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

Rôle des changements climatiques dans l’ amplification de l’érosion fluviale de la ville de Bujumbura

Nibizi, Nestor

2020-10
UB, Faculté des Sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/305

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

ROLE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'AMPLIFICATION DE L'EROSION FLUVIALE DE LA VILLE DE BUJUMBURA





Nestor NIBIZI

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du:

Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement (MSGIE)

Option : Génie de l'Environnement (GN)

Sous la direction de :

Prof Jean Marie SABUSHIMIKE

Membres du jury :

Président : Pr. Gaspard NTAKIMAZI

Secrétaire : Pr. Samuel NDAYIRAGIJE

Bujumbura, Octobre 2020

DEDICACE

A mon cher Père

A ma regretté Mère

A mes frères et sœurs

A tous ceux qui me sont chers

Je dédie ce Mémoire.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui ont apporté leur soutien, leur aide et leur encouragement dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions d'une manière toute particulière le Professeur SABUSHIMIKE Jean Marie, Directeur et Promoteur de ce mémoire ; qui malgré ses multiples responsabilités, a accepté de suivre de près toutes les étapes de notre recherche. Son rigueur scientifique, ses sages conseils, sa disponibilité et ses suggestions ont été utiles à la réalisation de ce travail.

C'est aussi une occasion de remercier l'Office Burundais pour la Protection de l'Environnement (OBPE) qui nous a tant soutenu au cours du stage, lequel a contribué dans la réalisation de ce travail.

Nous ne pouvons pas oublier de remercier tous les enseignants qui nous ont formé au cours de notre cursus de formation depuis l'école primaire jusqu'à l'Université du Burundi.

Que l'expression de notre gratitude parvienne également aux lauréats de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement/Génie de l'environnement promotion de l'année académique 2017-2018 et 2018-2019 pour leur sincérité et leur convivialité qui ont caractérisé notre séjour à la Faculté des Sciences de l'Université du Burundi.

Nous tenons enfin à remercier toute personne qui, de près ou de loin, a contribué à la réalisation de ce travail. Qu'elle trouve ici la bénédiction de son effort.

NIBIZI Nestor

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

CCD : Convention des Nations Unies pour la lutte contre la Désertification

GDS : Gestion durable des sols

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations ou Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FIDA : Fonds international de développement agricole

GIZ : Groupe Intergouvernemental sur l'Evaluation du Climat

IGEBU : Institut Géographique du Burundi

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem ou Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les écosystèmes

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

MINAGRIE : Ministère de l'environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage

OMM : Organisation Météorologique Mondiale

PAN/LCD : Programme d'Action National de Lutte Contre la Dégradation des sols

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

PPR : Plans de Prévention des Risques

PPRC : Plans de prévention des risques de catastrophes

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

TCNCC : Troisième Communication Nationale sur les Changements Climatiques

UNEP : United Nations Environment Programme ou Programme des Nations Unies pour l'environnement

UTM : Transverse universelle de Mercator

WGS : Système géodésique mondial

WRI : World Resources Institute ou Institut des ressources mondiales

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Surfaces inondées ou glissées qui ont été estimées par le GPS 35
Tableau 2: Estimation de la vulnérabilité dans la zone urbaine de Bujumbura par des variables, indicateurs, résultats et chiffres.....36

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Evolution de l'écart à la normale de la température minimale période (1964-2015) de Bujumbura.....5
Figure 2: Evolution des précipitations interannuelles (1931-2015) à la station de Bujumbura-Aéroport.....6
Figure 3: Carte géologique du Burundi. 12
Figure 4: Conséquence du cisaillement du sol au quartier Uwinterekwa.....14
Figure 5: Conséquences de l'éboulement des berges du ravin Nyamanogo.....14
Figure 6 : Carte illustrative de la zone d'étude…… 23
Figure 7: Profil en long et pente de la ville de Bujumbura.....26
Figure 8 : Illustration de l'élargissement et de déplacement des berges de la rivière Ntahangwa au quartier Kigobe (A et B).....27
Figure 9: État 2018 de l'érosion hydrique de la rivière Ntahangwa dans le quartier Kigobe...28
Figure 10: État 2005 de l'érosion hydrique de la rivière Ntahangwa dans le quartier Kigobe...28
Figure 11: Illustration des fossés antiérosifs creusés en grande échelle avant l'indépendance du Burundi 29
Figure 12: Fissurations dues aux écoulement hypodermique, érosion latérale. Tentative échouée de stabilisation.....29
Figure 13: Glissements des berges de la rivière Ntahangwa au quartier Kigobe 30
Figure 14: Ravin à côté de la route au quartier Mugoboka I 30
Figure 15: Débordement de la Brarudi.....31
Figure 16: Glissement de terrain au quartier Busoro (Kanyosha).....31
Figure 17: Ensablement dans le ravin de Kizingwe (Kanyosha) 32
Figure 18: Envasement des rizières dans les marais du quartier Gisyo.....32
Figure 19: VODAVODA Beach dans le quartier de KININDO qui a été envahie par l'eau du lac. 33
Figure 20: Bar KUMASE qui a été envahi par les eaux du lac Tanganyika 33
Figure 21: Ravin Kizingwe à Kanyosha.....34
Figure 22: Inondation des champs à Ruziba par la rivière Mugere 34

RESUME

L'objectif de ce travail était de montrer comment les changements climatiques risquent de compromettre gravement le développement durable de la ville de Bujumbura.

La méthodologie de travail a consisté à la consultation des publications et ouvrages récents, la mesure des surfaces glissées ou inondées à l'aide du GPS et à prendre des images satellitaires traitées à l'aide du système d'information géographique (SIG) en l'occurrence le logiciel Google Earth, et d'autres prises automatiquement pour illustrer l'état des lieux et surtout identifier les zones des risques de catastrophes naturelles en cas d'importants changements climatiques à Bujumbura. Les sites explorés se trouvent dans les quartiers de Kigobe, Carama, Uwinterekwa, Gisyo…etc. L'analyse de ces images ont montré qu'il existe sans doute une triple relation entre l'aménagement du territoire-changements climatiques-risques naturels. La pression démographique urbaine dans toutes les directions de la capitale économique ayant comme indicateurs l'occupation anarchique des sols, augmentation de quartiers spontanés, les constructions anarchiques en long des rivières et tout près du lac Tanganyika et enfin l'absence de la gestion des eaux fluviales sont responsables de la vulnérabilité de la ville de Bujumbura. Les résultats nous ont amené à confirmer nos hypothèses selon lesquelles « La ville de Bujumbura, capitale économique du pays, ferait face à une amplification de l'érosion fluviale qui risque de compromettre gravement son développement économique et sociale auxquels s'ajouteraient les pertes environnementales très considérables ; l'amplification de l'érosion fluviale serait associée au changement climatique ; la part de l'homme aurait une importance dans l'amplification de l'érosion fluviale en termes d'aménagement du territoire ».

A partir des résultats obtenus, des suggestions sont formulées afin de pousser loin l'étude des possibilités de gérer les risques de catastrophes naturelles. Il s'agit notamment de faire une recherche sur les technologies et les matériaux de construction du génie civil, mettre en place l'équipement des comités des riverains pour le suivi des points critiques des axes de drainage exposés aux risques de catastrophes comme les inondations et les glissements, créer des cartes informatives et réglementaires aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle locale, désengorger ou déboucher les différentes rivières traversant la ville de Bujumbura, maçonner la partie en amont des rivières de cette localité, curer par des engins appropriés et dans l'immédiat de ces dernières rivières, faire une étude multidisciplinaire visant la stabilisation des berges des ravins.

Mots clés : Bujumbura, changements climatiques, érosion fluviale, catastrophes, résilience.

ABSTRACT

The objective of this work was to show how climate change could seriously compromise the sustainable development of the city of Bujumbura.

The work methodology consisted of consulting recent publications and books, measuring slipped or flooded surfaces using GPS and taking satellite images processed using the geographic information system (GIS) in l 'occurrence Google Earth software, and other taken automatically to illustrate the inventory and specially to identify areas at risk of natural disasters in the event of significant climate change in Bujumbura. The explored sites are in the districts of Kigobe, Carama, Uwinterekwa, Gisyo…etc. The results of the analysis of these images have shown that there is undoubtedly a threefold relationship between regional planning-climate change-natural risks. Urban demographic pressure in all directions of the economic capital having as indicators the inappropriate use of land, the uncontrolled sprawl of the city of Bujumbura, increase in spontaneous neighborhoods, anarchic constructions along the rivers and very close to Lake Tanganyika disturbing the spawning grounds and finally the lack of management of river water are responsible for the vulnerability of the city of Bujumbura. The above results have led us to confirm our hypotheses according to which " The city of Bujumbura, the economic capital of the country, is said to face an amplification of river erosion which could seriously compromise its economic and social development, to which would be added very considerable environmental losses; the amplification of river erosion would be associated with climate change; the part of man would be important in the amplification of river erosion in terms of land use planning ".

From the results obtained, suggestions are formulated in order to further study the possibilities of managing the risks of natural disasters. These include researching civil engineering construction technologies and materials, setting up the equipment of local residents' committees to monitor critical points on drainage axes exposed to disaster risks such as floods and landslides, create informative and regulatory maps both nationally and locally, unclog or unblock the various rivers crossing the city of Bujumbura, build up the part upstream of the rivers in this locality, cleanse by appropriate gear and in the immediate future of the latter rivers, carry out a multidisciplinary study aimed at stabilizing the banks of ravines.

Keywords: Bujumbura, climate change, river erosion, disasters, resilience.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE……. i

REMERCIEMENTS ii

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS iii

LISTE DES TABLEAUX iv

LISTE DES FIGURES v

RESUME……. vi

ABSTRACT……. vii

TABLE DES MATIERES viii

INTRODUCTION GENERALE.....1

1. La problématique des changements climatiques 1

2. Objectifs 2

CHAPITRE I. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CIRCONSTANCES NATIONALES.....3

I.1. Définition des changements climatiques.....3

I.2. Effets des changements climatiques dans le monde 3

I.3. Effets des changements climatiques au Burundi 4

I.3.1. Introduction.....4

I.3.1.1. Des records de la hausse des températures et des précipitations 4

I.3.1.2. Les sécheresses 6

I.3.1.3. Les inondations.....7

I.3.1.4. Le coût des glissements de terrain 8

I.3.1.5. Dégradation 9

I.3.1.6. Recrudescence des maladies.....9

I.4. Considérations générales sur les changements climatiques et risques de catastrophes naturelles dans la ville de Bujumbura 10

I.4.1. Prédispositions Naturelles : Géologie, hydrologie, et climat.....10

I.4.2. Prédispositions Humaines : Démographie, Aménagement du Territoire 13
I.5. Principaux risques climatiques à Bujumbura 14
I.6. Facteurs de vulnérabilité favorisant les effets des changements climatiques 15
I.7. Résilience communautaire de Bujumbura face aux changements climatiques 16
I.7.1. Stratégies d'adaptation 16
I.7.1.1. Fonds pour l'adaptation 16
I.7.1.2. Le Fonds Vert Climat 16
I.7.2. Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes 17
I.7.2.1. Objectif du cadre 17
I.7.2.2. Les sept cibles du cadre d'action de Sendai 18
I.7.2.3. Les quatre priorités d'action 18
I.8. Outils d'urbanisme durable pour s'adapter aux changements climatiques 19
I.8.1. Le plan local d'urbanisme 19
I.8.2. Le schéma directeur 20
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODOLOGIE 22
II.1. Présentation du milieu d'étude 22
II.2. Matériel 23
II.3. Méthodologie 24
II.4. Analyse quantitative des phénomènes et impacts des changements climatiques à Bujumbura 24
CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 25
III.1. Présentation des résultats 25
III.1.1. Estimation des pertes en surface de terres 35
III.1.2. Estimation de la vulnérabilité de Bujumbura 35
III.2. Discussion des résultats 40
CONCLUSION GENERALE 42
SUGGESTIONS… 43

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....44

ANNEXES…….....47

INTRODUCTION GENERALE

1. La problématique des changements climatiques

La dernière décennie a vu les sciences sociales s'emparer de la question du changement climatique. Economistes, géographes, politologues, sociologues et, récemment, juristes et historiens ont ainsi fait de la vulnérabilité un angle d'approche privilégié pour traiter cette question. Soit leurs travaux approfondissent l'analyse des impacts sur les sociétés et leur fonctionnement, soit ils cherchent à identifier des stratégies dites d'adaptation, ou, tout du moins, de réponse (Magnan *et al*., 2011).

L'érosion façonne la Terre depuis qu'elle est émergée... Et depuis plus de 7 000 ans, l'homme s'acharne à lutter contre l'érosion pour protéger ses terres contre l'agressivité des pluies et du ruissellement (Roose, 2015) in (Lowdermilk, 1953).

L'augmentation des températures peut influencer la multiplication rapide des insectes et certaines pathogènes avec des dégâts importants sur les cultures. Certains insectes inféodés à des espèces sauvages peuvent attaqués les cultures lorsque leur écosystème est menacé par le changement climatique. (Abdoul Habou *et al*., 2016).

Plusieurs conséquences du réchauffement climatique dans la zone Burundaise sont déjà notables : la dégradation des sols et des zones marécageuses, et, avec un moindre indice de fiabilité, la baisse de niveau du lac Tanganyika (Taithe, 2019).

Si les grands émetteurs de gaz à effet de serre sont plutôt les pays du Nord et pour les décennies à venir les pays émergents (Chine et Inde notamment), les conséquences de ces changements climatiques sont plus à craindre dans les pays en développement et ceux africains en particulier dont fait partie le Burundi, où les populations sont particulièrement vulnérables. L'adaptation à ces changements climatiques constitue un enjeu majeur pour beaucoup de pays en développement spécialement, à l'image du Burundi, dans les prochaines années et ce dans de nombreux domaines de la vie (Bisore, 2006).

Au Burundi, le cout total des dommages économiques occasionnés par une seule inondation du 9/2/2014 est de 6,9 milliards FBu pour les infrastructures (soit 0,18% du PIB) (http://burundi-eco.com/catastrophes-naturelles-plus-de-460-cas-de-deces-depuis-le-mois-doctobre-2019/#.X60DFIgzbIU).

La pression démographique urbaine, le conflit entre l'urbanisation et l'agriculture, les impacts des changements climatiques constituent les principaux facteurs de la vulnérabilité de Bujumbura et ses campagnes voisines sur le plan économique, social et environnemental (Sabushimike, 2019).

La pertinence d'un essai de la gestion et de la prévention des risques de catastrophes liés aux changements climatiques au Burundi n'est donc pas démontrée.

2. Objectifs

Notre travail intitulé : « ROLE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS L'AMPLIFICATION DE L'EROSION FLUVIALE DE LA VILLE DE BUJUMBURA » a comme objectif global de montrer comment les changements climatiques risquent de compromettre gravement le développement durable de la ville de Bujumbura.

De façon spécifique, il s'agit de :

- Identifier les principaux risques naturels associés aux changements climatiques à l'échelle temporelle et spatiale ;
- Analyser la vulnérabilité et la résilience communautaire de la ville de Bujumbura ;
- Localiser quelques endroits de la ville de Bujumbura déjà affectés ou susceptibles d'être touchés par les changements climatiques ;
- Proposer la mise en œuvre des outils d'urbanisme durable.

La présente étude est basée sur les hypothèses suivantes :

- La ville de Bujumbura, capitale économique du pays, ferait face à une amplification de l'érosion fluviale qui risque de compromettre gravement son développement économique et sociale auxquels s'ajouteraient les pertes environnementales très considérables ;
- L'amplification de l'érosion fluviale serait associée aux changement climatiques ;
- La part de l'homme aurait une importance dans l'amplification de l'érosion fluviale en termes d'aménagement du territoire.

La présente étude s'articule sur 3 chapitres précédés d'une introduction et clôturés par une conclusion et des suggestions. Le premier chapitre est consacré à des considérations générales sur les changements climatiques, le second parle du matériel et de la méthodologie utilisés. Le troisième chapitre est consacré à la présentation et discussion des résultats.

CHAPITRE I. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET CIRCONSTANCES NATIONALES

I.1. Définition des changements climatiques

Ils correspondent à une variation de l'état du climat, qu'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres (GIEC, 2005).

Les gaz à effet de serre (GES) présents dans l'atmosphère terrestre comprennent la vapeur d'eau (H2O), le dioxyde de carbone (CO2), le méthane (CH4), l'oxyde nitreux (N2O), les oxydes d'azote (NOx), l'ozone (O3), le monoxyde de carbone (CO) et les chlorofluorocarbones (CFC). Ces gaz à effets de serre sont responsables de la variabilité climatique actuelle (Houghton, 1991).

I.2. Effets des changements climatiques dans le monde

Dans le monde entier, la cryosphère et les océans subissent « les ardeurs » du changement climatique depuis des décennies, ce qui a des conséquences radicales et profondes sur la nature et l'humanité » a déclaré Ko Barrett, vice-présidente du GIEC (GIEC, 2019).

Le réchauffement planétaire a déjà atteint 1°C au-dessus des niveaux préindustriels, en raison des émissions passées et actuelles de gaz à effet de serre. Il existe un nombre considérable de preuves indiquant que ce réchauffement a de graves conséquences sur les écosystèmes et les populations. L'océan se réchauffe, devient plus acide et moins fécond. La fonte des glaciers et des calottes glaciaires entraîne une élévation du niveau de la mer et les phénomènes côtiers extrêmes sont de plus en plus intenses (GIEC, 2019).

La vitesse des changements climatiques et leurs effets créeront probablement de nouvelles sources de stress pour la santé des individus et des collectivités, et augmenteront la vulnérabilité aux pressions qui s'exercent déjà sur l'environnement et la société. Les effets des changements climatiques sur la santé sont variés et d'importances diverses. Les projections montrent qu'ils augmenteront progressivement dans tous les pays et toutes les régions (Berry, 1999).

En France, les inondations représentent le phénomène naturel le plus fréquent et le plus dommageable. Elles affectent plus de 8500 communes, soit une superficie effective de 22000 km^2 et une population de 2 millions d'habitants, et mobilisent 75% des indemnités reversées par les assurances au titre des catastrophes naturelles. Loin de décourager les populations, les zones inondables les ont très vite attirées, d'abord dans un mouvement lent et prudent empreint de sagesse, puis à un rythme qui n'a cessé de croître jusqu'à atteindre des proportions déraisonnables pendant la seconde moitié du XXe siècle (Garry, 1994).

I.3. Effets des changements climatiques au Burundi

I.3.1. Introduction

Depuis plus de deux décennies, l'humanité entière se trouve confrontée à une forte augmentation de catastrophes, naturelles et anthropiques, qui compromettent gravement les efforts de développement humain de toutes les nations, et plus particulièrement ceux des pays déjà fragiles sur les plans économique, social et environnemental. L'inventaire et la cartographie des catastrophes à l'échelle mondiale révèle que 9 sur 10 des catastrophes sont associées aux chocs climatiques (Sabushimike, 2020).

Les projections futures des changements climatiques (périodes : 2031-2060 et 2071-2100) menées dans le contexte du rapport sur le changement climatique au Burundi ont montré que les précipitations et la température augmenteront à l'avenir au Burundi (Liersch *et al*., 2014).

I.3.1.1. Des records de la hausse des températures et des précipitations

Les études réalisées dans le cadre des trois communications nationales sur les changements climatiques relatives à l'évolution des paramètres climatiques au Burundi à l'horizon 2050 sur le modèle de circulation générale ont montré que la température moyenne annuelle augmentera sensiblement de 1°C à 3°C. Aujourd'hui, la moyenne mondiale a déjà atteint le seuil de 1°C. L'IGEBU, à travers ses prévisions climatiques, confirme encore que ce réchauffement a été plus rapide au Burundi. Les mêmes études renseignent que la pluviométrie accusera une hausse de ± 10% et le régime pluviométrique sera perturbé de façon qu'il ne comporte plus que deux grande saisons de six mois chacune : une saison pluvieuse qui s'étend de novembre à avril et une saison sèche.

Les modèles climatiques prévoient pour le Burundi des événements météorologiques extrêmes qui seront marqués par une augmentation de la température de 1°C combinée à une alternance

des épisodes cycliques de 10 ans tantôt plus pluvieux, tantôt plus secs de 2010 jusqu'à l'horizon 2050.

Dans le cadre de l'élaboration de la troisième communication nationale sur les changements climatiques, les projections des paramètres climatiques faites par l'IGEBU à l'aide des scénarios prévoient que la plus forte élévation de la température de l'air se produira pendant la saison sèche et qu'elle augmentera au fil du temps. La projection des paramètres climatiques dans les différents coins du pays montre une tendance ascendante concernant la pluviométrie et les températures. Ils montrent également une augmentation de la température maximale annuelle comprise entre 0.80 et 0.91°C à l'horizon 2030 et une augmentation comprise entre 1.89 et 2.02°C à l'horizon 2050.

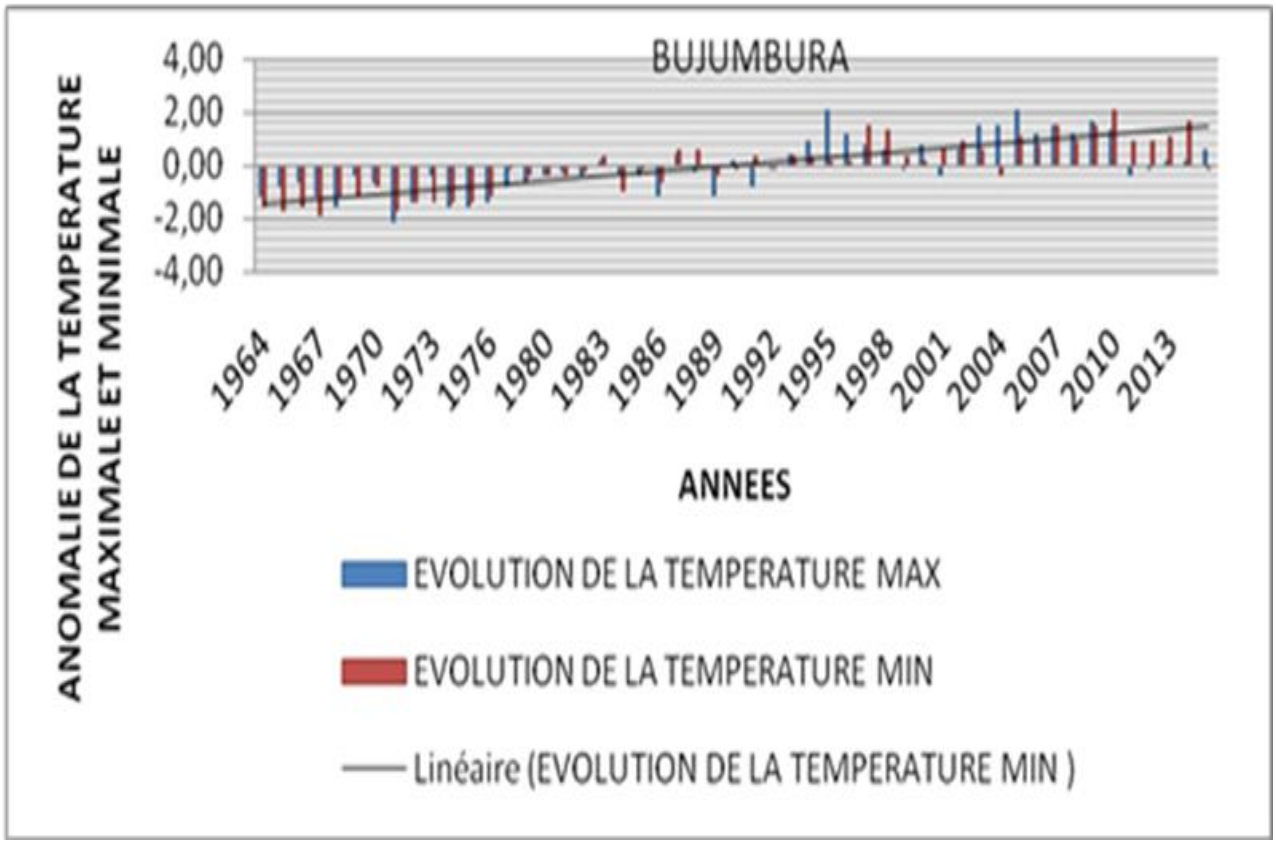


Figure 1: Evolution de l'écart à la normale de la température minimale période (1964-2015) de Bujumbura

Toutes les analyses de la température (analyse de l'évolution de la température interannuelle, inter-décennale et inter-normale) nous montrent que les températures enregistrées à la station Bujumbura ont une tendance à la hausse.

Source : IGEBU

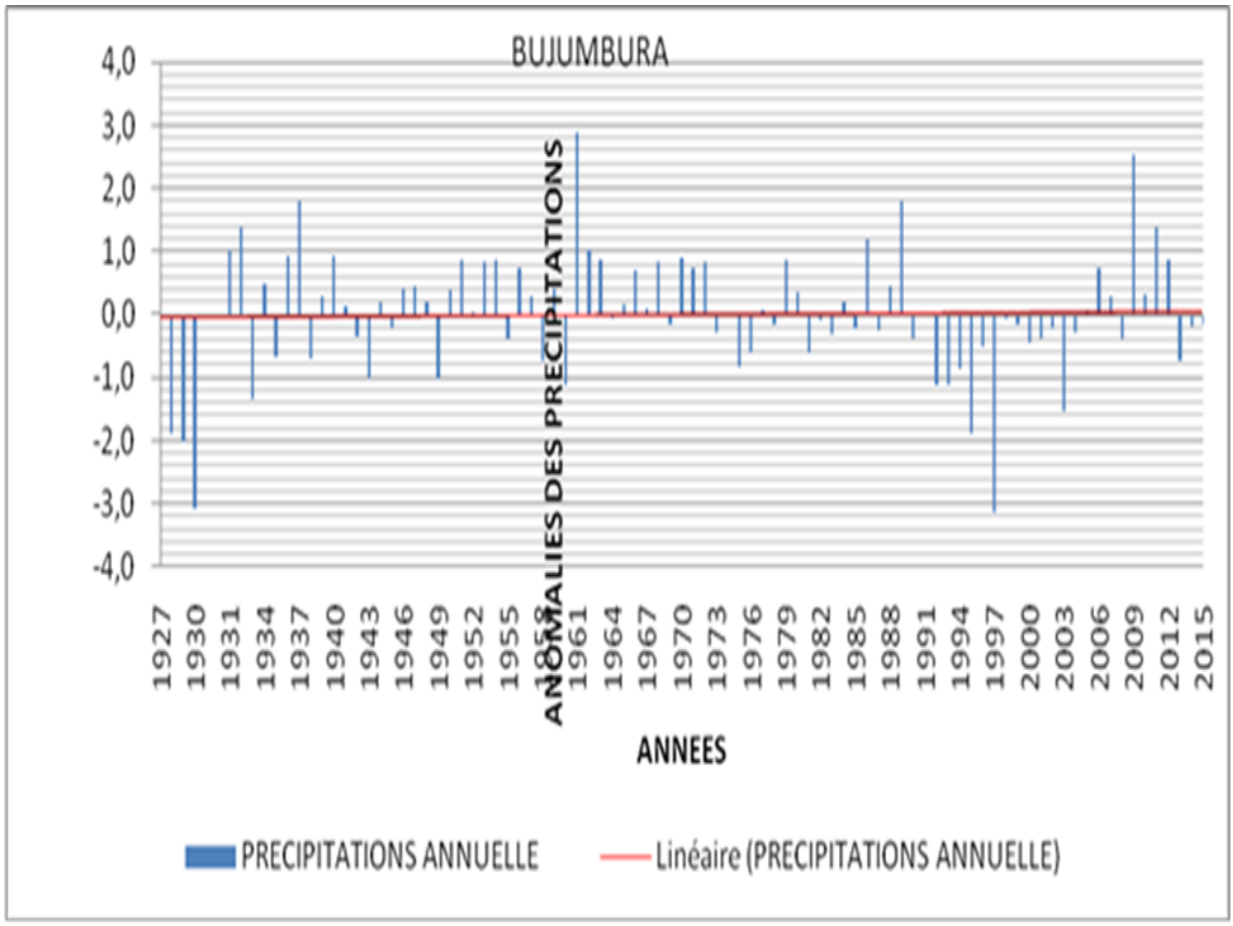


Figure 2: Evolution des précipitations interannuelles (1931-2015) à la station de Bujumbura-Aéroport

Une analyse inter-normale des précipitations nous montre une succession de la période humide respectivement 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990 ; Avec un record de la hausse des précipitations durant la normale 1951-1980 suivi par la normale 1961-1990. Ces périodes humides ont été suivies par la succession des périodes sèches (normale 1971-2000, 1981-2000 et 1996-2015).

Source : IGEBU

I.3.1.2. Les sécheresses

Le Burundi garde encore dans sa mémoire le choc de la catastrophe qui s'est abattue dans les provinces du Nord, précisément dans les provinces de Kirundo et Muyinga en 2004-2005 et plus tard en 2006 dans les provinces de Ngozi, Karuzi, Ruyigi et Cankuzo. La destruction des cultures vivrières par des sécheresses sévères et persistantes a été l'impact le plus durement ressenti par les populations. La famine et la pauvreté rurale se sont généralisées. La déclaration de catastrophe de janvier 2005 a coûté au Burundi une somme de 71 miliards de Fbu

uniquement pour la solidarité nationale. A cette époque, 70.000 ménages de Kirundo et Muyinga furent rendus vulnérables par la sécheresse persistante. A Kirundo, dans les communes Bugabira, Busoni et Kirundo, depuis fin octobre 2016, le gouverneur de la province Kirundo, a annoncé qu'environ 4000 habitants avaient fui à cause de la sécheresse qui sévissait, causant la famine et la mort. La production agricole avait été anéantie par la sécheresse (Stratégies Nationales pour la prévention des risques et la gestion des catastrophes).

I.3.1.3. Les inondations

Les inondations ont déjà imposé un lourd bilan en termes de pertes économiques, sociales et environnementales. La société SIPHAR a enregistré des pertes de près de 500 millions, et elle est restée fermée pendant six mois plein en 2009. La société BRARUDI a enregistré des pertes de plus de 210 millions de francs Burundi. L'entreprise AMSAR a déclaré des pertes de plus de 30 millions de francs Burundi à la suite des inondations de cette même période. La COGERCO, la RAFINA et la SEP totalisent plus de 960 millions de pertes économiques enregistrées ces dix dernières années. La destruction des cultures vivrières dans les plateaux centraux dans toutes les provinces du pays se chiffre en termes de centaines de millions de francs. Nous ne citons pas ici le coût des inondations presque annuelles qui ont démoli plus 3000 maisons en perpétuelle reconstruction. Les inondations plus catastrophiques encore restent celles qui ont été provoquées par les pluies diluviennes du 9 au 10 février 2014 (Stratégies Nationales pour la prévention des risques et la gestion des catastrophes).

Les zones de Buterere, Kamenge, Kinama et Gikoma dans la commune Mutimbuzi ont subi plus de 80% des dommages. Près de 1 000 habitations se sont effondrées, un grand marché a été emporté, 20 000 personnes se sont retrouvées sans abri, et 77 morts ont été recensées, sans parler de disparus. En termes d'infrastructures, l'événement a endommagé les routes, les ponts, les réseaux d'adduction en eau potable et d'électricité ainsi que deux marchés. Les épidémies consécutives à ces mêmes inondations ont imposé un coût économique qui a été durement ressenti par le pays. Aujourd'hui le centre-ville de Bujumbura reste sous la menace grandissante des inondations dues essentiellement non seulement aux pluies diluviennes, mais aussi à la défaillance du système de drainage des eaux pluviales obstrué et aux dimensions d'ouvrages restées inchangées depuis l'époque coloniale (Sabushimike, 2007).

I.3.1.4. Le coût des glissements de terrain

Du fait de son relief accidenté sur une bonne partie du territoire national, le Burundi est fréquemment frappé par des glissements de terrains et éboulements de plus en plus sévères. (IGEBU, 2016).

Ils se classent au troisième plan des risques naturels et catastrophes que connaît le Burundi au cours de ces dernières décennies. Leurs impacts socio- économiques sont de plus en plus ressentis. Février 2014, les RN1 et 3 ont été coupées, leur réparation est plus de 3 milliards. En 1996, la capitale économique du pays, Bujumbura, a failli être coupée du reste du pays par des éboulements de Nyaruhongoka sur la Route Nationale 3, des coupures de la Route Nationale1 par les ravinements de Vuma au PK23, 300, de Nyamuvoga au PK23, 900 et de Vyambo au PK29, 900 et enfin l'énorme solifluxion qui bloqua la circulation des biens et des personnes sur la Route Nationale 7 au PK30. Ce mouvement de terrain a emporté deux véhicules et tua un passager. En réalité, toutes les routes qui passent par les escarpements de failles des Mirwa et de la Crête Congo-Nil sont régulièrement exposées aux éboulements et aux glissements de terrain pendant la saison pluvieuse. Il s'agit également de Rukonwe au sud du pays et la RN 10 Cibitoke – Kayanza et la RN 9 Bubanza- Ndora dont la vulnérabilité est d'actualité au nord-ouest du pays (Stratégies Nationales pour la prévention des risques et la gestion des catastrophes).

Le 4 décembre 2019, sur la colline Nyempundu, en commune Mugina et province Cibitoke, les glissements de terrain ont tué 38 personnes et 7 autres blessées. Les glissements de terrain sont plus ressentis dans la ville de Bujumbura où de nombreuses infrastructures tant publiques ou privés sont menacées de destruction par des glissements de terrain. Certains quartiers comme Mugoboka et Vugizo ont été détruits en partie. Par exemple le lycée de vugizo, véritable monument historique a été condamné à l'abandon. Beaucoup de ponts et de maisons sont condamnés à la disparition à cause des érosions verticales et latérales le long des principaux axes des cours d'eaux qui traversent Bujumbura. Les projecteurs d'actualités restent braqués sur les glissements de terrain catastrophiques le long des rivières Ntahangwa, Muha et Kanyosha. Les inondations du ravin de Cari, au Quartier Kuwinterekwa viennent de détruire 30 maisons et a tué 14 personnes. Les déplacés sans abri se comptent à 119 personnes (Sabushimike, 2007).

I.3.1.5. Dégradation

Au Burundi, la dégradation des sols est encore accélérée par des facteurs anthropiques notamment la mauvaise utilisation des terres et le surpâturage, la déforestation ou défrichement des forêts à des fins agricoles ou liée à la forte dépendance de la population vis-à-vis du bois comme source d'énergie (95%) mais aussi le matériau de construction, de la cuisson des briques, dans le séchage du thé et du tabac et la collecte des plantes médicinales. Ces facteurs sont tous liés à la recherche de la satisfaction des besoins d'existence des populations (PANA, 2007).

Des variabilités climatiques liées aux changements climatiques, des famines récurrentes, le mouvement migratoire des populations, des inondations, des maladies, des destructions des infrastructures sociales et économiques entraînant des manques à gagner importants, l'envasement et la pollution des lacs et des cours sont autant de conséquences liées à la dégradation des sols (PNUD, 2011).

La dégradation des écosystèmes naturels est l'une des principales conséquences de la pression démographique doublée au Burundi. Cette dernière dégradation a des impacts néfastes comme les changements sur la régulation du climat local burundais (MEEATU, 2019).

Toutes les conséquences liées à la dégradation des sols affaiblissent davantage une économie d'un pays déjà fragilisée par la crise qui vient de durer plus de 15 ans et trop tributaire des productions agricoles. Cette situation ne permet pas de rompre le cycle fatal de la pauvreté qui conduit le pays à faire face aux situations d'urgence par un endettement de plus en plus insoutenable et qui hypothèque toute possibilité d'investissements productifs pouvant rompre la spirale de la pauvreté (Gahimbare *et al*., 2011).

I.3.1.6. Recrudescence des maladies

Les catastrophes d'origine biologique sont plus meurtrières et plus étendues dans l'espace que les catastrophes d'origine naturelle ou technologique (Dauphiné, 2004).

L'augmentation de la température et des précipitations ont toujours favorisé la recrudescence des maladies tropicales à transmission vectorielle et non vectorielle, il faut ajouter ici les maladies des mains sales qui surgissent à la suite des inondations. Les maladies imputables aux changements climatiques sont :

Le paludisme dont l'évolution a été toujours progressive passant de 800 000 cas en 1993 à 3 000 000 de cas en 2000, 6.000.000 de cas en 2019, avec des épidémies répétitives jusqu'à nos jours. Le coût des médicaments affecte sensiblement les revenus des ménages. En 2019, le Burundi a été confronté à une flambée de paludisme qui atteint des « proportions épidémiques », et selon l'OMS Burundi, la maladie a tué entre 7000 et 10.000 personnes. Au cours de la même année, le Burundi a fait face à une épidémie de choléra puisque plus de 1000 cas ont été enregistrés. Le choléra, la dysenterie bacillaire, asthme, la méningite sont également des maladies qui ont pris des allures épidémiques avec les changements climatiques induisant des coûts économiques très élevés (Sabushimike, 2020).

I.4. Effets changements climatiques et risques de catastrophes naturelles dans la ville de Bujumbura

I.4.1. Prédispositions Naturelles : Géologie, hydrologie, et climat

Selon Walleffe, le cadre géologique de notre zone d'étude se trouve sur une partie importante de la feuille de Bujumbura. Il s'agit ici des formations de la Basse plaine de la Rusizi et celles bordant le lac Tanganyika au sud de Bujumbura. En 1984, Ilunga (1984) confirme l'existence des formations d'âge holocène, le pléistocène supérieur, le pléistocène moyen, pléistocène inférieur. Le pléistocène moyen reconnu localement dans la vallée de la Ntahanga n'a pas été cartographié.

L'Holocène comporte essentiellement des dépôts des cônes alluvions, développés aux piedmonts d'escarpements, et des dépôts dus aux ruissellements d'épandage, occupant une grande partie de la plaine de la Basse Rusizi, les alluvions récentes de la Rusizi et de delta, et les plages du lac Tanganyika, comportant des cordons littoraux.

Le Pléistocène supérieur est représenté dans la partie septentrionale de la feuille par dépôts lacustres à la base, suivis de dépôts fluviatiles et d'environnement deltaïque, dans le centre de la Basse plaine de la Rusizi par des dépôts sableux, où apparaissent des cordons littoraux témoins d'anciennes extensions lacustres et, à la périphérie de la plaine, par des formations d'épandage aux pieds d'escarpements constituées principalement de sables et d'alluvions.

Le Pléistocène moyen est représenté par des cônes alluvions à mécanismes sédimentaires de types débris flow-sheetflood, suivant une bande s'étendant le long du lac Tanganyika, de Bujumbura vers le sud.

La plaine de Bujumbura est donc construite sur des formations du quaternaire meubles et facilement incisables. En amont, la ville gagne les escarpements des Mirwa qui sont constitués de roches marquées parfois par une puissante altération. La nature des roches des Mirwa, classées généralement dans la catégorie des roches tendres en milieu tropical chaud et humide favorise la généralisation des mouvements de terrain, comme les glissements de terrain, les éboulements, les effondrements, les affaissements, les solifluctions, etc.

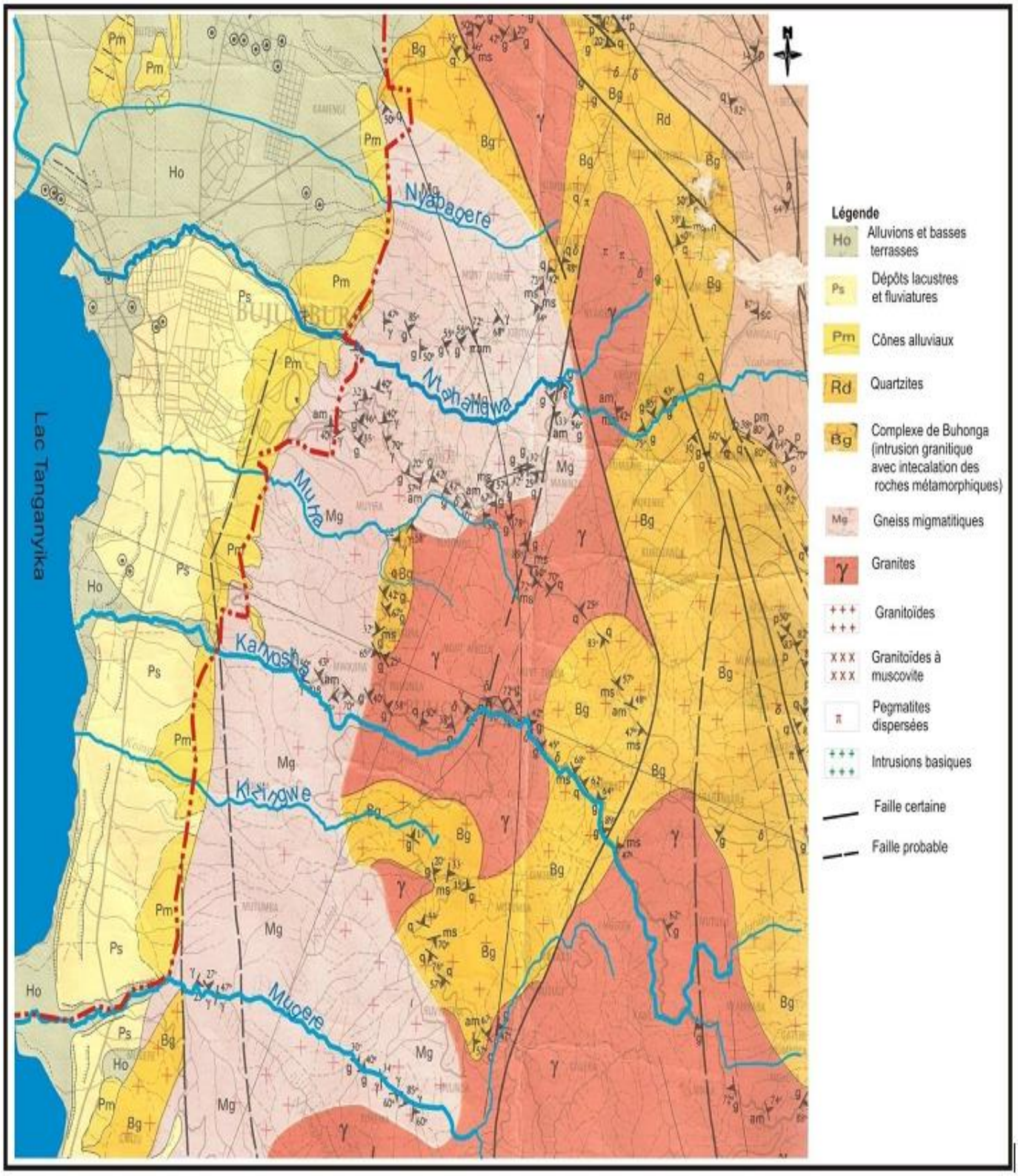


Figure 3: Carte géologique du Burundi.

Source : Institut Géographique National de Belgique, 1989

Les caractéristiques de la nappe aquifère de la plaine de la Basse Rusizi sont assez bien connues (Waleffe, 1987) grâce à l'existence de nombreux sondages hydrologiques ; la profondeur de la surface isopiésométrique varie de 1.35 à 4.03 mètres dans le delta de la Rusizi, de 9 à 18 mètres dans la partie centrale de la plaine et 15 à 37 mètres dans la partie nord occidentale, de 20 à 40 mètres dans le secteur de Kundava-Kagunuzi.

Les rivières qui traversent la ville de Bujumbura comme Nyabagere, Ntahanwa, Muha, Kanyosha et Kizingwe augmentent leurs volumes pendant la saison pluvieuses suite aux pluies torrentielles dans les montagnes qui surplombent la ville de Bujumbura. Ces eaux courent sur une pente abrupte et du sol mal consolidé, ce qui favorise la vulnérabilité de cette localité.

Selon l'IGEBU, les indices standardisés des précipitations ont permis d'analyser le comportement de l'évolution des précipitations de Bujumbura durant la période 1931-2015. Il s'observe des phases humides des décennies 1936-1945, 1946-1955, 1956-1965 et 1966-1975. Ces décennies ont été suivies par la succession des décennies sèches (1976-1985, 1986-1995 et 1996-2005) avec un record de la baisse des précipitations (un déficit de 113 mm (moyenne décennale)) pendant la décennie 1996-2005.

I.4.2. Prédispositions Humaines : Démographie, Aménagement du Territoire

Estimée à 60 000 habitants en 1962, avec une superficie de 127 km^2 et d'une densité de 11006 ha/km2, Bujumbura compte actuellement une population résidente de 1155678 d'habitants.

L'aménagement du territoire désigne à la fois l'action d'une collectivité sur son territoire, et le résultat durable de cette action. Cela exige une planification urbaine dans le long terme entre 20 et 30 ans dans l'unique souci d'un développement urbain durable fondé sur des lois dynamiques dans des logiques positives.

Les constructions anarchiques dans la ville de Bujumbura ne tiennent pas compte de sa géologie, sa géomorphologie et son climat. Or selon Roger Brunet, 1997, l'aménagement du territoire est l'action et la pratique de disposer avec ordre, à travers l'espace d'un territoire et dans une vision prospective, les hommes et leurs activités, les équipements et les moyens de communication qu'ils peuvent utiliser, en prenant en compte les contraintes naturelles, humaines et économiques, voire stratégiques. Si l'outil « schéma directeur » va dans la bonne direction, il appelle en effet d'autres avancées vers une gestion de l'urbanisme à la fois plus démocratique, plus efficace, respectueuse de l'intérêt collectif et porteuse d'avenir pour la ville.

I.5. Principaux risques climatiques à Bujumbura

Selon les projections de l'actualité nationale, la gravité et la fréquence des catastrophes climatiques augmentent constamment à la ville de Bujumbura depuis ces deux dernières décennies à des conditions météorologiques extrêmes associées à l'urbanisation non contrôlée, aux tendances démographiques négatives qui accélèrent les dégradations environnementales. A titre illustratif, les excès pluviométriques ont provoqué des glissements de terrains qui ont créé de profonds ravins dans les quartiers de Nyamanogo, Kuwinterekwa, Nyabagere, Gikungu, Mugoboka, Nkenga-Busoro. Ces ravins ont détruit des maisons et des infrastructures publiques et privées sans parler des centaines de personnes déplacées (Stratégies Nationales pour la prévention des risques et la gestion des catastrophes).



Figure 4: Conséquence du cisaillement du sol au quartier Uwinterekwa. Sabushimike, le 14 mai 2015



Figure 5: Conséquences de l'éboulement des berges du ravin Nyamanogo. Photo Sabushimike, le 21 Avril 2005

I.6. Facteurs de vulnérabilité favorisant les effets des changements climatiques

Selon les membres de la plateforme nationale de prévention des risques et de la gestion des catastrophes, le premier facteur reste les faiblesses du cadre institutionnel et légal qui se heurte encore à un problème sérieux de coordination des responsabilités relevant des différentes institutions gouvernementales, de la société civile, des communautés de base et autres acteurs pour que la prévention des risques et la gestion des catastrophes au Burundi deviennent réellement opérationnelles.

Compte tenu de l'ampleur actuelle des risques et catastrophes, les Plates Formes Provinciales devraient rendre opérationnelle réellement leurs stratégies de prévention des risques et de gestion des catastrophes.

Le deuxième facteur de risques de vulnérabilité réside dans les insuffisances de capacités d'intégration dans la planification multisectorielle.

Gérer les risques de catastrophes en termes d'aménagement du territoire suppose des connaissances précises et spatiales des aléas et des enjeux qui y sont ou y seraient exposés. Malheureusement, cela ne peut pas s'appliquer correctement dans un pays où la banque de données est inexistante en matière de prévention des risques et de gestion des catastrophes.

Pour le cas précis du Burundi, c'est justement sur cette base que devrait se fonder les capacités d'analyse et de planification en vue de réduire les crises actuelles associées aux divers aléas.

Le troisième facteur de loin le plus inquiétant est la pression démographique urbaine. En effet, dans la majeure partie de l'agglomération urbaine de Bujumbura, la pression environnementale s'exerce sur un espace pratiquement fini, d'où son étalement vers les escarpements de failles des Mirwa à l'est, les agressions du bêton urbain vers les zones agricoles stratégiques pour le pays au nord ; les destructions des zones tampons de l'écosystème du Lac Tanganyika. D'où la tendance actuelle de parler plutôt de l'explosion démographique urbaine qui est pleinement justifiée.

L'origine de cette explosion démographique revient à deux facteurs fondamentaux à savoir :

- La mentalité traditionaliste qui encourage la pratique des familles nombreuses aussi bien dans le milieu urbain que rural. Il s'agit d'un défit terrible pour la société urbaine qui reste jusqu'à présent nataliste et partant inconsciente de ses densités extravagantes ;

- L’absence de la culture du risque est une source grave de la vulnérabilité de Bujumbura qui s’observe aussi bien dans les quartiers populaires que dans les quartiers haut standing des trois communes urbaines.

En effet, les rapports Milieu/Homme au Burundi favorisent l’augmentation des impacts des changements climatiques.

I.7. Résilience communautaire de Bujumbura face aux changements climatiques

I.7.1. Stratégies d’adaptation

Étant donné l'ampleur prévisible des effets néfastes du changement climatique, la communauté internationale a mis en place les fonds suivants : Fonds pour l'adaptation et le Fonds vert climat.

I.7.1.1. Fonds pour l'adaptation

Le fonds pour l'adaptation est le premier mécanisme Financier à être financé par une source de revenu vraiment international et dont l'existence résulte d'un cadre d'intervention internationalement convenu sur le climat. Il devrait devenir l'instrument Financier international principal pour aider les pays en développement comme le Burundi à s'adapter aux changements climatiques. Ses ressources estimées de plusieurs centaines de millions de dollars annuels à quelques dizaines de milliards de dollars annuels sont nettement plus proches des besoins estimés pour la résilience des pays en développement au changement climatique.

I.7.1.2. Le Fonds Vert Climat

Le Fonds Vert Climat ou Green Climate Fund (GCF) en anglais, est un mécanisme Financier de l'organisation des Nations Unies, rattaché à la CCNUCC. Il a pour objectif de réaliser le transfert des fonds des pays les plus avancés à destination des pays les plus vulnérables afin de mettre en place des projets pour combattre les effets du changement climatique.

C'est ainsi donc qu'avec ces deux Fonds internationalement mis en place, qu'il y a l'espoir de réaliser les actions suivantes telles qu'elles sont envisagées par le PANA :

- Améliorer les prévisions climatiques saisonnières pour l'alerte rapide ;
- Préserver les boisements existants et reboiser les zones dénudées ;
- Renforcer la gestion des aires protégées existantes et ériger en aires protégées les écosystèmes naturels identifiés comme menacés et vulnérables ;

- Vulgariser les techniques de collecte des eaux de pluie pour des usages agricoles ou ménagers ;
- Mettre en place des dispositifs pour le contrôle de l'érosion dans les régions sensibles ;
- Etablir et protéger des zones tampons stratégiques dans la plaine inondable du lac Tanganyika et au tour des lacs du Bugesera ;
- Vulgariser les cultures vivrières à cycle court et celles résistant à la sécheresse ;
- Vulgariser les techniques d'élevage en stabulation permanente ;
- Identifier et Vulgariser l'élevage d'espèces adaptées aux conditions locales du climat ;
- Identifier et Vulgariser les techniques améliorées d'utilisation du bois et énergies nouvelles renouvelables ;
- Contrôler la dynamique fluviale des cours d'eau et des torrents dans les Mumirwa y compris la ville de Bujumbura ;
- Former et informer les décideurs et les autres intervenants y compris les communautés locales sur les méthodes d'adaptation à la variabilité climatique ;
- Multiplier les microcentrales hydroélectriques.

I.7.2. Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes

S'étalant sur 15 ans, le Cadre d'action de Sendai est un accord sur une base volontaire, sous engagement, qui reconnaît que l'Etat joue un rôle primordial dans le cadre de la réduction des risques de catastrophes tout en partageant cette responsabilité avec d'autres acteurs concernés dont les autorités locales, le secteur privé et les autres parties prenantes.

I.7.2.1. Objectif du cadre

Le Cadre poursuit l'objectif suivant :

La réduction substantielle des risques de catastrophes et de pertes, en vies humaines, en termes de niveau de vie et de santé. Cette réduction vise également les pertes en ressources économiques, physiques, sociales, culturelles et environnementales que peuvent subir les personnes, entreprises, communautés et pays.

Le Cadre de Sendai succède au Cadre d'action de Hyōgo pour 2005-2015 : pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes.

I.7.2.2. Les sept cibles du cadre d'action de Sendai

Les sept cibles tribales du Cadre de Sendai sont :

1. Réduire nettement, au niveau mondial, d'ici à 2030, la mortalité due aux catastrophes, de sorte que le taux moyen de mortalité mondiale pour 100 000 habitants pendant la décennie 2020-2030 soit inférieur au taux enregistré pendant la période 2005-2015.

2. Réduire nettement, d'ici à 2030, le nombre de personnes touchées par des catastrophes, partout dans le monde, de sorte que le taux moyen mondial pour 100 000 habitants pendant la décennie 2020-2030 soit inférieur au taux enregistré pendant la période 2005-2015.

3. Réduire, d'ici à 2030, les pertes économiques directes dues aux catastrophes en proportion du produit intérieur brut (PIB).

4. Réduire substantiellement, d'ici à 2030, la perturbation des services de base et les dommages causés par les catastrophes aux infrastructures essentielles, en particulier aux établissements de santé ou d'enseignement, notamment en renforçant leur résilience.

5. Accroitre substantiellement, d'ici à 2030, le nombre de pays dotés de stratégies nationales et locales de réduction des risques de catastrophes.

6. Améliorer nettement, d'ici à 2030, la coopération internationale avec les pays en développement en leur fournissant un appui approprié et continu afin de compléter l'action qu'ils mènent à l'échelle nationale pour mettre en œuvre le présent Cadre.

7. Améliorer nettement, d'ici à 2030, l'accès des populations aux dispositifs d'alerte rapide multirisque et aux informations et évaluations relatives aux risques de catastrophe.

I.7.2.3. Les quatre priorités d'action

Les quatre priorités pour l'action sont :

Priorité 1. Comprendre les risques de catastrophes.

La gestion des risques de catastrophes doit être basée sur une compréhension de toutes leurs dimensions de vulnérabilité, de capacité d'exposition des personnes et des ressources, ainsi que les caractéristiques du danger et l'environnement où il se produit. Cette connaissance peut être utilisée dans l'évaluation, la prévention, l'atténuation du risque ainsi que dans la préparation et la réponse des acteurs concernés.

Priorité 2. Renforcer la gouvernance des risques pour mieux les gérer.

La gouvernance dans la gestion des risques de catastrophes aux niveaux national, régional et global est essentiel dans le cadre de la prévention, l'atténuation, la préparation, la réponse, la récupération ainsi que la réhabilitation.

Priorité 3. Investir dans la réduction des risques de catastrophes pour la résilience.

Les investissements publics et privés dans la prévention et la réduction des risques de catastrophes par mesures structurelles et non structurelles sont essentiels à l'amélioration de la résilience économique, sociale, sanitaire et culturelle des personnes, communautés, pays ainsi que leurs ressources et leur environnement.

Priorité 4. Renforcer l'état de préparation aux catastrophes pour une réponse efficace et pour" mieux reconstruire" durant la phase de relèvement, de remise en état et de reconstruire.

L'augmentation des risques implique la nécessité de renforcer la préparation de la réponse aux catastrophes, de prendre des actions afin d'anticiper les évènements et s'assurer que les produits soient en place pour une réponse efficace et un relèvement à tous les niveaux. Les phases de relèvement, de réhabilitation et de reconstruction constituent des opportunités cruciales de construire mieux notamment à travers l'intégration de la réduction des risques de catastrophes dans les mesures de développement.

(Source : Institut de la Francophonie pour le Développement Durable (IFDD) ; Catastrophes Naturelles : Résilience à l'ère des changements climatiques. Numéro 109-3è trimestre 2018).

I.8. Outils d’urbanisme durable pour s’adapter aux changements climatiques

I.8.1. Le plan local d’urbanisme

La création des PPR fut l’occasion d’associer les aspects de prévention des risques, de protection et de sauvegarde. (Bruno et Gilles, 2008)

Le plan local d’urbanisme poursuit trois objectifs : améliorer la sécurité des personnes et des biens afin d'éviter les dégâts physiques, psychologiques, et écologiques ; favoriser un retour à la normale le plus rapide possible ; réduire les dommages des biens irremplaçables ou intangibles (Bruno et Gilles, 2008) in (Camp'huis and Devaux-Ros 2006).

Le débat participatif est un moyen qui implique de créer des dispositifs s'appuyant sur des règles claires qui incluent une qualité délibérative assez forte (Bruno et Gilles, 2008) in (Delnoy, 2005).

Pour élaborer le plan local d'urbanisme, il faut inviter les citoyens, les politiciens, les commerçants et les groupes communautaires à s'asseoir à la même table et de s'entendre sur les besoins de chacun pour le développement urbain durable dans un environnement équilibré et viable. Afin prévenir les événements météorologiques extrêmes et réduire les pertes et les risques qui les accompagnent, les communautés à la base doivent s'organiser et mettre en place un système d'alerte précoce fonctionnel et efficace. À cet effet, les communautés locales sont encouragées à mettre sur pied des plates-formes communales de prévention des risques et de gestion des catastrophes pour transmettre des alertes précoces et les traduire en actions rapides. Les plateformes communales doivent être constituées donc par des personnes provenant des secteurs liés ou proches du domaine de la réduction des catastrophes qui se réunissent, apportent et mobilisent les savoirs, les aptitudes et les ressources nécessaires à la prévention des risques et gestion des catastrophes au niveau communautaire. Les organisations Internationales, la Croix Rouge Burundi, les ONG sont impliquées dans la gestion des risques et des catastrophes ainsi que les confessions religieuses et les associations de développement également membres des plateformes communales de prévention des risques et de gestion des catastrophes (MINAGRIE, 2020).

I.8.2. Le schéma directeur

L'aménagement du territoire recherche donc un concept de paysage capable de rassembler les divers regards scientifiques et sociétaux pour l'aider à construire des politiques concertées de gestion paysagère. Interroger et préciser la nature, l'échelle et les modes de lecture du paysage nous permettent de développer un concept de paysage qui tient une double position en aménagement du territoire (Dubois, 2008).

La création et l'implémentation de l'outil « schéma directeur » attestent clairement de l'émergence d'une réflexion, à l'échelle régionale, sur le devenir des zones leviers. Ce n'est pas pour autant que l'avenir de chacune de ces zones est réglé, ni que se dessinent clairement les modalités de la coordination, pourtant nécessaire, des différents schémas directeurs à l'intérieur d'une vision partagée du développement régional. Par ailleurs, les schémas directeurs devaient également constituer, de manière plus ou moins explicite, une avancée au niveau des

prérogatives proprement régionales en matière d'aménagement du territoire (Florence D., *et al.*, 2009).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODOLOGIE

II.1. Présentation du milieu d'étude

Le Burundi est un pays situé aux confins de l'Afrique centrale et de l'Afrique orientale. Sa superficie couvre 27.834km² dont 25.000 km² sont terrestres. Il s'étend entre 29.00° et 30.54° Est et les parallèles 2.20° et 4.28° sud.

Bujumbura, capitale économique de la République du Burundi, est située dans l'ouest du pays, au bord du Lac Tanganyika. Elle se trouve à 2100km de l'océan Atlantique et à 1200km de l'océan Indien. Elle est surplombée à l'Est par les escarpements des Mirwa de la commune Isare, au Nord se trouve la commune Mutimbuzi, au Sud la commune Kabezi et enfin au Sud-est la commune Kanyosha toutes de la province Bujumbura. Elle est l'une des 18 provinces du Burundi. Sa superficie est d'environ 110 km^2. Son climat est de type tropical avec quatre saisons :

- Grande saison pluvieuse,
- Petite saison pluvieuse
- Grande saison sèche
- Petite saison sèche

La ville de Bujumbura enregistre des températures moyennes de 24°c avec des pics à 28°-35 °C au cours des périodes les plus chaudes. A Bujumbura, la pluviométrie va jusqu'à 1000mm/an.

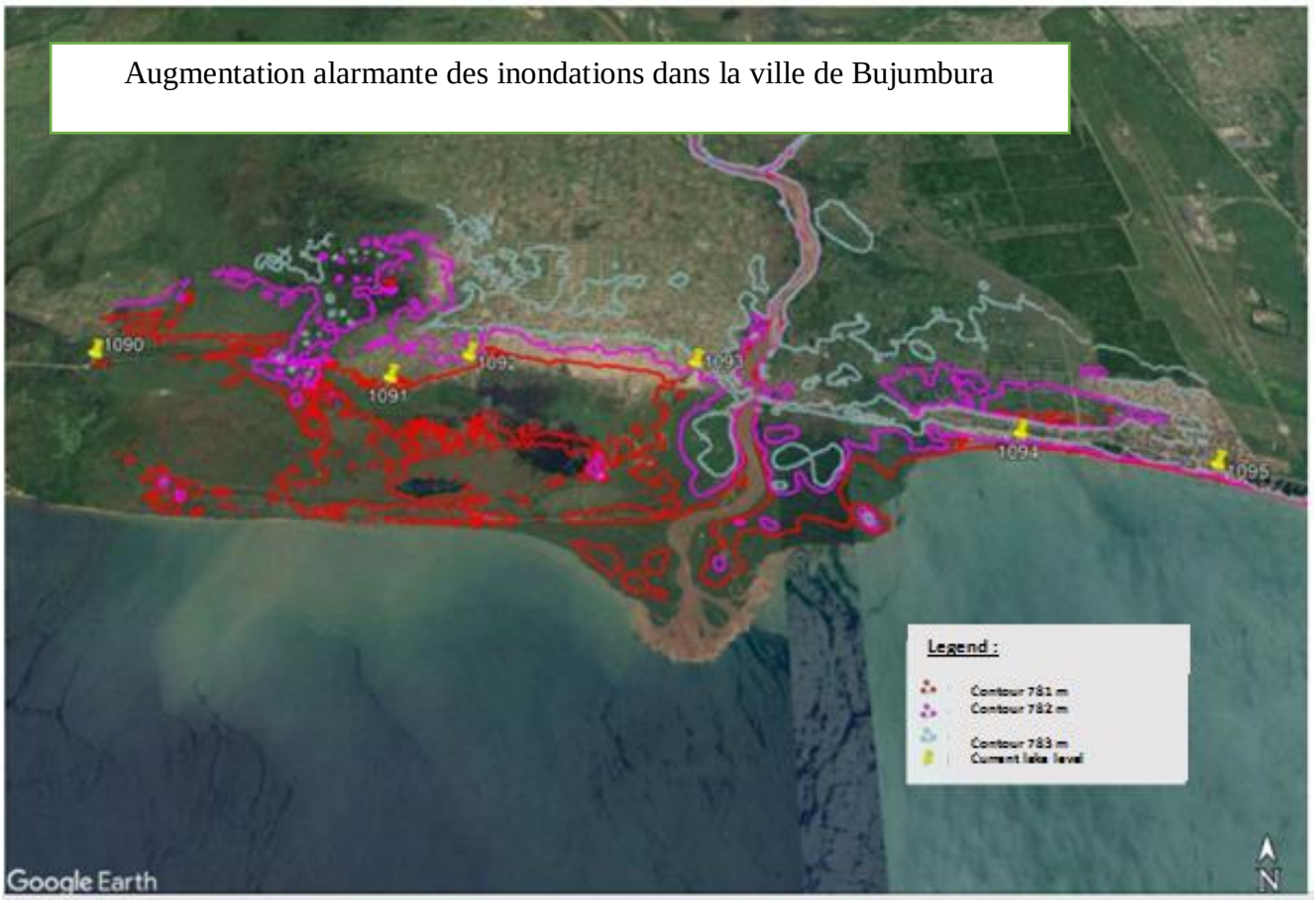


Figure 6 : Carte illustrative de la zone d'étude

II.2. Matériel

Nous avons utilisé le matériel suivant :

- La carte géologique du Burundi. Feuille Bujumbura Nouvelle édition 1984 ;
- La carte topographique du Burundi. Feuille Bujumbura ;
- Le logiciel Google Earth pour traiter des images satellitaires dans le but d'illustrer l'érosion hydrique de la rivière Ntahangwa et d'identification du profil de la pente de Bujumbura ;
- Un appareil photo pour prendre des images des glissements de terrains et des inondations qui se sont passés dans des différentes zones et quartiers de la ville de Bujumbura ;
- GPS Garmin pour calculer la superficie inondée ou glissée.

II.3. Méthodologie

La lecture de la carte géologique et la carte topographique nous a aidé non pas seulement pour la localisation de la zone d'étude, mais aussi dans la compréhension de la dynamique des milieux naturels et humains à base des renseignements qu'elles renferment.

Méthodologiquement, nous avons mesuré les surfaces glissées ou inondées à l'aide du GPS Garmin dont l'application « acreage calculator » sert à calculer la superficie d'une zone ou d'un terrain ciblé tel qu'elle est rapportée (The *et al*., 2004) dans leur travail de recherche « Calcul des surfaces. Atouts et limites des récepteurs GPS ». Nous avons aussi utilisé les images satellitaires traitées à l'aide du système d'information géographique (SIG) en l'occurrence le logiciel Google Earth et d'autres prises automatiquement sur terrain à l'aide de l'appareil photo pour illustrer l'état des lieux et surtout identifier les zones des risques de catastrophes naturelles en cas d'importants changements climatiques à Bujumbura. Pour déterminer les résultats liés à la vulnérabilité de Bujumbura, nous nous sommes référés sur certains variables (pression démographique urbaine dans toutes les directions de la capitale économique, étalement incontrôlé de la ville de Bujumbura, installation des maisons dans les zones à hauts risques naturels, …) et indicateurs (amplification de l'érosion fluviale, inondations et coupures des trafics, destruction des zones tampons …).

II.4. Analyse quantitative des phénomènes et impacts des changements climatiques à Bujumbura

Dans le but de savoir le nombre des catastrophes déjà survenues dans la ville de Bujumbura et celles qui sont en cours, la prise de plus de 20 images a été effectuée dans cette localité. Cela était fait dans l'objectif de faciliter la comparaison quantitative de nos résultats à ceux de Bouisset *et al*., (2018) et Gahimbare et Ruzima, (2011) qui ont fait leurs recherches respectivement sur « Changements climatiques et vulnérabilité des territoires : regards de montagnards sur l'évolution des risques et l'adaptation dans deux vallées pyrénéennes » et « Etude sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi ».

L'inventaire d'état des lieux est basé sur les quartiers de Bujumbura les plus vulnérables par rapport aux autres. Ils s'agissent des quartiers de Kigobe, Carama, Uwinterekwa, Gisyo, Kigobe industriel, Mugoboka.

CHAPITRE III. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Présentation des résultats

La présentation de nos résultats se fait de deux cas :

Le premier cas est basé sur le calcul de la surface inondée ou glissée dans le but d'estimer les pertes en surface de terres suite aux défis des changements climatiques à Bujumbura. Ici des images ont été prises en compte. Le deuxième cas est basé sur l'estimation de la vulnérabilité de Bujumbura.

Quelques images illustratives des glissements de terrains et inondations à Bujumbura :

Depuis février 2014 aux alentours de Bujumbura, le profil en long du Mirwa vers l'Imbo est convexe, la pente est plus forte vers le haut. Les images satellitaires et celles prises automatiquement peuvent illustrer ces impacts liés aux changements climatiques.

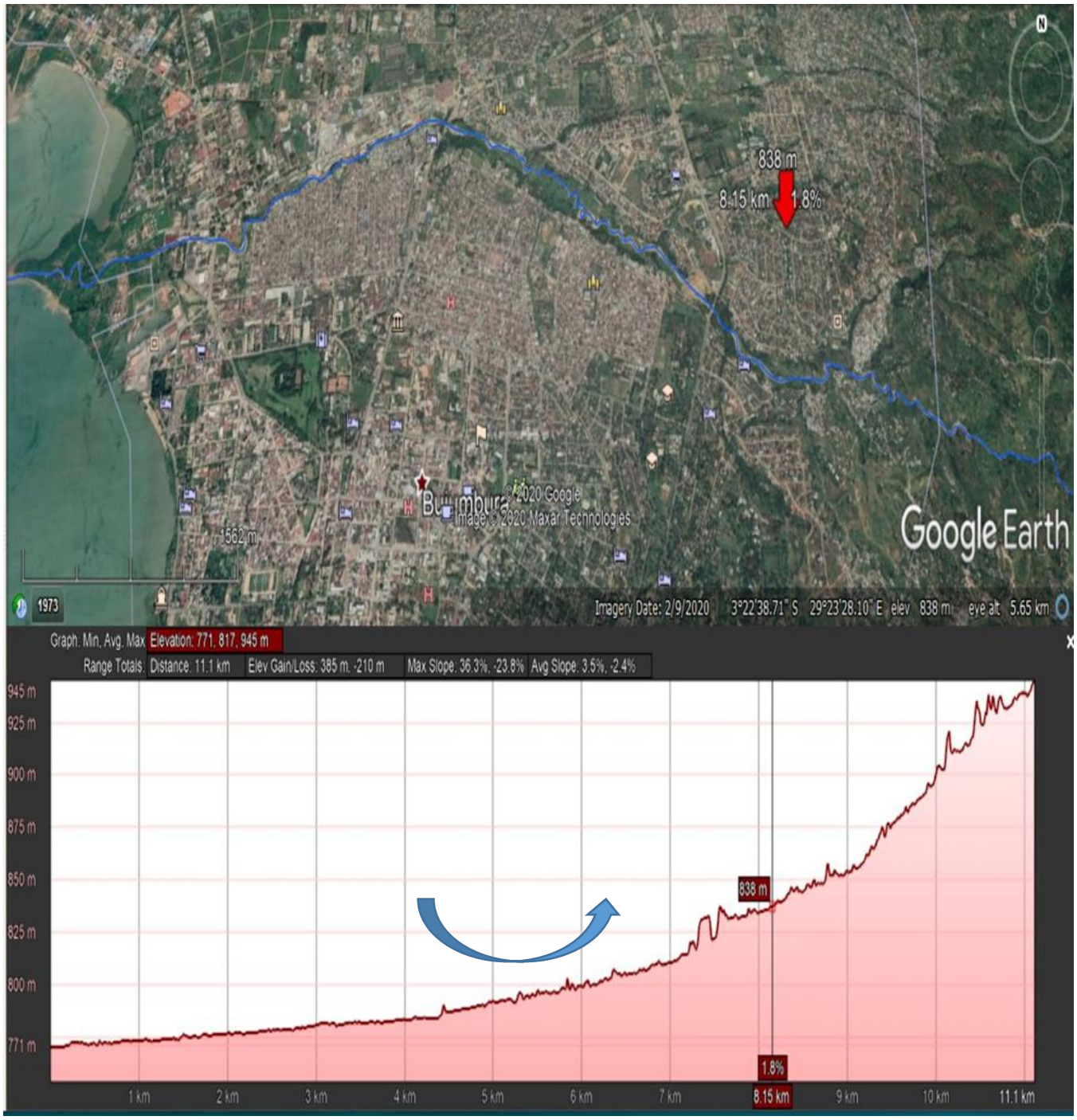
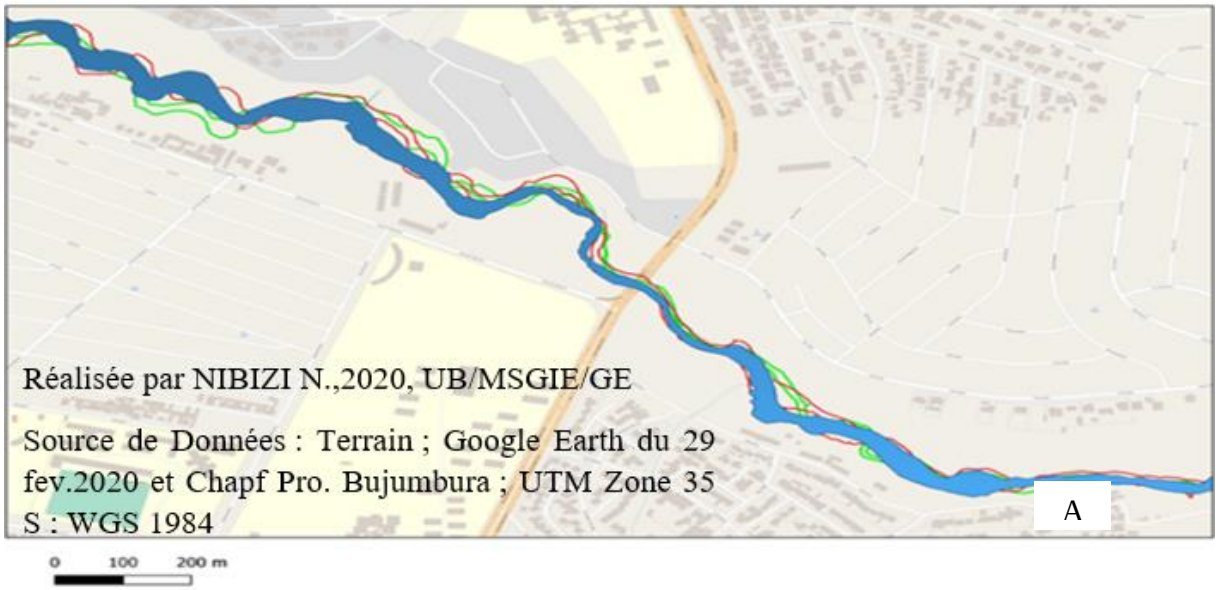


Figure 7: Profil en long et pente de la ville de Bujumbura



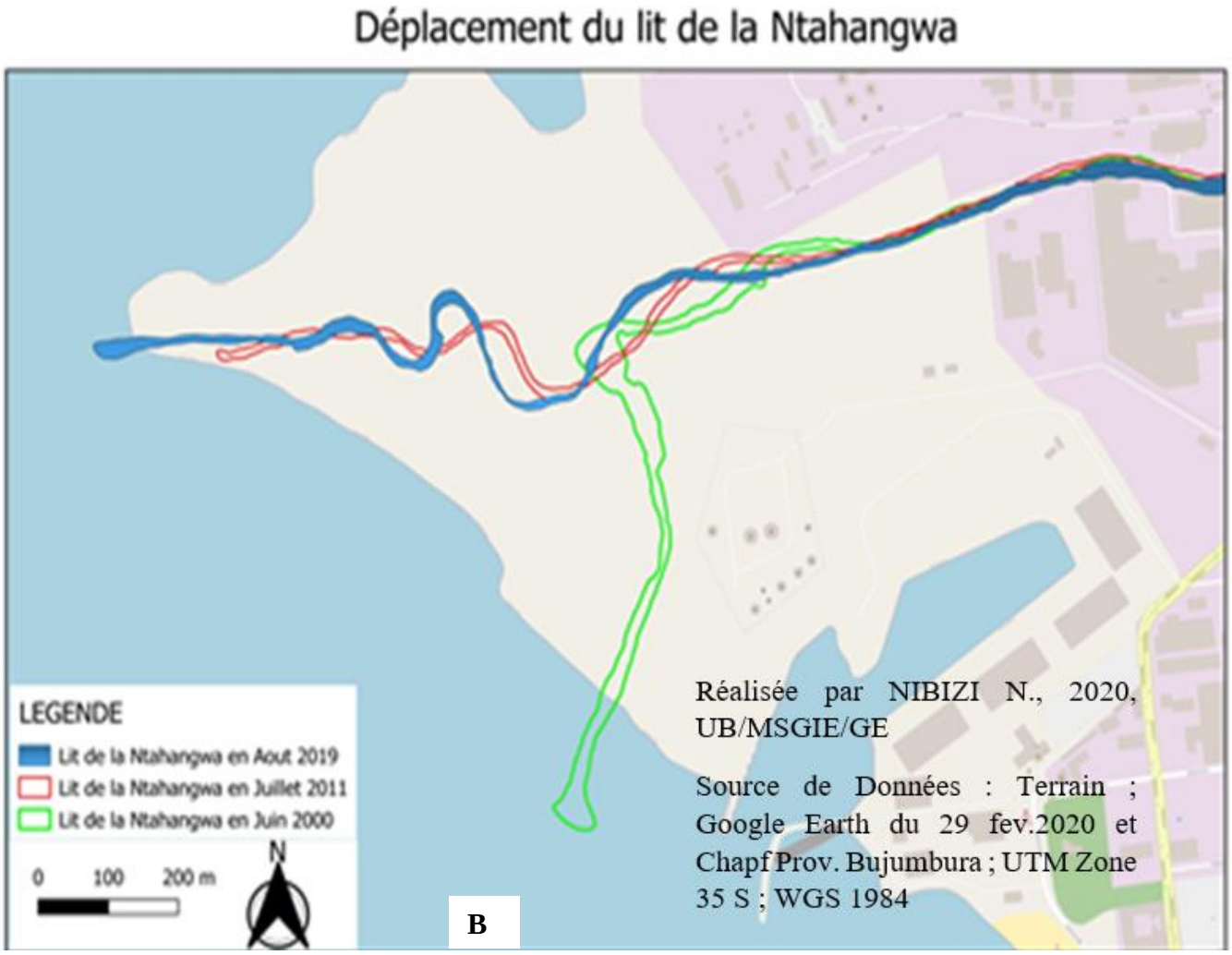


Figure 8 : Illustration de l'élargissement et de déplacement des berges de la rivière Ntahangwa au quartier Kigobe (A et B)

Les berges de la rivière Ntahangwa étaient protégées à certains endroits, mais cela n'empêchait pas qu'elles soient emportées par l'eau. C'est le cas des berges attenantes au quartier Kigobe sud, dans la zone Gihosha ou au quartier Jabe de la zone Bwiza. Cette rivière a déjà emporté des maisons.



Figure 9: État 2018 de l'érosion hydrique de la rivière Ntahangwa dans le quartier de Kigobe



Figure 10: État 2005 de l'érosion hydrique de la rivière Ntahangwa dans le quartier de Kigobe

Les facteurs anthropiques (une mauvaise urbanisation et la déforestation) sont aussi importants pour le risque de catastrophes naturelles à Bujumbura : un aménagement rural pour l'agriculture non contrôlé, là on cultive dans les zones marginales et à forte pente. Or dans le domaine de l'agriculture, les fossés antiérosifs creusés en grande échelle avant l'indépendance du Burundi ont été abandonnés.

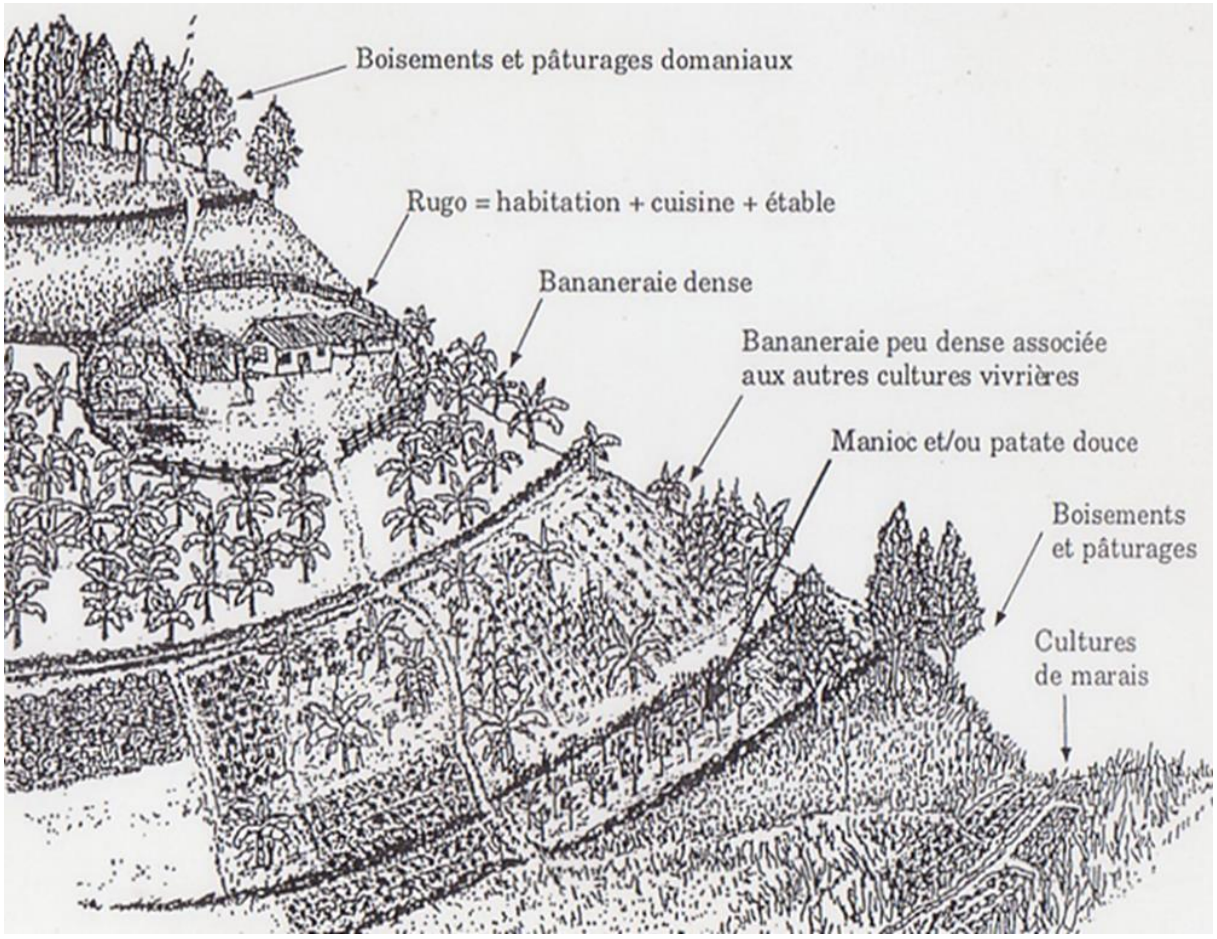


Figure 11: Illustration des fossés antiérosifs creusés en grande échelle avant l'indépendance du Burundi

Les tensions de scission qui se faisaient aux berges de la rivière Ntahangwa lors des écoulements hypodermiques avaient déjà créé des fractures dans les maisons et clôtures. Les tentatives de stabilisations avec de gabions avaient échoué et étaient abandonnées.

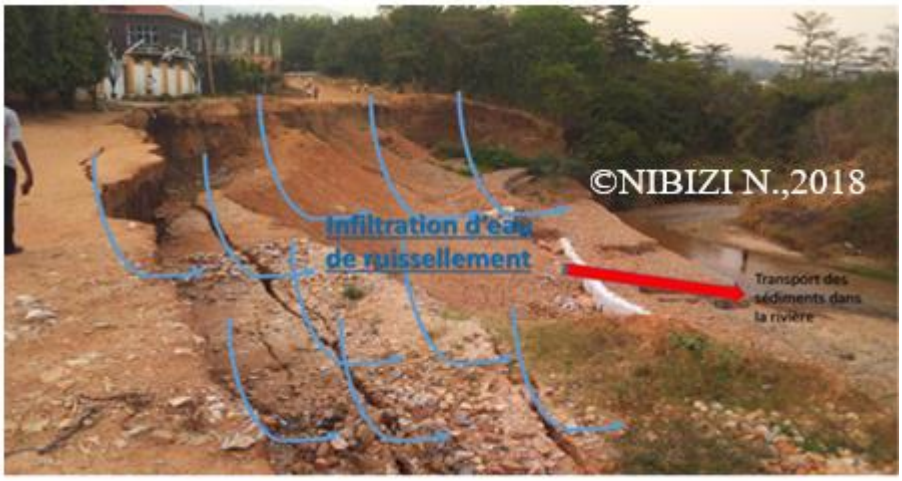


Figure 12: Fissurations dues aux écoulements hypodermiques, érosion latérale. Tentative échouée de stabilisation. Photo Nibizi, le 24 août 2018



Figure 13: Glissements des berges de la rivière Ntahangwa au quartier Kigobe. Photo Nibizi, le 24 août 2018

De l'amont en aval de la ville de Bujumbura, les infrastructures routières, les marchés, les réseaux d'adduction d'eau et d'électricité, les écoles, les églises etc. ont été détruites.



Figure 14: Ravin à côté de la route au quartier Mugoboka I. Photo Nibizi le 13 septembre 2018



Figure 15: Débordement de la Brarudi. Photo Nibizi, le 20 février 2020



Figure 16: Glissement de terrain au quartier Busoro (Kanyosha). Photo Nibizi, le 25 avril 2020



Figure 17: Ensablement dans le ravin de Kizingwe (Kanyosha). Photo Nibizi le 29 février 2020



Figure 18: Envasement des rizières dans les marais du quartier Gisyo. Photo Nibizi, le 29 février 2020



Figure 19: VODAVODA Beach dans le quartier de KININDO qui a été envahie par l'eau du lac. Photo Nibizi, le 05 mars 2020



Figure 20: Bar KUMASE qui a été envahi par les eaux du lac Tanganyika. Photo Nibizi, le 14 juin 2020



Figure 21: Ravin Kizingwe à Kanyosha. Photo Nibizi, le 29 février 2020

Dans le secteur de l'agriculture, il y a toujours le conflit entre ce dernier et l'urbanisme. Et pour cela, à cause d'une mauvaise gestion des eaux, quelques champs sont emportés et inondés par l'érosion.



Figure 22: Inondation des champs à Ruziba par la rivière Mugere. Photo Nibizi, le 29 février 2020

III.1.1. Estimation des pertes en surface de terres

Le tableau 1 montre les résultats trouvés sur terrain lors du calcul de la surface inondée ou glissée.

Tableau 1: Surfaces inondées ou glissées qui ont été estimées par le GPS

Endroit ciblé	Superficie (m^2)	Dates d'estimation
Ravin de Mugoboka	45	Le 13 septembre 2018
Débordement de la Brarudi(Q.Industriel)	3600	Le 20 février 2020
Ravin de Kizingwe (Kanyosha)	8400	Le 29 février 2020
Glissement de terrain à Busoro(Kanyosha)	1800	Le 25 avril 2020
Glissement des berges de la rivière Ntahangwa (Kigobe)	12500	Le 24 août 2018
Envasement dans les rizières à Gisyo (Kanyosha)	6000	Le 29 février 2020
Inondation du Bar KUMASE(Q.Industriel)	9000	Le 14 juin 2020
Inondation du VODAVODA Beach(Q. Kinindo)	11200	Le 05 mars 2020

III.1.2. Estimation de la vulnérabilité de Bujumbura

Au cours de notre étude, nous avons déterminé les différents types de vulnérabilité : 1) vulnérabilité physique 2) vulnérabilité sociale 3) vulnérabilité écologique 4) vulnérabilité économique 5) vulnérabilité technique.

Le tableau 2 montre les variables choisis, ses indicateurs ainsi que leurs résultats lors de l'estimation de la vulnérabilité dans la zone urbaine de Bujumbura.

Tableau 2: Estimation de la vulnérabilité dans la zone urbaine de Bujumbura par des variables, indicateurs, résultats et chiffres

Type de vulnérabilité	Variables	Indicateurs	Résultats
Physique	Etalement incontrôlé de la ville de Bujumbura	Pression démographique urbaine dans toutes les directions de la capitale économique	Augmentation de quartiers spontanés : 5 au nord et 3 au sud de Bujumbura
	Installation des maisons dans les zones à hauts risques naturels	Des maisons dans des localités sensibles : cas Gatunguru, Mugoyi, Carama,Buterere, Gikungu,…	Destructions des maisons et autres infrastructures par des catastrophes : plus de 3 milles maisons et 3 ponts des rivières Muha, Kanyosha et Ntahangwa détruits
	Construction des maisons et hôtels dans les zones interdites	- Concentration des bar-restaurants sur les berges du lac Tanganyika perturbant les zones frayères - Concentration des maisons dans des rizicultures, cas de Rubirizi	Plus de 10 bar-restaurants fermés à cause des inondations du lac Tanganyika

Tableau 2: Estimation de la vulnérabilité dans la zone urbaine de Bujumbura par des variables, indicateurs, résultats et chiffres (suite)

Sociale			
	Risque d'augmentation des sans abris	Des maisonnettes(taudis) trop serrées et non dures dans la zone périurbaine de Bujumbura	Depuis 2014, selon OIM, 28352 de déplacés internes de la ville de Bujumbura
	Augmentation des maladies	- Des latrines trop serrées et non dures (Gatunguru, Carama, Mugoboka, …) - Concentration des étangs d'eau par l'érosion	Plus de 1 million de cas de paludisme et plus de 2 milles de cas de choléra et de dysenterie bacillaire
	Pauvreté	Pourcentage élevé de la population n'ayant pas accès aux besoins élémentaires	Cas de malnutrition : taux de 20,7% à Bujumbura selon l'enquête nationale sur la situation nutritionnelle et la mortalité basée sur la méthodologie smart

Tableau 2: Estimation de la vulnérabilité dans la zone urbaine de Bujumbura par des variables, indicateurs, résultats et chiffres (suite)

Ecologique			
	Pertes en terres	Amplification de l'érosion fluviale	Destruction systématique des berges sur les 4 rivières traversant la ville de Bujumbura (la rivière Muha, Kanyosha, Ntahangwa et Mutimbuzi)
	Pollution des eaux	- Dépôt accru des sédiments dans le lac Tanganyika - Turbidité de l'eau	Disparition irréversible des espèces animales aquatiques
	Destruction des zones tampons	Construction anarchique au long des rivières et tout près du lac Tanganyika	Disparition irréversibles des espaces(cas de la rivière Ntahagwa,Nyabagere,Kanyosha)

Tableau 2: Estimation de la vulnérabilité dans la zone urbaine de Bujumbura par des variables, indicateurs, résultats et chiffres (suite)

Economique			
	Arrêt des activités	Inondation et coupures des trafics	Pertes économiques et augmentation du chômage
	Capacité économique	Revenu faible des ménages	Salaire mensuel insuffisant
Technique			
	Quartiers spontanés non viabilisés	Absence de la gestion des eaux fluviales	Intensification des ravins, glissements et inondations
	Mauvaises pratiques urbaines	Absences des outils d'urbanisme	Occupation anarchique des sols
	Rôle des institutions en charge de la prévention des risques et la gestion des catastrophes et désastres	Absences des matériels appropriés pour la prévention et l'alerte précoce	Faible réduction des risques de catastrophes

III.2. Discussion des résultats

Les différentes images qui ont été observées dans des différents coins de la ville de Bujumbura nous montre combien de fois cette dernière localité est en train d'être perturbé par les actions anthropiques et les catastrophes liées au changements climatiques.

Au-delà de l'analyse satellitaire, en examinant concrètement sur terrain comment la situation du risque se présente (Fig. 11 et 12), il s'observe que le niveau du risque était très élevé. En effet, des habitations étaient menacées et certaines détruites.

La comparaison de la situation de 2005 à celui 2018 nous montre que juste une période de 13 ans, on note une forte différence dans l'examen de la carte satellitaire. En effet, l'érosion n'est pas prononcée, les berges sont boisées et les quartiers sont non habités (Fig. 9). Il y a lieu de s'interroger sur l'action de l'homme sur l'exacerbation de ce risque. Mais ce qui est évident est qu'avec les changements climatiques, les pluies diluviennes enregistrées dans les hauteurs surplombant la ville de Bujumbura seraient la cause principale.

Le risque est qu'aujourd'hui la population de Bujumbura s'installe de l'aval (plaine de Bujumbura) en amont (escarpements des failles des Mirwa). L'étalement de la ville de Bujumbura grimpe de façon spectaculaire les escarpements des failles des Mirwa mal consolidés. La plaine de Bujumbura est constituée par les alluvions de l'holocène et les dépôts fluvio-lacustres et deltaïques du pléistocène.

D'autres facteurs favorisant ce risque sont des facteurs physiques comme la géologie, la pluviométrie, la pédologie. Dans les hautes montagnes on note une pluviométrie très élevée. Le bassin est couvert par un profil de sol très développé avec des graviers couvrant une série sédimentaire très meubles.

Pour le premier tableau, la surface totale touchée par les catastrophes (inondations et glissements de terrains) était de 52545 m^2 soit 525.45 dam^2(a). Cette surface perdue est si grande en courte durée (une seule saison). Elle pourrait contribuer dans les signes préliminaires de la vulnérabilité de Bujumbura. Les résultats similaires ont été trouvés dans deux vallées pyrénéennes (Bouisset *et al*., 2018) où ces chercheurs ont témoigné que la vulnérabilité désigne le degré auquel un système risque d'être affecté négativement par les effets des changements climatiques.

Les déplacés climatiques augmentent d'année en année et ses conséquences se répercutent sur la ville de Bujumbura. La résilience communautaire de Bujumbura serait encore au stade

embryonnaire. Les mêmes résultats ont été trouvés dans l'étude menée sur « Les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi » (Gahimbare et Ruzima, 2011) où ces chercheurs ont montré que la prise en compte de la Convention des Nations Unies pour la Lutte contre la Désertification (CCD) et de la gestion durable des sols (GDS) dans les stratégies et programmes de développement majeurs reste limitée bien que le PAN/LCD au Burundi soit élaboré et validé depuis 2005.

Pour le deuxième tableau, on constate que la ville de Bujumbura est donc confrontée aux dangers inhérents de l'accumulation d'enjeux vulnérables. Cette localité est soumise à différents risques de nature et d'intensités diverses. Ce tableau montre que les changements dans un système provoquent des changements dans d'autres systèmes comme l'ont confirmé (Longman and Wesley, 2001) que les systèmes de la Terre fonctionnent ensemble comme un tout intégré, répondant aux changements de l'environnement physique.

L'analyse de la vulnérabilité des différentes clés de la vie nationale comme : l'agriculture, la santé, l'énergie, les infrastructures, la biodiversité et l'environnement sociale, écologique, économique, politique, technique, culturelle, éducative et institutionnelle tient compte de l'interaction des facteurs physiques et des facteurs humains qui sont spécifiques à chaque région. Pour cela le participant dans cette analyse choisit un indicateur car il correspond à ce qui est considéré pour ce participant comme un aspect important de l'évaluation ou car l'indicateur le renseignera sur l'état global d'une problématique (Bruno et Gilles, 2008).

CONCLUSION GENERALE

Le pénible bilan des impacts majeurs des catastrophes naturelles matérialisées par les inondations et les érosions fluviales qui se produisent à des intervalles très courts, inferieurs d'une année, sont autant de défis qui interpellent toute la société urbaine qui assiste impuissant à cette crise climatique qui relie aujourd'hui et demain.

Les écarts à la normale des précipitations sont déjà affichés dans les données pluviométriques préparées par l'IGEBU. Les conséquences des pluies diluviennes dans les montagnes qui surplombent la ville de Bujumbura sont actuellement nombreuses dans la plaine, soit la destruction des infrastructures trop chères, les inondations des champs, la sédimentation du lac Tanganyika par l'érosion. Comme ce n'est pas le même cas de la situation antérieure, ces écarts des précipitations aux normales sont sans doute liés au dérèglement climatique.

La proposition des outils réalistes en matière de documents cartographiques et de textes réglementaires capables de construire le développement urbain durable de la ville de Bujumbura devrait se baser aux Objectifs de Développement durable (ODD) 2, 11 et 13. Lequel l'ODD 2 plaide pour la sécurité alimentaire, l'amélioration de la nutrition et la promotion de l'agriculture durable. Il est en contradiction avec la dérive du béton sur les zones agricoles et d'élevage qui s'amenuisent inexorablement face à la croissance urbaine. Tandis que les ODD 11 et 13 visent les villes résilientes et durables par la prise en compte d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs impacts socio-économiques, environnementaux et culturels.

SUGGESTIONS

Vu l'importance des changements climatiques dans l'amplification fluviale de la ville de Bujumbura et d'autres grandes perturbations dans son développement durable, quelques suggestions pouvant inspirer les futures recherches et les institutions de conservation sont formulées pour pousser loin l'étude des possibilités de gérer les risques de catastrophes naturelles, ils s'agissent notamment de :

- Faire une recherche sur les technologies et les matériaux de construction du génie civil ;
- Mettre en place l'équipement des comités de riverains pour le suivi des points critiques des axes de drainage exposés aux risques de catastrophes comme les inondations et les glissements ;
- Créer des cartes informatives et réglementaires aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'échelle locale ;
- Désengorger ou déboucher les différentes rivières traversant la ville de Bujumbura ;
- Maçonner la partie en amont des rivières de cette localité ;
- Curer par des engins appropriés et dans l'immédiat ces rivières ;
- Faire une étude multidisciplinaire visant la stabilisation des berges et des ravins ;
- Creuser d'autres canalisations pour empêcher les ravins de continuer de s'effondrer ;
- Evacuer les ménages menacés et envisager l'attribution des parcelles en cas des risques de catastrophes ;
- Et enfin réhabiliter des caniveaux déjà affectés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdoul Habou, Z., Kourna Boubacar, M. et Adam, T. (2016) 'Les systèmes de productions agricoles du Niger face au changement climatique : défis et perspectives'. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN), BP429, Niger. http://ajol.info/index.php/ijbcs, http://indexmedicus.afro.who.int, Niger

2. Alexandre Taithe, « Le changement climatique dans la région des Grands Lacs », Les Cahiers d'Afrique de l'Est / The East African Review [En ligne], 48 | 2014, mis en ligne le 07 mai 2019, consulté le 08 mai 2019. URL : http://journals.openedition.org/eastafrica/383

3. Berry, P. (1999) 'Chapitre 8 Vulnérabilités, adaptation et capacité d'adaptation au Canada', in Santé et changements climatiques : Évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada, p. 1

4. Bisore, S. (2005-2006)) 'La problématique climatique au Burundi', analyse de la contribution du pays, risques de dommages potentiels, politique d'adaptation et comparaison dans le contexte global, IGEAT (Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire), Université Libre de Bruxelles, p. 1

5. Bouisset,C., Clarimont, S. and Degrémont, I. (2018) 'Changements climatiques et vulnérabilité des territoires : regards de montagnards sur l ' évolution des risques et l ' adaptation dans deux vallées pyrénéennes', pp. 0–14

6. Brunet, R.(1997) 'L'aménagement du territoire en France': La Documentation française.

7. Bruno B. et Gilles H., « Urbaniser les zones inondables, est-ce concevable ? », Développement durable et territoires [En ligne], Dossier 11 | 2008, mis en ligne le 06 novembre 2008, consulté le 30 avril 2019. URL : http://journals.openedition.org/developpementdurable/7413 ; DOI : 10.4000/developpementdurable.7413

8. Dauphiné, A. 2004. 'Risques et catastrophes : observer, spatialiser, comprendre, gérer'. Paris: Armand Colin

9. Dubois C., 2008 'Le paysage, enjeu et instrument de l'aménagement du territoire'Gembloux Agricultural University – FUSAGx. Laboratoire d'Aménagement des Territoires. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : dubois.c@fsagx.ac.be

10. Florence Delmotte, Michel Hubert et Francois Tulkens, « Les schémas directeurs, et après ? », Brussels Studies [En ligne], Collection générale, n° 30, mis en ligne le 12 octobre 2009, consulté le 05 mai 2019. URL : http://journals.openedition.org/brussels/698 ; DOI : 10.4000/brussels.698

11. Garry, G. (1994) 'Evolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France', pp. 10–16.

12. GIEC (2014) 'Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat', p. 180

13. GIEC (2019) 'Communiqué de presse du giec'. Rapport spécial du GIEC sur l'océan et la cryosphère dans le contexte du changement climatique, p. 2

14. Gahimbare, A., Ndabirorere, S. and Ruzima, S. (2011) 'Etude sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi', p. 95

15. Houghton, J.T., 1991. Scientific assessment of climate change: Summary of the IPCC Working Group 1 report. Proceedings Second World Climate Conference, Geneva, Switzerland, Cambridge University Press, pp 23-46

16. Ilunga, L., 1984. Le Quaternaire de la Plaine de la Ruzizi (Etude morphologique et lithostratigraphique).Thèse Doct. Sc., Vrije Univ. Brussel, Belgique.

17. Liersch *et al*., 2014 : Climate Change Report for Burundi. Eschborn : GIZ

18. Longman S., W. A. (2001) 'Science de l'environnement 3ème édition Addison Wesley', 3ème Editi, p. 468

19. Magnan, A., Duvat, V. and Garnier, E. (2011) 'Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique', *Natures Sciences Societes*, 20(1), pp. 82–91. doi: 10.1051/nss/2012008

20. MEEATU, 2007. Plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques (PANA Burundi)

21. MEEATU. (2016). Stratégie nationale et plan d'action de lutte contre la dégradation des sols, MEEATU/PNUD. Bujumbura.

22. MINAGRIE, 2020, Plan National de lutte contre la Secheresse au Burundi (PNS Burundi)

23. Nzojibwami, E(1987)-Le précambien Cristallin de la région de Bujumbura (Burundi).

Thèse de doctorat inédite. Université de Liège (Belgique)

24. OMM, 2005, Le climat et la dégradation des sols, Rapport N°989, 34p

25. PUNE (1990) 'Importance des ressources terrestres et état de la dégradation des sols dans le monde, en Afrique et au Sénégal', *Santé et changements climatiques : Évaluation des vulnérabilités et de la capacité d'adaptation au Canada*, pp. 2-3

26. République du Burundi 2019. Troisième Communication Nationale de la République du Burundi sur les Changements Climatiques

27. Roose E. (2015) 'Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens', Number of pages : 712 p. Publisher : IRD Éditions Series : Synthèses Place of publication : Marseille. Year of publication : 2017 Published on OpenEdition Books : 19 novembre 2018 EAN (Print version) : 9782709922777 Electronic EAN : 9782709922784 DOI : 10.4000/books.irdeditions.24108 Number of pages : 712 p.

28. Sabushimike Jean Marie. 2019. Conférence sur les risques de catastrophes dans la ville de Bujumbura.

29. Sabushimike Jean Marie. 2019. Les circonstances nationales pour les changements climatiques au Burundi pour la Troisième Communication Nationale. Bujumbura

30. Sabushimike Jean Marie. 2020. Le Burundi face aux défis des changements climatiques. Bujumbura

31. The, N. N. *et al*. (2004) 'Calcul des surfaces. Atouts et limites des récepteurs GPS "grand public"', Revue Forestiere Francaise, 56(6), pp. 529–536. doi: 10.4267/2042/5119

32. Waleffe(1989)-Quelques données géologiques et hydrogéologiques inédites de la partie septentrionale de la plaine de la Rusizi(Burundi).-Mus.roy.Afr.Centr.Tervurnn (Belg.).Dépt.Géol.Min.Rapp.Ann.1987-1988, 139-148

Sites internet

Shttp://burundi-eco.com/catastrophes-naturelles-plus-de-460-cas-de-deces-depuis-le-mois-doctobre-2019/#.X60DFIgzbIU

ANNEXES

I. Figure indiquant la variabilité climatique au Burundi

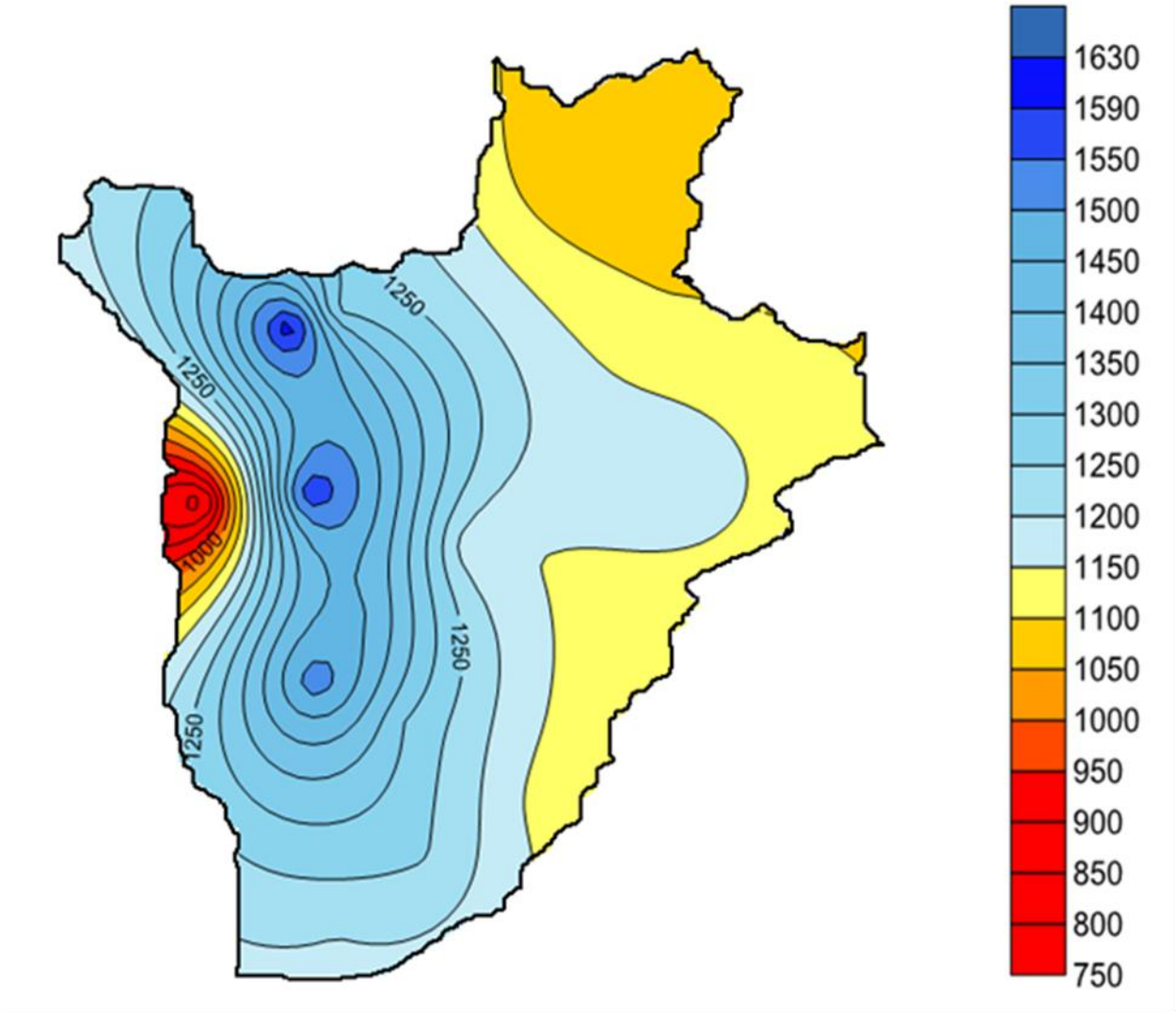


Figure 1 : Carte de la répartition des précipitations en mm

Source : IGEBU

II. Quelques images illustratives de la manifestation de l'érosion et la tentative de stabilisation des berges (cas de la rivière Ntahangwa à Bujumbura)







Figures (ABC) : Des maisons en danger d'érosion au quartier Kigobe. Photo Nibizi le 03 mars 2019



Figures (DEFG) : Tentative de stabilisation des berges de la rivière Ntahangwa. Photo Nibizi le 03 mars 2019