[32].

---

[29] BOURRELIER P.2000 ; *La prévention des risques naturels ; Rapport d'évaluation, Paris, La Documentation* Française, p 67-69

[30] Ouédraogo, 2008 ; *La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain " Cybergeo, Vulnérabilités urbaines au sud*, p 46

[31] GIEC, 2007a et b, 2007 ; 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,* p 24.

[32] BOURRELIER 1997. (dir.), *La prévention des risques naturels ; Rapport d'évaluation*, Paris, La Documentation Française, p 136

Les catastrophes naturelles ont un coût élevé des pertes en vies humaines, et un profond impact sur les infrastructures économiques et sociales dans un écosystème déjà fragile. Cas du Centre Gynéco-Obstétricale de Kabezi du 6 janvier 2010 et cas de Gatunguru - Carama du 9 au 10 février 2014, avril 2015 et avril 2018[33].

II.1.3. Le concept du changement climatique

La variabilité climatique sont des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe)[34].

II.1.4. 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.

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

1. 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) ;

2. accroître la résilience des composantes de la société aux facteurs de stress d'ordre climatique.[35]

---

[33] Burundi : Analyse des facteurs de risque, évaluation des dommages et proposition pour un relèvement et une reconstruction durable : évaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 Février aux alentours de Bujumbura; p 54-62.

[34] Le 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.

[35] SUNZU–NTIGAMBIRIZWA, S. (2001)- *Etude de vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques - Secteur de l'énergie*, p39.

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[36].

II.1.5. Inondation

L'inondation est une submersion d'une zone qui peut être provoquée de plusieurs façons par des pluies exceptionnelles en durée et en intensité. Les inondations sont parmi les catastrophes naturelles les plus communes et les plus coûteuses du point de vue économique et humain. Plusieurs types de phénomènes météorologiques en sont à l'origine et provoquent des crues des rivières qui traversent la ville de Bujumbura. Le site de cette ville dont la nappe phréatique est à une plus faible profondeur, combinée à la morphologie plane et le réseau hydrographique lui soumet aux risques d'inondation pendant toutes les périodes pluvieuses[37].

II.1.6. Les mouvement de terrain

Les changements de consistance provoqués par les variations de teneur en eau de certains matériaux fins engendrent des déformations de ces matériaux sous l'influence combinée de la pesanteur, et de la pression exercée sur eux par les couches sous-jacentes. La masse du matériel se déplace suivant des modalités variées. Ces déplacements sont à l'origine des mouvements de terrain. Ce dernier peuvent se produire de façon rapide et brutale ou se dérouler lentement et de façon continue.

Les mouvements de terrain dépendent de la stabilité d'une pente[38].

Les principaux types de mouvement de terrain sont les éboulements résultat de l'action mécanique qui s'exerce sur une pente forte conduit au détachement immédiat de blocs et à leur chute sur pente. Il y a aussi les mouvements rotationnels des masses rocheuses détachées par sape mécanique du pied de la falaise et les glissements des bancs rocheux suivant des joints existants.

---

[36] SUNZU–NTIGAMBIRIZWA, S. (2001 Op cit., p39.

[37] MUREKATETE, A., (2005), *Contribution à l'étude de l'érosion et des mesures de conservation des sols dans la région de Gisozi*, FLSH, UB, Mémoire, p 46

[38] VARNES, B.(1978), ; *Landslide classification* ; p 23

Il y a encore les glissements de terrain qui sont des mouvements de masse rapides, vers le bas, d'une partie du matériel d'un versant[39].

Les glissements ou arrachements de terrain sont des mouvements descendant du sol qui s'éboulent et se détachent de la masse supérieure stable par la ligne de fracture courbée. C'est à partir de ce point que le travail de l'érosion arrache des blocs de terres ou des masses informes de sol qui peuvent s'accumuler. Ceci concerne le déplacement du terrain vers l'extérieur de la pente, sous l'action de la gravité généralement associée aux pluies. La nature géologique ainsi que les aspects morphologiques et topographiques influencent de façon claire la répartition et la concentration des glissements de terrain et éboulements. Le contexte structural et tectonique régional fait que les massifs soit intensément faillés et fracturés. A cela s'ajoute le facteur climatique qui accélère les processus d'altération et d'érosion et le remodelage géomorphologique[40].

La majorité des glissements de terrain ont lieu à proximité immédiate du lit des rivières, ce qui indique que le creusement continuel de leur lit dans les roches tendres accélère le risque de glissement de terrain. Plus des trois quarts des glissements menacent d'obstruer le lit des rivières et de créer des retenues temporaires. Ces retenues peuvent céder brutalement et générer des ruissellements sous forme de crue rapide, à fort potentiel destructeur.

II.2. Historique du milieu : Typologie des événements déjà produit à Bujumbura

II.2.1. Les inondations

Dans ces dernières années, la ville de Bujumbura a connu des inondations torrentielles dans des périodes différentes et dans des différents quartiers selon la vulnérabilité de l'une par rapport à l'autre. Ces inondations n'y sont pas sans conséquences directes ou indirectes. Leurs conséquences directes sont multiples : les pertes en vies humaines et les dégâts matériels. Elles ont aussi des effets indirects ; à savoir par exemple une exposition accrue des survivants à des dangers comme la contamination des réserves d'eau potable et les glissements des terrains, sans compter les perturbations que subissent les côtes du lac et le commerce, etc. Ces effets directs et indirects sont relativement nombreux et souvent difficiles à chiffrer.

Bien que les différentes localités de Bujumbura soient touchées par les inondations, elles ne le sentent pas de la même manière.

---

[39] VARNES, B.(1978), Op cit. p 23

[40] Nibigira & al. (2003) ; *La vallée du rift est-africain face aux risques gravitaires : Cas de Bujumbura*, p 26

A Kigobe Nord, les pluies du 13 Avril 2009 accompagnées des orages ont produit une stagnation des eaux dans des parcelles. L'imperméabilisation accélérée à l'intérieur des parcelles d'une part et les erreurs d'aménagement des maisons qui ne tiennent pas compte de la direction et du sens d'écoulement des eaux d'autre part favorisent dans certains endroits les inondations.

Les inondations observées dans les communes Bwiza, Buyenzi et Nyakabiga en quartier Kigwati le18 Janvier 2010, sont dites inondations par rupture ou défaut d'ouvrage. De nombreux débordements d'eau de ruissellement sont observés dans quelques ménages et occasionnent en quelques endroits la destruction des habitations. Ces inondations sont expliquées par le collecteur de Vugizo qui traverse une zone à pente forte par rapport aux parcelles qu'il est sensé drainé d'une part et le prolongement de l'avenu Muyinga qui est surélevé par le chargement d'autre part, explique-t-il. Le même scenario s'est observé en commune Rohero en 2009 et en 2010 où les inondations ont causé de nombreux dégâts de tels points que les voies de communication se sont transformées en de véritables fleuves[41].

Les inondations de février en 2014 ont été le résultat de fortes pluies tombées dans la nuit du 9 au 10, et ont causé les crues des rivières de la région des Mirwa, éboulement et glissements de terres dans le bassin versant de Gikoma. Par la suite l'éboullis et les sédiments ont bouché les buses sous le pont de Gasenyi (R.N.1) et ont dévié la rivière et le mélange d'eau et des sédiments ont coulé sur les quartiers Nord de Bujumbura (Gatunguru, Kinama, Kamenge, Carama et Ngagara, Mutimbuzi, etc.). Selon les rapports de la, cette catastrophe a occasionné de multiples dégâts : 20.000 sans-abri, 3.784 maisons détruites et plus de 67 mortsr[42].

II.2.1.1. La vulnérabilité des populations de la ville de Bujumbura face aux risques d'inondation

La vulnérabilité n'est perceptible que par la présence des populations sur une zone donnée subissant les effets d'un aléa. Il est évident que les évènements climatiques extrêmes, à l'instar des inondations, constituent des facteurs importants de vulnérabilité des populations. Elle est à évaluer constamment à cause de son caractère multidimensionnel et changeant.

---

41 HAGABIMANA. E., (2002): Risque d'inondation, les impacts associés et propositions des mesures de prévention et de protection en milieu urbain de Bujumbura : Zone comprise entre Muha et Nyabagere, université du Burundi, mémoire pour licence, p 21

42 GIZ (2014) : *Résultats de l'analyse rapide de la catastrophe naturelle 2014 au Burundi ; Projet ACCES « Adaptation au Changement Climatique pour la protection des ressources en Eau et Sol* » p18

Ainsi, la vulnérabilité de la population de l'aire métropolitaine de Bujumbura peut diminuer dans le temps si elle développe des capacités d'adaptation significatives face aux risques[43].

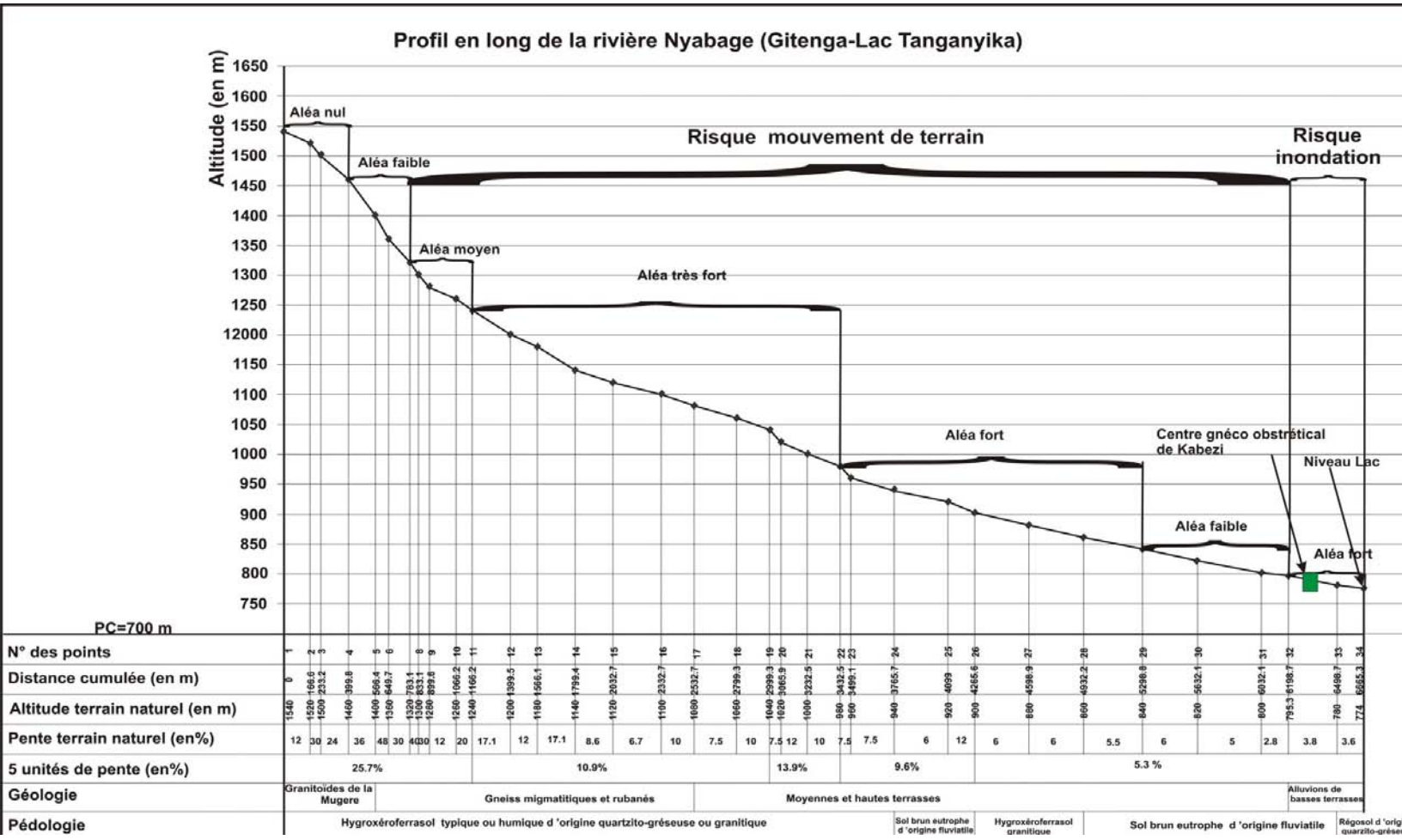
II.2.2. Les glissements de terrains

Les glissements de terrains sont des phénomènes qui se produisent sur les cours d'eau et sur les ravins, surtout sur les berges et provoquent l'élargissement des berges, conduisant ainsi souvent à des mouvements de terrain dits de masse.

La nature géologique ainsi que les aspects morphologiques et topographiques influencent de façon claire la répartition et la concentration des glissements de terrain et éboulements. Le contexte structural et tectonique régional ne fait que les massifs sont intensément faillés et fracturés. A cela s'ajoute le facteur climatique qui accélère les processus d'altération et d'érosion et le remodelage géomorphologique.

[43] O'Keefe P., Westgate K., Wisner B., (1976). «*Taking the Naturalness out of Disasters*». Nature, vol. 260, p 126-128

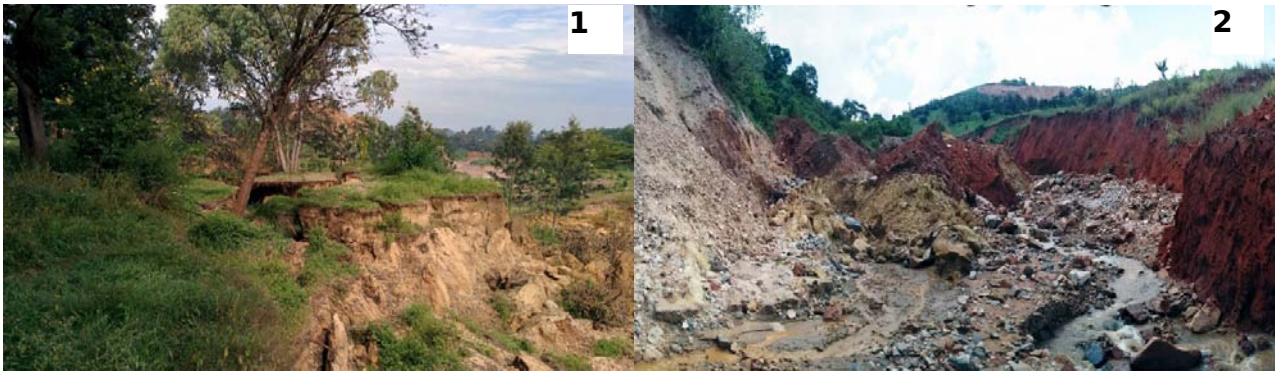
Figure 7 : Profil en long géologie, pédologie, risques et aléas : Exemple de la rivière Nyabage (profil illustratif)



Source : SINDAYIHEBURA B., (Etude qualitative et quantitative pour la maîtrise des risques liés à l'inondation de la rivière NYABAGE au BURUNDI en cas de pluie exceptionnelle, p43)

La majorité des glissements de terrain ont lieu à proximité immédiate du lit des rivières, ce qui indique d'une part que les rivières contribuent avec le creusement continuel de leur lit dans ces roches tendres le risque de glissement de terrain ; et d'autre part que plus des trois quarts des glissements menacent d'obstruer le lit des rivières et de créer des retenues temporaires[44]. Ces retenues peuvent céder brutalement et générer des ruissellements sous forme de crue rapide, à fort potentiel destructeur (Cas de Ntahangwa, photo 1 et Gasenyi, photo 2) en amont[45].

Photo 2 : Glissement et effondrement des berges de Ntahangwa (1) et Gasenyi (2)



Source : Nigibira & al. *« La vallée du rift est-africain face aux risques gravitaires*: *Cas de Bujumbura »Photo 1 et* auteur, le 11juillet 2014 photo 2.

Les conséquences sont nombreuses, surtout chez les riverains, qui se voient dépouillés de leurs biens, soit par démolition des maisons soit par la perte des surfaces cultivables.

Les comportements des rivières ou des ravins que possède la ville de Bujumbura se diffèrent d'une rivière ou d'un ravin à l'autre selon leurs tailles. Les évolutions les plus récentes dans la zone concernent un approfondissement certain et souvent important du lit des rivières et des écoulements en général, et l'agrandissement des lits majeurs, comme le montrent les photos 5 et 6.

[44] Nigibira & al., (2003) « *La vallée du rift est-africain face aux risques gravitaires: Cas de Bujumbura* » p 37
[45] Idem

Photo 3 : Approfondissement du ravin de Kamesa



Source : Nigibira & al. *« La vallée du rift est-africain face aux risques gravitaires*: *Cas de Bujumbura »,(2003)*

Photo 4 : Effondrement de la rive gauche sur la rivière Ntahangwa à Kigobe sur l'avenue Mukarakara.



Source : Auteur 15 mars 2015

II.2.3. L'Erosion hydrique

L'érosion est le résultat de l'action des processus tant mécaniques que chimiques qui contribuent à fragmenter ou à ameublir les roches et permettent ainsi la prise en charge du matériel par différents agents : l'eau et le vent notamment. « *Ces phénomènes ont pris localement, sous l'effet des facteurs anthropiques, une ampleur jusqu'ici inégalée. Ils se manifestent au détriment de la pellicule meuble qui constitue le sol puis, quand celui-ci est décapé, ils peuvent agir directement sur le substrat*

rocheux »[46]. Concernant la zone d'étude « la ville de Bujumbura », la cause principale de l'érosion est l'eau.

L'érosion hydrique est l'ensemble des phénomènes d'usure déclenchée par l'eau, à la surface du sol. « *C'est un processus qui peut être rapide et qui agit en deux temps : altération de la surface puis le transport des matériaux provenant de cette altération* »[47]. La pluie est le principal facteur par son impact (énergie cinétique des gouttes de pluie qui désagrègent le sol et projettent les particules de terre détachées et le transport qui est assuré par l'eau ruisselant) sur le milieu. Ainsi dans la zone d'étude, nous distinguons trois types d'érosion : l'érosion géologique, l'érosion en rigole et l'érosion en ravin.

Il est important de noter que les zones les plus sensibles par rapport à l'érosion sont celles se trouvant dans les périphéries Est de la ville et cela du sud au Nord. Ces sites se trouvent entre la zone urbaine viabilisée et les contreforts. Les risques sont les plus importants dans les voisinages ou le prolongement des rivières et des ravins qui traversent la ville.

II.2.4. Variation du niveau du lac Tanganyika

On rappelle que les grandes variations du niveau lacustre datent de l'époque tertiaire, et que « *c'est la fin de pléistocène que l'exondation de la plaine de la Rusizi et le tracé approximatif du rivage actuel se réalisent suite à l'ouverture de la Lukuga*. »[48] L'apparition de cette dernière va conditionner le lac Tanganyika à déverser ses eaux dans le bassin du Congo en se retirant progressivement sur son emplacement actuel. Ces périodes d'oscillation du niveau du lac Tanganyika expliquent la mise en place des terrasses et d'autres phénomènes géologiques telles que les différentes formations côtières.

Ces terrasses sont mal délimitées puisque les matériaux lacustres et fluviaux se sont dans l'ensemble remaniés sauf plus ou moins dans certains horizons en profondeur ou sur les côtes. Ensuite, les tracés de démarcation du niveau des terrasses sont plus commandés par des épisodes d'affaissement du graben.

Il les distingue comme suit : la première terrasse, entre 860 et 800 m d'altitude, qui est constituée de matériaux de mélanges hétérogènes même dans les couches inférieures ; la deuxième terrasse est

[46] PECH, P. et VEYRET, Y., (1997), *L'homme et l'environnement,* Paris, PUF, p 290.
[47] NGARAMBE, V., (1985), *Etude de l'influence des pratiques culturales sur le développement de l'érosion hydrique en zone de culture intensive de Mumirwa*, Bujumbura, UB, Mémoire, pp 40-76.
[48] KABEYA KANKOLONGO, A.,et SIMWERA-NGULU, S., (1992) *La zone urbaine de Bujumbura : Les phénomènes géomorphologiques et leurs impact sur les aménagements*, Bujumbura, UB, pp42-48.

comprise entre 800 et 780m d'altitude. La troisième terrasse, entre 780m et 774m d'altitude (niveau actuel du lac Tanganyika) qui connaît des apports actuels du lac. C'est la zone de haut risque de transgression lacustre et qui en succombe souvent[49]. Le retrait du lac serait dû à une progression importante des récentes périodes sèches. En outre, les mouvements tectoniques ne cessent de reprendre des phases de soulèvement et d'effondrement simultanés dans la zone du Rift Valley occidental africain[50].

II.2.4.1. Les conséquences de ces variations du niveau du lac

La montée des eaux avait de multiples conséquences sur les zones concernées. L'exemple à prendre en considération concerne la montée brusque du lac qui a « *atteint le 16 Mai 1964 la côte de 777,07 m* »[51]. Celle-ci a causé de très grandes inondations dont la surface inondable d'après les données du tableau 10 qui était estimée à environ 114,80 ha pour la seule zone comprise entre la Muha et la Kanyosha. Cette montée avait atteint 3m de hauteur, soit 90 milliards de m^3 d'eau causant des dommages aux installations portuaires, aux établissements et aux infrastructures du littoral.

Le tableau suivant fournit les **s**urfaces inondées des années 1964 selon la hauteur de submersion pour la partie comprise entre la Muha et la Kanyosha.

Tableau 9 : Surfaces inondées des années 1964 selon la hauteur de submersion pour la partie comprise entre la Muha et la Kanyosha

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

Source : 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, p22).

[49] IYANKUNZE J.C. (2012) : *Planification urbaine, risques naturels et proposition d'aménagement quartier Kibenga « rural»* p.50

[50] KABEYA KANKOLONGO, A., et SIMWERA-NGULU, S., (1992) *Op. cit.*, p44-47.

[51] SINDAYIHEBURA, B., (2005), *Op. cit.*,pp 222-236.

Compte tenu des pentes et altitude des zones littorales, le constat est que ces zones étaient sous eaux à toutes ces époques d'inondations précitées. Car elles sont toutes d'altitude qui peut être assimilée à la troisième terrasse (778-774 m). On observe souvent des eaux lacustres qui inondent ces zones surtout pendant les moments pluvieux. Les récurrentes inondations dues à l'eau du lac Tanganyika, prouvent la nécessité des mécanismes de prévention et d'évacuation des eaux pluvieuses.

II.3. Les facteurs qui amplifient la vulnérabilité de la région de Bujumbura

Une compréhension des facteurs qui accélèrent la vulnérabilité de la région de Bujumbura au risque des événements catastrophiques, liés au changement climatique s'avère essentielle afin de préconiser des actions de gestion des risques, de réglementer un plan de relèvement après les événements, et de reconstruction résilient. La description des aléas à l'origine des dommages (pluie, ruissellement, coulées de boues, glissements de terrain, crues rapides) ; la connaissance des éléments exposés (enjeux) à ces aléas dans les différentes localités de la zone d'étude ; la détermination de la vulnérabilité de ces éléments pour chaque secteur donneraient un profil global pour pouvoir s'adapter au changement climatique dans la ville de Bujumbura. « Parmi les facteurs (intensité ou fréquence des aléas, exposition, vulnérabilité), certains sont naturels et ne peuvent pas être influencés (exemples : topographie, pluviométrie, géologie) et d'autres résultent directement d'une influence humaine (exemples : constructions dans les zones inondables, modifications des pentes pour la construction des routes, manque d'entretien et de nettoyage des collecteurs, etc.) »[52].

II.3.1. Les facteurs naturels

II.3.1.1. Les facteurs météorologiques

L'aire métropolitaine de Bujumbura est touchée par différents phénomènes, et certains sont récurrents, l'inondation par exemple, dont une des origines communes est la pluie intense. L'exemple type est celle qui a touché la région Nord de la ville de Bujumbura, autour du 9 février 2014. Chaque cas s'explique par une succession spécifique d'événements. Le long de la rivière Gasenyi est touché par un phénomène de crue rapide, et d'autres zones ayant été inondées par un débordement plus lent des rivières. C'est le cas du centre Gynéco-Obstétricale de Kabezi. , inondé suite au débordement de la rivière Nyabage en 2010.

---

[52] Burundi : Analyse des facteurs de risque, évaluation des dommages et proposition pour un relèvement et une reconstruction durable : *évaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 Février aux alentours de Bujumbura*.

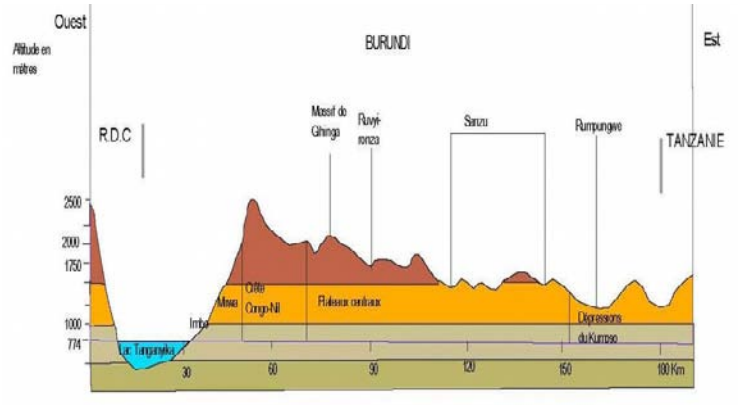
L'analyse des paramètres pluviométriques dans le chapitre III, qui montre le changement climatique dans l'aire métropolitaine de Bujumbura avec des périodes de précipitations intenses, est complétée par la caractérisation de l'événement du 9-10 Février 2014. En cette nuit, « Bujumbura a reçu des précipitations importantes, notamment 32 mm le 4 février, 80 mm dans la soirée du 9 février, un total de 122 mm entre le 1er et le 10 février, et de 153 mm sur l'ensemble du mois de février. La pluviométrie journalière de 80 mm dans la nuit du 9 au 10 février 2014 constitue un événement de période de retour environ décennale. Une pluie décennale ne devrait causer que peu de dommages aux infrastructures.

Toutefois, la pluviométrie de 80 mm a été très concentrée dans le temps, entre 20h et 23h30, et cet événement météorologique dépasse donc la période de retour décennale »[53]. Ainsi la proportion des précipitations contribuant au ruissellement est influencée par différents paramètres. Par exemple, l'encaissement des vallées des cours d'eaux et la longueur de versants influencent beaucoup sur la vitesse d'écoulement et le volume de matériaux transportés. Les facteurs pluviométriques sont compliqués car leur étude doit porter sur de longue période et leur analyse doit être très minutieuse pour aboutir à un résultat fiable.

II.3.1.2. La topographie et la pente

Dans le cours de Géomorphologie structurale nous avons remarqué que le profil en long du Mirwa vers l'Imbo est convexe, et la pente est plus forte vers le haut (Mirwa) et faible vers l'aval (Imbo).

Figure 8 : Profil en long du Mirwa vers l'Imbo (vue d'ensemble)



Source : Ndayirukiye S. : Géographie du Burundi p46

[53] Burundi : Analyse des facteurs de risque, évaluation des dommages et proposition pour un relèvement et une reconstruction durable : *évaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 Février aux alentours de Bujumbura*

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 des quatre grandes rivières qui traversent la ville d'Est en Ouest ; puis aux pentes très faibles dans la plaine avec des divagations naturelles des cours d'eau et des écoulements insuffisants »[54].

Le tableau suivant montre le profil en long, la nature géologique et pédologique et les risques le long de la rivière Nyabage.

II.3.1.3. La profondeur, type et état du sol

Dans la partie amont (Mirwa), les bassins versants des alentours de Bujumbura ont un sol profond constitué de ferrisol humifère limoneux, rouges. Ces sols sont fertiles mais ne doivent être cultivés qu'avec de très grandes précautions car l'érosion y est intense. Leur pouvoir de rétention de l'eau très élevé provoque souvent des glissements de terrains[55]. C'est une zone présentant des aléas pouvant aggraver les risques aux mouvements de masse (figure 8).

Plus proche de la zone urbanisée, deux phénomènes se combinent : d'une part la mise en valeur excessive associée aux pentes fortes conduit à une érosion intense, avec une perte d'épaisseur et de fertilité des sols ; d'autre part à l'approche de la plaine dans l'Imbo, les bas-fonds ont des sols constitués par des vertisols. Ces sols ont une couleur noire et proviennent de l'association entre les argiles et la matière organique. Ils se développent naturellement dans les zones mal drainées, et renforcent l'imperméabilité. En saison des pluies, l'eau apportée par les averses s'infiltre peu lentement et s'évapore en grande partie au lieu de rejoindre les réserves du sol. Le drainage est très insuffisant et le potentiel d'infiltration très faible, d'où un risque d'inondation important dans les zones basses comme Buterere, Maramvya,…où les rizières sont dans des inondations permanentes[56].

---

[54] Burundi : Analyse des facteurs de risque, évaluation des dommages et proposition pour un relevement et une reconstruction durable : *évaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 Fevrier aux alentours de Bujumbura 2014*

[55] NKUNZIMANA A. 2012. Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentiaté des rivières des montagnesde l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. Mémoire UB.p 63

[56] PURI : 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, Mars 2017, p39.

II.3.1.4. Le couvert végétal

La surexploitation des terres et les activités agricoles inadéquates augmentent l'érosion des sols, contribuent aux inondations des terres de la plaine et créent des ravins aux alentours de Bujumbura. L'absence de ce couvert végétal dans les bassins versants des principaux cours d'eau qui traversent la ville de Bujumbura, les écoulements des eaux pluviales pendant la saison de fortes précipitations sont responsables des glissements de terrains et des éboulements qui se répètent dans les Mirwa et sur les berges des rivières qui se présentent dans la zone d'étude. De surcroit, l'agriculture qui se fait sans tenir compte des pentes, avec souvent un labour dans l'axe de la pente, favorise l'érosion. La surexploitation des terres, et l'exposition des sols sans couvert végétal pendant une longue période de l'année, l'expose à l'érosion et à la dégradation des versants[57].

II.3.2. Les facteurs anthropiques

II.3.2.1. Déboisement

Les photographies aériennes de 1957 et les planches adaptées de 1952 montrent que, depuis 1925, la grande partie de la ville actuelle de Bujumbura était occupé par le « *typha dominguensis* » dont on peut observer des reliques dans les zones côtières comme à proximité du Cercle Nautique, dans certaines parties du Quartier Asiatique et dans Kibenga rurale. « *Avec le temps, la région (…) autrefois boisée* [est conquis par] *l'occupation humaine et des cultures ainsi que les travaux pastorales* [qui] *s'étendent du sommet au pied des versants (…). Les formations forestières plus ou moins claires associées à divers faciès de savane ont très largement disparu. C'est devenu aujourd'hui un espace majoritairement occupé par des cultures vivrière plus ou moins intensives annuelles ou pérennes.* »[58] Les mutations radicales de l'occupation du sol ont porté préjudice sur le comportement des cours d'eau et amplifie les risques.

Développé dans le premier chapitre ; la période des années 1930 au 1970 constitue la phase décisive au cours de laquelle l'espace naturel, répulsif de l'Imbo et vide d'homme reçoit l'occupation humaine et les grands travaux d'aménagement routières, hydrauliques, drainages, etc. « *A ce moment, les signes d'une dégradation des terres (érosion, ravinement, …) déjà perceptibles auparavant et peut être accentués par l'abandon des mesures antiérosives des années 1950, se*

---

[57] IYANKUNZE J.C. (2012) : *Planification urbaine, risques naturels et proposition d'aménagement quartier Kibenga « rural»* p.38

[58] SINDAYIHEBURA, B., (2005), *Op. cit.*, pp 41-48.

généralisent dans les Mirwa et Imbo désormais presque entièrement recouverts de cultures pérennes et de petites parcelles vivrières intensives. »[59]

Les bas-fonds des rivières de la région de Bujumbura, qui étaient couverts en 1957 par une savane arbustive ou arborée, comprenant de grands arbres et des palmiers sont envahis en 2002 par les cultures de fonds de vallée (manioc, patate douce …).

II.3.2.2. Extraction des matériaux de construction

L'extraction des matériaux de construction (graviers, sables, etc.) dans les différents cours d'eau de la région de Bujumbura entre autre la Ntahangwa, la Kanyosha, la Murago et la Mugere, etc ; et sur les versants en amont, cause la dynamique perpétuelle des berges et la fragilité du sol sur les versants, change l'amorphodynamique des rivières entraînant ainsi un déséquilibre naturel et rendant la situation compliquée. L'extraction anarchique des matériaux de construction peut changer la vitesse d'écoulement des eaux et engendre la destruction des infrastructures tant publiques que privées. La photo 7 montre une exploitation anarchique des rivières.

Photo 5: Exploitation de la rivière kanyosha



Source : Exploitations des granulats dans la Kanyosha (moellon, gravier et autre) (en haut) et création des zones à risques (creusement des trous) (en bas) (Source : Cliché, Iyankunze J.Claude, 11/12/2010 et 14/12/2010)

[59] *Ibidem*

Cette extraction incontrôlée pour une grande partie, porte préjudice sur l'environnement surtout par les mouvements de terrain qui hantent la région des Mirwa et les rivières de la région de Bujumbura. Aussi, les sites d'emprunt peuvent représenter à long terme un grand danger d'effondrement, car les infiltrations d'eaux le fragilisent. Elles peuvent provoquer de graves dégâts aux populations situées plus bas et aux cultures des riverains.

II.3.2.3. Occupation du sol

La surface administrative de la ville, soit le périmètre urbain défini en 1992, est de 11000 hectares. La surface occupée par des activités urbaines (hors agriculture) est actuellement d'environ 6 000 hectares (Tableau 11).

Tableau 10 : Répartition de l'occupation du sol entre les principaux usages

Type	***Surface occupée***	***%***
Habitat	4380 ha	73 %
Activités	560 ha	9 %
Équipements	780 ha	13 %
Sécurité	210 ha	3,5 %
Confessionnel	80 ha	1,5 %
Habitat	4380 ha	73 %
Ensemble	**6000 ha**	**100%**

Source : SDAU de Bujumbura 2014 p. 63

Selon le même document (SDAU de Bujumbura 2014), la répartition entre les différentes fonctions semble équilibrée, et représentative d'une ville bien agencée. On remarque toutefois qu'une part importante de la surface est occupée par des équipements de sécurité tels que des camps militaires ou de police, qui représente 3,5 % du total (tableau 11). Toujours par son analyse, Une part significative de l'espace urbain est également occupée par de grandes concessions appartenant à des établissements confessionnels, dans lesquels n'ont pas été comptabilisés les plus petits équipements (1,5 % du total).

Cependant, l'analyse de la répartition spatiale de ces fonctions montre des déséquilibres entre la « ville ancienne » (jusqu'aux années 70-80) et les quartiers d'extension. La « ville ancienne » dispose de grandes parcelles pour des équipements structurants ou des activités. Alors que les quartiers périphériques sont composés essentiellement d'habitat, et de petits équipements de proximité.

La ville de Bujumbura connait une grande extension horizontale que verticale, et cela de façon spontanée, ce qui consomme beaucoup des terres et accentue ainsi sa vulnérabilité aux risques naturels[60].

L'habitat occupe 4 380 hectares, soit 73 % de la surface urbanisée. La densité moyenne d'habitant à l'hectare est de 83 habitants à l'hectare, mais ce chiffre cache de grandes disparités entre les quartiers. Le tableau 12 montre la répartition spatiale et les types d'habitants.

Tableau 11 : Répartition spatiale des types d'habitat

Lotissements	**2700 ha**	**61 %**
Parcelles < 500m²	1020 ha	23 %
Parcelles > 1000 m²	780 ha	18 %
Parcelles de 500 à 1000 m²	530 ha	12 %
En cours	370 ha	8 %
Spontané	1680 ha	39 %
Structuré	530 ha	12**%**
Non structuré	1150 ha	26 %

Source : SDAU de Bujumbura 2014 – Rapport Final p. 64

Des quartiers périphériques, séparés de la ville par des coupures naturelles (cours d'eau) sont très compacts et peuplés, avec peu d'équipements et souvent sous dimensionnés. Ils comportent très peu d'espaces verts de récréation. Ils sont soumis à un développement rapide d'habitat spontané en périphérie, qui représente près de 40 % de la surface de la ville, sur des zones à risque (inondation et érosion). Ce sont souvent des zones dédiées aux activités économiques et aux industries, mais qui tendent à s'étendre le long du lac alors que cette zone était réservée à d'autres activités de loisir. Enfin, la zone métropolitaine de Bujumbura est un site qui arrive presque à sa saturation et qui est soumise aux risques naturels[61].

De surcroit, le dépôt des déchets dans des endroits qui ne sont pas appropriés accroit aussi les dégâts lors des catastrophes naturels. C'est le cas de Gisyo à 787m d'altitude et entre 3° 26'03'' de latitude Sud et à 29° 20'57'' de longitude Est, dans la zone urbaine de Kanyosha. Les conséquences sont nombreuses. Si une fois apparaissent des inondations, comme c'est fréquent dans la zone

[60] SDAU de Bujumbura 2014 p. 63
[61] SDAU, Op cit., p. 63

d’étude, les déchets seront charriés, polluant ainsi les eaux du lac et le milieu environnent. Se trouvant à côté d’un ancien site d’emprunt, les déchets de toute sorte en provenance de presque toute la ville de Bujumbura y sont déposés et sont éparpillés sur ce site (photo 8.) et contribuent à polluer l’eau et l’air de la zone, pouvant causer des maladies infectieuses.

Photo 6 : Site de dépôt des déchets à Kizingwe à Kanyosha



Source : Auteur 14 avril 2018

En définitive, dans les bassins versants, on a affaire à des matériaux d’éboulis dont l’équilibre physique est particulièrement fragile liée à la nature de la roche et les très fortes pentes. Les glissements de terrain sont très nombreux et obstruent l’écoulement des eaux formant ainsi des barrages.

Au cours de ce chapitre, après avoir déterminé les événements déjà produits, nous avons déterminé les facteurs, qui accentuent la vulnérabilité de notre zone d’étude, l’aire métropolitaine de Bujumbura.

Cette zone présente des aléas moyens (figure 8) bien que c’est de là que naissent des eaux de ruissellement qui causent des pertes en aval. Or, plus la pente est forte plus l’eau de ruissellement augmente de vitesse, plus l’intensité d’arrachement croît et le volume des matériaux charriés

augmente ; et ce volume va être déposé dans les basse terres, et les eaux vont déborder causant ainsi des dégâts.

Ce chapitre a illustré que, à part les actions anthropiques (occupation anarchiques des zones urbaines) qui soient responsables de ces dégâts, mais plutôt que la raideur des pentes, l'intensité des pluies, le couvert végétal et la nature de la roche existante sur place en sont aussi responsables et avec une grande part.

Le chapitre suivant étudie le changement climatique au Burundi en général et à Bujumbura en particulier. Il analyse les données météorologiques fournies par la station aéroport de Bujumbura et de celle Buhonga.

CHAPITRE III : LE CHANGEMENT CLIMATIQUE AU BURUNDI EN GENERAL ET A BUJUMBURA EN PARTICULIER

Les changements climatiques sont en marche et auront, même dans les scénarios les plus optimistes (ceux où les mesures seraient prises dès à présent pour limiter radicalement les émissions de GES d'origine anthropique), des conséquences peut-être dramatiques pour l'humanité. Au cours de ce chapitre, nous allons nous focaliser sur le cas du Burundi dans le cadre général et celui de Bujumbura en particulier, sur la base d'une analyse de variation des précipitations et des températures durant 50 ans (1960-2010).

III.1. Généralités

III.1.1. Le mécanisme climatique

Le cours de climatologie nous décrit que le soleil est le moteur principal de la machine climatique sur la terre. Une partie de l'énergie solaire, principalement contenue dans la partie visible du spectre électromagnétique est directement renvoyée vers l'espace par les nuages et la surface terrestre. C'est l'albédo. L'autre partie est absorbée par le sol et les océans. L'atmosphère à son tour, absorbe une partie de ce rayonnement terrestre et réémet à la fois vers l'espace et vers le sol. La surface de la terre est donc plus chaude qu'elle ne le serait sans atmosphère : C'est ce qui est connu sous le nom d'effet de serre[62].

Les molécules responsables de cet effet sont la vapeur d'eau, le gaz carbonique et d'autres gaz comme méthane et protoxyde d'azote. Quand les conditions changent que soit par l'énergie reçue du soleil ou par le contenu en gaz à effet de serre, le système climatique évolue vers un nouvel état d'équilibre. Ce phénomène, les climatologues le désignent sous le vocable de réponse à un forçage. Dans cette évolution, le changement d'un paramètre entraine des modifications d'autres paramètres. Par exemple, l'élévation de température augmente le contenu en vapeur d'eau et en gaz carbonique de l'atmosphère, modifie la couverture nuageuse. Aussi, l'augmentation de la température de l'océan risque de diminuer l'efficacité de celui-ci pour absorber une partie du carbone entropique[63].

[62] GIEC (2008) ; *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) : http://www.ipcc.ch
[63] Idem

III.1.2. Cause de l'évolution climatique

Il existe plusieurs gaz à effet de serre dans l'atmosphère dont la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O), l'ozone (O_3), les halo carbures et l'hexafluorure de soufre, les aérosols, les gaz à effet radiatif indirect comme les composés organiques volatiles (COV), le monoxyde de carbone (CO) et les oxydes d'azote (NO_x). Tous ces éléments ne sont pas responsables au changement climatique. Seuls le CO_2, le CH_4 et N_2O en sont responsables[64].

Le dioxyde de carbone (CO_2) représente plus de 60 % des émissions de GES d'origine humaine. Il résulte essentiellement de la combustion des énergies fossiles (transport, industrie, agro-alimentaire, habitat, etc.) et du changement d'utilisation des sols (agriculture et déforestation). Le méthane (CH_4) est principalement émis par le secteur agricole (rizières, élevage des ruminants, déjections animales). Le reste provient de la production des énergies fossiles et des décharges. Le protoxyde d'azote(N_2O) est surtout produit par le secteur agricole (épandage d'engrais azotés sur les sols) et certaines industries chimiques. (GIES 2007). Selon la même source, depuis 1750, sous l'effet des activités humaines, les concentrations atmosphériques de CO_2, de méthane (CH_4) et d'oxyde nitreux (N_2O) se sont fortement accrues[65].

Les rejets annuels de dioxyde de carbone (CO_2) le plus important gaz à effet de serre anthropique ont progressé de 80 % environ entre 1970 et 2004. En 2005, les concentrations atmosphériques de CO_2 (379 ppm) et de CH_4 (1 774 ppb) ont largement excédé l'intervalle de variation naturelle des 650 000 dernières années (GIES 2001). La poursuite des émissions de GES au rythme actuel ou à un rythme plus élevé devrait accentuer le réchauffement et modifier profondément le système climatique au XX^{ème} siècle. Il est très probable que ces changements seront plus importants que ceux observés pendant le XX^{ème} siècle ; poursuivit la GIES 2001. La figure suivante donne la part de CO_2, CH_4 et N_2O dans l'ensemble des gaz à effet de serre (en pourcentage)[66].

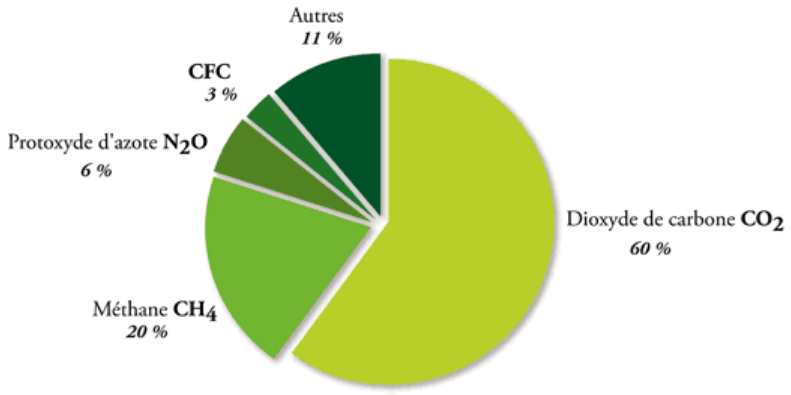
---

[64] Simon B.,(2006): *La problématique climatique du Burundi: analyses de la contribution du pays, risque de dommages potentiels, politique d'adaptation et comparaison dans le contexte global*, p 7

[65] Idem

[66] Ibidem

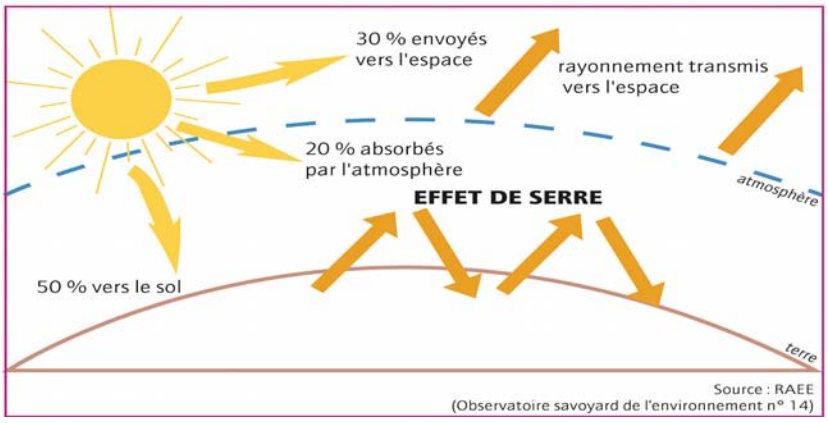
Figure 9 : La part de CO2, CH4 et N2O dans l'ensemble des gaz à effet de serre (en pourcentage).



Source : Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation.

Malgré la connotation négative que l'on attribue à ces gaz à effet de serre, cet effet est un phénomène naturel : Dans l'atmosphère, on retrouve une couche de gaz : les gaz à effet de serre. Cette couche de gaz agit comme les fenêtres d'une serre et capte la chaleur du soleil. Les rayons du soleil traversent cette couche de gaz et s'en vont réchauffer la surface de la Terre. La surface de la Terre, ainsi réchauffée, réémet des radiations vers l'atmosphère. Toutefois, la couche de gaz à effet de serre absorbe une grande quantité de ces radiations, les empêchant de retourner dans l'espace. La figure suivante donne une représentation schématique de l'effet de serre[67].

Figure 10 : Représentation schématique de l'effet de serre



67 Mission Interministérielle de l'effet de serre, Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité, 8ème Session du Groupe de Travail II du GIEC, Bruxelles, du 02 au 06 avril 2007, p 29

III.1.3. Le Burundi et les gaz à effet de serre

Le Burundi a ratifié la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques le 06 janvier 1997. Elle est entrée en vigueur à son compte en date du 06 avril 1997. Par conséquent, il s'est engagé en vertu de l'article 12, à préparer et à présenter à la Conférence des Parties une Communication Nationale sur les Changements Climatiques. L'inventaire des émissions anthropiques des GES au Burundi a été réalisé au courant de l'année 1998. Les résultats ont été publiés dans un document de synthèse en octobre 2000 par le projet BDI/98/G32. Les secteurs qui ont été couverts par cet inventaire sont : l'énergie, l'industrie, l'agriculture, l'aménagement du territoire, la foresterie et la gestion des déchets[68].

L'inventaire s'est focalisé sur les gaz suivants : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O) qui figurent sur la liste des GES réglementés par le protocole de Kyoto. Cet inventaire a cependant porté sur d'autres gaz émis comme les oxydes d'azote (NO_2), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM)[69].

[68] CCNUCC : Burundi *: première communication nationale*, 2001, p 95
[69] Idem

III.2. Le changement climatique au Burundi

La modification du climat au Burundi est conditionnée par l'altitude et dépend largement de la circulation générale de l'atmosphère dans les zones intertropicale dominée par la convergence des alizées du Sud-Est et celui du Nord-Est. De plus, la répartition des températures épouse fidèlement les ensembles orographiques du pays. Ainsi, avec une altitude inférieure à 1000 m, la région de l'Imbo a une température comprise entre 23 et 24.5° ; la région de Mirwa, Kumoso, Buragane et Bugesera connaissent une température moyenne comprise entre 21 et 23° ; les plateaux centraux enregistrent entre 18 et 21° ; tandis que sur la crête, elle varie de 15.8 et 18°.
Dans les mêmes ensembles orographiques, la répartition moyenne des précipitations sont de 900mm/an ; la zone de Mirwa, Bugesera. Buragane et Kumoso ont une pluviométrie qui varie entre 1000 et 1300 mm/an, la région des plateaux centraux enregistre une variation entre 1200 et 1600mm/an, dans la mesure où la crête Congo-Nil connait 1600mm/an[70].

Dans les régions périphériques de basses altitudes comme Imbo, Kumoso et Bugesera se présente une longue période de la saison sèche qui dure 6 mois, de mai à octobre, depuis 1999.

L'analyse de l'évolution temporelle des précipitations au Burundi sur une période plus longue révèle un caractère cyclique. Les périodes d'excédent alternent avec celles de déficit pluviométriques par rapport à la normale. Par contre, une analyse de l'évolution de la température moyenne montre une hausse de celle-ci par rapport à la normale. La température dans la région a monté de 0.7 à 0.9°C depuis 1960.

Selon le Premier rapport de communication sur le changement climatique(2001), les scénarios de changements climatiques élaborés ; montrent qu'au cours de la période 2000-2050, on assistera à une hausse constante de la température moyenne de l'air d'environ 0,4°C tous les dix ans. L'accroissement de la température atteindra 1,9°C à l'horizon 2050 et le réchauffement sera plus important pendant la grande saison sèche, de mai à octobre. S'agissant des précipitations, celles-ci augmenteront légèrement en moyenne de 3% à 10 %.

---

[70] NKUNZIMANA A., (2012) : Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. Mémoire UB, p 26-27.

Cependant certains mois tels que novembre à mars connaîtront une plus forte pluviométrie par rapport à la situation de base (>25 %). En revanche, le groupe de mois de mai et octobre verront leur pluviométrie diminuée de 4 % à 15 %.

III.3. Etude du changement climatique à Bujumbura

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. La CCNUCC, quant à elle, estime que le phénomène, s'ajoutant à la variabilité climatique existante, est directement ou indirectement lié aux activités humaines.

Ce point traite les données météorologiques des différentes stations implantées dans la zone d'étude. Il s'agit des stations de Bujumbura-Aéroport et de Buhonga. Le calcul des fréquences journalières des pluies, le prélèvement des pluies exceptionnelles et des pluies extrêmes, l'analyse de la disparité des précipitations ou températures par rapport à la moyenne sur 30 ans « normale » et de multiples autres observations, nous permettent d'approuver certains indices en relativisant la présence d'un phénomène et sa répercussion sur le milieu physique.

III.3.1. Analyse des données journalières de la station Bujumbura-Aéroport de 1960 à 2010.

Cette station se situe dans la plaine de l'Imbo au Nord-Ouest de la ville de Bujumbura, précisément à l'Aéroport International de Bujumbura à 785 m d'altitude. Plusieurs irrégularités s'observent dans la répartition journalière, mensuelle et annuelle des précipitations et des températures de la station de Bujumbura. Cela se manifeste par la lame de pluie tombée, sa fréquence ou sa périodicité s'il y en a. Néanmoins, les données du mois de décembre 1997 n'y figurent pas tandis que les données sur la température se limitent en décembre 2006[71].

[71] NKUNZIMANA A., (2012), Op cit., 26-27.

III.3.1.1. La répartition inégale des précipitations dans le temps

Pour mieux étudier les indicateurs liés aux changements climatiques, nous avons mis une attention sur l'analyse des précipitations. Le volume de pluie tombé pendant une durée déterminée renseigne beaucoup plus sur l'existence ou non des fluctuations climatiques. Les précipitations tombées en une journée peuvent être révélatrices d'un phénomène temporel tandis que les totaux mensuels permettent de faire une comparaison de la répartition saisonnière et de surcroît en déduire si des changements il y a ou non.

Les pluies journalières de volume inférieur ou égal à 5 mm sont les plus fréquentes soit 87.77% des jours de pluie sur les 51 ans (tableau 13). Des précipitations journalières comprises entre 15 et 30 mm ne représentent que 2.65%. Des pluies abondantes allant de 30 à 60 mm sont rares (tableau 13). Sur 18474 jours de pluies observés seulement 153 cas ont été enregistrés. Quant à des pluies supérieures ou égales à 60 mm, il y a lieu de signaler qu'il s'agit des pluies exceptionnelles.

Elles représentent 0.21% tandis que les pluies extrêmes ≥ à 100 mm n'ont eu lieu que 4 fois. Leur fréquence est très minime. Soulignons aussi que de 2011 à 2015 des pluies extrêmes et même exceptionnelles se sont présentées dans notre zone d'étude (station de Bujumbura aéroport). Elles totalisent 36 cas dans l'ensemble[72].

Tableau 12 : Fréquences journalière des pluies de 1960 à 2010

Precipitations	Fréquences	Pourcentage
≤ à 5 mm	16214	87,77
] 5-15] mm	1575	8,53
]15-30[mm	489	2,65
]30-60[mm	158	0,86
≥ à 60 mm	38	0,21
Total	18474	100

Source : NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 34 (à base des données météorologiques fournies par l'IGEEBU)

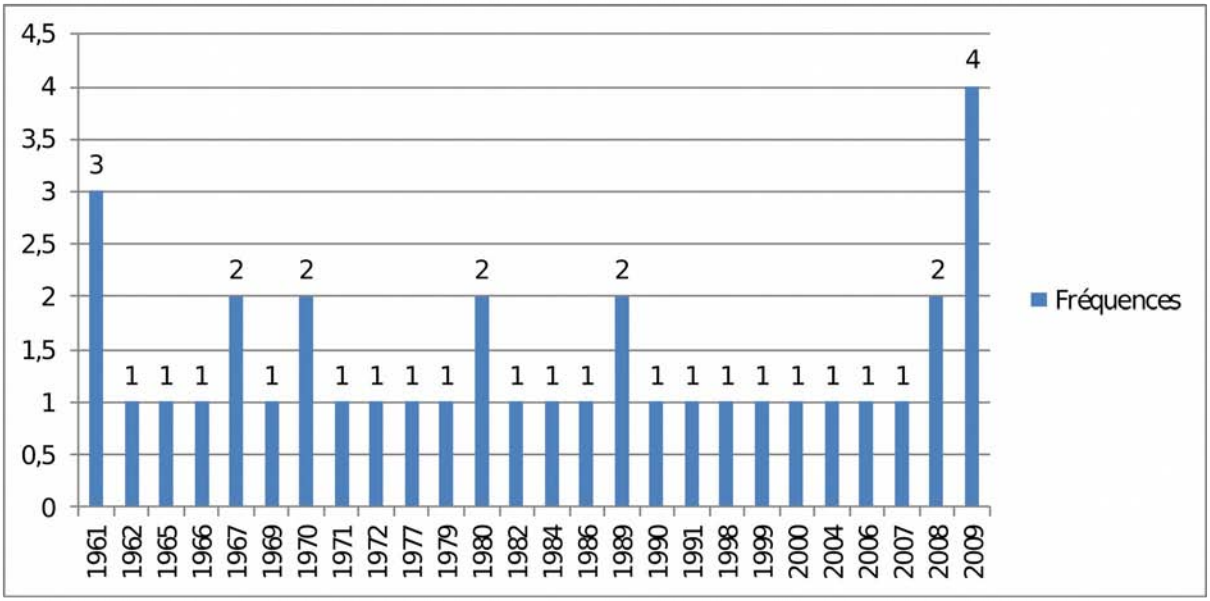
[72] NKUNZIMANA A.,(2012) : *Op cit.* p 26-27.

III.3.1.2. L'apparition des pluies exceptionnelles : indicateurs des changements climatiques

Pour donner des qualificatifs à certaines tranches de pluies, Il fallait connaître la moyenne journalière et la hauteur maximale journalière annuelle. Ainsi, selon la même source, la moyenne journalière de 1960 à 2010 s'élève à 2.21 mm, la moyenne sur 30 ans « Normale » à 2.35 mm (de 1960 à 1989) tandis que la moyenne des 20 dernières années (de 1990 à 2010) ne s'élève qu'à 2.05 mm soit une diminution de 0.3 mm par rapport à la période précédente (de 1960 à 1989).

Vu la moyenne journalière, une pluie qui s'élève à 60 mm ou plus est une pluie exceptionnelle. Il s'agit des événements rares. En milieu tropical humide, les jours où les précipitations supérieures à 20 mm sont considérés comme exceptionnels. La figure suivante nous montre des fréquences des pluies journalières≥ à 60 mm de 1960 à 2010.

Figure 11 : Fréquences des pluies journalières ≥ à 60 mm de 1960 à 2010.



Source : NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 36 (à base des données météorologiques fournies par l'IGEEBU)

A partir de cet histogramme, l'observation sur 50 ans (1960-2010) permi et de repérer que 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 2009, 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 s'agit des années qui ont connu le plus de pluies pendant cette période d'observation. Aussi, de 2011 au Février 2016, de pluies exceptionnelles représentent 36 fois de fréquences, dont 17fois des pluies extrêmes, tombées dans les mois de novembre, décembre, janvier, février et mars[73].

De 1961 à 1964, cette période correspond à la crue centennale là où le niveau du lac Tanganyika a monté atteignant la côte 777,08 (chapitre II, tableau 10).

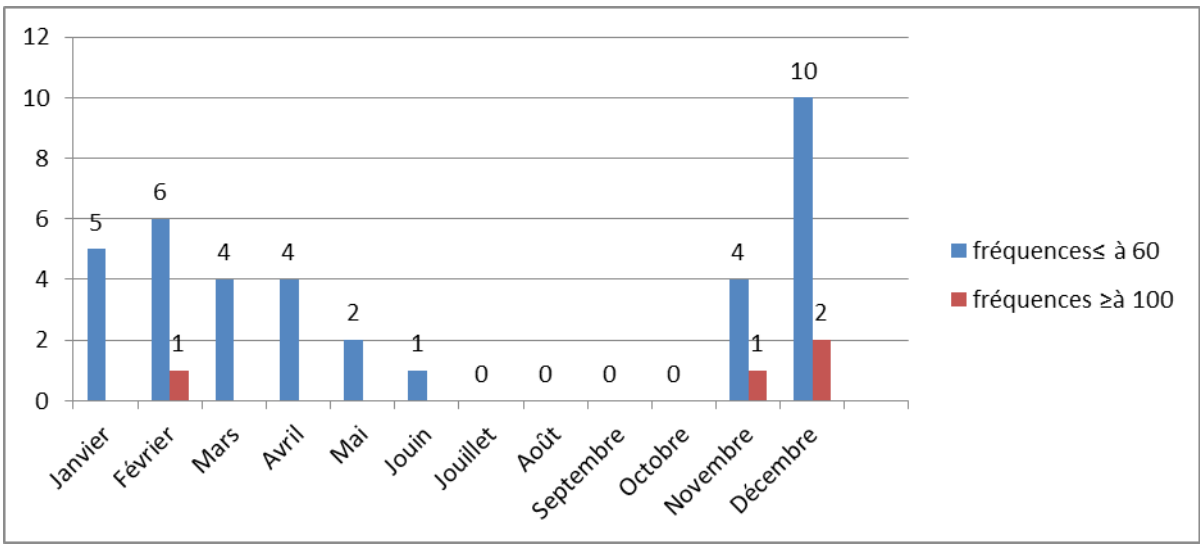
Sur 50 ans d'analyse, nous constatons 36 cas de pluies exceptionnelles dont 10 cas ont été enregistrés au mois de décembre (soit 27,7%); ce qui explique que le mois de janvier correspond à un mois à très haut risque (dégâts liés à l'inondation) dans l'agglomération de Bujumbura et ses environs car le sol est déjà saturé. Mentionnons aussi que la catastrophe de 2014 a eu lieu au début du février. Or, le mois de décembre 2013 a enregistré 123,2 mm, janvier 2014 avec 113,1 mm et le mois de février la même année.
160,4 mm ; ce qui explique davantage la saturation du sol depuis le mois décembre et le mois de janvier et par conséquent à risque d'inondation.

Parmi les 10 cas enregistrés en décembre, 3 ont été observés en 1961 soit 30% des pluies exceptionnelles tombées au mois de décembre. Cette période correspond aux inondations provoquées par le lac Tanganyika qui ont submergé une grande partie de la capitale avec des pertes matérielles et financières énormes.

Sur ces 36 cas observés, 5 cas sont enregistrés en janvier, 6 en février, 4 en mars, 4 en avril, 4 en novembre et 10 en décembre (figure 14). On n'en déduit que pluies exceptionnelles s'observent de novembre à avril, la période correspondant aux maxima pluviométrique au Burundi. La figure 13 illustre des pluies exceptionnelles et extrêmes de 1960 à 2010.

[73] NKUNZIMANA A.,Op cit; p36-38

Figure 12: Fréquence des pluies exceptionnelles et extrêmes de 1960 à 2010



Source : NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 34 (à base des données météorologiques fournies par l'IGEEBU)

Quant aux pluies extrêmes, on entend les épisodes pluvieux courts mais qui sont souvent à l'origine de crues. Ces événements sont rares et donc peu observés, il est difficile d'en étudier les tendances évolutives de façon directe.

Au cours de cette analyse on définit les pluies extrêmes comme étant celles dont la lame d'eau tombée par jour est supérieure ou égale à 100 mm. A partir de 1960 jusqu'à 2010, on a enregistré quatre cas des pluies journalières extrêmes. Le 12 février 1970 : 115.9 mm ; le 31decembre2006 : 110 mm et le 11novembre 2009 : 142 mm et le 22 décembre 2009 : 121.5 mm). Pendant cette période trois se sont produites depuis les quatre dernières années respectivement une en 2006 et deux en 2009. Sur 50 ans d'observation (de 1960 à 2010) 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.

Sur les 100% des pluies extrêmes supérieures à 100 mm enregistrés, durant cette période d'analyse, 50% tombent au mois de décembre voire (l'histogramme ci-haut).

Cela confirme encore une fois que le mois de janvier est le mois à très haut risque. Pour dimensionner les ouvrages d'art tels que les ponts, les buses, les drains, etc., on utilisait la valeur 110 mm pour calculer l'intensité des pluies et pour enfin calculer le débit. Depuis 2012 dans le mois de décembre, on utiliser la mesure extrême de 246mm.

Les changements climatiques sont une réalité à Bujumbura et l'adaptation devient une nécessité. La date du 11 novembre 2009 correspond à l'inondation généralisée dans l'agglomération de Bujumbura avec, environs plus de 300 maisons qui ont été détruites à Bujumbura et plus de 500 à Gatumba, et les dates du 9 et 10 février 2014, avril 2015 et avril 2018 correspondent à l'inondation dans les quartiers Nord de Bujumbura, avec de multiples dégâts.

III.3.2. Analyse des moyennes et des extrêmes (maxima et minima).

Sachant que le climat s'exprime essentiellement par des moyennes, des amplitudes, des extrêmes et des fréquences, il est nécessaire de voir l'influence des pluies exceptionnelles sur la répartition des pluies. Ainsi pour une analyse plus fine, on caractérise des pluies « moyennes », « exceptionnelles » et des pluies « extrêmes ». Il a trouvé la moyenne mensuelle sur les 51 ans de 66.7 mm (de 1960 à 2010)[74]. La valeur extrême est apparue en 1961 au mois de décembre. Le tableau ci-après présente les moyennes, maximum et minimum des précipitations mensuelles de 1960 à 2010.

[74] NSABIMANA S, (1978). *Etude de Vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques au Burundi, secteur paysages*. Bujumbura p54

Tableau 13 : Moyenne, maximum et minimum des précipitations de 1960 à 2010

Mois	Moyenne	Maximum	Minimum
Janvier	106,1	249	19,4
Février	95,2	230,1	11,5
Mars	114,9	217,4	0
Avril	108,6	231,3	42,1
Mai	59	189,5	0
Juin	9,2	89,2	0
Juillet	3,5	52,2	0
Août	10,5	67,4	0
Septembre	34,5	106,1	1,2
Octobre	63,3	114,1	9,8
Novembre	98	249	10,8
Décembre	106,6	453,2	0

Source : NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 30 (à base des données météorologiques fournies par l'IGEEBU)

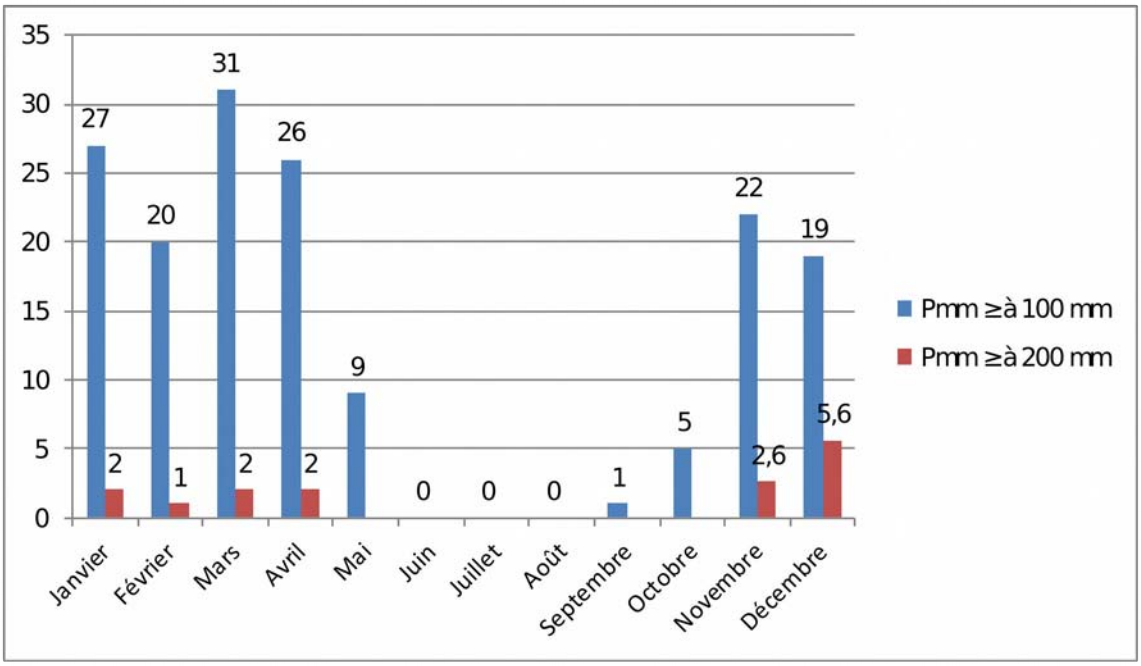
III.3.2.1 Analyse des précipitations mensuelles ≥ à 100 mm.

Sur la période d'observation, les précipitations mensuelles « moyennes » (≥ à 100 mm) apparaissent 160 fois. Le mois qui a connu la plus grande fréquence des pluies de cette catégorie est celui de mars qui totalise une fréquence de 31 sur 50 soit plus 60% des cas vient ensuite les mois de janvier et avril avec respectivement 27 et 25 cas d'apparition[75]. Le mois de novembre totalise 22 cas (figure 14).

La figure suivante illustre les fréquences mensuelles ≥ 100 mm de 1960 à 2010.

[75] NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 30-32

Figure 13 : Fréquences mensuelles ≥ 100 mm de 1960 à 2010



Source : NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 40 (à base des données météorologiques fournies par l'IGEEBU)

Parlant des précipitations extrêmes, le mois de décembre enregistre plus de cas extrêmes bien qu'il ne soit pas classé premier pour les cas des précipitations ≥ à 100 mm. Sur 16 cas de pluies extrêmes parus sur les 51 ans, le mois de décembre a enregistré des précipitations extrêmes 6 fois, soit 37.5% de ces cas. Le cumul des précipitations sur 3 mois (octobre, novembre et décembre 1961) a atteint 755.2 mm. Le cumul sur quatre mois (janvier 1962=230.1 mm) a fourni 985.3 mm soit une quantité de 87.2 mm de plus par rapport à la moyenne normale sur 51 ans d'observation.

Il y a lieu de rappeler ici que c'est pendant le mois de janvier que le phénomène d'inondation est observable dans plusieurs localités de Bujumbura. Le cas le plus frappant est celui du début janvier 2010 où l'Aéroport International de Bujumbura a failli être inondée entièrement celui de décembre de la même année au même endroit, et celui de début février 2014, au Nord e la ville de Bujumbura.

Les mois ayant enregistrées les pluies extrêmes coïncidentes avec les précipitations journalières exceptionnelles ou extrêmes, le cas le plus éloquent est celui de 2006 où les précipitations journalières extrêmes et les précipitations mensuelles extrêmes sont apparues le même mois de décembre. Il en est de même pour 2014. Le mois de janvier à 113,1 mm et février 160,4 mm.

Entre 1960 et 2010, 16 cas de pluies mensuelles « extrêmes » ont été identifié plus de 35% de ces cas sont enregistrés respectivement en mars et avril, ce qui confirme davantage les cas d'inondations dévastatrices observées pendant cette période[76].

III.3.2.2. Disparité des moyennes mensuelles par rapport à la « Normale »

L'analyse des fréquences journalières et mensuelles des précipitations, ont conditionné une nouvelle analyse sur le décalage des précipitations connues depuis 1990 à travers les moyennes mensuelles.

La moyenne mensuelle sur 30 ans « Normale » des 12 mois de l'année montre une nette viabilité du climat. Presque tous les mois ont enregistré une moyenne sur vingt ans ≤ à la « Normale ». « *Seuls les mois de mars, Juin, Juillet et octobre ont eu durant ces 21 dernières années (depuis 1990) des moyennes supérieures aux moyennes normales mensuelles de 1960 à 1989 »*[77] (tableau3).

Cette affirmation est une preuve, d'anomalie climatique étant donné que ces dits mois sont des mois secs au Burundi, sauf le mois de mars. Le tableau ci-après montre le décalage des moyennes des précipitations mensuelles sur les 21 dernières années (de 1990 à 2010) par rapport à la moyenne. Pendant cette période, 8 mois sur 12 ont connu des moyennes nettement inférieures à la « Normale ». Le tableau suivant montre le décalage des moyennes mensuelles par rapport à la normale.

[76]. NKUNZIMANA A., p 30-32
[77] Ibidem

Tableau 14 : Décalage des moyennes mensuelles par rapport à la « Normale »

Mois	Moyennes normale sur 30 ans	Moyennes sur 21 ans	Décalage par rapport à la normale
Janvier	108.6	102,43	-6,17
Février	99.2	89,53	-9,67
Mars	114.2	115,91	+1,71
Avril	122.4	88,82	-33,58
Mai	66.7	48,10	18,6
Juin	8.1	10,75	+2,65
Juillet	2.7	4,49	+1,79
Août	13.9	4,98	-8,92
Septembre	38.4	28,91	-9,49
Octobre	63.1	63,68	+0,58
Novembre	106.8	85,44	-21,36
Décembre	112.1	97,55	-14,55

Source : NKUNZIMANA A., Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. p 41 (à base des données météorologiques fournies par l'IGEEBU)

III.4. Analyse des données journalières de la station Buhonga de 1963 à 2002.

Les données disponibles à Buhonga de 1963 à 2002 permettent d'effectuer une analyse statistique des précipitations extrêmes au pas de temps journalier. La répartition des 36 pluies journalières maximales annuelles ≥ à 50 mm selon leur mois d'occurrence indique que 13.9% des événements extrêmes se produisent en septembre et en novembre, tandis que 30 .6% des événements extrêmes se produisent également en janvier, février et mars[78].

De 1963 à 2002, 5 cas des pluies journalières maximales annuelles ≥ à 80 mm ont été observées respectivement en 1963 (88 mm), 1964 (80 mm), 1980 (83.6 mm), 1991 (80.7 mm), et 2000 (80.7 mm).

Sur les 313 cas des précipitations journalières ≥ à 25 mm et ≤ à 50 mm enregistrées à la station de Buhonga de septembre 1963 à décembre 2002, les 275 cas se produisent entre novembre et avril.

[78] .PURI : 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, Mars 2017, 89p.

Parmi 275 cas, les 31 sont observées en novembre, les 45 cas en décembre, les 31 cas en janvier, les 71 cas en février, les 40 cas en mars et les 57 cas en avril. Environ 25.8% de ces cas se produisent au mois de février et ce qui montre que le mois de février est le mois à risque de glissement de terrain dans les Mirwa. En plus, environ 61% de ces pluies considérées comme extrêmes s'observent entre janvier et avril.
L'analyse des précipitations mensuelles revêt une importance capitale dans la mesure où elle permet de saisir l'évolution de la pluviométrie au cours de l'année.

De septembre à avril, les pluies reçues mensuelles dans la région du Mirwa (station de Buhonga) augmentent progressivement. Sur une période de 40 années (1963-2002), durée d'observation réputée suffisante, c'est le mois d'avril qui enregistre parfois la plus importante quantité de pluies (14,7%). Pendant la même période, environ 5.3% des précipitations mensuelles tombent en juillet, 8.0 % en octobre, 12.8 % en novembre, 11.6 % en décembre, 12.3 % en janvier, 10.3 % en février, 13.3 % en mars et 8.2% en mai.

A partir de mai, les précipitations amorcent une diminution progressive et représente 0.4% en mai. Dans la région des Mirwa, 75 % des précipitations mensuelles s'enregistrent entre novembre et avril. Environ 50 % des précipitations mensuelles tombent entre septembre et janvier.

En 40 ans, sur les 10 cas des précipitations mensuelles extrêmes ≥ à 300 mm déjà enregistrés, 1 cas s'est produit en novembre, 2 cas en décembre, 2 cas en janvier, 2 cas en mars et 3 cas en avril. Pendant la même période, le record des précipitations mensuelles (407.5 mm) a été enregistré en novembre 1964, date qui correspond à la montée des eaux du lac Tanganyika. Le record des précipitations annuelles a été enregistré la même année (1800 .5 mm).

Suite à la saturation du sol, les mois de janvier et de février sont des mois à très haut risque de glissement dans les Mirwa et à très haut risque d'inondation dans l'Imbo. Les données des précipitations annuelles de la station de Buhonga présentent l'avantage de décrire et de caractériser leur distribution dans le temps. Elles permettent également d'apprécier l'ampleur des *déficits et des excédents.*

Sur les 40 années d'analyses de la pluviométrie à la station de Buhonga sur la période 1963 - 2002, 16 cas sont inférieures à la moyenne interannuelle (soit 40%) et 24 cas sont supérieurs à la moyenne interannuelle (soit 60%). Cette moyenne interannuelle s'élève à 1316,1mm.
Le minimum pluviométrique est intervenu en 1999 (739,4 mm) et en cette année-là, le déficit était de - 576,7mm, soit - 43,8%. Le maximum, pour sa part est survenu en 1964 avec un excédent de 483.9 mm (soit 36,8%) par rapport à la moyenne interannuelle.

De 1963 à 2002, cinq séquences peuvent être retenues :

- Une période sèche de 1999 à 2000 dont la moyenne pluviométrique est de 961,3mm et représentant un déficit moyen de - 354,9mm, soit - 279% par rapport à la moyenne interannuelle. Cependant, le déficit pluviométrique est très creusé en 1999 (- 576,7mm, soit - 43,8%). Cette période coïncide à la sècheresse qui a lourdement frappé les provinces du Nord du Burundi notamment Muyinga et Kirundo ;
- Une période moyennement pluvieuse de 1970 à l972. La moyenne des précipitations reçues pendant cette période est de 1448,6 mm, représentant un excédent de 132,5 mm, soit 10,1% par rapport à la moyenne interannuelle ;
- Une 2ème période moyennement pluvieuse de 1975 à 1977 dont la moyenne pluviométrique est de 1450, 9 mm et représentant un excédent de 134,8 mm par rapport à la moyenne interannuelle ;
- Une 3ème période moyennement pluvieuse de 1985 à 1988. La moyenne pluviométrique pendant cette période est de 1429,2mm, représentant un excédent moyen de 113,1mm, soit 8,6% par rapport à la moyenne interannuelle ;
- Une période très pluvieuse de 1997 à 1998 dont la moyenne pluviométrique est de 1601, 9 mm et représentant un excédent moyen de 285,8 mm (soit 21,7% mm par rapport à la moyenne interannuelle. C'est dans cette séquence, où l'on retrouve le deuxième maximum pluviométrique annuelle 1674.5 mm de ces 40 dernières années (en 1997 avec un excédent de 358,4mm). Le record a été enregistré en 1964 avec un excédent de 483.9 mm par rapport à la moyenne interannuelle.

Pendant les 40 ans d'observation, 3 années avec un déficit hydrique très prononcé ont été identifiées, en 1966, en 1999 et en 2002 représentant respectivement un déficit de – 426.1mm, de – 576.7mm et – 361.9 mm.

Si on compare les données pluviométriques de la station de Bujumbura, située à 781 mètres d'altitude dans l'Imbo à celles de la station de Buhonga située à 1300 mètres d'altitude dans les

Mirwa, la tranche d'eau annuelle moyenne précipitée passe de 820 à 1316,1mm. Malgré l'hétérogénéité des données, les valeurs moyennes issues des 2 stations de Bujumbura et de Buhonga, on peut noter que le gradient pluviométrique altitudinal est nettement plus fort quand on passe de Bujumbura à Buhonga (augmentation de 12.8% par 100m), qui traduit sans doute l'effet d'abri plus marqué auquel est soumise la dépression du Tanganyika vis-à-vis des flux humides dominants.

Les fortes précipitations mensuelles et annuelles des Mirwa associés à d'autres facteurs déclenchent plusieurs glissements de terrain qui affectent les sous bassins versants des rivières, Gasenyi, Kidumbugwe, Nyabage, Nyabagere et Kinyankonge.
Suite aux forts changements d'occupation et d'utilisation du sol intervenus dans les bassin versants des rivières, Gasenyi, Kidumbugwe, Nyabagere et Kinyankonge (en milieu rural) et dans l'agglomération de Bujumbura du même bassin surtout depuis 1980 associés aux indicateurs des changements climatiques (pluies extrêmes et exceptionnelles), les risques naturels sont une réalité à Bujumbura et l'adaptation devient une nécessité.

III.5. Evènements climatiques extrêmes : le phénomène des inondations

Pour prévoir ce genre d'évènements soudains et ponctuels, plus difficiles à analyser que des moyennes pluviométriques, il est nécessaire d'avoir des données sur de longues périodes. Pour notre cas, nous avons analysé les précipitations de depuis 1960 à 2010. Une période de 51 ans. Or, celles-ci sont actuellement limitées (GIEC, 2007a). Néanmoins, le GIEC souligne l'augmentation probable des « risques de phénomènes météorologiques extrêmes » en lien avec les changements climatiques. Les averses qui tombent dans notre zone sont parfois caractérisées par des quantités d'eau très élevées, sur une période réduite. C'est le cas du 2, du 13 et du 22 avril 2018 où on a enregistré respectivement 60,5 mm, 31,5mm et 57,2 mm.

Les hauteurs d'eaux relevées après un épisode pluvieux peuvent parfois correspondre aux moyennes mensuelles. Pour le cas, pendant 30 jours du mois d'avril 2018, le cumul est de 269,9 mm. Durant 30 jours, on a rencontré trois inondations dans le Nord de la ville de Bujumbura. Allant plus loin, le cumul des précipitations sur 3 mois (octobre, novembre et décembre 1961) a atteint 755.2 mm et janvier 1962 a enregistré 2301 mm et 407.5 mm a été enregistré en novembre 1964.

Nous constatons que l'intensité des pluies est un paramètre majeur dans l'ampleur des inondations. Un autre paramètre naturel fait varier l'ampleur des conséquences des pluies : le type de sol et de sa

morphologie. Si les pluies s'étalent sur plusieurs jours consécutifs ou que l'épisode pluvieux est très intense, la capacité d'absorption des sols est dépassée : après engorgement l'eau se maintient en surface et ruisselle[79]. Moins l'eau s'infiltre et plus vite elle ruisselle, et les matériaux solides transportés surcreusent le sol, puis vont stagner et accumuler du sable dans les bas-fonds et dans les quartiers en aval.

III.6. Les années sèches successives et le mois secs, preuve des changements climatiques

Au Burundi, on considère comme « année sèche » une année dont le total des précipitations est inférieur à 620 mm[80]. Au cours de cette période (50 ans), 7 cas d'années sèches ont été identifiés respectivement en 1960 avec 614.9 mm ; en 1992 avec 617.8 mm ; en 1993 avec 615.3mm ; en 1995 avec 484.1mm ; en 1997 avec 272.1mm et en 2003 avec 545.4mm de hauteur de pluie. Excepté l'année 1960, 6 cas sur les 7 existent depuis 1992. Ce qui représente 83.3% du total des cas. Selon son analyse, la période 1990 à 2010 est caractérisée par une régression des précipitations, preuve que les fluctuations ont atteint son paroxysme ces 2 derniK+ères décennies.

Les écarts notables ont eu lieu pendant les années 1995 et 1997, période correspondant à la diminution du niveau du Lac Tanganyika et à la sécheresse dans les provinces du Nord (Kirundo). Vient ensuite l'année 2003 qui correspond également à la période de sécheresse qui a affecté les provinces du Nord et celles de l'Est du Burundi entre autres les provinces de Kirundo, Muyinga, Ruyigi et Cankuzo.

Quant aux mois secs il faut souligner qu'ils varient entre 4 et 9 depuis 1960 à Bujumbura. Les records de mois secs ont été observés depuis cette date. Il était 8 en 1960, 9 en 1995, 9 en 1997, 8 en 2000 et 8 en 2010[81].

Parmi d'autres caractéristiques de ces dernières années, nous allons mentionner qu'il y'a des années qui ont connu beaucoup de mois secs et une longue période sèche alors qu'elles ne sont pas sèches.

---

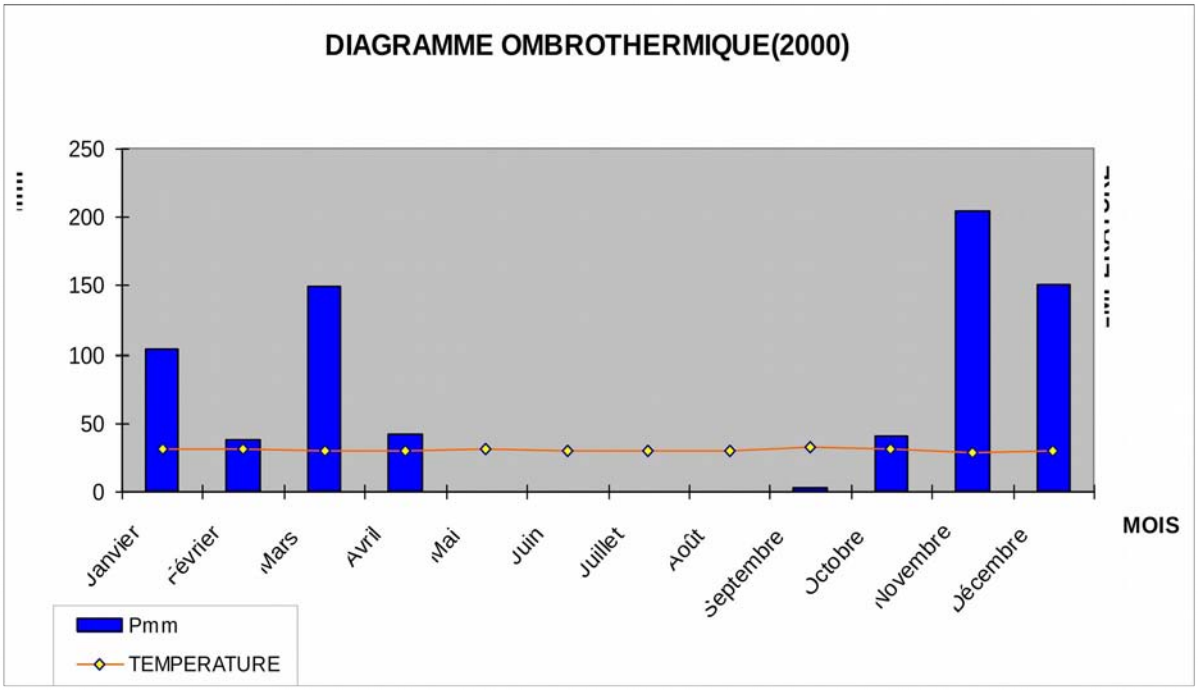
[79] Dasylva J,. (2009). La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain Cybergeo, Vulnérabilités urbaines au sud p 12

[80] PURI : 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, Mars 2017, 89p.

[81] PURI : 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, Mars 2017, 89p.

C’est le cas pour l’année 2000 qui a enregistrée 728.8 mm de précipitations annuelles mais qui a totalisé 8 mois secs (figure 15). Ce sont surtout des années qui ont enregistré des pluies exceptionnelles, donc des précipitations intenses pendant de courtes durées.

Figure 14: Diagramme ombrothermique en 2000



Source *:* PURI : 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, Mars 2017, p 43.

« La grande variabilité interannuelle des pluies résulte du fait que, le plus souvent, une part importante de la pluie annuelle se produit lors d’un petit nombre d’événements pluvieux et que l’occurrence de ces événements est très aléatoire. »[82] Le cumul de la précipitation sur 4 mois (Novembre, Décembre, Janvier et Mars) en 2000s’élevait à 607 mm de pluies soit 83.2% des précipitations tombées toute l’année. Tous les restes sont des mois secs.

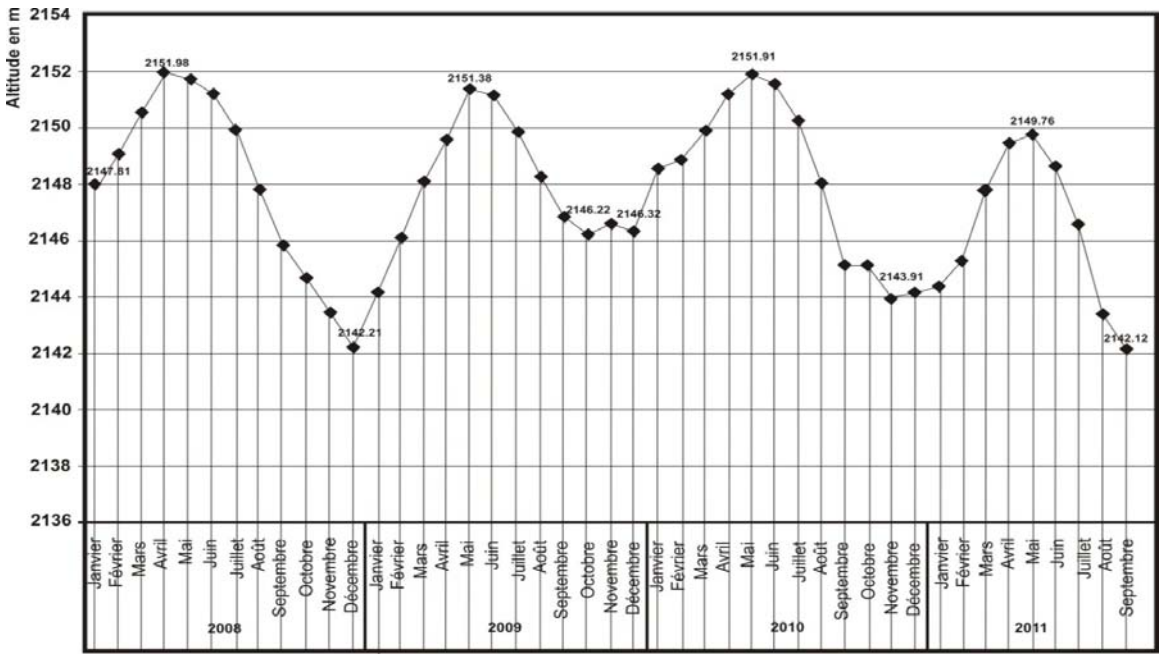
Par les 5 cas identifiés 4 existent depuis les 15 dernières années. L’année 2010 a totalisé 8 mois secs avec une précipitation de 642.6 mm L’année 2010 correspond au déficit hydrique dans

[82] COSANDEY C., et ROBINSON M., 2007. *Hydrologie continentale*. Armand Colin, Paris, page 27

plusieurs coins du pays y compris Bujumbura. Les années 1995 et 1997 et 2010 ont porté préjudice à la vie économique de la ville de Bujumbura suite au manque d'électricité lié à la diminution du lac de retenu de Rwegura. Les services de la REGIDESO ont procédé au délestage.

La comparaison des données des années pluvieuses et sèches montrent une corrélation entre la montée et la basse du niveau du lac de retenu de Rwegura. Depuis 2008 à 2011, une forte hausse du niveau du lac de 9.09 m a été observée de décembre 2008 à mai 2009 sur une période de 6 mois correspondant à 716.8 mm de pluie (figure 16).

Figure 15 : Niveau du lac de retenu de RWEGURA (relevés du premier jour de chaque mois)



Source : PURI : 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, Mars 2017, p 49.

Cette forte hausse s'explique aussi également par une pluie extrême qui s'est observé en 2009 de 1231.9 mm. Une forte baisse du niveau du lac d'une valeur de 8 m s'est observée en 2010 de mai à novembre en 7 mois correspondant à 40.4 mm, ce qui donne une moyenne mensuelle de 5.77 mm de pluie tombée pendant cette période. Cette chute considérable correspond à la perte hydrique de l'année 2010 qui a connu 8 mois secs avec une précipitation très faible de 634 mm. Ce même phénomène a continué en 2011, car en 5 mois de mai à septembre 2011, le lac a perdu 7.64 m, ce qui a donné une diminution de 1.5 m par mois.

La très forte baisse du niveau du lac en 2008 de 9.77 m est liée à une faible pluviosité de 2007et de 2008 qui était estimée respectivement à 874 et 741 mm

Depuis janvier 2008, le niveau le plus bas du lac de retenu a été atteint en septembre 2011 avec comme cote 2142.12 m soit une baisse de 9.86 m par rapport au niveau du mois de mai 2008.Cette baisse est liée à la perte hydrique de l'année 2010. Ce niveau est la cote la plus basse que le lac a connue depuis la création du barrage de Rwegura en 1986. Le niveau d'eau a énormément baissé suite au dessèchement des rivières qui se déversent dans le lac de retenue de Rwegura.

Depuis juin 2011, le Burundi, en particulier la capitale Bujumbura, vit dans une quasi-obscurité la nuit, et dans une paralysie des activités la journée. C'est ainsi que le gouvernement a ordonné à la Régie de production et de distribution de l'eau et de l'électricité (REGIDESO), de procéder au délestage de l'électricité dans la capitale Bujumbura en servant les quartiers un jour sur les 3.Les quartiers sont alimentés aux jours et heures fixes pendant que d'autres sont dans le noir ou tout simplement ne sont pas alimentés en attendant leurs tours. Cette situation qui se présente ainsi dans les ateliers de soudure, de menuiserie, dans les salons de coiffure et dans les boucheries est la même dans d'autres secteurs des petits et moyens entreprise (PME) comme les points de vente de lait, les cafeterias, les bistrots et autres. Le quartier populaire de Buyenzi abrite un grand beaucoup e d'ateliers qui vivent de la soudure dans des garages de routine.

Ce délestage est venu, selon certaines personnes qui ne vivent que de ce métier, aggraver la situation qui n'en était pas bonne. Dans la commune voisine de Bwiza, c'est le même son de cloche surtout chez les menuisiers du quartier appelé Jabe qui s'est presque spécialisé dans la menuiserie. Une autre activité qui est généralisée dans ces deux communes urbaines de Bujumbura (Buyenzi et Bwiza) et même dans d'autres communes de la mairie de Bujumbura, ce sont les salons de coiffure qui avaient essayé de résoudre le problème de chômage surtout chez les jeunes démobilisés. Suite à ce délestage, Bujumbura a enregistré des pertes considérables en 2011.

III.7. La diminution des jours de pluies depuis 1990 preuve des changements climatique

La diminution ou l'augmentation des jours de pluies est un indice important dans l'étude des changements climatiques. De même, le nombre de jours de pluies n'implique pas le volume des pluies tombées.

Depuis 1990, les jours de pluies ont sensiblement diminué comparativement à la moyenne des 30 premières années (de 1960 1989). La moyenne des jours de pluies de 1960 à 2010 est égale à 140,

la « Normale » à 153 tandis que la moyenne de 1990 à 2010 est de 120 jours soit un écart de 20 jours en moyenne par rapport à la période 1960 à 1989. A partir de 1990, l'année 1991 est la seule qui a enregistré beaucoup de jours de pluies qui est 163 soit 10 jours de plus que la « Normale **»**

L'année 1964 a connu plus de jours de pluies (180), suivie par 1971 et 1973 avec 168 jours chacune. L'année qui a été la plus sèche est 1995 durant laquelle les pluies sont tombées pendant 87 jours seulement. C'est au 16 mai 1964 où le lac Tanganyika a monté et atteint la cote 777.08 m submergeant une très grande partie du littoral du lac et entraînant une paralysie totale de la capitale Bujumbura au Nord et au Sud.

La lettre du 15 mai 1962 adressée au Ministre de l'Intérieur à Usumbura par le Gouverneur de la Province de Bubanza Rwamo Mathias confirme la hausse des eaux dans toute la plaine d'Imbo et l'ampleur de la montée du fleuve Rusizi *« En plaine, spécialement dans les paysannats de Gihanga et de Nyamabere les inondations augmentent du jour au lendemain et à une vitesse que l'on ne saurait pas suivre, du fait même qu'il pleut sans discontinuité et que le niveau de la Rusizi est tellement haut qu'elle ne reçoit plus ses affluents qui parcourent cette plaine. En conséquence les paysans continuent à s'enfuir vers les contreforts en abandonnant cultures et habitations sous eau»*[83].

Une estimation globale des dommages occasionnés de 1961 à 1964 par cette série de catastrophes humaines (noyades, personnes blessées, déplacées), affectant les biens (destructions, détériorations et dommages aux habitations, au bétail, aux cultures, aux ouvrages, paralysie des services publics…) et l'environnement (endommagement, voire destruction de la flore, pollution diverses en ville), une telle estimation est difficile dès lors que les documents d'archive sont lacunaires et n'ont pas été bien conservés et entretenus[84].

Depuis cette période, le lac a retrouvé sa surface habituelle, le niveau de base des rivières est revenu à la normale, mais tous les épisodes suffisamment longs et présentant des intensités pluviométriques suffisamment élevées, conduisent régulièrement au débordement des rivières qui traversent la plaine.

[83] PURI : 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, Mars 2017, p 18

[84] SINDAYIHEBURA B., 2005 ,Op., cit. p.214

III.8. Variabilité de la température : Signe avant-coureur des changements climatiques

« Le changement climatique désigne de lentes variations des caractéristiques climatiques en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement »[85]

La température est un indicateur fiable des changements climatiques. Les prévisionnistes utilisent toujours la température dans l'estimation des variations climatiques et des dégâts qui suivront. S'agissant de la station Bujumbura-Aéroport, les changements commencent vers les années 1990 et augmentent lentement.

III.8.1. La variation journalière des températures

L'analyse des données sur la température permet de fournir quelques indicateurs liés aux changements climatiques dans Bujumbura. Cependant, la moyenne des moyennes journalières sur une période de 30 ans depuis 1960 à 1989 est de 29.32^{0}C (tableau 16). Celle de 1990 à 2006 correspond à 30.04^{0}C, soit une augmentation de 0.72^{0}C. La moyenne des moyennes journalières sur 46 ans s'élève à 29.57^{0}C. L'augmentation de 0.72^{0}C sur une période de 16 ans est très grande étant donné que les scénarios sur l'élévation de la température prévoient une augmentation de 0.4 ^{0}C pendant 10 ans.

Le maximum des températures depuis 1960 a été observée en 2005 (39° C), ce qui donne une température de 9.4°C de plus par rapport à la moyenne des températures journalières les plus élevées. Sur 7 cas des maximales des températures les plus élevées (> par rapport à la moyenne des températures journalières sur une période de 50 ans = 29.6°C), 5 sur 7 cas ont été enregistrés depuis 1995 c'est-à-dire pendant les 10 dernières années (1995, 1997, 2000, 2003 et 2005). Parmi les sept années les plus chaudes depuis 1960, 5 sont postérieures à l'an 1995 (tableau 16).

Tableau 15: Variation de la température par tranche

Tranche de 10 ans	Moyenne par tranche (en °C)
1960-1970	29.26
1971-1980	29.15
1981-1990	29.57
1991-2000	30.01
2001-2006 (6 ans)	30.30

[85] http :www>climatique.centerblog.net/1067268-*Définition-et-introduction*, 2010

Source: PURI : 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, 2017,p58.

Depuis les décennies 1971-1980 et 1981-1990, la température a augmenté de 0.42 ºC, de 0.44 ºC pendant les décennies 1981-1990 et 1991-2000, et de 0.29 pendant six ans (de 2001 à 2006). A Bujumbura, le réchauffement s'est globalement poursuivi sans discontinuer de 1980 à 2010, sur 30 ans, temps généralement considéré par les météorologues comme suffisant à titre de tendance sur le court terme. Au niveau mondial, l'élévation de la température moyenne du globe entre 1906 et 2005 est estimée à 0,74 °C (à plus ou moins 0,18 °C près), dont une élévation de 0,65 °C durant la seule période 1956-2006.

Le changement climatique est en cours, et nous constatons déjà un certain nombre de conséquences qui ne feront que s'amplifier à l'avenir.

Certains articles scientifiques montrent que l'année 1998 a été la plus chaude de toute l'histoire de la météorologie, que le réchauffement s'accélère de 0,8 °C en un siècle, dont 0,6 °C sur les trente dernières années. Pour les climatologues regroupés au sein du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), l'augmentation des températures devrait se poursuivre au cours du XXI^{ème} siècle. L'ampleur du réchauffement attendu le plus probable est de à 1,8 à 3,4 °C.

Les variations observées dans les simulations climatiques sont à l'origine d'un éparpillement des prévisions de l'ordre de 1,3 à 2,4 °C, pour un scénario (démographique, de croissance, de « mix énergétique mondial », etc.) donné. Le type de scénario envisagé a un effet de l'ordre de 2,6 °C sur le réchauffement climatique simulé par ces modèles et explique une bonne partie de la marge d'incertitude existant quant à l'ampleur du réchauffement à l'avenir.

Les projections d'augmentation de température pour l'horizon 2100 données par le GIEC (du rapport de 2007) s'échelonnent de 1,1 à 6,3 °C. Les experts du GIEC affinent leurs projections en donnant des valeurs considérées comme « les meilleures estimations », ce qui permet de réduire la fourchette de 1,8 à 4,0 °C. L'élévation au niveau mondial entre 1993 et 2003 est estimée à 3,1 mm par an (plus ou moins 0,7 mm). L'élévation prévue du niveau de la mer en 2100 est de 18 à 59 cm, selon le quatrième rapport du GIEC. Il s'agit probablement d'une estimation minimaliste, car les prévisions du GIEC sont basées uniquement sur le réchauffement futur de l'océan et la fonte prévue

des glaciers de montagne, en excluant les phénomènes liés à une instabilité possible des calottes polaires, récemment mis en évidence.

Compte tenu de l'augmentation de la température à Bujumbura depuis les dernières décennies, cette hausse entraînera la hausse du niveau du lac Tanganyika pendant les années très pluvieuses et des crues.

En conclusion, du point de vu climatique, comme les autres régions du Burundi, l'aire métropolitaine de Bujumbura connaît un rythme pluviométrique à quatre temps. Ce rythme pluviométrique est marqué par deux maximas et deux minimas. Les particularités de la circulation atmosphérique dans cette partie du Burundi font que ces maximas et ces minimas soient très inégaux. L'étude des précipitations et des températures de l'aire métropolitaine de Bujumbura, (sur les données de plus de 50 ans) montre que sur cette zone s'opèrent des changements climatiques, avec des effets néfastes. Les cumuls mensuels de la station météorologique de l'aéroport de Bujumbura constituent des éléments importants pour expliquer le climat de la zone d'étude. Au cours de l'évolution de ce chapitre, nous avons démontré que la diminution ou l'augmentation des jours de pluies est un indice important dans l'étude des changements climatiques.

Le chapitre suivant étudie et détermine la vulnérabilité sociétale et territoriale de notre zone d'intérêt.

CHAPITRE IV : VULNERABILITE SOCIETALE ET TERRITORIALE AUX INONDATIONS DE L'AIRE METROPOLITAINE DE BUJUMBURA DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le défi actuel que possède l'humanité, pourrait bien être celui de son développement urbain dans un contexte de changements climatiques. La croissance urbaine effrénée, commune dans les pays du tiers monde, pose drastiquement le problème des ressources, des inégalités sociales et celui de notre rapport à l'environnement. Les changements climatiques auront pour effet d'exacerber ces pressions. Les zones inondables qui se situent en milieu urbanisé sont ainsi des territoires

vulnérables, tant du point de vue de la population qui s'y concentre que des extrêmes hydrométéorologiques auxquels elles sont de plus en plus exposées.

Depuis 1980, en milieu urbain de Bujumbura, le nombre d'habitations construites en zones inondables ne cesse d'augmenter. Il passe 120 000 en 1950 à 300 000 en 2008[86]. C'est dans les zones urbaines de Kinama, Buterere et dans la commune de Mutimbuzi. Cela montre l'inefficacité des stratégies globales ou nationales de réduction des risques et la tendance à souvent négliger les évolutions des environnements naturels[87]. La ville de Bujumbura connaît depuis de nombreuses années des épisodes d'extrêmes hydrologiques (chapitre III) qui se traduisent, entre autres, par des débordements de cours d'eau. Les modifications dans la pluviométrie affectent le régime hydrique de cette zone et entraîner des problèmes d'inondation plus intenses. Ces épisodes peuvent accroître le risque tant pour les infrastructures, les activités économiques que pour les populations.

La relation de causalité entre crise sociale et crise « naturelle » provient ici de la gestion séparée des risques sociaux et environnementaux, comme si ceux-ci étaient indépendants. C'est pourquoi, les stratégies d'adaptation vis-à-vis des risques environnementaux, et du risque d'inondation en particulier, doivent être réfléchies conjointement à la résolution des crises sociales sous peine de répéter indéfiniment le cycle qui conduit des crises sociales vers les crises environnementales[88]. Dans la zone d'intérêt, l'impact d'une inondation peut être lié à l'extension de la crue et à sa durée et les échelles spatiales et temporelles affectées par les inondations sont très variables.

Certaines grandes inondations historiques sont connues pour avoir duré plusieurs jours et submergé des espaces très vastes. Par exemple, le 11 avril, 2009, la Kinyankonge a débordé de son lit et l'inondation a duré 2 jours. Ce chapitre étudie quelques cas précis des inondations avec des coups y relatifs.

IV.1. Premier cas : Au Centre Gynéco-Obstétricale de Kabezi

Le Centre Gynéco-Obstétricale de Kabezi a connu des inondations dévastatrices le 06 jeanvier 2010. Le lendemain, les eaux de débordement avaient déjà atteint une hauteur de 80 cm environ. Les coulées de boues sont survenues pendant la nuit du 08 jeanvier 2010. Le Centre a été rempli de

[86] SDAU 2014, P 29.

[87] PURI : 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, 2017,p 44.

[88] Idem

boue aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur sur une superficie de 5000 m^2 avec une moyenne de 30 cm de hauteur de boue. Tous les locaux étaient conquis par la boue et l'eau. L'eau dépassait facilement 20 cm au-dessus de la boue. Le niveau des eaux et de la boue a atteint 1.8 m de hauteur sur le mur de la clôture et dans les salles d'hospitalisation (photo 9). La clôture était directement en contact avec ces crues qui ont dévalé sur une très forte pente à la traversée de la RN3. Les bâtiments sont restés stables excepté une partie de la clôture qui a été touchée par le courant de ces coulées de boue (Côté Nord du Centre)[89].

Photo 7 : Hauteur de la boue dans la salle d'hospitalisation et sur la clôture



Source : PURI : 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, 2017,p 58.

IV.1.1. Caractérisation des pertes et dégâts

Des différents rapports et études en l'occurrence celle de SINDAYIHEBURA Bernard «« *Etude qualitative et quantitative pour la maîtrise des risques liés à l'inondation de la rivière Nyabage au BURUNDI en cas de pluie exceptionnelle* », montrent que les conséquences des pluies diluviennes des 6 et 7 janvier 2010 ont été catastrophiques tant sur le plan humain que sur le plan matériel.

IV.1.2. Le bilan humain

Cet événement n'a occasionné ni de décès, ni de disparition, mais un mort-né qui était dans la morgue a été emporté par le torrent. Le 6 janvier 2010 tous les patients en soins intensifs (42

[89] PURI Op cit .,p 44.

femmes et 10 bébés) étaient sous l'eau. Le lendemain, tous les patients ont été transférés dans d'autres structures de santé de Bujumbura.

IV.1.3.Les équipements

Les dégâts aux équipements ont été établis rapidement. Les estimations budgétaires par le MSF étaient évaluées à environ 178.000 € pour supporter la remise en état du Centre, la location des structures de santé à Bujumbura pour les patients évacués lors de la catastrophe, la prise en charge dans les cliniques et le paiement des factures.

La façade Nord du mur s'est effondrée. Un conteneur a été déplacé par le torrent à une distance de 8 m. Le bloc administratif, la maison de garde , les 2 blocs d'hospitalisations (avec 62 lits), 2 blocs pour la cuisines, 4 toilettes et 4 douches, une morgue, un incinérateur, une salle pour les équipements (machines et groupes électrogènes, machines à laver), la salle des infirmiers, les salles d'accouchements, de néonatologie et d'opération , les appareils médicaux et les médicaments ont été abimés. Le laboratoire a été touché également. Les équipements (machines et groupes électrogènes, machines à laver), les appareils médicaux et les médicaments ont été mis hors d'usage.

IV.1.4. Les activités agricoles

Les résultats de ces dégâts ont été la submersion (mort des végétaux par asphyxie des racines), de l'effet du courant (plants renversés ou arrachés, en particulier les maniocs et surtout les plantations des bananeraies situés en bas du Centre gynéco de Kabezi), des dépôts de boue ou de déchets divers (cultures souillées ou recouvertes), et enfin de l'érosion allant de "griffes" localisées au décapage total. Quelques hectares de terres ont disparu emportant les cultures.

IV.1.5. Autres dégâts

Le bilan général des autres dégâts rencontrés la zone d'intérêt, suite aux pluies exceptionnelles des 6 et 7 janvier 2010 est lourde. Environ 202 maisons se sont écroulées à Gatumba (dans les quartiers de Mushasha I, Mushasha II, Muyange I, Muyange II, Garawe, Mukoranya et Kinyinya II). Pendant la même période, plus de 400 ménages étaient sous l'eau à Buterere. A Kanyosha, la rivière Mugoyi a débordé et inondé plus de 300 ménages dans les quartiers de Kajiji et de Kirwati. Ici 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. Le domaine aéroportuaire et les installations aéroportuaires (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 l'affaissement de la chaussé[90].

IV.1.6. Le coût et les travaux d'urgence effectués

Les estimations budgétaires par le MSF étaient évaluées à environ 178.000€ pour supporter la remise en état du Centre et la location des structures de santé à Bujumbura pour les patients évacués lors de la catastrophe.

Les travaux d'urgence ont été effectués par le personnel de MSF et des bénévoles de plusieurs catégories à savoir : l'équipe de la Croix Rouge de Kabezi, la Protection civile ; les habitants des collines avoisinantes, les militaires, l'Eglise Adventiste du 7ème jour, les autorités du pays de divers échelons ; etc.

[90]PURI Op cit ., p 47.

IV.2. Deuxième cas : Au Nord de la ville de Bujumbura : Carama-Gatunguru

En 2014, le Nord de la ville de Bujumbura, zone de KINAMA (Carama et Gatunguru) a connu des précipitations importantes, notamment 32 mm le 4 février, 80 mm dans la soirée du 9 février, 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 cartier 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 B. dans le cadre du projet PURI (projet d'urgence pour la résilience des infrastructures), ABOUTIP 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).Une pluie décennale ne devrait causer que peu de dommages aux infrastructures. Toutefois, la pluviométrie de 80 mm a été très concentrée dans le temps, entre 20h et 23h30, et cet événement météorologique dépasse donc la période de retour décennale[91].

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 100 mm) et de Karuzi (245 mm comparés à une moyenne de 120 mm). En moyenne sur les trente dernières années c'est habituellement la zone de Gisozi qui reçoit le maximum de précipitations (175 mm). La répartition de ces pluies sur le territoire montre que Bujumbura est dans la zone ayant reçu le maximum de précipitations, avec plus de 120 mm sur dix jours[92].

Comme le montre la photo 6, ces précipitations extrêmes ont engendré des ruissellements importants sur les pentes des sous bassins versants de la Gasenyi, des glissements de terrain depuis la source de la Gasenyi à Gafutuzo et la rupture d'une retenue spontanée sur la rivière Gasenyi, en amont d'un quartier populaire non viabilisé (Gatunguru), dans lequel la plupart des victimes résidaient.

[91] Burundi : Ministère des Finances et de la Planification du Développement : analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. *Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura. P.18.*

[92] Idem

Photo 8 : Dégradation des versants avec naissances des ravins



Source : Sindayihebura B, 10 février 2014 B, 10 février 2014)

Les pluies ont également provoqué le débordement des rivières Gikoma, Kinyankonge et Nyabagere et inondé la plaine en bordure du lac Tanganyika. Les communes de Buterere, Isale, Kamenge, Kinama et Mutimbuzi ont subi plus de 80% des dommages.

IV.3. Caractérisation des impacts

IV.3.1. Impacts biophysiques

Les catastrophes naturelles, rendus intenses et récurrentes dans l'aire métropolitaine de Bujumbura par les changements climatiques, ne peuvent pas se produire sans des impacts sur l'aspect

biophysique de la zone. Ainsi les inondations constituent un problème majeur et s'accompagnent de multiples dégâts, sachant que le Burundi se trouve dans les pays tropicaux, de pluviométrie relativement forte. En effet, les causes climatiques, topographiques et humaines, expliquent l'amplification de ce phénomène.

Des épisodes pluvieux exceptionnels sur les bassins versants de Ntahangwa, Muha, Kanyosha, Mugere et autres, provoquent régulièrement des débordements de ces rivières et leurs affluents ainsi que les eaux de ruissellement de surface dans la plaine qui reçoivent elles -même des précipitations importantes. De là, le débordement de ces rivières ou des eaux de ruissellement modifient le paysage de manières différentes. Certains endroits sont vides de tout occupant, d'autres changent d'aspects par des dépôts sédimentaires mis en place lors du débordement. Le cas des quartiers Nord de la ville de Bujumbura : Gatunguru, Carama, Kamenge, Kinama, Buterere, Maramvya et Kiyande kiyange en 2014, 2015, 2016 et 2018 sont des meilleures illustrations (Photo 11).

Photo 9: Ruissellement en nappe accompagné de boues et pierres à Gatunguru



Source : Sindayihebura B, 10 février 2014

IV.3.2. Modification de l'aspect physique

Les inondations comme les glissements de terrains assurent un changement complet de l'aspect géomorphologique du paysage initialement mis en place. Les grandes modifications du paysage s'observent d'une façon claire sur les berges des rivières Ntahangwa, Muha, Kanyosha et Nyabagere, comme elle peut se produire sur les berges des autres rivières. Le crue peut éroder les berges concaves des cours d'eau, et alluvionnent des berges convexes. L'érosion des berges

occasionne de divagation des lits, de recoupements des méandres, le déclenchement des mouvements de terrains sur certains versants minés en pied. C'est ce qui arrive souvent dans plusieurs points le long des rivières Ntahangwa, Murago, Muha, Kanyosha, et autres. Les travaux de curage, qui malheureusement se font de façon anarchique, auraient diminué les dégâts. Les déplacements de lit pour remblayer les plates formes sont des opérations très risquées, malheureusement très fréquents sur les cours d'eaux en cas de forte torrentialité dont la puissance des crues peut être très grande.

« *En une ou deux heures de passage de l'onde de crue, les enrochements de défenses sont souvent déplacés ou contournées et le lit peut facilement reprendre sa place après avoir tout saccagé, non seulement sur la plate-forme mais aussi loin de l'aval »*[93].

Les crues quelle que soient leurs intensités elles sont trop redoutables dans les milieux habités. Les pertes sont importantes et sont de différentes sortes. Ainsi, les inondations de 2014 ont été beaucoup plus atroces, avec plus d'une cinquantaine de vies humaines perdues. De surcroit, les ouvrages et les équipements riverains sont exposés à un grand risque d'effondrement.

Photo 10: Maison et les arbres menacés sur la Nyabage.

[93] **http://www.pdm-net.org//**: partenariat pour le développement durable



Source : Sindayihebura B., 30 mars 2011

Selon Pierre Martin, *« Les aménagements et les ouvrages riverains peuvent ainsi être plus ou moins protégés. L'idéal serait de ne pas avoir construit dans des zones inondables ou à proximité des berges instables et de déclarer inconstructibles celles qui sont encore inoccupées»*[94]. Le malheur est que les berges de la rivière Ntahangwa et d'autres rivières avec des versants véritablement instables, abritent des maisons de haut standing qui ont des grandes valeurs (photo 6 P 39). Ces zones devraient être protégées par les murs de protection avec des barbacanes pour ressortir l'eau du site.

IV.3.3. Impacts des eaux de submersion sur le milieu naturel

Toutes formes de crues divagantes dans le milieu naturel sans toutefois mener des méthodes de protection ou de traitement, occasionnent des problèmes importants. Il faut donc redouter des substances nutritives entre autres les phosphates et les nitrates, qui réduisent à un foisonnement de la vie biologique qui a pour conséquences un appauvrissement brutal de la teneur en oxygène dissout et l'apparition des phénomènes nocifs de l'eutrophisation[95]. Le centre des Nations Unis pour les établissements humains dit que « *le débordement des eaux pluviales lors des inondations qui se mélange avec des eaux usées des ménages et d'origines diverses dans le milieu naturel cause un*

[94] Pierre Martin, Op. cit.,p 96

[95] HAGABIMANA E.; Risque d'inondation, les impacts associés et propositions des mesures de prévention et de protection en milieu urbain de Bujumbura : Zone comprise entre Muha et Nyabagere, université du Burundi, mémoire pour licence, 2002, 46p

problème lié à la perturbation de l'équilibre écologique, lorsqu'il s'agit de la zone faiblement alimentée par les cours d'eaux traversant la plaine »[96].

IV.3.4. Impacts sur les infrastructures socio-économiques

Les catastrophes naturelles qui se produisent d'une façon récurrente ont de multiples conséquences sur les infrastructures socio-économiques. Partons de l'exemple type de Février 2014 dans le Nord de la ville de Bujumbura. Le choix de cet événement est motivé par la lourdeur de ses impacts négatifs. Les inondations ont à elles seules 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. Il donne les détails suivants :

- 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[97].

Quant aux dommages routiers, ils sont soit causés par de crue rapide, des éboulements ou phénomènes de glissement côté déblai, soit par des érosions ou glissements côté remblais ; tout en soulignant que les zones de crues rapides sont situées en amont où les pentes sont raides.

Photo11 : Eboulement des talus de déblais au niveau de l'accotement (Muberure) (1) Effondrement côté remblai (Muberure) (2)

[96] Centre des Nation Unies pour les établissements humains, l'eau et l'environnement, le développement dans la perspective.

[97] Burundi : Ministère des Finances et de la Planification du Développement : analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. *Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura. P.78*



Source : Evaluation rapide des catastrophe du 9-10 février 2014

Au niveau des infrastructures scolaires, c'est au total 14 salles de classe et 6 latrines qui ont été impactées par la catastrophe de 2014. Les écoles Gasenyi III (à Gauche) et Kamenge II (à droite) nous semble des illustrations éloquentes (photo 14).

Photo 12 : Destruction des infrastructures scolaires (écoles Gasenyi III (à Gauche) et Kamenge II)



Source : Evaluation rapide de catastrophe du 9-10 février 2014

Le système d'alimentation en eau de la ville de Bujumbura repose sur une production d'eau potable assurée par deux usines de traitement d'eau et de trois captages d'eau de source. La production moyenne journalière s'élève à 110.000 m3/j dont 100.000 m3/j fournis par l'usine du lac, 6.000 m3/j par l'usine captant l'eau de la rivière Ntahangwa et 4.000 m3/j issues des captages de sources d'eau. Cette production couvre partiellement les besoins en eau de la ville estimés en moyenne à 150.000 m3/j. La gestion des installations de production et de distribution d'eau potable de la

capitale et des principales villes du pays est du ressort de la société publique REGIDESO qui assure également la gestion du secteur de l'électricité au niveau national[98].

Dans ce domaine, selon le rapport d'évaluation rapide, on constate que les dommages occasionnés par les intempéries de la catastrophe du 2014 à Bujumbura sur le réseau d'adduction en eau potable sont relativement limités. Globalement le réseau de la ville a résisté à la catastrophe sauf à certains points névralgiques du réseau où des effondrements de terrains dus à l'érosion hydrique ont occasionné quelques casses ou déboitements de conduites principales, vite maitrisés par la REGIDESO. Les points les plus affectés du système de production d'eau concernent la destruction du captage de la source de Gatunguru (1.400 m3/j) par les ravinements et l'affaissement d'un canal d'amenée d'eau brute de l'usine de traitement des eaux de Ntahangwa (6.000 m3/j) du à l'effondrement d'un talus proche du lit de la rivière[99].

Photo 13 : Captage raviné de la source de Gatunguru et bâtiment de l'aérateur en cascades endommagé à gauche et le canal d'amenée d'eau brute affaissé sur la rive gauche de la rivière Ntahangwa à droite



Source : Evaluation rapide de catastrophe du 9-10 février 2014

De surcroît, des dommages les plus sérieux sur le réseau de distribution d'eau étaient situés 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 dans le lit de la rivière. En amont, l'ancien pont qui abrite la canalisation DN 300 en acier et des

[98] Burundi : Ministère des Finances et de la Planification du Développement : analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. *Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura.* P.24-32

[99] Idem

fourreaux de câbles électriques s'était affaissé entraînant la rupture de la canalisation et une fragilité des câbles.

Photo14: Destruction des réseaux de distribution d'eau

Conduite d'amenée DN 300 *Pond du peuple Murundi*



Source : Evaluation rapide de catastrophe du 9-10 février 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.

Photo 15: Destruction de réseau de distribution d'eau (Kamenge)



Source : Evaluation rapide de catastrophe du 9-10 février 2014

Selon la REGIDESO, le réseau électrique, les dégâts étaient relativement limités. Seule une portion

de ligne électrique moyenne tension (30 kV) s'est effondrée, sur une distance d'environ 4 km[100].

Parlant des dommages agricoles, de fortes érosions pouvant provoquer le glissement de terrain emportant des cultures ont étaient observées sur les versants des Mirwa. Aussi, des inondations ont détruit des champs dans la région basse durant la catastrophe comme l'illustre la photo ci- dessous. Les pertes pendant les récoltes s'élèvent à 2,5 milliards de francs burundais comme le souligne la FAO. Toujours selon la même source, 2245 hectares ont étaient endommagées en communes Isare, Mutimbuzi (Gatunguru et Rubirizi), Kinama, Kamenge et Buterere. La photo suivante illustre des dommages causés par une pluie extrême de la nuit du 9 au 10 février 2014[101]

Photo 16 : La rizière dévastée par la pluie extrême du 9-10 février 2014.



Source : Sindayihebura B, 10 février 2014

[100] Burundi : Ministère des Finances et de la Planification du Développement : Analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. *Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura.* P.24-32

[101] Burundi : Ministère des Finances et de la Planification du Développement p. 69-70

IV.3.5. Impacts sur la vie humaine

« Quel que soit le territoire, les populations sont amenées à subir de nouvelles réalités climatiques, soit directement à travers les événements climatiques extrêmes ou les nouvelles réalités biologiques (pathogènes, maladies), soit indirectement en pâtissant du manque des ressources affectées par le changement climatique »[102]. Il résulte de cette situation des effets sur la santé, sur les conflits d'usage et sur les migrations, en plus des conséquences socio-économiques et culturelles, le tout exacerbé par le contexte de changement global qui s'est accéléré depuis le XX^{ème} siècle.

De là, les conséquences des catastrophes naturelles sur la santé humaine sont considérables et complexes. Il existe très peu de bases factuelles prouvant les effets sanitaires de tels phénomènes. Néanmoins, des traumatismes psychologiques liés au processus de restauration ou par la répercussion des dégâts causés aux activités génératrices des revenues, y compris le déplacement de la population qui ont quitté les lieux affectés pendant le désastre. Des inondations de 2014 ont emportée plus de 70 de vies humaines. La Croix-Rouge a établi le bilan de 81 blessés et de plus de 400 maisons détruites dans la capitale. Les communes populaires sont les plus touchées, surtout Buterere, Kinama, Kamenge et Mutimbuzi, ici parce que le nombre de morts n'est pas uniquement proportionnel à la surface touchée, mais dépend aussi de la densité de la population et du type de crue (vitesse de montée des eaux, courant).

Photo 17: Perte de vie humaine suite aux pluies diluvienne du 9-10 février 2014



[102] Adaptation au changement climatique : *Synthèse du cycle de séminaires franco-québécois : villes ; zones vulnérables; forêts, espaces naturels et biodiversité.*

Source : Protection civile, Rapport 2014

La situation de crise s'est empiré e d'avantage puisque, en plus, d'autres dommages connexes à savoir les maladies diarrhéiques, la dysenterie bacillaire, les vers intestinaux et le paludisme ont affecté les victimes. Par exemple en 2009, selon les données de la D.P.S.P, la morbidité dans les centres de santé des communes dans la région de Bujumbura se confirme. Le paludisme simple lui seul a 30288 cas, la diarrhée aux enfants de moins de 5 ans a enregistré 5441 cas, la dysenterie bacillaire avec 116 cas[103].

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 des infrastructures avec une approche résiliente. En parallèle, 30 milliards FBu étaient recommandés pour la stabilisation des bassins versants aux alentours de Bujumbura (Rapport d'évaluation rapide des inondations du 9-10 Février 2014). L'annexe 5 fournit les coûts globaux des dommages du 2014[104].

Parlant toujours du Nord de la ville de Bujumbura **;** depuis la catastrophe du 9 février 2014, les inondations sont très fréquentes à Carama. En 2015, les averses du 21 et 28 février respectivement de 15.4 mm et de 24.5 mm ont occasionné le débordement des eaux de ruissellement. Les équipements et certains ouvrages étaient sous l'eau. 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 (photo 20).

Photo 18 : Route coupée sur la jonction Mukuyangoma- Muka en 2015

103 HAGABIMANA E.; 2002 : Risque d'inondation, les impacts associés et propositions des mesures de prévention et de protection en milieu urbain de Bujumbura : Zone comprise entre Muha et Nyabagere, université du Burundi, mémoire pour licence, p 54.

104 Burundi : Ministère des Finances et de la Planification du Développement : analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. *Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura.* P.24-32



Source : Sindayihebura B, 22 février 2015)

La rivière Gasenyi dévie et inonde le quartier Carama viabilisé à partir du point situé à 3° 19’40’’ de latitude Sud, à 29° 23’34’’ de longitude Est et à 839 mètres d’altitude. A partir de ce point, la rivière Gasenyi suit la ligne de la plus grande pente, là où la vitesse de l’eau est maximale et ce qui contribue énormément au ravinement et à l’érosion intensive du site de Carama rural. La rivière Gasenyi est à la fois agressive et torrentielle.

De milliers de volumes des sables, des coulées de boues, des graviers et des pierres charriés sont déposés dans Carama viabilisé et non viabilisé (photo 21).

Photo 19: Les bâtiments à très haut risque d’inondation sur l’avenue Kibonobono et le sable et le gravier charriés par la rivière Gasenyi dans Carama rural suite au débordement de la rivière Gasenyi.



Source : Sindayihebura B, 18 février 2015

Les pertes liées au débordement des rivières Kidumbugwe et Gasenyi sont énormes. Des champs de riz ont été dévastés et les pertes ont été énormes, Dix ménages situés sur l'avenue Muka près de la RN9 sont également inondés sur une longueur de 100m suite au retour des eaux, car la buse située sur RN9 a été mal dimensionnée et ne fait pas passer toute la lame d'eau du collecteur. Suite au débordement de la rivière Kinyankonge, trois cent ménages 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.

La rivière Kinyankonge au niveau du quartier de Mugaruro I traverse une zone dépressionnaire à inondation permanente située entre les quartiers de Mugaruro I et II. Cette zone à inondation permanente couvre les rizières des particuliers. Les déchets de toute sorte en provenance de Carama sont éparpillés sur ce site (photo 22) et contribuent à polluer l'eau de la rivière Kinyankonge.

Photo 20 : Dépôts des déchets charriés par l'exutoire Kinyankonge près de la rivière Kinyankonge



Source : Sindayihebura B, 18 février 2015

En cas de très fortes averses les équipements d'assainissement de Carama sont incapables de les contenir et les débordements des eaux envahissent les habitations et les divers bâtiments du quartier. Le même phénomène que les précédents s'est produit le 13 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 de Carama non viabilisé 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.

Photo 21 : Inondation de l'avenue Kibonobono en date du 13 avril 2018



Source : Auteur le 14 et 23 avril 2018.

La rivière Gasenyi a dévié depuis 3° 19’41’’ de latitude Sud, à 29° 23’37’’ de longitude Est et à 835 mètres d’altitude. La zone qui été inondée s’étend sur une longueur d’environ 300 m sur l’avenue Kibonobono dans le sens longitidinal. Quant au sens transversal, les avenues Musarenda, Gitovu, Muka et Kinyami ont été sérieusement affectées. Le quartier de Carama a été sérieusement sinistré. La hauteur de submersion atteint 30 centimètres de hauteur avec une voiture coincée dans les coulées de boue à l’intérieur de la parcelle au niveau de l’avenue Kinyami et Kibonobono (photo 24).

Photo 22 : Des maisons inondées avec des voitures coincées dans les coulées boueuses sur les avenues Kinyami et Kibonobono.



Source : Auteur le 14 avril 2018

Les travaux d’aménagement de la rivière Gasenyi sont en cours depuis la partie en amont vers l’aval de la Gasenyi par l’entreprise ROBUCO. Le constat est que la partie où on a finalisée les

travaux (située plus haut) n'a pas été touchée par le débordement. Par contre, la partie située à environ 100 de l'avenue Kibonobono, n'a pas était dimensionnée car la hauteur de la section hydraulique après le charriage accompagnée par le dépôt, était de 20 centimètres. Nous mentionnons que la hauteur qui avait été prévue au cours des aménagements était de 1,50 mètre. Suite à ces débordements, on a enregistré des pertes humaines. Trois enfants ont perdu leur vie dans l'immédiat, mais selon d'autres personnes, jusqu' au 17 avril 2018, on trouve encore d'autres cadavres sous les boues durant les travaux de réhabilitation. On enregistre 8 pertes humaines. Pour le cas du 22 avril 2018, la pluie était de 57,2 mm toujours selon l'IGEBU. Pas de pertes humaines, mais des eaux boueuses ont envahi les maisons et ont rendu les routes impraticables et la cimetière de Mpanda a été inondé suite au débordement de la rivière Kajeke et d'autres tombes ont été effondrés.

Photo 23: Les tombes inondées à Mpanda suite au débordement de la rivière Kajeke



Source : auteur le 24 avril 2018.

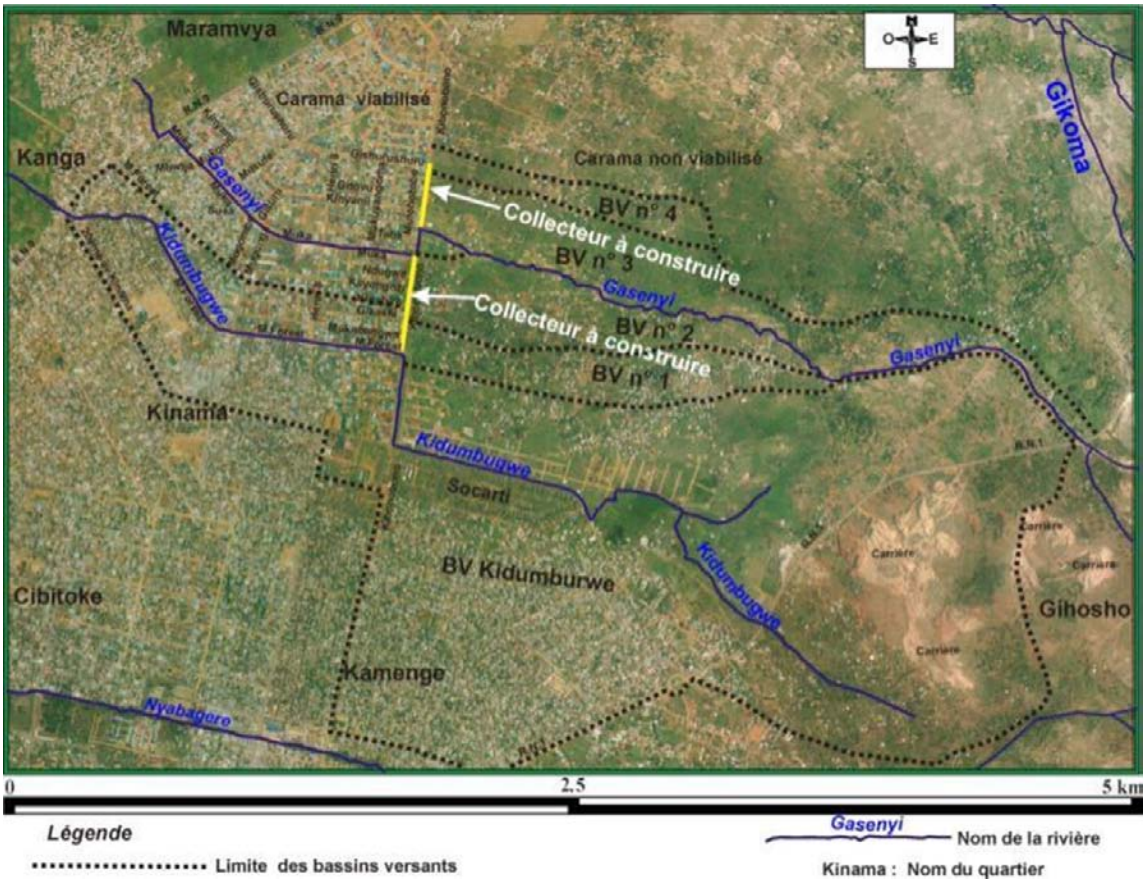
Photo 24 : Les tombes effondrées à Mpanda



Source : auteur le 24 avril 2018

En définitive, le quartier Carama et d'autres quartiers frontaliers de la commune urbaine de Kinama à risque d'inondation sont inondés à partir des eaux en provenance des Bassins versants et des sous bassins versants des rivières Kidumbugwe et Gasenyi (figure 17).

Figure 16 : Bassin versant et sous bassin versant des collecteurs à construire entre Carama viabilisé et non viabilisé



Source : Ortho photographies d'août 2012, (Sindayihebura B. in PURI, p58)

IV.4. Cas des inondations de 2009 et 2011 : aperçu d'ensemble.

L'inondation du 11 avril 2009 a concerné presque tous les quartiers de Buterere et de Mutakura. Beaucoup de maisons et bâtiments publics (ex : le C.E.I. de l'avenir) ont été sérieusement touchés par l'inondation. Au total 1442 maisons ont été effondrées. Voire tableau 17. Le coût du bâtiment du CEI 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 16 : Les dommages causés dans la commune de Buterere

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: Administration communale de Buterere.

Pour le cas de 2011, les pluies exceptionnelles des 6 et 7 janvier 2011 ont occasionné des dégâts importants dans l'agglomération de Bujumbura et de ses environs. On totalise 202 maisons se sont écroulées à Gatumba, dans les quartiers de Mushasha I, Mushasha II, Muyange I, Muyange II, Gahararawe, Mukoranya et Kinyinya II.

Pendant la même période, plus de 400 ménages étaient sous l'eau à Buterere. A Kanyosha, la rivière Mugoyi a débordé et inondé plus de 300 ménages dans les quartiers de Kajiji et de Kigwati. Ici des ravins de 3m environ se sont formés en une heure et des routes ont été coupées. Il affirme que 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 50m de largeur et de 30m de hauteur s'est formé (Photo 28). Le domaine et les installations aéroportuaires (les antennes gonions, les focaliseurs, le balisage sous forme de lampe) étaient sous l'eau. Tous les équipements de guidage d'avions et de télécommunications étaient menacés (Sindayihebura B., 2011).

L'eau qui a stagné longtemps sur la chaussé sur une superficie de 2 km environ a entrainé l'affaissement de la chaussé (Photo 29).

Photo 25 : Formation d'un ravin très profond près du Lycée la Convivialité de Kanyosha



Source : Sindayihebura, B., 2011

Photo 26: Stagnation des eaux dans les chaussées vers l'aéroport de Bujumbura et paralysie de la circulation suite à l'inondation



Source : Sindayihebura, B., 2011

IV.5. Cas particulier : inondation à Kiyange en zone Buterere le 28 avril 2018

La zone qui a été inondé samedi le 28 avril 2018 se trouve à l'intérieur des rizières de Bujumbura comprenant les secteurs irrigables de Bugoma, Maramvya, Rubirizi, Buhinyuza, Carama, Mubone Rusabage et Kiyange et totalisant une superficie de 2400 ha.

A l'intérieur de ce périmètre se trouvent des ouvrages sur les émissaires notamment les prises, les ouvrage de décharge et les réseaux d'irrigation. Sur ces derniers, on trouve des partiteurs, des chutes, des vannes, etc.

Le périmètre agricole de Maramvya couvre une superficie d'environ 157 ha. Il est limité au Nord par la T14 (transversale 14), au Sud par la T15, à l'Ouest par la rivière Kivogero et à l'Est par la rivière Muzazi.

Ce périmètre agricole est localisé dans la plaine de l'Imbo non loin de la zone de piémont. Il est en pleine plaine à pente relativement faible variant entre 0 et 2%. La plaine montre une topographie relativement plate. Elle est constituée par un sol meuble issu des alluvions fluviatiles. Ce périmètre est irrigué par un barrage de retenue construit en 1986 sur la Muzazi qui sert comme prise d'eau pour irriguer la zone (photo 30 gauche). Dans sa partie Est existe déjà un canal tête morte (photo 30 droite) qui dessert le périmètre rizicole de la SRDI.

Photo 27 : Barrage et ouvrage de prise et canal tête morte



Source : auteur le 28 avril 2014

Cette zone est alimentée par les eaux de la Muzazi, rivière torrentielle et agressive. Son bassin versant s'étend sur une superficie de 117.06 km^2 et sa longueur est de 31.98 km. L'altitude maximale est de 2405 m à Rukoni (colline Kavya) tandis que l'altitude minimale est de 804 (au niveau de la confluence entre Muzazi et Murago). La dénivellation est de 1601 m entre le point le plus haut et le point le plus bas du bassin versant de la Muzazi. Cela justifie sans doute la quantité importante des matériaux entassés dans la rivière pour la partie située dans la plaine d'Imbo.

La Muzazi est alimentée par des rivières qui prennent source dans la crête Congo-Nil qui est le château d'eau Les principales rivières qui alimentent la Muzazi sont Gakarazi, Nyakabanga, Karambira, Nyeboza, Kamaramagambo, Nyabuzi, Nambi, etc. Il s'agit d'une rivière torrentielle du fait qu'elle suit un tracé très encaissé et sinueux, ce qui est une menace permanente pour les biens et les personnes situés plus bas comme l'aéroport en 2011, et Kiyange en 2018.

Les rizières de Mubone et de Kiyange sont irriguées à partir des rivières Gifurwe, Muzazi et Gikoma. Ces rizières sont d'une superficie respective de 490 ha et 320 ha et sont les 2 secteurs parmi les 8 secteurs irrigables des rizières de Bujumbura. Les canaux principaux et secondaires servant à amener l'eau au secteur d'irrigation de Mubone et de Kiyange sont alimentés par les 2 barrages « *de fortune* » situés sur la rivière Mutimbuzi.

Ces barrages « *de fortune* » sont emportés par les crues, parfois plusieurs fois pendant la saison des pluies, causant chaque fois une interruption de l'irrigation. Les canaux sont envahis chaque année par les mauvaises herbes de sorte à obstruer presque entièrement la section hydraulique (photo 30 droite). En plus, une importante quantité de sable se dépose chaque année dans les canaux. L'effondrement des digues de protection associé à la détérioration des barrages « *de fortune* » sont à l'origine des inondations dévastatrices (photo 31).

Photo 28 : Zone de la rupture de la digue située à 486.5mètres du pont Mutimbuzi



Source : Auteur, 29 avril 2018

Nous signalerons également que la rivière Muzazi dont une quantité d'eau est grignotée pour servir d'irrigation du périmètre agricole contient beaucoup de matériaux charriés sur passage car c'est une rivière torrentielle (photo 32).

Photo 29 : Ensablement de la Muzazi au niveau de l'ancienne prise



Source : Sindayihebura B, 28 avril 2014

Le phénomène d'extraction des matériaux de construction (le sable, le gravier, le moellon, les galets, les blocs de pierre, etc.) non contrôlé, peut nuire au bon fonctionnement de la prise des eaux (photo 33). Il est à l'origine également de l'effondrement de la digue. Sa turbidité est très élevée surtout en saison de pluie, résultat du coefficient de ruissellement largement supérieur au coefficient d'infiltration. En plus, la divagation des vaches venant essentiellement des étables de Maramvya, de Rukaramu, de Rubirizi et Muzinda sont également à l'origine de la destruction de certains ouvrages de franchissement ou de l'effondrement de la digue. La rivière Muzazi est l'affluent principal de la rivière Mutimbuzi située plus bas.

Photo 30: Matériaux de construction extraits de la Muzazi



Source : Sindayihebura B, 28 avril 2014

La digue de la rivière Mutimbuzi s'est effondrée à maintes reprises dans le passé. Le dernier en date est celui du 29 décembre 2010(photos 34, 35 et 36).

A la même date, la rupture de la digue sur la rive droite de la Mutimbuzi en aval du pont situé sur la RN5 a occasionné les dégâts importants. Concernant les dommages matériels, une grande partie de l'Aéroport International de Bujumbura a été inondée y compris quelques installations (les antennes gonio, les localiseurs, le balisage sous forme de lampe étaient sous eaux). Tous les

équipements de guidage d'avion et de télécommunication étaient menacés et une partie du camp Gakumbu a été endommagé. Des champs de cultures ont été dévastés et la clôture aéroportuaire a été détruite.

Photo 31 : Travaux de curage sur la rivière Mutimbuzi (guche), champ dévasté (droite) et l'aéroport menacé(en bas) après la rupture de la digue sur la rive droite.







Source : Sindayihebura, B. ,30 décembre 2010

La rivière Mutimbuzi présente régulièrement des débordements sur la partie aval de son linéaire provoquant des inondations dans le domaine aéroportuaire.

La rupture de la digue survenue sur la rivière Mutimbuzi samedi 28 avril 2018 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 digue s'est effondrée sur une longueur de 15m sur la rive gauche. Le point de rupture est situé à 3°19'04'' de la latitude Sud, à 29°20'04''de longitude Est et à 786 mètres d'altitude (figure 20 et photo 31).

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. Depuis samedi 28 avril 2018, plus de 90% de la rivière Mutimbuzi passe à l’intérieur du quartier Kiyange en suivant le drain existant situé entre l’usine fabriquant les tanks et les PVC et le quartier Kiyange 1 (figure 20). 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.

IV.5.1. Les conséquences des dommages

Une rupture survenue sur la digue de Mutimbuzi a eu des conséquences potentiellement catastrophiques.

La rupture de la digue a provoqué d’importants dégâts dans la zone urbaine de Buterere.

Le mois d’avril 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.

Photo 32: Hauteur de submersion à l'Est de la RN5 au niveau la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere



Source : Auteur, 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 (photo 36).

Photo 33 : Camions appartenant à l'entreprise de construction Kaze coincés dans l'eau



Source : Auteur, 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 (photo 37 gauche). Deux (2) 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 34: Usine fabriquant les tanks et les tuyaux PVC située sur la RN5 près de la rivière Mutimbuzi (Gauche) et la piste située à l'Ouest de la RN5 en bas de l'usine pharmaceutique SIPHAR menant vers Sabe transformée en torrent (Droite)



Source : Auteur 29 avril 2018)

Des traces de remontée capillaire dans l'enduit d'un mur partiellement immergé restent visibles à Kiyange (photo 38 gauche). Le tronçon de la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere est resté impraticable pendant 4 jours (photo 38 droite).

Photo 35 : Trace de remontée capillaire dans l'enduit d'un mur partiellement immergé Kiyange et le tronçon de la piste reliant la RN5 et le chef-lieu de la zone Buterere impraticable



Source : Auteur 29 avril 2018

Au 30 avril 2018, la croix rouge Burundi a fourni le bilan suivant :

- 352 maisons complètement détruites ;
- 186 maisons partiellement détruites ;
- 416 maisons sous menace.

Au total 2576 personnes sans-abris dont 1918 enfants.

Les constructeurs savent depuis fort longtemps que l'eau (sous toutes ses formes : vapeur, liquide, solide) est l'ennemie d'un bâtiment. A Kiyange la totalité des maisons qui se sont effondrées étaient en briques adobes (photos 39 gauche). Par contre, les bâtiments bien conçu, bien réalisés et bien entretenus n'ont pas subi de dommages consécutifs à l'agression de l'eau (photo 39 droite). Pour les bâtiments en matériaux en dur, pendant les 4 jours d'inondation, la plupart des matériaux immergés (ou situés au-dessus du plus haut niveau des eaux) se sont imprégné d'eau par capillarité, plus ou moins complètement et rapidement en fonction de leur nature et de la durée de l'inondation.

Photo 36 : Des maisons (en adobes) totalement effondrées situées près des rizières de Kiyange et des maisons en matériaux en dur du quartier miroir situées à l'Est de la RN5 sous l'eau.



Source : Auteur 29 avril 2018

En général, la rupture de la digue a affecté les biens (destructions, détériorations et dommages aux habitations, aux cultures, aux ouvrages, paralysie des services publics…) et l'environnement (endommagement, voire destruction de la flore, pollutions diverses en ville).
Lors de la rupture de la digue, des dépôts solides notamment les matériaux granulaires ou corps flottants sont survenues à Kiyange. Ces dépôts solides étaient considérés comme un danger supplémentaire.

Les érosions de berges et les évolutions géomorphologiques du lit sont à considérer comme des aléas naturels. Le constat est que les évolutions géomorphologiques du cours d'eau de la Mutimbuzi ont eu un impact sur la sécurité de la digue et que l'érosion des berges par le courant peut la déstabiliser.

IV5.2. Caractérisation de l'événement

La rupture s'est produite en amont et au droit d'une zone très habitée de Kiyange supposée comme secteur particulièrement vulnérable pour la sécurité (figure 20 et photo 31).
Une journée après la défaillance au sein de la crue en direction du secteur de Kiyange, le volume d'eau entrant étaient d'environ $15m^3$ /s. La durée d'écoulement en direction de Kiyange a duré 4

jours (du 28 avril à 13h 30 minutes au 1 mai 2018 à 16h), soit environ 76.5 heures de submersion. La hauteur de submersion à Kiyange près des rizières variait de 2 à 1 mètres.
Selon CIZA Salum 56 ans, les ondes de submersion ont été entendues à 13h 30 minutes au moment de la rupture de la digue sur la Mutimbuzi et l'eau a atteint Kiyange à 16h 30 minutes.

Les résultats de calcul associés avec les informations fournies par monsieur CIZA Salum donnent une vitesse d'écoulement dans le quartier de Kiyange de 216m/h, soit 3.6m/minutes. L'onde a atteint l'usine pharmaceutique SIPHAR située sur la RN5, dimanche le 29 avril 2018 à 12h 30 minutes, dans un délai de 24 heures.

Sin on tient compte des principaux enjeux présents dans la zone inondée notamment l'ordre de grandeur du nombre de personnes exposées (au regard des hauteurs d'eau, des vitesses et de la cinétique d'écoulement consécutives à la rupture de la digue sur la Mutimbuzi) et la nature des biens exposés (notamment les infrastructures et les établissements sensibles), l'inondation de Kiyange peut être classée dans la classe de gravité 4. Le tableau 18 donne la classe de gravité d'accident de Kiyange.

Tableau 17 : Classe de gravité d'accident de Kiyange

Classe de gravité	**Nombre de personnes susceptibles d'être mis en danger « par l'amont »**	**Nombre de personnes susceptibles d'être mis en danger « par l'aval »**
5	Supérieur à 1 000	Supérieur à 10 000
4	**Entre 100 et 1 000**	**Entre 10 000 et 1 000**
3	Entre 10 et 100	Entre 100 et 1 000
2	Inférieur à 10	Entre 10 et 100
1	-	Inférieur à 10

Source : SINDAYIHEBURA B., Avril 2011. MSF Belgique. Etude qualitative et quantitative liée à l'inondation en cas de pluie exceptionnelle pour le Ruisseau Nyabagere. P 64.

A partir de ce cas de Kiyange, nous constatons que les ouvrages hydro agricoles du périmètre rizicole de Bujumbura ont un impact sur l'écoulement en secteur urbanisé.
En 2018, certains de ces ouvrages semblent être en déshérence, et de fait ne plus remplir leur fonction première, voire même de constituer un élément de sur-risque en cas de crue et/ou constituer un obstacle au ressuyage des zones de débordement.
Il est par conséquent nécessaire de localiser ces ouvrages, de déterminer leurs influences, leurs effets, leurs impacts, leurs résistances lors d'épisode de crue, de diagnostiquer la fragilité et la

vulnérabilité des ouvrages, et d'évaluer les risques en cas de surverse, de submersion ou de rupture des ouvrages.

IV.6. Etude analytique

A partir de ces cas alarmants, nous analysons qu'il y'a des quartiers qui sont sous l'eau presque de manière permanente (tableau 19).

Tableau 18 : Les quartiers qui sont plus menacés par l'inondation.

Commune	Nom de zone	Nom de colline
MUTIMBUZI	Gatumba	Gahahe, Gaharawe, Gasenyi, Gatunguru Kirwati I, Kirwati II, Kinyinya I, Kinyinya II RUK, Kinyinya III RUK, Mushasha I, Mushasha I, Kinyinya II, Kinyinya, Muyange I et II et Warubondo
NTAHANGWA	Kinama	Buhinyuza, Carama, Kanga
	Buterere	Buterere I, Buterere II A, Buterere II B, Kiyange I, Kiyange II, Maramvya, Kabusa et Mubone.

Source : Auteur a base des donne fourni par le tableau 17

Ce qu'il y a de commun est que toutes ces sites ont été inondés par des rivières trouvant toutes leur source dans des zones de fortes pentes et traversant l'agglomération de Bujumbura. Leurs bassins versants aux sols nus ne sont pas protégés et partagent les mêmes aspects topographiques, du fait que tous se trouvent dans la région des Mirwa (Figure 8). Des milliers de tonnes de terre gagnent chaque fois les lits mineurs des rivières qui ont du mal à suivre les mêmes tracés. Les glissements de terrain ou les tombées des chutes de blocs ont occasionné la rétention des eaux à l'amont et formant ainsi des barrages avec l'augmentation des surfaces de submersion. Ici nous constatons que les risques associés aux pluies extrêmes ou exceptionnelles sont ces glissements de terrains (Photo 40) qui se manifestent dans les contres forts de Mirwa et par l'inondation dans la plaine.

Photo 37 : Eboulements actifs sur Gasenyi (gauche) et Nyabage (milieu et droite)



Source : Sindayihebura B. (30 mars 2011)

Lors de la rupture des barrages de retenue, les vagues d'eau ont charrié des corps solides, de boue, et d'autres divers matériaux et ont été déferlantes et très dommageables. Ce qui est évident, c'est que protéger ces bassins versants, c'est limiter les dégâts de ces rivières et enfin protéger les zones vulnérables aux risques d'inondations permanentes.

A partir de l'étude de ces cas des inondations, nous pouvons affirmer que les changements du climat, notamment de la pluviométrie, cumulés à d'autres facteurs frappent les sociétés de manière globale et systémique. Aussi, les mutations et les crises sociales sont souvent le moment où se prépare la vulnérabilité à venir. Les crises naturelles ou sociales sont à la fois le moment le plus propice pour réorganiser les sociétés pour faire face aux inondations, mais également le moment le plus critique où se font les choix, souvent malheureux, favorisant l'augmentation de la vulnérabilité.

A base de nos recherches, nous relevons cinq facteurs aggravant la vulnérabilité de notre zone d'étude. Il s'agit notamment :

1. Du manque des réseaux d'assainissement pour l'évacuation des eaux pluviales ;
2. De la rupture des digues de protection sur les rivières traversant les rizières d'Imbo,
3. Le mauvais dimensionnement des exutoires et des drains situés en aval,
4. La croissance des quartiers spontanés et,
5. L'occupation des surfaces inondables

IV.6.1. Les pluies des mois d'avril de 1960-2010 et celles d'avril 2018

Dans les 50 ans d'analyse (station aéroport de Bujumbura) dans le chapitre III, le mois d'avril n'a jamais été pluvieux tel qu'il était 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 269,9 mm soit presque la moitié de la pluie tombée en 2004, une année qui était considérée comme sèche. Soulignons que pendant les années 1979 et 1986, la ville de Bujumbura était encore petite avec des espaces vertes (figure 4 et 5).

Pour le cas d'avril 2018, cinq dates, sont considérées comme particulièrement marquants. Ce sont le 2, le 13, le 22, le 25 et le 26 et 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 durant les 5 dates, l'effondrement des tombent du cimetière de Mpanda suite au débordement de la rivière Kajeke, la rupture de la digue sur Mutimbuzi qui sérieusement impactée le quartier Kiyange le 28 avril 2018 après un cumul de précipitation sur deux jours (25 et 26 avril 2018) égal à 44 mm. Ce cumul a occasionné les dégâts considérables à Gatumba. Suite au débordement de la grande et de la petite Rusizi, associé à la hausse du niveau du lac Tanganyika (775,30 m le 4 avril 2018[105]) environ 200 maisons ont été complètement détruites à Mushasha I et 165 à Kinyinya. Plus de 500 hectares ont été dévastés dans le secteur de Rugarika. Suite aux événements climatiques similaires, en 2016, les mêmes quartiers de Gatumba ont été inondés. Rappelons que le niveau du lac avait atteint une cote 775,16 m le 12 avril 2018, soit 14 cm de moins par rapport à la situation de d'avril 2018 ;

Tous ces épisodes de crues correspondent à des abats d'eau importants.

[105] Mesure effectuée au port de Bujumbura par Bernard SINDAYIHEBURA

Nous signalons en passant que les inondations que connait le Burundi, surtout la zone métropolitaine de Bujumbura, risque de se généraliser dans la sous-région de l'Afrique orientale. Le 5 janvier 2018, plus de 100 personnes ont péri du fait des inondations imputables aux fortes pluies qui se sont abattues sur le Kenya en avril dernier, rapporte le Comité international de la Croix-Rouge et 200 000 personnes forcées de quitter leurs domiciles. Le 17 mars 2018 encore au Kenya (Nairobi), le décompte fait état de 15 morts et des dizaines de blessés pendant des pluies diluviennes dans la mesure où en avril 2016 elle avait perdu 76 personnes suite aux inondations. Le 17 avril 2018 à Dar es Salaam, la capitale économique de la Tanzanie, 14 personnes sont mortes, victimes d'inondations dues aux pluies torrentielles qui s'y déversent. Jeudi 28 Septembre 2017, 13 personnes ont trouvé la mort dans des inondations provoquées par de fortes pluies torrentielles dans le sud-ouest de l'Ouganda. En t à la RDC, le 4 janvier 2018 en RDC les inondations à Kinshasa ont tué 44 personnes. Dans la plaine de Kavinvira, non loin de la frontière Burundi –Congolaise, la route reliant Rusizi et Uvira était coupé sur cinq endroits et les marchandises en provenance du Burundi se déplaçaient par pirogue.

En conclusion, la zone d'étude reçoit, en plus des précipitations de la plaine, des eaux pluviales par l'intermédiaire des rivières qui descendent torrentiellement des Mirwa faisant ainsi des dégâts à son passage. Pendant la période des crues, elles charrient des matériaux meubles et solides qui se déposent sur les terrains à pente faible. La zone d'intérêt est exposée aux risques permanents liés au débordement de ces rivières ; surtout Mutimbuzi, Gasenyi, Kinyankonge, Nyabage, Kanyosha et autres. Les quartiers de Carama, Buterere, Kajaga, Gatunguru…etc sont régulièrement inondés et les dégâts sont très énormes. Si rien n'est fait pour améliorer l'état des lieux et corriger ces fautes d'aménagement urbain, qui se remarquent dans la zone d'étude, les dommages augmenteront sans cesse. Pour éviter surtout les pertes en vies humaines, des dimensionnement normés des lits des rivières et la mise en place des digues de protection permettraient de soulager les populations en détresse.

Après l'analyse de la vulnérabilité sociétale liée au changement climatique, le cinquième chapitre propose des solutions pour éradiquer les impacts liés à l'eau pluviale et les risques associés.

CHAPITRE V : LES MESURES D'ADAPTATION AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique est sans équivoque et nous sommes déjà témoins d'un certain nombre de conséquences (voir chapitre précédent) qui risquent de s'amplifier dans le futur. En effet, selon les scénarios climatiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les changements climatiques s'amplifieront au cours du XXI ème siècle. Ces scientifiques s'accordent pour dire que, même si tout était mis en œuvre pour réduire et stabiliser la concentration des gaz à effet de serre, les changements climatiques se poursuivraient pendant des siècles, à cause de la durée de vie de ces gaz dans l'atmosphère.

Ces bouleversements climatiques s'accompagnent de nombreux effets négatifs, dans toutes les régions du monde, tant pour la santé et la sécurité des populations. Cela pour l'environnement bâti, les écosystèmes, que pour certains secteurs économiques. Le Burundi devra lui aussi faire face à de grands défis.

Complément indispensable aux efforts déjà consentis par le Burundi, dans le domaine de la résilience climatique, l'adaptation aux changements climatiques permettra de mieux protéger l'environnement naturel et bâti. Elle contribuera à la réduction de la vulnérabilité des générations actuelles et futures aux impacts surtout négatifs des changements climatiques. En raison de la diversité et du caractère local ou régional des conséquences et de la particularité des mesures d'adaptation qui doivent s'y conjuguer, les milieux municipal et régional sont appelés à remplir un rôle de premier plan dans les interventions publiques en matière d'adaptation aux changements climatiques.

V.1. Une démarche amorcée par le BURUNDI contre le changement climatique

Les activités en rapport avec le changement climatique ont été particulièrement marquées par l'élaboration et la publication de deux communications nationales au titre de la CCNUCC. Ces communications donnaient l'état des lieux en matière de changements climatiques pour les années de référence, 1998 pour la première communication nationale et 2005 pour la deuxième. Le Burundi a également élaboré le Plan d'Action Nationale d'Adaptation au changement climatique (PANA). Le PANA contient des actions prioritaires qui, une fois mises en œuvre, permettraient au Burundi de s'adapter ou de faire face aux effets néfastes des changements climatiques.

Les actions identifiées dans le cadre du PANA couvraient les secteurs clefs de l'économie du Burundi. S'il est vrai que quelques actions ont déjà connu un début de mise en œuvre, le gros reste à faire. Une étude d'identification des besoins en technologie pour la réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES) élaborée après la publication de la première communication nationale a donné l'état des lieux en matière de besoins en technologie et a proposé toute une série d'options technologiques pouvant permettre de réduire les émissions tout en assurant un développement durable au Burundi. En mars 2012, le Burundi a soumis à la 36ème session du SBSTA (Subsidiary body for scientific and technological Advice) pour considération ses préoccupations en rapport avec l'agriculture et le changement climatique. Ces préoccupations portaient sur les actions prioritaires de lutte contre le changement climatique à savoir l''adaptation l'atténuation, le transfert de technologies, le renforcement des capacités et le financement.

Jusqu'à présent, le pays a déjà entrepris quelques actions relatives à la mise en œuvre de la CCNUCC telle que l'élaboration de deux communications sur le changement climatique, l'inventaire des GES, les études d'atténuation des gaz à effet de serre, les études de vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques, la Stratégie Nationale de mise en œuvre de la CCNUCC et le Plan d'Action National d'Adaptation au changement climatique. Cependant, même avec la ratification de la CCNUCC et du protocole de Kyoto, le Burundi n'a pas fait d' efforts suffisants pour mettre en place des politiques, des lois et des institutions pour lutter contre le changement climatique.

V.2. Atouts et les contraintes

V.2.1. Atouts

Du point de vue des instruments politiques, le Burundi possède le Schéma Directeur Vision 2025, le CSLP II, la Politique sectorielle du Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme , la Stratégie Nationale et Plan d'Action en matière de Diversité Biologique, ,la Politique nationale de l'eau, la Stratégie Nationale de prévention et de gestion des risques et des catastrophes, Groupe Sectoriel Eau, Assainissement et Environnement (GSEAE), la Stratégie Nationale et Plan d'Action en matière d'Education environnementale, la Stratégie Nationale de l'Eau sur la période 2011-2020, Politique nationale forestière, stratégie nationale de l'environnement au Burundi.

Du point de vue niveau institutionnel, on souligne l'existence du Ministère de l' eau, de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme avec ses départements et institutions personnalisées comme l'IGEBU et OBPE ; l'existence des cadres de concertation comme: la Commission nationale de l'environnement, le Partenariat National de l'Eau (PNE-Bu), la Plate-forme nationale de prévention des risques et de gestion des catastrophes, Commission nationale foncière, Le Ministère en charge de l'Environnement qui est l'institution gouvernementale chargée de s'assurer de la mise en œuvre des conventions internationales du domaine de l'environnement et qui comporte des structures destinées à lui permettre de remplir cette mission.

Au niveau du cadre légal, le pays possède des outils juridiques sur lesquels il peut compter pour lutter contre le changement climatiques. Ici on note les conventions internationales ratifiées par le Burundi notamment la CCNUCC, la Convention sur la diversité biologique, la Convention des Nations Unies pour lutter contre la désertification, la Constitution de la République du Burundi, le Code de l'Eau, le Code Foncier, le Code de l'Environnement, le Code forestier, le Code minier, le décret no 100/ 292/ du 16 octobre 2007 portant création, mission, composition, organisation et fonctionnement de la Plateforme Nationale de Prévention des Risques et de la Gestion des Catastrophes, loi n°1/10 du 30 mai 2011, portant création et gestion des aires protégées au Burundi.

Du point de vue technique, le pays dispose des outils techniques qui peuvent contribuer à lutter contre le changement climatique. C'est notamment le Plan d'Action Nationale de Lutte contre la Désertification (PAN-LCD), le Plan d'Action de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PAGIRE), le PNIA (Programme National d'Investissement Agricole)

V.2.2. Contraintes

De nombreux défis et contraintes se présentent malgré les efforts fournis pour contribuer à la lutte contre le changement climatique.

Au niveau institutionnel, les lacunes et contraintes sont telles que la Direction de l'environnement qui est la structure nationale chargée de la mise en œuvre de la convention, n'est toujours pas dotée de moyens financiers et matériels suffisants pour s'acquitter correctement de cette mission ; que le comité interministériel sur le changement climatique n'est pas encore mis en place et que la commission nationale de l'environnement n'est pas encore bien organisée pour mieux assurer sa mission. Il y'a aussi le manque de moyens incitatifs pour stabiliser l'expertise dans le domaine du

changement climatique et l'absence d'une structure nationale de coordination des actions en rapport avec l'atténuation /adaptation au changement climatique.

Au niveau technique ; l'insuffisance des données sur le climat due à la vétusté des équipements ; l'insuffisance du personnel scientifique pouvant conduire avec satisfaction les programmes et thèmes de recherche en rapport avec le changement climatique, la difficulté de formation du personnel technique et scientifique sur place ou à l'étranger à cause de l'inexistence d'institutions de formation spécialisées dans le domaine du changement climatique sur place et la coopération limitée avec l'extérieur ; l'insuffisance de l'expertise technique nationale tant sur le plan quantitatif que qualitatif ; la faible sensibilité des décideurs sur les besoins de développement de l'expertise national en matière de suivi de changement climatique ; le manque d'équipement approprié pour le développement de l'alerte précoce.

Sur le plan légal, la contrainte majeure est l'inexistence de cadre légal pour la coordination des actions en matière de changement climatique. En effet, en dépit du pas non négligeable déjà franchi en matière de création et de renforcement des capacités, les experts nationaux restent en nombre insuffisant. Ils n'ont pas encore acquis une grande maîtrise des outils et méthodologies, pour l'établissement des inventaires des émissions de GES, des études de vulnérabilité et d'adaptation au changement climatique et enfin des études d'atténuation des émissions de GES.

V.3. Les principaux acteurs

V.3.1. Rôle de l'Etat face à l'adaptation

Le gouvernement fait partie des principaux acteurs de la lutte contre le réchauffement climatique et à l'adaptation à ses effets. Nous avons déjà vu que le Burundi montre un intérêt particulier pour cette problématique, dans le point précédent. Il est un ardent défenseur de la protection du climat en contrôlant l'émission des gaz à effet de serre. Il dispose de pouvoirs importants pour réaliser ses desseins dans ce domaine, dont le principal est la capacité de créer des lois qui s'appliqueront ensuite dans tout le pays surtout dans les régions les plus vulnérable comme notre zone d'étude, la région de Bujumbura.

L'Etat est censé définir une politique dans le domaine de l'environnement dont les buts doivent être exposés aux exécutants, et intégrer les exigences de la protection de l'environnement dans la définition et la mise en œuvre des politiques et actions de la population. De plus, le gouvernement

doit accorder à son ministère chargé de l'environnement, la compétence de légiférer dans ce domaine, ce qui lui donne un pouvoir d'action très important. Il dispose aussi d'un fondement juridique basé sur le Code de l'Eau, le Code Foncier, le Code de l'Environnement, le Code forestier, le Code minier, le décret no 100/ 292/ du 16 octobre 2007 portant création, mission, composition, organisation et fonctionnement de la Plateforme Nationale de Prévention des Risques et de la Gestion des Catastrophes, loi n°1/10 du 30 mai 2011, portant création et gestion des aires protégées au Burundi, qui lui permettent et lui imposent même d'agir dans le domaine de l'environnement. Pour toutes ces raisons, l'Etats est donc un acteur au cœur de la politique climatique, représentant un soutien indispensable autant en amont pour la prise des décisions qu'en aval pour leur application.

Les impacts négatifs du changement climatique dans notre zone d'étude qui est la région de Bujumbura sont susceptibles de continuer pendant des décennies, aussi longtemps que les régions des Mirwa qui surplombent la plaine de l'Imbo ne sont pas protégées ; même si les émissions de gaz à effet de serre sont encore minimes pour le Burundi comme le souligne le PANA. Ce faisant, l'adaptation aux effets du changement climatique est d'une importance primordiale et donc une priorité pour notre pays.

Cependant, plusieurs contraintes et défis à l'adaptation au changement climatique demeurent notamment : les cadres institutionnels et juridiques qui sont inadéquats pour l'adaptation ; l'insuffisance des moyens financiers pour soutenir les activités d'adaptation au changement climatique ; l'absence de compétences appropriées, de données et d'outils pour l'évaluation d'impact et de la vulnérabilité ; le niveau élevé de vulnérabilité parmi les populations, les écosystèmes et les infrastructures ; le faible niveau de prise de conscience de la vulnérabilité humaine surtout au niveau communautaire ;l'infrastructure météorologique insuffisante pour soutenir la recherche et les systèmes d'observation systématique ; le problème de production de données et leur diffusion en temps réel.Partant de ces contraintes et défis, la vision du Gouvernement en la matière se veut un Etat qui promeut un développement résiliant aux effets néfastes du changement climatique à partir des objectifs et les axes stratégiques pour cette problématique.

Rendre concrètes les décisions prise par l'Etat de s'adapter au changement climatique n'est pas la seule contribution ardente du pays. Le partage des compétences et de la subsidiarité avec la société civil et la population, en particulier celle qui est vulnérable, est responsable de la réussite à la

résilience climatique et à l'adaptation aux effets du changement climatique, et doivent donc agir à leur niveau pour la protection de l'environnement.

V.3.2. Rôle de la société civile

Au Burundi en générale dans la e zone d'étude en particulier, il existe une très grande diversité d'organisations/associations, avec des caractéristiques variables et qui défendent aussi des causes différentes. Ce sont ces organisations/associations qui constituent la société civile. Certaines sont de taille très importante, avec un rayonnement national, alors que d'autres se développent au niveau local.

Après avoir constaté l'ampleur des dégâts du changement climatique dans l'aire métropolitaine de Bujumbura, les différentes organisations/associations devraient agir de manière variée pour défendre le climat, à l'image de leur diversité. Leurs principales actions consisteraient d'abord à sensibiliser et à informer les populations et les politiques, que ce soit sur le sujet en général ou pour focaliser l'attention sur des problèmes en suspens ou des positions régionales ou locales qui sont scandaleuses à certains moments critiques. C'est par exemple l'exploitation excessive des carrières sur les versants des rivières Ntahangwa, Murago, Mugere, Kanyosha et autres.

Elles ont également le rôle de protestataires, par exemple en organisant des manifestations et en dénonçant des pratiques jugées inacceptables, pour mettre le sujet à l'agenda du gouvernement, pour que des décisions favorables au climat soient prises ou encore pour forcer le pouvoir à agir et à dépasser les déclarations d'intention. L'Etat, lui, doit leur ouvrir largement ses portes et prend en compte leurs demandes, considérant qu'elles ont un rôle important à jouer, en se faisant l'écho auprès des responsables politiques.

Les organisations/associations doivent être donc très dynamiques et profitent de leur diversité pour agir sur différents plans : sensibiliser l'opinion publique, contribuer à mettre un sujet sur l'agenda politique, faire du lobbying auprès des décideurs ou encore surveiller l'application des lois.

La question qui nous est très imminentes et de savoir si ces associations/organisations ont des membres de compétences nécessaires en matière de l'environnement ou dans des domaines familiers pour pouvoir lutter avec efficacité à l'adaptation aux effet du changement climatique ; ou si même parmi elles se trouvent celle qui luttent d'une façon ardente pour la protection de l'environnement à fin de promouvoir la résilience climatique, surtout dans notre région plus vulnérable aux effets du changement climatique. S'ils en existent, il est clair qu'elles n'ont pas de

pouvoir politique et législatif direct, ce qui diminue fortement leur marge de manœuvre. Leur influence est toutefois très importante sur le monde politique comme sur l'opinion, et elles joueront un rôle de moteur indispensable aux avancées contre le changement climatique.

V.3.3. Rôle de la population et des media

La population est également un acteur central pour assurer une réponse au changement climatique. Pour Newell, l'efficacité de cette dernière dépendrait même avant tout des attitudes et des valeurs du public. En tant qu'électeur et reflet de l'opinion publique d'abord, la population a un avis décisif pour motiver les pouvoirs à agir. Si elle se montre concernée par une question, l'Etat serait encouragé à mettre le sujet sur son agenda politique et à prendre des mesures. En plus de sa capacité d'influence sur le pouvoir, la population a aussi un autre rôle plus direct à jouer dans l'adaptation aux effets du changement climatique. En effet, elle contribue au changement climatique de par son mode de vie. C'est donc aussi par le changement des habitudes de consommation au niveau individuel que la lutte contre le changement climatique et l'adaptation peuvent devenir plus efficaces.

Du point de vue médiatique, les médias sont également des acteurs importants pour l'adaptation aux effets du changement climatique. Ils jouent un rôle non négligeable dans la constitution de l'agenda politique et auraient même une capacité directe à définir l'agenda, où les questions politiques peuvent être créées, comme le dit Newell. Dans le cas du changement du climat, ce sont des acteurs qui contribuent à transformer des préoccupations scientifiques en un véritable enjeu de société, faisant naître dans la population l'attente d'une réponse politique.

Etant la principale source d'information sur le changement climatique pour la grande majorité des citoyens, loin devant les publications des autorités ou les discussions privées, comme dit le rapport de la Commission Européenne *environnement2010,* les médias participent aussi à la formation de l'opinion publique en proposant une certaine lecture de ce phénomène. Ils jouent un rôle plutôt positif pour la lutte contre le réchauffement climatique. Non seulement ils concourent à en faire un thème de société en en parlant relativement souvent, comme ils l'ont fait pour l'événement de 2014 et autres, mais la plupart des médias traient aussi ce sujet de manière plutôt positive pour le climat. Dans notre pays, certains journaux ont toutefois laissé de place aux scientifiques réfutant la responsabilité de l'homme dans le réchauffement climatique. Professeur NDAYIRUKIYE Sylvestre, géographe, parle que protéger les Mirwa, c'est protéger la plaine[106]. En général, les

[106] Journal IWACU (2014) : *Numéro* 263.

interprétations privilégiées par les médias sont plus favorables à la lutte contre le changement climatique et à s'y adapter.

V.4. Mesure d'adaptation sectorielle

V.4.1. Débordement-inondation et aménagement

Dans le système fluviatile, ce qui se passe en aval est lié à ce qui se passe en amont. Il n'y a pas d'indépendance totale entre des espaces séparés de plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres. Ainsi, les décisions prises pour les zones situées en amont vont avoir des impacts positifs ou négatifs sur les zones situées en aval.

Depuis le début de la guerre en 1993, dans l'aire métropolitaine de Bujumbura, la croissance des quartiers spontanés serait à l'origine de l'aggravation des phénomènes des crues inondantes. Dans la zone d'intérêt, l'ampleur, la fréquence et les conséquences des inondations sont un mélange d'effets naturels et anthropiques liés à la déforestation dans les Mirwa en milieu rural et à l'imperméabilisation des sols et aux activités agricoles dans des zones aux risques d'inondation en milieu urbain. Aucun système d'assainissement n'a été mis en place dans les quartiers de Rubirizi, Tenga, Gahahe, Gatunguru, Gasenyi, Uwinterekwa, Gihosha rural, Mugoboka, Gasekebuye, Kamesa, Gisyo et Kanyosha rural. Ces quartiers implantés anarchiquement ont des impacts négatifs sur les zones situées en aval. Les impacts humains et matériels ciblés au cours du développement de ce chapitre, attestent une vulnérabilité accrue à l'inondation des quartiers situés en aval.

Après 1993, l'occupation des surfaces inondables par des habitations a sans doute légèrement augmenté en relation avec l'accroissement de la population. A partir des années 2005, la population a commencé à occuper de façon importante la zone inondable. Plus de 80 % des habitations ont été construites entre 2000 et 2018. Par exemple avant 1948, une grande partie de Gatumba était une zone d'expansion des crues de la Grande Rusizi. En 2018, cet espace aménagé pour l'agriculture, est convoité pour l'urbanisation du fait de l'expansion de l'aire urbaine de Gatumba.

Compte tenu des dangers liés à la rupture des digues, aux inondations catastrophiques récurrentes dans l'aire métropolitaine 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 cote 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 des stratégies locales intégrant des objectifs relatifs à la gestion de crise qui tiennent compte de :
  - ✓ l'existence de quatre (4) phases dans la gestion de crise : (1) l'anticipation de l'événement, (2) la gestion de la crise à son paroxysme, (3) la gestion de la crise après l'urgence jusqu'au retour à la normale dans des délais qui peuvent être longs, ainsi que (4) le retour d'expérience ;
  - ✓ la nécessité de distinguer les niveaux de réponse et les responsabilités engagées en fonction du niveau de l'aléa : inondation fréquente, moyenne, extrême.

- améliorer la connaissance des phénomènes de ruissellement pluvial à l'échelle de la stratégie locale (en milieu rural, périurbain et urbain) ;
- identifier, localiser et prioriser les secteurs et les enjeux exposés aux risques de ruissellement pluvial ;
- proposer des mesures d'adaptation des zones de production du ruissellement visant à réduire les volumes et vitesse de concentration.

Dans le cadre de la stratégie locale, en matière d'informations préventive et de la protection de la population, il également nécessaire désormais de constituer un groupe de travail avec les acteurs de la gestion de crise dans le but de :

- ✓ élaborer les cartes des zones inondables, en y intégrant les enjeux recensés historiques ;
- ✓ harmoniser et partager ces cartes entre tous les acteurs concernés par la gestion de crise, et les intégrer dans la planification de chacun de ces échelons ;
- ✓ développer et partager une meilleure connaissance de la décrue, qui pourra être intégrée dans la planification post-accidentelle de chaque acteur concerné ;
- ✓ améliorer la connaissance concernant les établissements sensibles (scolaires, hospitaliers) exposés aux risques de crues, et la prise en compte dans les plans Inondation ;
- ✓ élaborer un Plan d'Exploitation en cas de Crise (PEC) sur le périmètre de la stratégie pour la gestion des routes coupées et des déviations à mettre en place en collaboration avec les communes concernées ;

- ✓ améliorer l’information transmise auprès des élus lors des événements par la mise en place d’une communication coordonnée sur les systèmes d’alerte téléphonique en cas de crise ;
- ✓ intégrer les gestionnaires de réseaux critiques dans le système d’alerte et d’informations des élus ;
- ✓ organiser des exercices de simulations de crise coordonnés avec les communes, les services de secours, les forces de l’ordre et les gestionnaires de réseaux.

Comme il n’existe pas actuellement un responsable chargé de la sécurité de la digue, en matière de la réduction des risques liés aux dangers des digues, il est nécessaire de désigner le responsable de l’ouvrage qui aura pour mission de :

- Avertir les administrateurs des communes concernées, notamment afin qu'ils prennent en compte le niveau de risque de rupture de l'ouvrage dans le plan communal de sauvegarde lorsqu'il existe.

A l’intérieur du périmètre agricole de Bujumbura, pour éviter les risques d’inondations et de la rupture des digues nous recommandons les mesures suivantes :

- interdire la divagation du gros bétail et du petit bétail qui peut être à l’origine de la disparition des écosystèmes qui régulent l’eau d’une part et la détérioration des ouvrages hydro agricoles d’autre part ;
- réglementer les travaux d’extraction de l’argile pour la fabrication des briques et des tuiles qui peuvent modifier significativement la morpho dynamique des cours d’eau suite à l’accumulation des sédiments dans la retenue, en amont des ouvrages hydro agricoles ;
- Interdire les travaux d’extraction des granulats sur une longueur d’environ 100 m en amont du barrage de retenue (prise sur la Muzazi) dans le but de réduire l’ensablement)
- De mettre les ouvrages de traversée ou des passerelles, de faire les curages et interdire de cultiver tout près de la rivière et de la digue ;
- De protéger les bassins versants, notamment pour assurer la pérennité des infrastructures ouvrages hydro agricoles ;
- Organiser des campagnes d’informations avec l’administration locale et les populations sur les causes des inondations et sur les dangers des digues ;
- prévoir les périodes de curage très réguliers dans le barrage de retenue (prise sur la Muzazi).

V.4.2. Dans le domaine agricole

L’agriculture a des relations ambivalentes avec le climat : fort contributeur aux émissions de gaz à effet de serre, le secteur de l’agriculture peut aussi potentiellement remplir les fonctions de puits de carbone et de producteur d’énergies renouvelables tout en étant très sensible aux effets des

changements climatiques déjà observés. *L'agriculture étant un secteur particulièrement structurant, que ce soit en termes d'alimentation, d'aménagement du territoire ou encore de relation à notre environnement, il est primordial de mettre en place les stratégies d'adaptation du secteur*[107]

En l'absence d'actions d'adaptation efficaces et anticipées, la majorité des effets des changements climatiques pourraient avoir des impacts négatifs très importants pour l'agriculture. En revanche, des actions d'adaptation bien anticipées et permettant en même temps d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre doivent être recherchées. Pour autant, les changements climatiques restent un enjeu difficile à appréhender et encore peu intégré aux stratégies de gestion, autant à l'échelle des exploitations agricoles, des filières que des territoires.

Ainsi, l'adaptation doit passer par la modification de l'utilisation des sols, des modes de culture et des variétés utilisées, ainsi que par une meilleure gestion des ressources en eau. Les conséquences du réchauffement climatique devront être prises en considération dans le cadre des politiques agricoles et des aides à l'agriculture. La création d'un forum d'échange d'information entre l'administration et les professions agricoles sur les changements climatiques permettrait une meilleure estimation des conséquences et une amélioration des politiques d'adaptation. Pour la zone d'étude, la partie nord de la plaine (plaine de la Rusizi et vers les rizières de Gihanga) est beaucoup plus concernée.

[107] Rapport final *: Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques recueil d'expériences territoriales*

Dans la zone d'étude, aire métropolitaine de Bujumbura, on s'intéresse souvent à l'adaptation spontanée qui est l'adaptation à une contrainte climatique par une réponse immédiate, tactique et réfléchie à un niveau individuel, tandis que « *l'adaptation planifiée résultant de décisions collectives, stratégiques, délibérées et fondées sur une perception claire des conditions serait une meilleure méthode en générale et dans le domaine agricole en particulier »*[108].

L'adaptation spontanée peut conduire à une mal-adaptation, c'est à dire à une situation où la vulnérabilité aux aléas climatiques se trouve paradoxalement accrue. Ainsi, dans la zone d'étude, quelques pistes d'adaptation pour le secteur agricole peuvent être privilégiées. Il s'agit de :

- Pistes techniques ;
- Des pistes agronomiques ;
- Pistes organisationnelles et institutionnelles.

V.4.2.a. Pistes techniques

Les pistes techniques consistent à en envisager les mesures suivantes :

- Améliorer la gestion de la ressource en eau et la maîtrise de l'irrigation, tout en veillant à éviter toute forme de mal-adaptation comme la ponction de la ressource en eau non renouvelable trop importante, la mauvaise coordination entre l'aval et l'amont des cours d'eau surtout pour les rizières du Nord de la plaine ;
  Mettre en une couverture des sols (paillage et plantes de couverture) afin de pallier la hausse de la sensibilité des sols à l'érosion ; la réduction du travail des sols afin de préserver leur taux de matière organique et le développement de dispositifs anti-érosion dans les terrains pentus (murets, haies pour les Mirwa et pour les versants des rivières qui traversent la plaine de l'Imbo en particulier dans la zone d'étude. Conserver les zones agricoles importantes des environs immédiats de la ville de Bujumbura et promouvoir des pratiques agricoles modernes en tenant compte des pentes que présente le terrain. Pour les pentes > 40 reboiser et pratiquer une agriculture conditionnelle. Pour les pentes situées entre 15% et 40%, pratiquer une sylviculture et une agroforesterie dans les zones rurales. Pour les pentes <15%, pratiquer une agriculture moderne en zone rurale et en zones urbaines.

[108] *Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques recueil d'expériences territoriale ; pge 15*

V.4.2.b. Des pistes agronomiques :

- Le décalage des semis et des récoltes, décalage des dates de vêlage des cheptels, et choix de variétés et d'espèces mieux adaptées ;
- La relocalisation de certaines cultures ;
- La valorisation des associations culturales, des pratiques de rotation et de la pluriactivité culture/élevage afin de renforcer la biodiversité des agrosystèmes et donc de baisser la vulnérabilité des systèmes face aux changements climatiques notamment face au risque de développement des maladies et des parasites ;
- Le développement des cultures sous abris pour les cultures sensibles aux aléas violents (fruits, maraîchage) ;
- La valorisation des nouvelles opportunités agricoles comme les plantes à tubercules notamment, moins sensibles aux aléas climatiques.

V.4.2.c. Pistes organisationnelles et institutionnelle

Le soutien à l'évolution des filières notamment en faisant évoluer les systèmes d'aides publiques ;

- La promotion d'une gestion participative intégrant les différentes catégories d'acteurs ;

La sensibilisation des consommateurs sur les possibles évolutions de l'offre.

V.4.3. Dans le domaine forestier

Les effets du changement climatique et de la variabilité du climat sur les écosystèmes forestiers sont évidents, et la poursuite de ces effets est inévitable au moins à court et à moyen terme. Le changement climatique compromet la capacité des forêts de fournir des biens d'importance critique et des services écosystémiques importants. Or, les réserves naturelles et les forêts jouent un rôle important à la fois comme puits et comme source de CO_2. *Les forêts absorbent du CO_2 par la photosynthèse, stockent ce gaz sous forme de carbone et le rejettent par la respiration, la décomposition et la combustion des plantes*[109]. Cette fonction des puits de carbone d'une forêt augmente avec le taux de croissance de la forêt et avec la durée pendant laquelle elle conserve le carbone. Les forêts sont également des sources d'émission de gaz à effet de serre, dont le principalement est le CO_2. *Le déboisement et la dégradation des forêts représentent, selon les*

[109] La CCNUCC *distingue cinq types de puits de carbone dans les forêts : la biomasse au-dessus du niveau du sol, la biomasse en-dessous du niveau du sol, les détritus végétaux, le bois mort et le sol lui-même.*

estimations, 17 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre[110] . *Certes* que le changement climatique et la variabilité accrue du climat ont à la fois des effets directs et indirects sur les forêts et sur les populations qui en dépendent. Pour la zone d'étude ; le parc de la Rusizi souffre de l'explosion démographique et une urbanisation spontanée et des crises socio-ethnique qu'endure le pays. Par ces causes, la réserve se voie rétréci et dévorée.

Face au changement climatique il existe deux principales formes de réponse : l'adaptation et l'atténuation des effets de ce changement. *Ce sont les deux aspects d'une même médaille : l'atténuation des effets s'adresse aux causes du changement climatique et l'adaptation cherche à remédier à son impact*[111]. Dans le secteur forestier, une adaptation au changement climatique englobe les changements apportés aux pratiques de gestion destinées à diminuer la vulnérabilité des forêts au changement climatique et les interventions visant à réduire la vulnérabilité des populations humaines au changement climatique. *Les stratégies d'atténuation des effets du changement climatique dans le secteur forestier se classent en quatre catégories : réduire les émissions dues au déboisement, réduire les émissions dues à la dégradation des forêts, améliorer les puits de carbone forestiers et substituer les produits*[112]. Pour notre cas, les mesures d'atténuation des effets du changement climatique, notamment dans le parc de la Rusizi, doivent être prises d'urgence pour réduire l'action anthropogénique, c'est-à-dire causée par l'homme, sur le système climatique. De même, les mesures d'adaptation à ce même changement, dans le parc, sont indispensables pour garantir la continuité de la fourniture de biens produits par le parc et de services rendus par cet écosystème forestier.

Les efforts déployés par le monde pour faire progresser la gestion durable des forêts ont produit un vaste ensemble de connaissances, de données d'expérience, de directives pratiques, d'instruments, de mécanismes et de partenariats qui peuvent s'appliquer à la solution des problèmes causés par le changement climatique[113]. La gestion durable des forêts, des parcs et des réserves naturelles, comme cadre d'ensemble, aide à assurer que les mesures d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets sont dans une relation synergétique et en équilibre avec d'autres objectifs

---

[110] GIEC (2007) 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. R.K. Pachauri& A. Reisinger, éd. Genève (Suisse), Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

[111] *Le changement climatique et les ressources génétiques forestières : état des connaissances, des risques et des possibilités (2011)*

[112] *Les impacts du changement climatique sur les forêts européennes et les options d'adaptation (2008)*

[113] *Directives pour la gestion durable des forêts dans les terres sèches d'Afrique subsaharienne (2010*)

de gestion des forêts et prennent bien en considération la valeur économique, sociale et environnementale des forêts. C'est dans ce cadre que le Burundi membre de la COMIFAC, doit reconnaitre la gestion de son patrimoine forestier. Pour de multiples raisons socio-économiques, productives et environnementales ; les efforts d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de ses effets dans ce même domaine, menés sur le terrain, supposent une démarche systématique, des politiques rationnelles et un cadre législatif et administratif approprié. Par-là, une démarche participative est une condition essentielle d'une bonne gestion de cet écosystème forestier capable de répondre aux effets du changement climatique.

Le changement climatique présente un risque non seulement pour la composition, la santé et la vitalité des écosystèmes forestiers mais aussi pour les systèmes sociaux qui dépendent des forêts[114]. La réduction des services fournis par l'écosystème forestier, en particulier s'agissant du cycle de l'eau, de la protection du sol et de la préservation de la biodiversité, peut se traduire par une vulnérabilité sociale accrue.

Il est important, pour notre cas, de conduire une stratégie de précaution afin de renforcer les capacités d'adaptation et de résilience des forêts. Le choix des espèces doit se faire à l'échelle locale pour remplacer les essences disparues, en fonction de l'ensemble des paramètres écologiques de la station. La présence des lisières structurées offrira également une meilleure protection du parc, puisque l'exploitation spontanée sera limitée. Enfin, il faut aussi y multiplier dans les peuplements, des essences à vocation de protection des sols, et il est recommandé de pratiquer des éclaircies précoces et fortes afin de réduire la compétition pour l'eau et d'accroître la stabilité des peuplements.

V.4.4. Dans le domaine de transport et le littoral du lac

En matière de réseaux de transport, surtout routier, des risques accrus de coupure par des inondations sont à craindre. Aussi des risques de destruction des voies de communication par des glissements de terrain sont aussi à envisager et devront être pris en considération dans la définition des tracés. À terme, les coûts de maintenance de la voirie pourraient augmenter, du fait de l'augmentation de ces risques dans la l'aire métropolitaine de Bujumbura**.**

S'agissant du littoral du lac Tanganyika, de nombreuses zones côtières sont déjà confrontées à des phénomènes de submersion et à l'accélération de l'érosion des côtes. Cas de Kibenga rural. Comme

[114] Etude FAO-Foret *: Directives relatives au changement climatique à l'intention des gestionnaires forestiers Directives relatives au changement climatique à l'intention des gestionnaires forestiers.*

l’annonce le troisième rapport d’évaluation du GIEC de 2001, ces processus sont susceptibles d’être considérablement accentués par les changements climatiques qui se traduiront par une hausse du niveau du lac. L’ensemble des milieux naturels littoraux ainsi que de nombreux secteurs et activités du bord du lac sont affectés par le changement climatique. Localement, les effets du changement climatique ne sont pas multiples. Néanmoins, des problèmes liés aux aménagements existants, auront des conséquences importantes dans le futur. Dans la mesure du possible, il faut une protection et une gestion des bassins versants, des berges, des tampons riverains et de la biodiversité aquatique. Il faut donc préserver 50 à 150m de tampon le long du lac, 50 à 25m de tampon le long des rivières et 15m de tampons le long des zones humides et des drains naturels.

Malheureusement, presque toute la côte du lac Tanganyika est aménagée en dur. Une prise de conscience nouvelle et partagée entre les collectivités locales et les services techniques de l’État notamment sur la nécessité, dans certains cas, d’opérer un recul stratégique ou de soustraire certaines parties du bord du lac Tanganyika à l’urbanisation et aux aménagements en dur est à encourager.

La principale difficulté porte sur les zones à risque dans lesquelles des populations se sont installées ou sont susceptibles de s’installer. Ce phénomène risque d’être amplifié par la pression immobilière face à l’attrait résidentiel, touristique et économique du littoral. Il convient de s’appuyer sur des principes littoraux, lorsque ceux-ci existent. Il est nécessaire aussi d’utiliser la réglementation existante, comme la loi sur le littoral, qui doit être mieux appliquée voire renforcée : élargissement de la bande d’inconstructibilité par exemple. Aussi la communication sur le changement climatique peut aussi aider les autorités locales à prendre en compte les servitudes d’intérêt public dans leur choix d’aménagement ou d’urbanisation de la bande côtière pour garder propre l’eau du lac et pour la préservation de la biodiversité lacustre, tout en sachant que la problématique du changement climatique fait partie des réflexions stratégiques du conservatoire du littoral.

Dans cas contraire, les couts deviennent énormes suite à l’inaction d’une part de l’état et d’autres part de la population. Par exemple, le manque à gagner suite à l’inaction contre la protection des sols en amont des cours d’eau qui traversent la ville de Bujumbura s’élève à plus de 12 milliards de francs Bu**.** En plus, le coût de l’aménagement intégré de la rivière Ntahangwa est estimé à Huit Millions de Dollars des Etats Unis (8 000 000 US$) qui est insignifiant par rapport à la valeur des infrastructures situées dans la ville de Bujumbura et cet investissement permettrait de protéger notamment : trois ponts situés sur cette rivière ; les usines BRARUDI et RAFINA ; le dépôt de

carburant de la SEP ; les nombreuses maisons d'habitations construites le long de cette rivière dans les quartiers de Mutanga Nord, Mutanga Sud, Nyakabiga, Jabe, Kigobe et Buyenzi. De surcroit les coûts de réhabilitation/aménagement partiel des ravins et rivières traversant la ville de Bujumbura et de quelques infrastructures sociales s'élèvent 12 913 900 000 Fbu[115]. Soulignons que les activités de réhabilitation s'attaquent aux conséquences mais non aux causes.

V.4.5. Gestion des Pentes

Ici la nécessité s'impose de protéger les pentes raides de l'urbanisation, des pratiques agricoles, de glissements de terrain et de l'érosion des sols. Dans le but de protéger la végétation, la biodiversité, les bassins versants surplombant la ville de Bujumbura et les cours d'eau existants pour créer un système environnemental écologiquement équilibré, en matière de la gestion des pentes de la ville, nous proposons les mesures suivantes :

Restaurer à 100% des pentes supérieures à 40% ;

- limiter le développement des aménagements à 40% au niveau des pentes situées entre 25% et 40% ;
- limiter le développement des aménagements à 60% pour les pentes situées entre 15% et 25% ;
- gérer le développement des aménagements pour les pentes inférieures à 15%. Les pentes supérieures à 5% nécessitent une stabilisation des sols et des mesures de contrôle de l'érosion.

Pour les quatre catégories de pente, les mesures de protection des pentes est proposé dans l'annexe 1.

V.4.6. Maitrise des inondations

Les principales stratégies de lutte contre les inondations dans l'aire métropolitaine de Bujumbura reposent sur deux actions. La première est de protéger les bassins versant des rivières en amont. C'est les emballer des végétations couvrant le sol, pour enfin protéger ce dernier contre l'érosion. Ces végétations vont aussi limiter les glissements de terrain et les éboulements. La deuxième action

[115] Rapport *: Etude sur le coût de l'inaction contre la dégradation du sol au Burundi 2012, pge 56 et 57*

c’est la Construction de bassin de rétention en aval. Cette action doit être complétée par la mise à disposition de réserves de contrôle des inondations le long des rivières et des ruisseaux existants dans la zone d’étude. Un tampon de 50m est prévu de chaque côté des rivières, la plupart du temps dans la partie Nord de Bujumbura, alors que les principaux courants nécessitent un tampon de 25m de chaque côté. Il est également important de réduire le coefficient de ruissellement de la réserve de contrôle des inondations en plantant des arbres et de la végétation profonde pour retenir l’eau et partiellement absorber leur énergie destructrice.

V.4.7. Gestion des déchets solides

La question de gérer les déchets solides est identifiée lors de mes visites du terrain du 14 avril 2018 à Gisyo en commune urbaine de Kanyosha. Ce problème est aggravé par le fait qu’aucun système de gestion des déchets solides n’existe à Bujumbura ; par le manque de planification de gestion de déchets solides intégrés. C’est aussi par qu’aucune élimination approprié des déchets ; et puis par le manque d’initiatives de recyclage. La meilleure gestion doit passer par la réduction, la réutilisation et le recyclage et le développement des installations de gestion des déchets. Encore le plus important, il faut choisir les endroits appropriés pour le dépôt des déchets urbains.

Dans ce chapitre, nous venons de voir que pour renforcer la capacité d’adaptation vis-à-vis des changements climatiques, il convient de relever les faiblesses et les obstacles et mettre en place des moyens financiers dans le cadre d’une stratégie cohérente. Ainsi, L’identification des mesures d’atténuations appropriées au Burundi est une action combinée de multiples acteurs. La mise en place d’une politique agressive environnementale est indispensable, afin d’assurer une gestion durable des ressources naturelles dont l’objectif sera de développer et de mettre en place des mécanismes efficaces de prévention et de gestion des calamités naturelles et d’élaborer et mettre en œuvre un plan d’adaptation au changement climatique, comme c’ est bien détaillé dans PANA et dans le plan directeur à l’horizon 2045.

Conclusion générale et recommandations

L’aire métropolitaine de Bujumbura couvre la plaine d’Imbo et les contre forts des Mirwa (figure 1). L’Imbo dont la ville de Bujumbura, notre zone d’étude, fait partie, est une plaine chaude où la température moyenne est supérieure à 23°C et où la pluviosité est irrégulière. Dans cette même

logique, les facteurs locaux (les vents, la pression atmosphérique, l'insolation, l'humidité relative) interfèrent avec la circulation atmosphérique et génèrent ainsi le climat local que bénéficie la zone d'étude. C'est une zone soumise à une forte érosion et aux glissements de terrain en amont en raison du manque de techniques appropriées d'atténuation et des inondations récurrentes en aval, suite à l'occupation anarchique des basses terres.

Le milieu physique de la zone d'étude revêt un caractère particulier sur le point morphologique et climatique. L'opposition entre les basses terres très chaudes aux faibles et irrégulières précipitations et les contres forts arrosés et tempérés se manifeste dans l'affectation des changements climatiques. L'analyse des données métrologiques de la station de l'aéroport de Bujumbura prouve l'existence des cas de grandes pluies supérieures à la moyenne, des pluies extrêmes dans une période de plus de 50 ans (1960 à 2010). Ces pluies sont la cause des inondations dans la plaine et des glissements de terrains dans les contres forts de Mirwa. Cette analyse a aussi affirmé des grandes variations des températures depuis 1990 à 2006. La moyenne des moyennes journalières sur une période de 30 ans depuis 1960 à 1989 est de 29.32^0C (tableau 16). Celle de 1990 à 2006 correspond à 30.04^0C, soit une augmentation de 0.72^0C. La moyenne des moyennes journalières sur 46 ans s'élève à 29.57^0C. L'augmentation de 0.72^0C sur une période de 16 ans est très grande étant donné que les scénarios sur l'élévation de la température prévoient une augmentation de 0.4^0C. La répartition inégale des précipitations dans le temps, l'apparition des pluies exceptionnelles, la disparité des moyennes mensuelles par rapport à la normale, la diminution des jours de pluies depuis 1990**,** la variation de la température par tranche et celle journalière ; montrent clairement la présence des changements climatiques.

Les effets de ce changement sont multiples et sont influencés par beaucoup de facteurs. Les facteurs entropiques ont une grande part. La croissance de la population urbaine est de 4,2 de taux d'accroissement annuel moyen selon le RGPH 2008. Cette croissance démographique conditionne la croissance urbaine de Bujumbura d'une manière spontanée, aggravant ainsi la vulnérabilité de la ville de Bujumbura aux effets du changement climatique. Sachant que l'aire métropolitaine de Bujumbura est traversée par des rivières torrentielles, prenant source dans les contre forts des Mirwa, la réaction de ces rivières durant les grosses pluies, est conditionnée par l'occupation anarchique du sol. Ces rivières mal entretenues causent de multiples inondations dans la ville de Bujumbura. C'est le cas de Kajaga et de la route Bujumbura – Gatumba en 2009, du centre gynéco obstétrique de Kabezi en 2010, Nord e la ville de Bujumbura en 2014,2015 et en 2018 (Chap IV).

Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié la problématique des changements climatiques, leurs origines, leurs effets et leurs enjeux. Nous reconnaissons maintenant que les changements climatiques constituent un risque qu'il faut contrer par des mesures d'adaptation qui exigent une réponse national en général pour le pays, et en particulier pour l'aire métropolitaine de Bujumbura.

Dès lors que les impacts des changements climatiques sont effectivement ressentis dans nombreux domaines, l'adaptation aux conséquences du changement climatique dans l'aire métropolitaine de Bujumbura, demande à agir dans un contexte d'incertitude. Cette incertitude justifie le développement des recherches, des études et de l'observation, qu'il est d'abord nécessaire de connaître les menaces possibles et d'évaluer à la fois leur probabilité d'occurrence et l'ampleur des dommages encourus. Les mesures sectorielles proposées dans le chapitre cinq, une fois mises en application, donneraient des solutions techniques que scientifiques, pour réduire des dommages prévisibles à court et à long terme.

Il est souhaitable que la mise en œuvre de ces mesures soit coordonnée dans le cadre d'un véritable plan national d'adaptation, qui permettra de décider des niveaux adéquats pour la conduite des activités, tout en assurant un échange de savoir-faire et d'informations.

Sachant que la mise en œuvre de la stratégie d'adaptation demande des efforts combinés de multiples acteurs, le gouvernement doit porter une attention particulière aux mesures urgentes d'adaptation qui ont été identifiées dans le document PANA.

De même, les organisations locales et les ONG travaillant dans le domaine de l'environnement devront être incitées à inclure l'adaptation aux changements climatiques dans leurs stratégies de travail.

Enfin, l'adaptation aux changements climatiques sera d'autant plus efficace que la stratégie nationale d'adaptation sera intégrée dans le programme stratégique de lutte contre la pauvreté, dans les plans de développement agricole et de l'élevage, la politique énergétique. Le gouvernement doit réviser les programmes de CSLP II avec le plan directeur de l'eau, le code de l'environnement, le code forestier qui sont des instruments pour garantir le développement. Le plan national d'adaptation, auquel il appartiendra en dernier ressort de prioriser les actions futures, pourrait notamment s'appuyer sur les recommandations concrètes issues de cette réflexion stratégique et proposées tout au long de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

I. Les ouvrages généraux

AUBERT, G. et BOULAINE, J., (1972), *Pédologie, 2ème Ed. Refondue*, Paris, PUF, 126p.

COSANDEY C., et ROBINSON M., 2007. *Hydrologie continentale*. Armand Colin, Paris, 27p

Dasylva J,. (2009). La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain Vulnérabilités urbaines au sud Cybergeo ,143p.

VARNES, B.(1978), ; *Landslide classification* ; Nature, 232p

JEUGE-MAYNART, I., (Direction Générale), (2007), *Le Petit Larousse 2008*, Paris, 948p.

LASSERRE, G., 1979. Atlas du Burundi, association pour l'Atlas du Burundi, Bordeau; planche7.

NDAYIRUKIYE, S. (Sous la direction), (2002), Bujumbura centenaire, Croissance et défis, Paris, Etudes africaines, Harmattan, 64p.

O'Keefe P., Westgate K., Wisner B., 1976. *«Taking the Naturalness out of Disasters»*. Nature, 425p

PECH, P. et VEYRET, Y., (1997), *L'homme et l'environnement, Paris, PUF, 290p. Réponses économiques*, L'Harmattan, coll. Logiques Politiques, Paris, 373p.

RUMPALA Y. (2003), Régulation publique et environnement : Questions écologiques, Paris, 253p.

SAUVY, A., (1962), Théorie générale de la population, Economie et population, Paris, PUF, volume I, 302p

VIGNEAU. J, R; 2000. Géoclimatologie, Ellipses éditions marketing, Paris,144p.

II. Thèses et mémoires

BARAMVYA P., (1988) : *Cosmopolitisme de la ville de Bujumbura*, Bujumbura, UB, 26p.

GAHWANYA, A., (1985), Le bassin versant de la rivière Ntahangwa : Etude géomorphologique, Bujumbura, UB, Mém., 86p.

EGROT, (1980) : Étude de croissance urbaine de la ville de Bujumbura, Bujumbura, MTPE, 64p.

HAGABIMANA E., (2002) : Risque d'inondation, les impacts associés et propositions des mesures de prévention et de protection en milieu urbain de Bujumbura : Zone comprise entre Muha et Nyabagere, université du Burundi, mémoire, 46p.

IYANKUNZE J.C.,(2012) : *Planification URBAINE, risques naturels et proposition d'aménagement du quartier Kibenga « rural*»,Bujumbura; p50

MUREKATETE, A., (2005), Contribution à l'étude de l'érosion et des mesures de conservation des sols dans la région de Gisozi, FLSH, UB, Mémoire, p 46

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, 22p.

NDAYISHIMIYE A,(1982-1983) : *Le quartier asiatique de Bujumbura*. Mémoire, UB, 76p.

NKUNZIMANA A. (2012) : Etude de l'influence de changement climatique sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du BURUNDI et leur impact sur l'aménagement du territoire/cas des bassins versant de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi. Mémoire UB.129 p.

NSABIMANA S, (2008) : Etude de Vulnérabilité et d'adaptation aux changements climatiques au Burundi, secteur paysages. Bujumbura, 87 p

SEBITITAWEHO M., (1983) : L'urbanisation à Bujumbura. Etude de deux quartiers Types : Rohero II et Cibitoke. Mémoire, UB, 59 p.

SINDAYIHEBURA B., (2005) : De l'Imbo au Mirwa. Dynamique d'occupation du sol, Croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura (Burundi), de 1925 à 2005. Thèse de doctorat, Université de Toulouse Le Mirail, 336 p.

RIVUZIMANA J. C. ;(2005); Evaluation des aménagements effectues dans la ville de Bujumbura : cas du Quartier Gikungu, Mémoire UB, p 109.

UWIZEYE T, (2012).Contribution à l'étude de l'explosion urbaine et les contraintes associées des quartiers populaires et spontanés de la ville de Bujumbura de 1990 à 2010 : cas de la commune Buterere. UB, FLSH, Mémoire, 77 P.

NGARAMBE, V., (1985), Etude de l'influence des pratiques culturales sur le développement de l'érosion hydrique en zone de culture intensive de Mumirwa, Bujumbura, UB, Mémoire, 76p.

NDAYIRUKIYE, S., (1986), *La plaine occidentale du Burundi : Etude régionale*, Nice, Université de Nice, UER, LSH, Thèse, 40p.

BISORE S.,(2006): La problématique climatique du Burundi: analyses de la contribution du pays, risque de dommages potentiels, politique d'adaptation et comparaison dans le contexte global, Mémoire pour Maitrise p.7

NIBIGIRA & al. « La vallée du rift est-africain face aux risques gravitaires : Cas de Bujumbura Périurbain. Bujumbura, UB, FLSH, 110 p.

III. Rapport et autres documents publiés

ESCOBEDO, J., (1982), Les sols du versant Ouest de la crête Zaïre-Nil au Burundi, Bujumbura, ISABU, 58p.

BIGENGAKO, M. J., GAPUSI J.R. et MASHARUBU, (2009), Connaissances actuelles, expériences et potentialités des espèces ligneuses autochtones du Burundi, Bujumbura, action ceinture verte pour l'environnement, Ecosystème Grands programmes, 100p.

KABEYA KANKOLONGO, A., et SIMWERA-NGULU, S., (1992) La zone urbaine de Bujumbura : Les phénomènes géomorphologiques et leurs impact sur les aménagements, Bujumbura, UB, 97p.

GILLET M. & BABILLOT P. (2006), Adaptation aux changements climatiques : les propositions de l'ONERC, conseil d'orientation de l'ONERC du 2 juin 2006, 49p.

BOURRELIER P. (2000) : La prévention des risques naturels ; Rapport d'évaluation, Paris, La Documentation Française, p 67-69

BOURRELIER. P (1997) (dir.) : La prévention des risques naturels ; Rapport d'évaluation, Paris, La Documentation Française, p 136

GIZ (2014) : Résultats de l'analyse rapide de la catastrophe naturelle 2014 au Burundi ; Projet ACCES « Adaptation au Changement Climatique pour la protection des ressources en Eau et Sol »,49 p

Québec : Adaptation au changement climatique : Synthèse du cycle de séminaires franco-québécois : villes ; zones vulnérables ; forêts, espaces naturels et biodiversité, 67p.

MINAGRI : Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques recueil d'expériences territoriale ; 15p.

Burundi : Analyse des facteurs de risque, évaluation des dommages et proposition pour un relèvement et une reconstruction durable : évaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 Février aux alentours de Bujumbura. 104p.

Burundi : Analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables 96p.

Burundi : Changements climatiques. Première communication nationale, 145 p.

Centre des Nations Unies pour les établissements humains, l'eau et l'environnement, le développement dans la perspective.123p.

Directives pour la gestion durable des forêts dans les terres sèches d'Afrique subsaharienne (2010), 212p

PURI : 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, Mars 2017, 89p.

Etude FAO-Foret : Directives relatives au changement climatique à l'intention des gestionnaires forestiers Directives relatives au changement climatique à l'intention des gestionnaires forestiers, 157p.

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. R.K. Pachauri & A. Reisinger, éd. Genève (Suisse), Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 321p.

CCNUCC : Distinction de cinq types de puits de carbone dans les forêts : la biomasse au-dessus du niveau du sol, la biomasse en-dessous du niveau du sol, les détritus végétaux, le bois mort et le sol lui-même. 123p.

11. Le changement climatique et les ressources génétiques forestières : *état des connaissances, des risques et des possibilités* (2011), 196p.

12. France : Les impacts du changement climatique sur les forêts européennes et les options d'adaptation (2008), 89p.

Journal IWACU (2014) : *Numéro* 263.

GIEC : Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)

Ministère de l'intérieur, Bureau central de recensement. Recensement Général de la Population et de l'Habitat du 16 au 30 août 2008, 76p.

Ministère de l'Intérieur, Département de la politique, Bureau Central du Recensement. *Recensement Général de la Population et de l'Habitat du 16-30 août 1990*. Résultats provisoires, 65p.

Mission Interministérielle de l'effet de serre, Bilan 2007 des changements climatiques : conséquences, adaptation et vulnérabilité, 8ème Session du Groupe de Travail II du GIEC, Bruxelles, du 02 au 06 avril 2007, 56p.

Rapport final : Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques recueil d'expériences territoriales, 46p.

République du Burundi, 1996. Population Burundaise de 1996 à 2002.

Burundi : Schéma directeur d'aménagement urbain, groupe huit, Volume III vision 2025, 268p.

SINDAYIHEBURA B., Avril 2011. MSF Belgique. Etude qualitative et quantitative liée à l'inondation en cas de pluie exceptionnelle pour le Ruisseau Nyabagere. 85p.

IV. Webographie

1. http://www.pdm-net.org//: *partenariat pour le développement durable* (septembre 2015)

2. http:/www.h 20.net@2006-2007 Association h 20 France (octobre 2015)

3. http://www. Prim.net, mairie, services de l'Etat.(mai 2016)

4. http://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/checklist/French.pdf); *système pourrait se baser sur les orientations développées par la Conférence mondiale sur les systèmes d'alerte* (Bonn, 2006) (juin 2016)

5.http://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/Global-Survey-of-Early-Warning-Systems.pdf *le rapport mondial sur les systèmes d'alerte commandité par Koffi Annan* (août 2016)

ANNEXES

Annexe 1 : Gestion rationnelle des pentes

Type de Pente	Catégorie de Pente	Restauration	Stratégie de gestion des pentes
Zone de pentes à haut risque	40% et plus	100%	✓ Une protection à 100% de ces pentes contre tout développement du centre. Autoriser quelques usages conditionnels comme les infrastructures, l'agriculture et les loisirs ; ✓ Au cours du développement d'usages conditionnels, une gestion appropriée des pentes et des techniques de protection seront adoptée. ✓ Minimiser l'érosion, le creusage en fouille et l'enlèvement de végétaux. ✓ Aucune route ne devra être développée le long de ce terrain. ✓ Proposer un reboisement des pentes raides non végétalisées. ✓ Encourager la végétation indigène et les essences locales

Zone de pentes à risque moyen	25% à 40%	60%	✓ Autoriser le développement conditionnel des terres uniquement pour les loisirs passifs, une agriculture limitée et des usages résidentiels en maisons individuelles ✓ Au moins 20% de la surface de terrain devra être plantée d'arbres. ✓ Les développements devront adopter des techniques de construction durables et laisser plus de surfaces perméables. ✓ Pour les pentes entre 20% et 30%, les routes iront en diagonale et non perpendiculairement à la pente. Eviter le développement de routes pour des pentes en 30% et 40%. ✓ Aucun développement ne sera autorisé sur les crêtes de montagne au delà de 900m ✓ Restreindre le développement, le creusage en fouille et l'enlèvement de végétaux dans les zones de pentes entre 30% et 40%.

Zones de pentes à risque modéré	15% à 25%	40%	✓ Adapté seulement au résidentiel en maisons individuelles de faible densité, usages agricoles et récréatifs limités tels que des pistes, des espaces ouverts, des équipements publics de petite échelle etc. ✓ Le développement ou redéveloppement d'usages conditionnels ne devra pas changer le caractère prévalant de l'occupation des sols; cours d'eau, et zones de vie sauvage naturelles. ✓ Des techniques adéquates de stabilisation des sols doivent être utilisées pour contrôler l'érosion du sol et les écoulements. ✓ Au moins 15% de la surface de terrain devra être plantée d'arbres. ✓ Les développements devront adopter des techniques de construction durables et laisser plus de surfaces perméables. ✓ Les routes devront aller en diagonale et non perpendiculairement à la pente.

Zones de pentes à faible risque	Pentes de moins de 15%		✓ Les pentes entre 10% et 15% sont adaptées aux développements résidentiels de densité modérée, mais une attention particulière devra ✓ être portée au positionnement d'usages commerciaux, industriels et institutionnels. ✓ Ces zones pentues de faible risque demandent cependant des informations environnementales spécifiques et une étude détaillée du site, ✓ Protéger les caractéristiques environnementales importantes du site telles que la faune, les arbres, les drains naturels, les vallons, et la stabilité du sol. ✓ Les pentes >5% nécessitent une stabilisation des sols et des mesures de contrôle de l'érosion. ✓ Pour les pentes supérieures à 12%, les routes iront en diagonale et non perpendiculairement à la pente, sauf pour de courtes distances.

Annexe 2 : Précipitation mensuelle de 1960 à 2010 (station aéroport de Bujumbura)

Mois	1960	1961	1962	1963	1964	MOYENNE	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	168,3	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	0,0	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	0,0	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

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		60,6	82,23	98,3

MOIS	1970	1971	1972	1973	1974	MOYENNE	MAX
Janvier	196,4	249	129,4	137,7	108,5	164,20	249,0
Février	159,7	46,4	190,7	83,8	82,5	112,62	190,7
Mars	127,2	107,8	110,1	61,6	110,8	103,50	127,2
Avril	163,4	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

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

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

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

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	119,2	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

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		77,8	159,6	78,60	159,6

MOIS	2000	2001	2002	2003	2004	MOYENNE	MAX
Janvier	103,1	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	149,4	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	203,8	82,9	57,1	68	45,44	91,45	203,8
Décembre	150,7	74,6	133,3	38,3	214,7	122,32	214,7

MOIS	2005	2006	2007	2008	2010	MOYENNE	MAX
Janvier	195,2	87	142,7	99	210,4	146,86	210,4
Février	61	121	81,7	166,7	123,9	110,86	166,7
Mars	145,9	111,1	86,5	71,4	155,8	114,14	155,8
Avril	70,2	111,2	149,9	69,2	63,3	92,76	149,9
Mai	130,6	88,9	22,2	23,2	33,8	59,74	130,6
Juin	1,1	2,5	10,7	89,2	4,4	21,58	89,2
Juillet	0	0,9	52,3	15,1	0	13,66	52,3
Août	4,8	38,1	6,9	3,6		13,35	38,1
Septembre	4,2	32,3	29,9	31,9	9	21,46	32,3
Octobre	33,5	63	112,8	69,7	11	58	112,8
Novembre	116,1	157,1	63,4	65,1	16	83,54	157,1
Décembre	55	214,8	94,6	37	15	83,28	214,8

Annexe 3 : 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	17	15	19	21	11	2	1	3	9	15	21	19	153

(moyenne sur 30 ans													
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	

Annex 4 : Précipitations mensuelles par an avec les moyennes mensuelles. Station Buhonga.

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	TOT	Min	Max	Moyenne
1963									124,0		200,6	230,1	554,7	124,0	230,1	184,9
1964	150,6	206,5	131,6	315,0	60,8				173,0		407,5	355,5	1800,5	60,8	407,5	225,1
1965	341,0	117,0	319,5	213,5	158,1		0,0	2,0	72,5	80,4			1304,0	0,0	341,0	144,9
1966			139,3	108,3	90,0	1,0	0,0	23,0	97,3	121,5	207,5	102,1	890,0	0,0	207,5	89,0
1967	117,8	114,5	125,5	157,7	166,1	11,5	9,5	0,0	89,3	158,0	235,4	119,1	1304,4	0,0	235,4	108,7
1968	68,3	226,6	107,6	197,1	182,1	19,8	7,3	0,3	73,7	145,7	279,5	113,7	1421,7	0,3	279,5	118,5
1969	238,6	163,3	199,3	178,9	159,8	7,6	0,0	5,4				168,3	1121,2	0,0	238,6	124,6
1970	203,3	146,1	182,6	249,6	83,7	9,6	7,8	61,0	38,6	71,1	142,6	195,3	1391,3	7,8	249,6	115,9
1971	177,0	117,7	110,5	253,9	150,1	18,6	11,6	18,2	108,7	143,2	172,2	129,6	1411,3	11,6	253,9	117,6
1972	165,1	130,2	216,4	148,0	122,1	29,3	0,0	58,7	71,8	136,5	277,4	187,6	1543,1	0,0	277,4	128,6
1973	181,7	149,6	114,5	154,7	137,2	30,9	0,0	0,0	125,3	118,0	149,0	86,0	1246,9	0,0	181,7	103,9
1974	170,0	144,5	130,5	223,4	154,2	40,7	18,8	29,5	77,4	92,3	85,8	187,9	1355,0	18,8	223,4	112,9
1975	157,8	161,3	182,1	137,4	86,2	25,1	25,5	0,0	143,9	182,7	138,6	176,8	1417,4	0,0	182,7	118,1
1976	123,3	187,8	146,4	215,1	78,8	75,4	10,0	29,0	82,2	113,2	138,6	165,7	1365,5	10,0	215,1	113,8
1977	230,7	130,2	236,3	199,7	121,9	42,3	2,3	64,2	73,9	88,8	230,6	148,8	1569,7	2,3	236,3	130,8
1978	78,9	102,5	260,9	319,8	39,6	30,4	1,4	35,7	58,7	118,2	199,5	132,5	1378,1	1,4	319,8	114,8
1979	214,6	106,6	197,4	223,3	61,9	10,5	0,0	4,0	4,9	93,1	132,8	176,5	1225,6	0,0	223,3	102,1
1980	135,5	130,6	73,1	129,1	194,1	15,7	2,2	5,1	99,1	122,7	160,0	187,5	1254,7	2,2	194,1	104,6

1981	202,0	90,0	186,9	186,8	154,9	15,8	6,8	69,4	107,8	122,3	65,1	149,0	1356,8	6,8	202,0	113,1
1982	110,9	169,9	184,2	179,8	182,6	46,5	3,5	0,0	31,9	138,4	141,7	154,2	1343,6	0,0	184,2	112,0
1983	216,1	118,0	153,3	221,7	111,6	8,1	0,0	43,2	65,4	183,6	232,3	125,3	1478,6	0,0	232,3	123,2
1984	108,7	147,1	153,4	159,7	53,5	0,0	46,9	52,8	39,9	126,7	192,2	176,3	1257,2	0,0	192,2	104,8
1985	166,6	104,8	228,0	272,7	47,4	31,0	0,0	0,0	69,1	63,6	178,5	249,1	1410,8	0,0	272,7	117,6
1986	202,3	178,6	165,2	223,6	108,3	23,3	0,0	1,3	61,2	138,7	262,5		1365,0	0,0	262,5	124,1
1987	165,3	148,6	185,7	230,4	86,9	1,7	1,9	0,0	144,1	113,6	224,3	108,7	1411,2	0,0	230,4	117,6
1988	229,7	117,1	126,8	248,1	61,2	0,0	8,7	99,9	69,6	168,9	196,7	202,9	1529,6	0,0	248,1	127,5
1989	167,2	146,1	153,7	137,6	160,4	8,9	9,5	20,2	46,6	144,8	159,1	204,9	1359,0	8,9	204,9	113,3
1990	130,7	101,6	239,8	153,9	163,4	0,0	0,0	16,4	76,4	60,6	130,6	196,1	1269,5	0,0	239,8	105,8
1991	184,2	183,2	124,4	211,7	202,1	17,2	19,0	8,9	34,8	145,0	115,1	138,5	1384,1	8,9	211,7	115,3
1992	81,8	93,3	141,2	162,0	112,6	29,4	5,9	0,0	25,3	162,9	142,4	120,7	1077,5	0,0	162,9	89,8
1993	215,0	186,3	169,9	169,9	86,2	8,3	0,0	7,3		89,9	182,7	189,1	1304,6	0,0	215,0	118,6
1994	241,9	106,6	220,9	262,0	81,6	10,9	3,0	27,2	63,4		238,6	179,1	1435,2	3,0	262,0	130,5
1995	101,5	172,4	165,1	226,1	44,5	39,0	0,0	0,0	21,8	229,5	177,6	112,4	1289,9	0,0	229,5	107,5
1996	145,0	184,5	266,4	162,5	47,6	6,7	0,0	15,3	110,3	73,7	125,0	129,9	1266,9	0,0	266,4	105,6
1997	109,7	92,9	146,2	180,6	296,7	84,0	0,0	0,0	0,0	135,0	292,0	337,4	1674,5	0,0	337,4	139,5
1998	318,1	239,6	279,2	216,5	109,0	39,9	12,9	3,2	79,5	51,5	67,3	112,5	1529,2	3,2	318,1	127,4
1999	185,9	19,4	188,0	133,8	14,2	18,9	0,0	46,8	65,1	67,3			739,4	0,0	188,0	73,9
2000	84,7	145,6	140,1	142,7	6,2	0,0	0,0	0,0	16,0	111,2	331,7	204,9	1183,1	0,0	331,7	98,6
2001	167,0	187,0	310,7	124,2	134,4	28,7	0,0	48,1	98,0	103,0	129,4	138,2	1468,7	0,0	310,7	122,4
2002	193,8	168,1	198,8	321,9		1,4	0,2	0,0	70,0				954,2	0,0	321,9	119,3

Annexe 5 : Les coûts globaux des dommages du 2014

	Urgence	Moyen terme	Long terme
Transports routiers	(i) réhabilitation de la RN1 afin d'y rétablir le trafic des poids lourds et de soulager les RN5, RN7 et RN10 qui ne sont pas prévues pour le trafic des poids lourds et risquent un effondrement ; (ii)La remise en état les ponts de la RN1 et le pont Nyabagere sur la RN4 (la structure de prolongement du dalot est décrochée).	(i) réhabiliter les RN1, 3, 5, 7 et 10 sur les points critiques ; (ii) redimensionner les ouvrages pour assurer une résilience face aux événements décennaux ; (iii) remettre en état 5 km de voies communales à Gatunguru ; (iv) rehausser la voie d'accès RN9-Mutimbuzi pour lui permettre d'assurer sa fonction de digue	Développer une alternative pour le trafic des poids lourds : renforcer les 50 premiers km de la RN7 entre Bujumbura et le point de rencontre avec la RN18 sous projet BAD ; ou bitumage des 44 km de la RP 101
	5,9 milliards FBu	**8,5 milliards FBu**	**80 milliards FBu**

	Urgence	Moyen terme	Long terme
Assainissement urbain	curer en amont de la station d'épuration à la jonction entre les rivières Nyabagere et Kinyankonge pour protéger le mur de soutènement de la station d'épuration.	(i) renforcer le remblai le long de la station d'épuration ; (ii) renforcer le canal de la rivière Nyabagere et Kinyankonge ; (iii) constructiond'uncanal entre quartiers Carama viabilisé et non-viabilisé. (En cours)	(i) construire un canal de dérivation depuis la rivière Gasenyi vers la Gikoma ; (ii) drainer et canaliser la rivière Gikoma aux alentours de la zone urbaine de Buterere.
	5 millions FBu	**4,8 milliards FBu**	**7,8 milliards FBu**

	Urgence	Moyen terme	Long terme
Adduction en eau potable	(i) remettre en service l'usine des eaux de Ntahangwa (7% de l'approvisionnement) ; (ii) réparer le captage et l'aérateur au niveau de la source de Gatunguru (1%) ; (iii) recaler les conduites DN700 et DN300 au niveau du Pont Chaussée du peuple Murundi / rivière Ntahangwa.	Sécuriser la traversée d'une conduite DN 200 fonte au niveau du croisement de la rivière Nyabegere à Kamenge.	Un projet de construction d'une deuxième usine d'eau sur le lac Tanganyika de 40.000 m3/j est en cours de négociation. Le financement est promis par le Gouvernement Hollandais à concurrence de 80% tandis que le Gouvernement Burundais devra trouver environ 10 millions d'euros.
	781 millions FBu	**34 millions FBu**	**20 milliards FBu**
Marchés	Remise en état le marché de Kamenge (Terminée).	Remettre en état le marché de Gatunguru	
	0 (dommages assurés)	**850 millions FBu**	

	Urgence	Moyen terme	Long terme
Electricité	(i) remplacementdes poteaux et la ligne électrique 30 KV de « Gasenyi » sur 2.5 km, acquérir et installer un nouveau transformateur 150 kVA		
	104 millions FBu		
Agriculture	Remettre en état le mur de soutènement du barrage et l'aqueduc métallique du périmètre irrigué de Murago	Elargir les drains au niveau du périmètre de Mubone	
	650 millions FBu	**2,1 milliards FBu**	
Education	(i) vidanger les latrines dans 10 écoles ; (ii) construire 11 salles de classe temporaires ; (iii) acheter des kits scolaires et hygiéniques.	(i) remettre en état 14 salles de classe ; (ii) acquérir 649 bancs-pupitres ; (iii) construire 6 blocs latrines de 6 cabines chacun.	
	324 millions FBU	**364 millions FBu**	

	Urgence	Moyen terme	Long terme
Santé	vidanger les latrines pour remettre en service les centres de santé.		
	5 millions FBu		
Gestion durable des terres et de l'eau dans les bassins versants amont		Travaux préliminaires de stabilisation des pentes dans les bassins versants amont de Bujumbura (Gasenyi, Gikoma, Kidumbugwe, Muzazi, Nyabagere, Ntahangwa, 25 000 ha)	Travaux avancés de stabilisation des pentes dans les bassins versants amont de Bujumbura (25 000 ha)
		15 milliards FBu	**15 milliards FBu**
Gestion des risques	Mise en place et tester opérationnellement un système d'alerte pour le ruissellement et les glissements de terrain dans 5 zones exposées[116] (Gatunguru, Buterere, Isale, Muhuta).	(i) développer une cartographie des zones à risques et un système d'information ; (ii) mettre en place et équiper des brigades de riverains pour le suivi des points critiques (notamment en matière de drainage).	(i) proposer et chiffrer des mesures d'atténuation des risques sectorielles (transport, urbanisme, eaux pluviales, eaux usées, zones industrielles, exploitation des ressources naturelles) ; (ii) rendre opérationnelle l'école de protection civile.

	Urgence	Moyen terme	Long terme
	500 millions Fbu	**1,5 milliard Fbu**	**500 millions Fbu**
Total	**8,3 milliards Fbu**	**33 milliards FBu**	**123 milliards fbu**

Source : Rapport d'évaluation rapide des inondations du Février 2014

[116] Ce système pourrait se baser sur les orientations développées par la Conférence mondiale sur les systèmes d'alerte (Bonn, 2006 : http://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/checklist/French.pdf) et par le rapport mondial sur les systèmes d'alerte commandité par Koffi Annan (http://www.unisdr.org/2006/ppew/info-resources/ewc3/Global-Survey-of-Early-Warning-Systems.pdf).