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

Enjeux, risque d’inondation et vulnérabilité de la zone péri-urbaine de la ville de Bujumbura (Burundi) et impacts associes exemple de la rive droite du lac Tanganyika

Iyankunze, Jean Claude

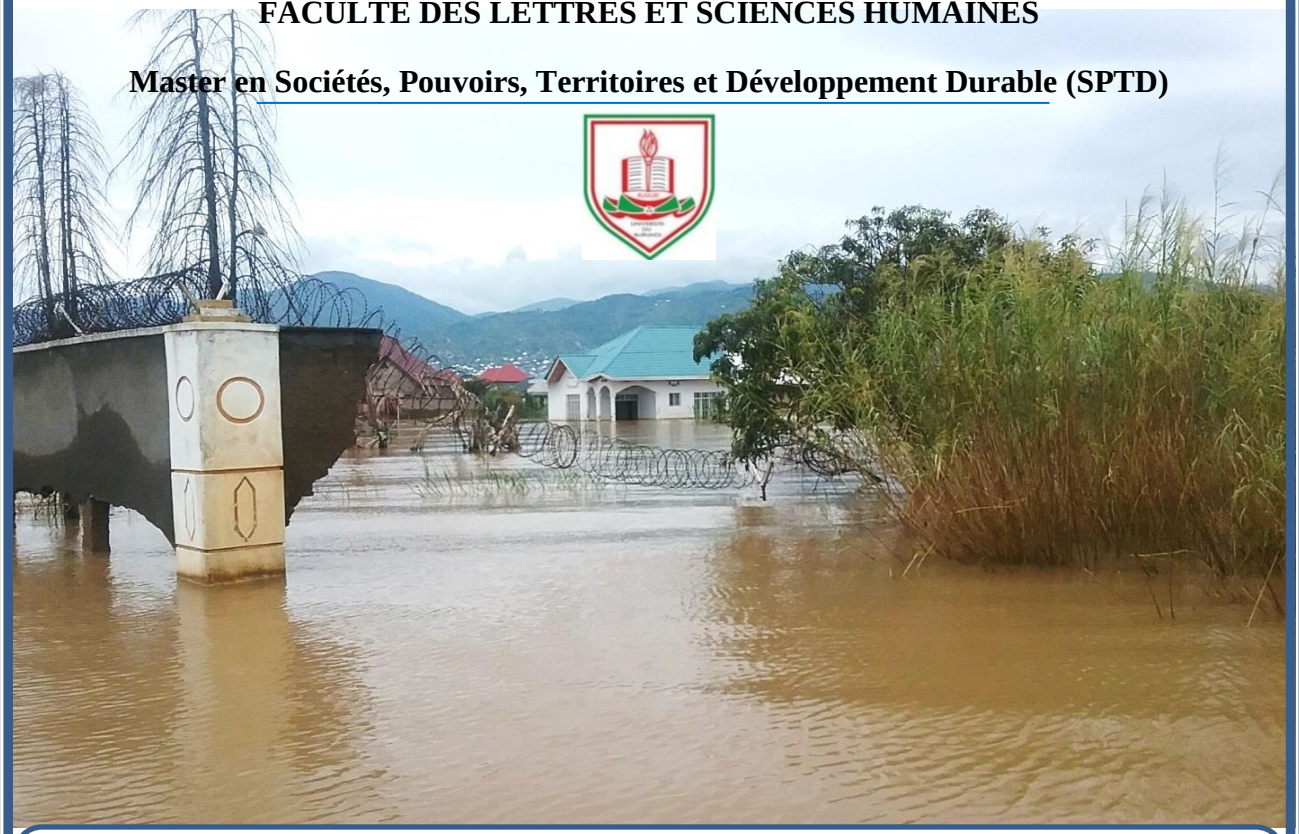
2023-03
UB, FLSH
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/464

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

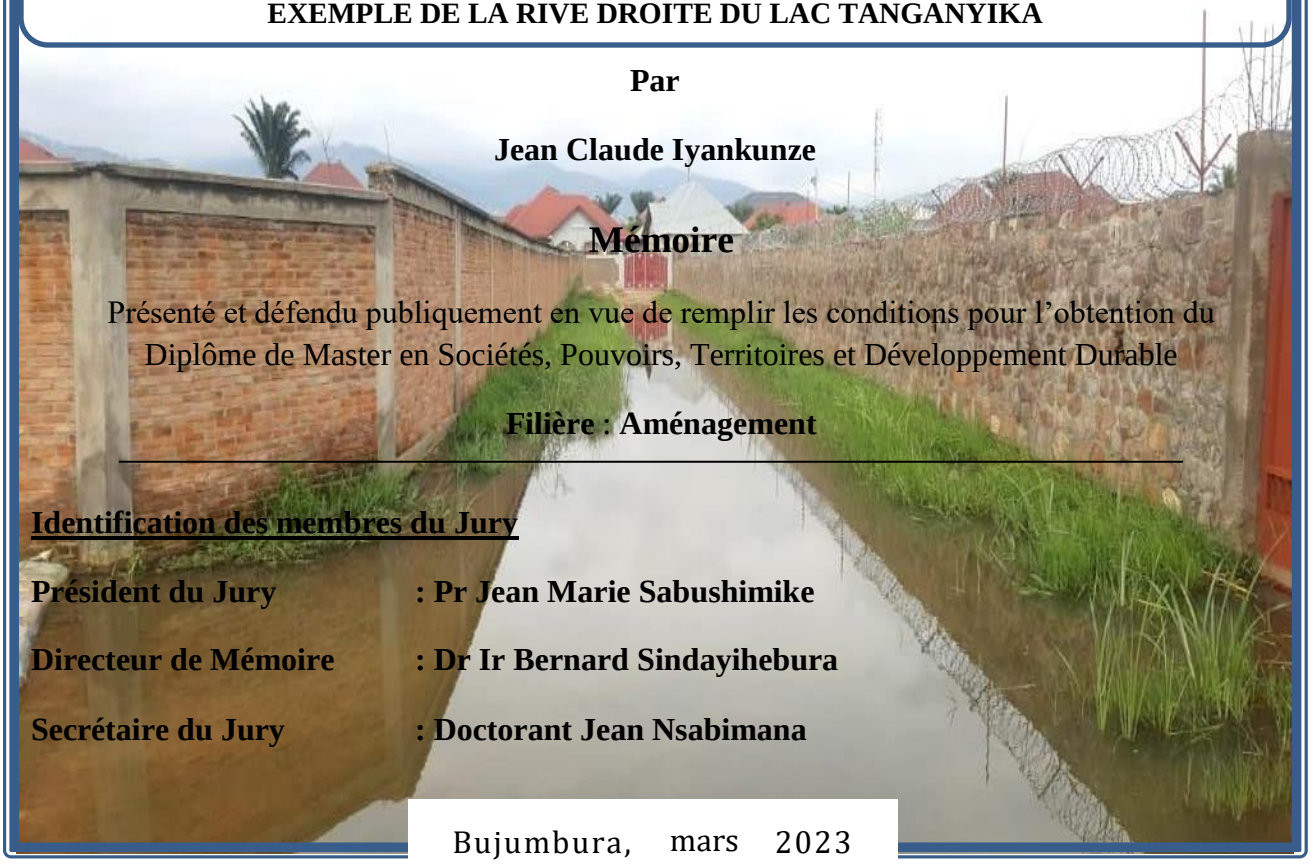
FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

Master en Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement Durable (SPTD)



ENJEUX, RISQUE D'INONDATION ET VULNERABILITE DE LA ZONE PERI-URBAINE DE LA VILLE DE BUJUMBURA (BURUNDI) ET IMPACTS ASSOCIES

EXEMPLE DE LA RIVE DROITE DU LAC TANGANYIKA



Par

Jean Claude Iyankunze

Mémoire

Présenté et défendu publiquement en vue de remplir les conditions pour l'obtention du Diplôme de Master en Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement Durable

Filière : Aménagement

Identification des membres du Jury

Président du Jury : Pr Jean Marie Sabushimike

Directeur de Mémoire : Dr Ir Bernard Sindayihebura

Secrétaire du Jury : Doctorant Jean Nsabimana

Bujumbura, mars 2023

Il ne faudrait pas, en effet, se satisfaire des villes invivables, sous prétexte qu'il existe des parcs nationaux. Ecrit Armand (Billaudot et Besson-Guillaumot, 1979) page 2.

© Photos de couverture : clichés de l'auteur du 20 janvier 2021 et du 08 avril 2021

Par Jean Claude Iyankunze

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Président du Jury : Pr Jean Marie Sabushimike

Directeur de Mémoire : Dr Ir Bernard Sindayihebura

Secrétaire du Jury : Doctorant Jean Nsabimana

DEDICACE

A Dieu Tout-Puissant l'Eternel ;

A notre épouse Claudette Ndayishimiye pour ton chaleureux amour ;

A nos enfants :

Sancta Gianna Maria Ibeza

Loïc Aïry de Jésus Ikaze

Humble Arni Ricci Inema

A nos chers parents pour vos efforts fournis, vos prières et vos conseils ;

A nos frères et sœurs pour vos soutiens indomptables ;

A tous nos oncles, tantes, cousins, cousines, neveux et nièces ;

A tous qui ne doutent pas de nos sincères amitiés ;

A toute notre promotion ;

A toute nos connaissances ;

A tous ceux qui sont fiers de ce pas franchi.

Nous dédions ce mémoire !

REMERCIEMENTS

C'est pour nous une heureuse occasion d'exprimer nos sincères et profonds sentiments de remerciements aux personnes qui ont contribué à titre divers à l'aboutissement de ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont à l'endroit des professeurs au Master en Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement Durable (SPTD) et plus particulièrement aux professeurs en Aménagement. Qu'ils trouvent dans ce travail nos sentiments de reconnaissance pour la formation scientifique transmise, l'éducation humaine et morale qu'ils nous ont prodiguée durant notre formation ainsi que leurs efforts fournis durant cette longue traversée du fleuve. Nous gardons en mémoire le concours sans égal de tous les enseignants depuis l'école primaire. La réalisation et l'aboutissement de ce travail sont le résultat, la réussite et le couronnement de leurs efforts.

Nous adressons nos remerciements de gratitude au Professeur Bernard Sindayihebura qui, en dépit de ses multiples responsabilités, a accepté de diriger ce mémoire avec dévouement et enthousiasme. Ses conseils, sa patience, sa compréhension, sa sensibilité à nos difficultés et ses suggestions ont contribué à bien orienter nos réflexions, à combler les omissions et à estomper les encombrements. Qu'il trouve ici la fierté de son concours.

Nos vifs remerciements vont à l'endroit des militaires de la marine burundaise pour leur hospitalité et les moyens mis à notre disposition. Ceux-ci nous ont permis de faire la visite du terrain via le tour, à bord de leur vaisseau, sur le lac Tanganyika. Ce qui nous a permis de nous rendre compte des impacts encourus par les différents enjeux établis sur le littoral de ce lac.

Ils vont également chez le personnel de Croix Rouge-Burundi (branche de Bujumbura) en collaboration avec OIM-DTM pour les informations et données fournies.

Nos sincères remerciements vont également à l'endroit de toute personne (parents, oncles, tantes, amis, collègues, etc.) qui s'est intéressée à nous et à nos activités académiques. A tous ceux qui nous ont tendu la perche de sauvetage durant toute cette longue épreuve.

A tous et à chacun, qu'ils trouvent à travers ces pages le symbole de nos indéfectibles et profonds remerciements de gratitude pour nous avoir apporté leur soutien tant matériel que moral comblé d'amour et de sagesse.

Jean Claude Iyankunze

RESUME

Le rythme d'urbanisation rapide avec une péri-urbanisation accélérée face aux situations juridiques ambigües portent préjudice sur la production du logement, la disponibilité des terres et de l'alimentation en eau dans la ville de Bujumbura qui deviennent des enjeux majeurs. L'explosion démographique combinée avec l'habitat individuel dans la ville de Bujumbura entraînent une croissance urbaine souvent anarchique, la pauvreté, l'insécurité et la vulnérabilité des enjeux divers. Par ailleurs, la préservation de la nature doit réconcilier la ville et ses impératifs via une réflexion véritable quant aux désirs des hommes et des finalités mieux engagées.

Cependant, la protection et la prévention aux risques d'inondations sont des actions incontournables pour le développement durable de la ville de Bujumbura et de la rive droite du lac Tanganyika en particulier. La transgression lacustre ainsi que les crues des cours d'eau qui dévalent les contreforts des Mirwa et se déversant dans le lac Tanganyika provoquent des catastrophes plus destructrices. Ils occasionnent d'importants dégâts tant matériels qu'humains sur le littoral du lac Tanganyika où en 2021, 5 759 ménages ont été victimes d'inondations en Mairie de Bujumbura dont 1 858 ménages pour la zone d'étude seulement et 1 197, 914 hectares submergés avec de multiples enjeux (infrastructures) affectés sur place en 2020-2022. Cette transgression porte préjudice sur trois hôptitaux, le réseau de pompage (représentant 80% d'eau potable distribuée dans la ville de Bujumbura), l'entrposage pétrolier (SEP), la station d'épuration (SEB) et des industries, qui ont une ampleur national et/ou municipale ainsi que des enjeux divers sur la rive droite du lac Tanganyika.

Intitulée « Enjeux, Risque et Vulnérabilité de la zone péri-urbaine de la ville de Bujumbura (Burundi) et impacts associés. Exemple de la rive droite du Lac Tanganyika », notre étude a identifié le phénomène déclencheur d'inondation dont l'hydrologique (climatologie et hydrologie) en interaction directe avec la géomorphologique (géologie et topographie). La main de l'homme n'étant pas exclue (la non-planification et l'urbanisation sauvage) en tant que facteurs d'aggravation.

Notre étude montre que le rapport entre les aspects topographiques, hydrométéorologiques, humains et aménagement est responsable de la vulnérabilité au risque d'inondation sur la rive droite du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura avec la probabilité de rememorer le niveau atteint en 1964 (777,08 m) qui est de 5,57%. Ainsi donc, le quadruplet responsable de l'inondation est en relation directe avec les phénomènes naturels amplifiés par des phénomènes anthropiques.

Mots-clés : Enjeux, Risque, Vulnérabilité, Rive, Aménagement

ABSTRACT

Rapid urbanization pace with accelerated peri-urbanization is threatening housing production, land availability and water supply in Bujumbura city, which are becoming major challenges in the face of ambiguous legal institutions. The population explosion combined with individual housing in the city of Bujumbura, often lead to an anarchic urban growth, poverty, insecurity and vulnerability of various issues. Furthermore, nature conservation must reconcile the city and its imperatives through a genuine reflection on human desires and better committed goals.

However, protection and preservation of flood risks is an essential action for the sustainable development of Bujumbura city and the right bank of Lake Tanganyika in particular. More threatening disasters are caused by lake transgression and floods of rivers and streams, which flow down the Mirwa foothills, tributaries of Lake Tanganyika. They cause significant damage to both property and people on the shore of Lake Tanganyika; where in 2021, 5,759 households were victims of flooding in Bujumbura City Hall, including 1,858 households and 1,197.914 hectares overflowed within issues (infrastructures) on place for the study area alone in the period 2020-2022. It injured three hospitals, water push lines (represent 80% of water-supply in the Bujumbura city), the oil storage facility (SEP), the water treatment plant (SEB) and industries, which are national and/or municipal in scale, and so many strakes on the right bank of the lake Tanganyika.

Titles “Stakes, Hazard and Vulnerability of the peri-urban area of Bujumbura City (Burundi) and associated impacts. Example of the right bank of the Lake Tanganyika”, helped to identify flood-triggers including hydro meteorological hazards (climatology and hydrology) which interact directly with the geomorphological hazards (geology and topography). The human hand in not excluded through no-planning and lumpy-urbanization; as an aggravating phenomenon.

Relationship between the topographic, hydro-climatic, human aspects and planning are responsible for the vulnerability to the flood risk on the right bank of Lake Tanganyika with 5.57% of the probality to hark back the level hitted in 1964 (777.08 m) . Thus, we assert that this quadruplet responsible for flooding is directly related to natural phenomena amplified by anthropogenic phenomena.

Keywords: Stakes, Hazard, Vulnerability, Shoreline, Planning

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY i
DEDICACE ii
REMERCIEMENTS iii
RESUME iv
ABSTRACT v
TABLE DES MATIERES vi
LISTE DES ILLUSTRATIONS viii
Liste des figures viii
Liste des tableaux viii
Liste des photos ix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS x
AVANT PROPOS xii

INTRODUCTION GENERALE 1
Chapitre I : DEFINITIONS, CONCEPTS ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE 6
1.1. Définitions 6
1.1.1. Enjeu (x) majeur (s) 6
1.1.2. Risque 7
1.1.2.1. Aléa (s) 7
1.1.2.2. Inondation 8
1.1.3. Vulnérabilité 10
1.1.4. Littoral 11
1.1.5. Aménagement 11
1.1.5.1. Etalement urbain 12
1.1.5.2. Planification urbaine 13
1.1.5.3. Péri-urbanisation 13
1.2. Concepts : De la ville concentrique à la vulnérabilité 14
1.3. Approche théorique 17
1.4. Objectifs de la recherche 18
1.4.1. Objectifs généraux 18
1.4.2. Objectifs spécifiques 18
1.5. Problématique 19
1.6. Questions de fond 20
1.7. Hypothèse de recherche 20

Chapitre II : METHODOLOGIE, MATERIELS, DELIMITATION DU SUJET ET DE LA ZONE D'ETUDE 21
2.1. Méthodologie et matériels de la recherche 23
2.1.1. Revue de la littérature 23
2.1.2. Collecte des données 23
2.2. Méthodologie de traitement et d'analyse des résultats 24
2.2.1. Analyse des données cartographiques 24
2.2.2. Analyse des données statistiques 25

2.3. Délimitation du sujet 26
2.4. Localisation et délimitation de la zone d'étude 27
2.5. Problèmes rencontrés 29

Chapitre III : ANALYSE DE L'ALEA D'INONDATION ET DE LA VULNERABILITE 31
3.1. Analyse de l'aléa d'inondation dans la zone d'étude 31
3.1.1. Facteurs déclanchants 31
3.1.1.1. Facteurs pluviométriques 31
3.1.1.2. Facteurs hydrologiques 33
3.1.2. Facteurs soudjacants 36
3.1.2.1. Contexte régional 36
3.1.2.2. Facteurs topographiques 36
3.1.2.3. Facteurs géo-pédologiques 40
3.2. Analyse de la vulnérabilité 43
3.3.1. Facteurs anthropiques 43
3.3.2. Aménagement et planification 45
3.3.2.1. Cadre juridique et institutionnel 45
3.3.2.2. Etalement urbain et péri-urbanisation 48
3.3.3. Occupation du sol 51

Chapitre IV : ANALYSE DU RISQUE D'INONDATION 53
4.1. Probabilité de survenue de l'inondation 53
4.2. Niveau de sévérité de l'inondation dans la zone d'étude 54
4.3. Intensité destructive de l'inondation 58
4.4. Hauteur de submersion à l'inondation 59
4.5. Place d'occurrence de l'inondation sur la rive droite du lac Tanganyika 62
4.6. Perception du risque d'inondation 65
4.7. Coût de l'inaction face à l'inondation 68
4.8. Proposition des mesures 72

CONCLUSION GENERALE 76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 78

ANNEXES 85
Annexe 1. Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de 2014 85
Annexe 2. Schéma Directeur d'Aménagemen et drbanisme de 1982 86
Annexe 3. Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de 1966 87
Annexe 4. Bassin du Lac Tanganyika et ses caractéristiques 88
Annexe 5. Schéma d'aménagement du littoral du lac Tanganyika (SALT) 89
Annexe 6. Resultats des traitements au Statistica 7.0 91
Annexe 7. Levé topographique 93
Annexe 8. Quelques photos 100

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Liste des figures

Figure 1.1. Modèle de Burgess et Park dans le cas de Chicago 15
Figure 1.2. Modèle des zones concentriques modifié par la présence d'axes de transport 16
Figure 2.1. Structuration de la recherche selon Piergiorgio Corbetta 21
Figure 2.2. Schéma méthodologique suivi dans la recherche 22
Figure 2.3. Localisation de la zone d'étude 28
Figure 3.1. Carte hypsométrique de la zone d'étude 38
Figure 3.2. Coupe géologique à Kinanira à gauche (à 810 m d'altitude) et à Kinindo à droite (Maison SOCABU à 785 m d'altitude) 41
Figure 3.3. Coupe géologique à Kinindo à gauche (Maisons des officiers à 780 m d'altitude) et à Kibenga à droite (765 m d'altitude) 41
Figure 3.4. Coupe géologique à Kanyosha (Ecole Primaire de Kanyosha à 812 m d'altitude) 41
Figure 3.5. Périphérisation de la ville de Bujumbura de l'après 2000 49
Figure 4.1. Variation du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021 53
Figure 4.2. Distribution de la variabilité du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021 60
Figure 4.3. Zones inondées selon les niveaux déjà observés depuis 1878 à 2021 64
Figure 4.4. Relevé des enjeux susceptibles d'être affectés d'inondation (selon le niveau déjà reconnu et le niveau d'alerte maximal) 71
Figure annexe 1. SDAU 2014 de Bujumbura à l'horizon 2025 (République du Burundi, 2014b) 85
Figure annexe 2. SDAU 1982 (Misago et Niyonkuru (1987) retouché par l'auteur) 86
Figure annexe 3. SDAU 1966 (Misago et Niyonkuru (1987) retouché par l'auteur) 87
Figure annexe 4. Bassin du lac Tanganyika (Nibirantije, 2017) 88
Figure annexe 5. Schéma d'aménagement du littoral du lac Tanganyika entre les rivières Mutimbuzi et Kagera (Kigaramango) (ONT, 1992) 89
Figure annexe 6. Schéma d'aménagement du littoral droit du lac Tanganyika entre les rivières Kanyosha et Mutimbuzi (ONT, 1992) 90

Liste des tableaux

Tableau 3.1. Pluviométrie dans le Bassin du lac Tanganyika 32
Tableau 3.2. Bilan hydrique du lac Tanganyika de 1933 à 1998 32
Tableau 3.3. Précipitations de 2010 à 2021 33
Tableau 4.1. Occurrence d'inondation et enjeux impactés 58
Tableau 4.2. Fluctuation du niveau des eaux du lac Tanganyika de 1878 à 2021 59
Tableau 4.3. Surfaces inondées et estimation de volume d'eau selon la hauteur de submersion entre la Mugere et la Mutimbuzi 60
Tableau 4.4. Enjeux susceptibles d'être affectés dans la zone d'étude en 2021 69
Tableau annexe 1. Levé topographique 93

Liste des photos

Photo 3.1. Effondrement sur la rive gauche, destruction des enjeux et alluvionnement sur la rive droite d'un canal d'évacuation des eaux à Nyabugete I, à 350 m du lac Tanganyika . 35
Photo 3.2. Effondrement sur la rive droite de la Kizingwe et sédimentation vers son embouchure 35
Photo 3.3. Zone marécageuse occupée de jacinthe d'eau le long du lac Tanganyika, à Kibenga « rural » 39
Photo 3.4. Niveau de la hauteur de submersion et caniveau devenu un lieu de pêche à Kinindo bas..... 39
Photo 3.5. Sol à texture sableux, sablo-argileux et argileux..... 40
Photo 3.6. Maison effondrée le 9 mars 2011 à Kibenga « Rural »..... 42
Photo 3.7. Evolution du bâti sur la rive du lac Tanganyika entre 2010 (en haut) et 2021 (en bas) (exemple entre les rivières Kanyosha et Mugere))..... 44
Photo 3.8. Hôtel érigé sur un '*no man's land*' dans Kinindo-bas..... 50
Photo 3.9. Occupation des quartiers nouvellement ouverts dans une zone à inondation permanente à Nyabugete III 51
Photo 3.10. Vue aérienne de la Nyabugete phase II, III, IV et Ruziba près de la rivière Mugere52
Photo 4.1. Inondation près de et dans la zone aéroportuaire de Bujumbura par la rivière Mutimbuzi 55
Photo 4.2. Avenue de Kibenga « Rural » sous les eaux après une averse..... 55
Photo 4.3. Etat de lieu d'une parcelle de Kinindo-bas après une pluie diluvienne..... 56
Photo 4.4. Voies de circulation dans Bujumbura à Kinindo bas, envahie par la jacinthe d'eau suite à la montée du lac Tanganyika 56
Photo 4.5. Transgression du lac Tanganyika à Kibenga « rural » 57
Photo 4.6. Limnimètre et limnigraphe au Port de Bujumbura (niveau 776,42 m) 61
Photo 4.7. Lacoste Beach noyé complètement dans les eaux du lac Tanganyika 63
Photo 4.8. Maisons en pleine eau du lac Tanganyika à Kibenga « Rural »..... 63
Photo 4.9. Espace aménagé de Nyabugete phase II sous l'eau..... 65
Photo 4.10. Indifférence des occupants : construction dans les eaux du lac à Zion Beach 67
Photo 4.11. Erection des maisons de grande fortune sur le site inondé à Kibenga 67
Photo 4.12. Bâtiment à deux niveaux en cours d'effondrement à Kinindo-bas 68
Photo 4.13. Erosion des berges menaçants plusieurs enjeux socio-économiques : route reliant le service de la marine, le bâtiment abritant le service d'immatriculation de l'OBR et les bâtiments portuaires de Bujumbura suite à la force de la marée haute..... 70
Photo 4.14. Enrochement de pied de la rive du lac Tanganyika pour protéger le Boulevard du Japon 74
Photo 4.15. Protection de berge par enrochement avec couvert végétal sur le Boulevard du Japon 74
Photo 4.16. Mur préventif contre la transgression lacustre en destruction entre Kinindo bas et Kibenga « rural »..... 75
Photo annexe 1. Pollution du lac Tanganyika par un cours d'eau (embouchure de la rivière Rusizi)..... 100
Photo annexe 2. Pollution de la rive droite du lac Tanganyika (avenue de la Plage)..... 100
Photo annexe 3. Départ de l'équipage (le vaisseau en pleine eau du lac Tanganyika) avec nos coéquipiers de classe et le Professeur Bernard Sindayihebura 101
Photo annexe 4. Visite de Nyabugete II avec le Professeur Jean Marie Sabushimike et nos coéquipiers de classe..... 101

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ALT/LTA : Autorité du Lac Tanganyika/Lake Tanganyika Authority
AMPF : Autorité Maritime Portuaire et Ferroviaire (Burundi)
BRARUDI : Brasserie et Limonaderie du Burundi
CAUE : Conseil d'Architecture d'Urbanisme et d'Environnement (France)
CIS : Coefficient d'Infiltration du Sol
CNB : Centre Nautique de Bujumbura
COGERCO : Compagnie de Gérance du Coton
COS : Coefficient d'Occupation du Sol
CSLP II : Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté, deuxième génération
CTB : Coopération Technique Belge
DTM : Displacement Tracing Matrix/Matrice de Suivi des Déplacements
Ecofo : Ecole Fondamentale
Enabel : Enable Belgium/Coopération de Développement Belge (ancien CTB)
EWC III : Troisième Conférence Internationale sur les Systèmes d'Alerte Précoce/Third Early Warning Council
FLSH : Faculté des Lettres et Sciences Humaines
FNCC : Fonds National pour l'Environnement et le Changement Climatique
GPS : Global Positioning System
ICF : International Coaching Federation
IGEAT : Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire
IGEBU : Institut Géographique du Burundi
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
ISTEEBU : Institut des Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi
LATAWAMA : Lake Tanganyika Water Management
LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
MDP : Mécanisme pour un Développement Propre
MEA : Ministère de l'Elevage et de l'Agriculture
MEEATU : Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme
MSPLS : Ministère de la Santé Publique et de la Lutte contre le SIDA
MTTPE : Ministère des Transports, des Travaux publics et de l'Equipement
MTTPEAT : Ministère des Transports, des Travaux Publics, de l'Equipement et de l'Aménagement du Territoire
OBR : Office Burundaise des Recettes
OCDE/OECD : Organisation de Coopération et de Développement Economiques/Organization for Economic Co-operation and Development
OCHA : United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs/Office pour la Coordination des Affaires Humanitaires des Nations Unies
ODD : Objectif de Développement Durable
OIM/IOM : Organisation Internationale des Migrations/UN Migration Agency
ONGs/NGOs : Organisations Non-Gouvernementales/Non-Government Organizations

ONT	: Office National du Tourisme
OUA	: Organisation de l'Union Africaine
PAIOSA	: Programme d'Appui Institutionnel et Opérationnel au Secteur Agricole
PANA	: Plan d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques
PBLT	: Projet sur la Biodiversité du Lac Tanganyika
PDU	: Plan de Développement Urbain
PLH	: Plans Locaux de l'Habitat
PLU	: Plans Locaux d'Urbanisation
PNPRGC	: Plateforme Nationale de Prévention des Risques et Gestion des Catastrophes
PNUD	: Programmes des Nations Unies pour le Développement
PNUEH	: Programmes des Nations Unies pour les Etablissements Humains
POS	: Plan d'Occupation du Sol
PPEW	: Plate-Forme de Promotion pour le Développement/Platform for the Promotion of Early Warning
RAFINA	: Raffinerie Nationale
RDC	: République Démocratique du Congo
REGIDESO	: Régie de Production et de Distribution d'Eau et d'Electricité du Burundi
RGPH	: Recensement Général de la Population et de l'Habitat
RN	: Route Nationale
RTNB	: Radio Télévision Nationale du Burundi
SALT	: Schéma d'Aménagement du Littoral du lac Tanganyika
SAP	: Système (de Surveillance et) d'Alerte Précoce
SCoT	: Schéma de Cohérence Territoriale
SDAU	: Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
SEB	: Station d'Epuration de Bujumbura
SEP	: Société de Gérance du Pétrole
SHER	: Société pour l'Hydraulique, l'Environnement et la Réhabilitation. Bureau d'études (Namur, Belgique)
SIG/GIS	: Système d'Information Géographique/Geographic Information System
SIP/sm	: Société Immobilière Publique / société mixte
SNP	: Société Nationale des Peaux
SOCABU	: Société d'Assurance du Burundi
SPTD	: Sociétés, Pouvoirs, Territoires, Développement Durable
UB	: Université du Burundi
UN/DAF	: Nations-Unies/Plateforme d'Assistance au Développement/United Nations Development Assistance Framework
UN/ISDR	: Nations-Unies/Stratégies International pour la Réduction/Prévention des Catastrophes United-Nations/International Strategy for Disaster Reduction
UPRONA	: Union Progrès National
US$	: Dollars des Etats-Unis d'Amérique/United State Dollars
UTM	: Universal Transverse Mercator/Transverse de Mercator Universel
WGS	: Word Geodesic System/Système Géodésique du Monde
ZPP	: Zones de Projets Particuliers

AVANT PROPOS

Le travail de recherche, pour qu'il ait son apport dans le domaine concerné, doit avoir une vision. L'objectif de cette recherche est de contribuer à la connaissance du risque d'inondation et la vulnérabilité des biens et divers enjeux de la rive droite du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura.

Cette étude est motivée par des observations faites pendant les travaux de terrains en tant qu'étudiant en aménagement. Cependant, la réduction de la vulnérabilité découle de la compréhension des facteurs influençant des effets destructeurs qui occasionnent des dégâts humains et/ou matériels.

Ainsi, dans ce travail de recherche, nous avons constaté que la vulnérabilité de notre zone d'étude découle du quadruplet géomorphologie – hydro – pluviométrie – aménagement – démographie. L'hydrologie joue le rôle déclencheur. Elle est associé au climatologie en interaction directe avec la topographie par la pente et les substrats géologiques (zone alluvionnaire ; essentiellement de formation sableuse et argileuse). Les faits ou les actions de l'homme, par la non-information, le manque de la culture du risque, l'ignorance, l'indifférence, la non-planification, l'urbanisation sauvage, etc. concourent en tant que facteurs d'aggravation de la situation d'un espace déjà en proie de l'inondation au regard de caractéristiques physiques de cette zone d'étude.

A la fin de ce travail, une esquisse de propositions de mesures a été augurée en vue de faire face à ces inondations récurrentes et réduire le niveau de la vulnérabilité de divers enjeux de cette zone.

INTRODUCTION GENERALE

L'intervention volontariste de l'homme sur les conditions naturelles et géographiques remonte fort loin dans l'histoire des sociétés. Selon Dahman (1984), tous les empires constitués ont organisé des travaux plus ou moins grands : Chinois, Incas, Mayas, Aztèques, etc. De même, la féodalité a jeté les premières bases de l'aménagement du territoire accompagnées de nouvelles structures productives, techniques et culturelles (Dahman, 1984). Cette intervention a été étendue par la colonisation européenne pratiquement à tous les autres continents. L'intervention de la colonisation ayant eu des effets sur les villes africaines en général et en particulier les villes francophones (Diaz Olvera, Plat et Pochet, 2002).

Le rythme d'urbanisation en Afrique est très rapide malgré l'émergence tardive de l'urbanisme sur ce continent. Par le fait de leur croissance démographique très rapide, les villes africaines connaissent une urbanisation désordonnée (Billaudot et Besson-Guillaumot, 1979), et ce d'autant plus que ces changements se produisent dans une période de crise économique. Ces villes subissent une urbanisation rapide avec une péri-urbanisation accélérée, la terre et le logement devenant des élements de concurrence (Föster et Ammann, 2018) et cela à cause des situations juridiques ambigües. Dans ces pays déjà parmi les plus pauvres de la planète, cette persistance de la crise se traduit par de faibles ressources financières tant pour les collectivités publiques que pour la grande majorité des citadins (Diaz Olvera, Plat et Pochet, 2002).

Héritée de l'ère coloniale pour la plupart, l'Afrique est demeurée rurale dans la région de l'Est et Sud à l'exception des côtes swahili qui ont existé avant le long des côtes Est. Cependant, la modernisation des villes africaines n'est pas facile surtout dans les zones « informelles » (Föster et Ammann, 2018). La superficie des villes tend à croître encore plus rapidement que la population. Mais, pour arriver à une bonne intervention sur le milieu, il faut avoir une planification qui prévoit des affectations des terres à bon escient.

Bujumbura, comme beaucoup de villes d'Afrique francophone, est une ville héritée de la colonisation. À l'époque coloniale, l'autorité de tutelle avait déclaré plusieurs terres de Bujumbura relevant du domaine de l'Etat, ceci résultant de l'importance que lui conférait sa fonction de capitale du Rwanda-Urundi. Ce qui supposerait des réserves foncières suffisantes pour l'installation des services publics (Schmidt in Sindayihebura, 2005).

En 1978, l'enquête faite par la faculté des Sciences Economiques et Administratives de l'Université du Burundi (Dayer, 1979) montre que Bujumbura ne comptait que 136 200 habitants en 1979 avec un taux de croissance continu, calculé sur huit ans de 4,605%. Dès lors, la croissance exponentielle de la ville de Bujumbura et de ses environs s'est accompagnée d'une crise foncière urbaine associée à la pauvreté, à la pénurie de logements, à l'insécurité, à la vulnérabilité face aux risques naturels et technologiques et aux pollutions de tout genre (Sindayihebura, 2005).

La gestion du milieu de Bujumbura n'est pas facile suite à une croissance sans cesse rapide, démesurée et surtout incontrôlée et dont le rythme est devenu aujourd'hui très inquiétant et d'une planification défaillante et non concertée (Iyankunze, 2012). Cela se remarque avec la RGPH 2008 où Bujumbura compte 97 705 ménages soient environ 479 155 habitants (ISTEEBU, MSPLS et ICF International, 2012) alors qu'il ne comptait qu'à peu près 2 500 habitants en 1915 (Ndayirukiye, 1986). Les projections de l'ISTEEBU montraient qu'en 2015, Bujumbura Mairie hébergeait 674 941 habitants et enregistrerait une croissance de quelques 50 000 personnes par an (ISTEEBU, 2017). En 2021, Bujumbura hébergerait 776 258 d'habitants et abritera 1 008 129 habitants en 2035 (ISTEEBU, 2020).

Qu'il s'agisse du lotissement des parcelles, de la production du logement ou de la fourniture des services de base, les interventions publiques ne sont pas à la hauteur de satisfaire les besoins des citadins (Diaz Olvera, Plat et Pochet, 2002). La production des terrains libres n'étant pas suffisante, on assiste à la naissance des quartiers semi-ruraux et des quartiers spontanés hors des zones planifiées. Le développement de ces quartiers semi-ruraux et l'extension des quartiers populaires depuis 1980 se sont effectués essentiellement dans le secteur du Nord de la Ntahangwa et au Sud de Muha, en général dans la périphérie de la ville de Bujumbura (Sindayihebura, 2005).

Cette péri-urbanisation se fait au détriment des étendues auparavant réservées à la culture du riz (au Nord). Ces espaces étaient mise en place depuis la création des paysannats des années 1951 à proximité du périmètre urbain d'Usumbura pour l'approvisionner en vivre (riz, légume frais, etc.) (Ndayirukiye, 1986, 2002). L'exode rural des années 1960, conjugué à la croissance démographique forte des années 1970, les massacres de 1972, la guerre civile de 1993, peuvent être considérés comme causes augmentant l'occupation anarchique, la spéculation foncière et l'habitat spontané dans les zones périphériques où règnent la misère et la nuisance (Sindayihebura, 2005). La stabilité des gens et institutionnelle induite par l'arrêt du conflit armé des années 2002 et 2007 y voit aussi une main quant à une croissance rapide et démesurée de la ville de Bujumbura.

Ajoutons ici le rôle des grands mobiliers et les manquements dans la planification, les incertitudes juridiques malgré l'existence de multiples législations et/ou dans le suivi des projets d'aménagement.

La préservation de la nature, dans quelques périmètres, laborieusement délimités, face à des propriétaires hostiles, ne peut être présentée comme une panacée. Il faut faire un « bon urbanisme » conciliant la ville et ses impératifs avec les besoins de la nature. Ainsi, on parviendra au rétablissement des cités plus humaines, parce que les décideurs et les aménageurs s'appuieront sur une réflexion véritable quant aux désirs des hommes et sur des finalités mieux engagées (Billaudot et Besson-Guillaumot, 1979).

Cependant, la rive droite du lac Tanganyika, objet de cette étude, est convoitée. C'est une zone à forte risque d'inondation liée à la transgresion lacustre, aux crues des cours d'eau et des crues urbains et péri-urbains. Le risque lié à la transgression lacustre est le plus marqué malgré que d'autres type ne sont pas eux aussi à ignorer. Certains endroits sont occupés sans plans préétabli (Kibenga) d'autres resultants de la volonté des services publiques (Nyabugete, Kinondo bas, Miroir, etc.). il s'avère important de penser à la protection des enjeux, d'habitants et d'habitats.

La protection au risque d'inondations est une action importante pour le développement durable. Les mesures prises pour la réduction de la vulnérabilité sont pour le plus souvent des mesures structurelles : réalisation d'endiguement, de recalibrage, de rectification, etc. Néanmoins, ces aménagements en amont ont des incidences perverses en aval. La transgression du lac et les inondations qui en découlent ainsi que les crues des cours d'eau provoquent des catastrophes plus destructrices, occasionnent d'importants dégâts matériels et en particulier sur les rives du lac Tanganyika.

Cette étude est motivée par des observations faites pendant les travaux de terrains. Etant étudiant en aménagement, nous avons été inquiétés par les menaces qui guettent la majeure partie des habitants de la rive droite du lac Tanganyika dans la ville de Bujumbura. En tenant compte de l'occurrence des montées des eaux du lac et le code de l'eau du Burundi[1], la côte préférentielle

[1] L'article 5 du code de l'eau en son alinéa 3 accorde au lac Tanganyika une zone tampon de 150 m. Depuis que le code de l'eau est signé le 26 mars 2012, il n'était pas autorisé aux gens de continuer à attribuer des parcelles pour construire dans cette zone tampon. Cela étant le cas pour les rivières qui traversent la ville de Bujumbura. Ces rivières ont droit à 25 m d'un côté et de l'autre et les rivières de l'intérieur du pays bénéficient d'un droit de 5 m de zone tampon. Pour ce cas du lac la côte de 780 m correspond à peu à cette zone tampon.

d'accueil des infrastructures divers devrait être à au moins 778 m d'altitude. Malheureusement, des infrastructures sont érigées à des endroits aux altitudes inférieures jusqu'à moins de 774 m (côte moyen du lac Tanganyika). Ainsi, depuis quelques années selon les relevés effectués par le Professeur Sindayihebura depuis 2005 sur le Lac Tanganyika, la cote d'alerte de 776,58 m a été atteint en mai 2021 (Tableau 4.2, p. 59). Ce qui a des répercusions enermes sur les riverains et leurs enjeux suite à une montée des eaux. Ces montées s'observent d'année en année avec des dégâts divers, ce qui est à l'origine de la vulnérabilité des rives du lac Tanganyika.

Ce mémoire voit le jour dans l'optique d'apprécier l'impact de la croissance de la ville de Bujumbura sur les milieux péri-urbains et le risque d'inondation qui le guette ainsi que la mise en évidence de la vulnérabilité de ce milieu sous le titre « **Enjeux, Risques d'inondation et Vulnérabilité de la zone péri-urbaine de la ville de Bujumbura (Burundi) et impacts associés. Exemple de la rive droite du Lac Tanganyika** ».

Toutefois, des zones d'ombre existent en termes d'informations nécessaires pour entreprendre une étude exhaustive de la vulnérabilité de la zone côtière du lac Tanganyika, en matière de risque. Selon le type d'aléa, inondation, on enregistre des interactions entre différents éléments, certains constituent le déclenchement et/ou l'accélération d'autres l'aggravation. On constate que les phénomènes hydrologiques (à travers les inondations et des crues en cas d'espèce) interagissent directement avec les phénomènes géologiques et topographiques (Nibigira, 2018). La main de l'homme n'étant pas elle non plus à exclure à différents niveaux d'actions liées à l'aménagement.

Nous n'ignorons pas non plus que ce travail éveillerait les aménageurs dans leurs réalisations. Il susciterait l'engouement de la volonté politique à assurer une gestion rationnelle des espaces péri-urbains et en particulier la rive droite du lac Tanganyika. Cette gestion devrait mettre en exergue la justice de l'environnement du lac Tanganyika et de cela, une protection effective de ce dernier. L'accroissement spatial des aires urbaines devrait cohabiter avec un éclatement des lieux de vie entre les centres anciens et les franges péri-urbaines (Föster et Ammann, 2018). Cela constitue une nouvelle donne qu'il faut prendre en compte pour assurer une bonne gestion des terres urbaines et périphériques, et péri-urbaines en général.

Le choix de notre étude est motivé par quatre raisons suivantes :

- éclairer les décideurs, les planificateurs, les secouristes, les aménageurs, dans le souci d'un aménagement concerté et pour usage immédiat et/ou ultérieur ;
- écarter les actions inutiles (lotissement des zones inondables par exemples : Nyabugete) des décideurs et dissuader les spéculateurs tout en économisant le temps employé pour différents aménagements et pour les utilisateurs ;
- éclater un nouveau dynamisme d'aménagement péri-urbain au Burundi qui prend en compte les facteurs de vulnérabilité des sites à ouvrir et/ou ouverts.

Ce choix présente trois intérêts suivants :

- **l'intérêt personnel** : Ceci est d'autant plus important dans la mesure où il sera question de mettre en pratique les connaissances acquises durant notre cursus de formation en aménagement. C'est une occasion favorable pour améliorer nos connaissances et notre savoir-faire afin de présenter un travail satisfaisant dans le domaine de notre intervention : l'Aménagement ;
- **l'intérêt scientifique et académique** : Chaque travail de recherche constitue un domaine qui met en évidence des données réelles et vérifiables pouvant servir à d'autres études par les chercheurs et surtout aux décideurs, tout en visant l'amélioration de la qualité des conditions de vie de l'humanité qu'ils sont appelés à servir. Cette étude va contribuer dans l'enrichissement du circuit de la recherche scientifique surtout en terme en connaissant le risque et la vulnérabilité d'un site avant, pendant et après son ouverture ;
- **l'intérêt public** : la planification et l'aménagement se font dans l'intérêt du public qui en est bénéficiaire. L'amélioration des conditions de vie d'une population est non seulement une obligation des Etats envers leurs sujets, mais aussi une des conditions pour l'atteinte et la mise en œuvre des Objectifs du Développement Durable (ODD) et de la « vision Burundi 2025 ». Cette étude met en exergue le savoir-faire des scientifiques au profit du public via les prises des décisions raisonnées et rationnelles des décideurs.

Le chapitre premier développe les définitions, les concepts et l'approche théorique en rapport avec notre sujet. Elle émet la problématique, les objectifs, la question de fond et les hypothèses de cette recherche.

Chapitre I : DEFINITIONS, CONCEPTS ET OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

L'ampleur des impacts humains et économiques d'un aléa est liée aux différents types de risques dont ils sont soumis. Ce risque n'est pas le même et dépend de l'aléa et de la vulnérabilité auxquels le territoire est exposé. Les inondations sur la rive droite du lac Tanganyika, associées aux défaillances de l'aménagement et de planification, sont à relever.

1.1. Définitions

Notre travail s'articule autour de quelques mots-clés développés ci-après. Ces mots méritent d'être éclaircis dans le but de faciliter la compréhension de notre travail par les lecteurs.

1.1.1. Enjeu (x) majeur (s)

Selon le Larousse, l'enjeu est « *ce qu'on risque de gagner ou de perdre dans une entreprise ou dans une activité donnée*» (https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/enjeu/29621) avec la survenu d'un aléa (Ruzima et Hetz, 2017) ; il s'agit aussi de la perte des moyens de substance, de la vie huamaine, des moyens matériel et environnementaux. Il désigne l'ensemble des éléments de l'occupation de l'espace d'ordre humain, socio-économique, patrimoniaux et environnementaux (infrastructures, hommes, biens, moyens, activités, éléments du patrimoine culturel ou environnemental, etc.) et susceptible d'être affecté par un phénomène retenu dans le cadre du Plan de Prévention des Risques et de subir des dommages et/ou de préjudice (Bouchir, 2007; Sindayihebura, 2021).

L'identification d'un risque a pour objectif de recenser l'ensemble des enjeux dans un territoire affecté par un ou plusieurs aléas afin de mettre en place les projets envisagés dans le but de réduire la vulnérabilité (http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/enjeux). Il existe des enjeux incontournables (enjeux majeur) permettant la compréhension de la nature et l'organisation du territoire ; des enjeux complémentaires qui identifient les points particuliers de vulnérabilité au sein de la zone précédemment bien définie tout en définissant les liens et relations fonctionnelles dans cet espace (bâti, équipements, établissement relevant du public, etc.) ; des enjeux patrimoniaux et environnementaux ; des infrastructures de transport et des ouvrages et équipements d'intérêt général (D'Ercole et Mitzger, 2009; Sindayihebura, 2021).

1.1.2. Risque

Le risque est déterminé par l'aléa (l'intensité et la fréquence), par son niveau de sévérité et de vulnérabilité au sein d'une société ainsi que les forces disponibles au sein de cette société, communauté ou organisation pour faire face, atténuer ou réduire les impacts dus à l'aléa (Ruzima et Hetz, 2017). Durant des années, le risque lié à l'eau (pluviosité, inondation, etc.) s'observe et influe sur les systèmes naturels et humains provoquant ainsi des modifications à différentes échelles. Dans plus de cas, les risques écologiques sont liés aux risques sociaux (République du Burundi, 2014a).

Cependant, « il n'y a risque que parce que le groupe social ou l'individu se perçoit comme fragile, vulnérable face à un processus qui peut être un processus naturel. La vulnérabilité a donc une composante objective liée au processus qui peut survenir et une composante subjective liée à la perception du danger » (Veyret, 2004). Ainsi, la définition mathématique du risque le met en étroite liaison avec la vulnérabilité et l'aléa. Ainsi Dauphiné a donné une appréciation mathématique plus simple du risque (Dauphiné et Provitolo, 2013) :

$$\boxed{(\boldsymbol{Risque} = (\boldsymbol{al\acute{e}a}) \times (\boldsymbol{Vuln\acute{e}rabilit\acute{e}})}$$

L'exposition d'un site a un aléa est accentué par la morphologie urbaine depuis que le site initial de la ville est été dépassée (D'Ercole *et al.*, 2015). Les chaînes de menaces sont liées aux contextes topo-climatiques aggravés par le dysfonctionnement urbain interne et externe et accentués par les facteurs humains en particulier dans les zones littoralles.

1.1.2.1. Aléa (s)

L'aléa est un phénomène menaçant d'origine humaine et/ou physique, susceptible d'affecter un espace donné et en particulier la nature et la valeur des éléments que cet espace supporte (Bani Samari, 2011). L'aléa est lié à la notion du hasard et donc de la probabilité, de l'occurrence d'un phénomène, des perturbations socio-économiques ou des dommages à l'environnement donc de subir l'effet d'un danger (Nibigira, 2018). Il a sa nature, son identité, sa probabilité d'occurrence et se manifeste par son occurrence et son intensité (Conseil Général de l'Essonne, no daté). L'aléa représente un phénomène naturel ou anthropique et non maîtrisable quels que soient les effets qu'il peut engendrer sur l'environnement et les activités humaines.

1.1.2.2. Inondation

Le risque d'inondation étant la somme ou la co-occurrence de l'aléa hydrographique et de la vulnérabilité à un endroit donné, apparaît comme un risque naturel[2](UN/ISDR et PPEW, 2006). L'inondation au Burundi est classée parmi les risques majeurs avec des menaces évidentes sur l'homme, sur l'environnement et sur les installations (République du Burundi, 2014a). Ses gravités dépassent souvent les pouvoirs des sociétés et provoquent d'immenses désastres.

Le terme inondation signifie la submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau, ce qui peut être dû aux pluies importantes sur une longue durée et en intensité (Khalifa, 2015). Par ailleurs, son évaluation en termes de dégâts provoqués tient compte de la durée de submersion, de la hauteur de submersion, de l'espace occupé (Bani Samari, 2011). Pour le cas des inondations liées aux cours d'eau, on tient compte aussi du volume de matière solide transporté et de l'érosion des berges provoquée (Région Nouvelle-Aquitaine et L'ORE Poitou-Charentes, 2015).

Les inondations figurent au premier rang des catastrophes naturelles dans le monde contemporain et sont responsables d'environ 20 000 victimes par an dans le monde (Khalifa, 2015). De 2018 à 2021, 4 419 personnes réparties dans 1 763 ménages dans Bujumbura Rural, 433 personnes réparties dans 58 ménages à Bujumbura Mairie, 11 029 personnes réparties dans 1 543 à Rumonge et 4 225 personnes réparties dans 624 ménages à Makamba ont été affectées par la montée du lac Tanganyika (OCHA, avril 2021; IOM-Burundi et Croix-Rouge-Burundi, sept 2021).

L'occurrence des inondations et crues est caractérisée (Madi, 2014; Conseil Général de l'Essonne, no daté) par la fréquence de survenance (période de retour), l'intensité destructrice, la hauteur et la durée de submersion, la vitesse du courant, le volume de matière transportée.

Certains facteurs sont responsables d'une amplification du risque d'inondation (Madi, 2014) :

- facteurs naturels par la pente, type de bassin (bassins ramassés par exemple), densité des cours d'eau, perméabilité du bassin, l'absence de la végétation (augmentation de l'écoulement et réduction de l'infiltration), etc.

[2] Les risques naturels sont tous catastrophes dits naturels où l'action de l'homme n'est pas mise en évidence, notamment le tremblement de la terre, l'inondation, les tempêtes, les ouragans, les tornades, les cyclones, les typhons, les raz-de-marée, effet de serre, etc. D'autres sont des risques technologiques et anthropiques (entre autres le nucléaire, la rupture de barrage, les accidents de roulage, etc.) qui sont liés aux activités humaines (Madi, 2014).

- facteurs anthropiques par l'imperméabilisation des sols avec augmentation du ruissellement, du débit par une réduction du temps disponible pour faire face à l'aléa. On note aussi l'occupation par des habitations et autres infrastructures des plaines alluviales (Gatumba) et lacustres (Kibenga, Nyabugete) et zone de repos d'eau (Miroir, Buterere) ainsi que la défiance des dispositifs de protection.

Il existe trois types d'inondation (Bani Samari, 2011; Région Nouvelle-Aquitaine et L'ORE Poitou-Charentes, 2015) :

- les inondations lentes : se produisent en plaine lorsqu'il y a la remontée du niveau d'eau des nappes phréatiques après plusieurs années qu'elles sont humides. Elles peuvent aussi découler de la lente sortie d'un cours d'eau de son lit mineur et inonder le lit majeur ou d'une transgression lacustre lente sur un terrain plan et (très) poreux.
- les crues torrentielles : qui se manifestent après une période de pluies intenses qui engendrent des crues brutales ou éclair et violentes.
- le ruissellement pluvial : résultant des aménagements de l'homme (imperméabilisation du sol par la voirie et les habitations, etc.) et les pratiques culturales qui limitent l'infiltration tout en favorisant le rugissement de surface en période de fortes pluies.

Au sens large, les inondations comprennent les débordements d'un cours d'eau, la remontée de nappe, les ruissellements résultant de fortes pluies d'orages, la fusion de neige (ce phénomène est non observable dans la zone intertropicale où se localise la zone qui fait objet de cette étude. Donc, ce phénomène n'a pas d'impacts sur les rives du lac Tanganyika et ne sera ni investigué ni développé dans cette recherche), les débâcles, les inondations par rupture d'ouvrages de protection ou autres ouvrages (exemple barrage hydroélectrique), les inondations estuaires (marées, situations dépressionnaires et les crues des fleuves), la transgression lacustre ou marine, etc. L'implantation, l'étalement urbain et l'urbanisation dans ces zones inondables augmentent la vulnérabilité par l'imperméabilisation et la diminution des champs d'expansion des crues et de débordement. Or, dans notre zone d'étude, on remarque souvent les transgressions lacustes qui prend la part du lion auxquelles s'ajoutent les cures des cours d'eau, les crues torentielles et les ruissellement pluvial.

1.1.3. Vulnérabilité

Selon Becerra, la vulnérabilité est une notion polysémique, multidimensionnelle, controversé etc., ce qui devient difficile pour la définir d'où plusieurs angles sont proposés selon différentes écoles d'où « *il semble illusoire de vouloir en faire la synthèse* » (Becerra, 2012). La vulnérabilité est liée aux aléas naturels et témoigne du processus d'endommagement physique, d'exposition de certains enjeux matériels ou humains aux risques (Becerra, 2012). Dans cette étude, nous optons à une vulnérabilité qui est un concept de l'analyse de risques et de la recherche sur les catastrophes naturelles dans le cadre de notre recherche.

La vulnérabilité désigne « l'ensemble des conditions et de processus résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques et environnementaux, qui augmentent la sensibilité des enjeux d'une communauté, d'une région, d'une nation aux effets des aléas. C'est aussi la probabilité pour un individu, une population, une localité ou pour quelque chose d'être plus négativement atteint que ses pairs, par une situation, par un évènement imprévu, par un aléa ou un choc »(Ruzima et Hetz, 2017). Néanmoins l'aléa est indépendant et n'a pas d'impacts en dehors du contact avec un enjeu (Gollopin, 2006) et apparaît comme l'indice de fragilité à un risque par rapport à un événement (Castel, 2009).

Cependant, la vulnérabilité s+'articule autour des variables naturelles et humaines qui évoluent dans le temps et dans l'espace, tout en ayant d'impacts sur la société exposée (D'Ercol *et al.*, 1994). Or, l'occupation et l'utilisation du sol accroissent l'exposition aux menaces (D'Ercol *et al.*, 1994). La vulnérabilité de l'occupation des sols aux inondations se traduit par les dommages économiques directs et indirects, et plus ou moins sévères, lorsque l'eau inonde une parcelle.

La vulnérabilité se définit en termes de profondeur, de durée et de période de retour d'un aléa. Cet aléa dépend du comportement hydraulique dans le bassin versant et de la gestion de risque d'inondation (Conseil Général de l'Essonne, no daté) [3], mais aussi, aux facteurs liés à l'histoire et à la culture des sociétés exposées en dépend (D'Ercol *et al.*, 1994).

[3] La source principale de ce document est le site http://www.environnement.gouv. – http ://www.prim.net (Conception réalisation : Alp'Géorisques et Graphies) d'Août 2014 de la Direction de la Prévention des pollutions et des risques du Ministère de L'Ecologie et du Développement (France)

1.1.4. Littoral

Le littoral est l'espace soumis directement à l'influence de l'océan, de la mer ou du lac. Souvent considéré comme simple rivage de limite arbitraire, réservé aux activités géostratégiques (défense, découverte, colonisation), au commerce, ainsi qu'aux activités économiques du secteur primaire (pêche, aquaculture), il est aujourd'hui devenu plus attractif à cause de ses potentialités de loisirs et de tourisme (Géorge, 1984; Villecroix, 2019).

Le littoral est un espace de concurrence de plusieurs activités. Son environnement est constitué de trois éléments essentiels (Meur-férec, Deboudt et Morel, 2008) dont :

- l'étendue d'eau ;
- la zone de contact (côte ou rivage) et
- l'arrière-pays ou hinterland.

Ce dernier (hinterland) subit des influences indirectes du lac (Pirazzoli, 1993; Meur-férec, Deboudt et Morel, 2008). C'est en fait l'espace géographique qui sépare les milieux aquatiques et terrestres.

L'homme a tendance de vanter ses améliorations de conditions de vie par l'assainissement des zones insalubres et marécageuses, l'occupation des rivages par de nouveaux lotissements, etc. alors que des conséquences sont négatives. Ainsi, Engels en 1984 (in Arthur), nous demande de ne pas trop nous vanter de nos victoires sur la nature. Cette dernière se venge sur nous et nous sommes dans son sein et que notre domination sur elle réside dans l'avantage que nous avons sur l'ensemble des créatures de connaître ses lois et de nous en servir judicieusement (Arthur, 1986). Avec le temps, le littoral est devenu et devient un espace de concurrence et d'extension des villes (Antoni et Youssoufi, 2007). Ce qui provoque son utilisation intensive parfois au détriment de l'environnement naturel ; question de problème d'aménagement et de planification.

1.1.5. Aménagement

On ne peut pas comprendre la péri-urbanisation sans avoir une idée globale sur l'aménagement d'où découle le fond de ce concept de l'étalement urbain, de la planification urbaine et de la péri-urbanisation. Ainsi, le concept d'aménagement du territoire est apparu à la fin de la seconde guerre mondiale (Dahman, 1984). Mais, l'idée et sa pratique en étaient plus anciennes, et remontent au moins à la création des grands corps d'ingénieurs de l'Etat comme l'Ecole des Mines au XVIII^{ème} siècle ou les Eaux et Forêts plus tôt encore (Dahman, 1984).

Aménager est un terme polysémique comme l'explique Roger Brunet, (1995) précisant les différentes acceptions que peut prendre ce verbe. Ainsi aménager allie des actions de protection (empêcher, protéger), aux actions d'équipement (réaliser une infrastructure), aux actions curatives (réparer) ou d'incitation (aider au montage de projet) (Brunet, 1995). L'aménagement porte aussi bien sur des éléments du paysage (routes, zones d'activités, habitations) que sur des lieux géographiques, à différentes échelles, qui peuvent faire l'objet d'un traitement spécifique : les littoraux, la montagne, etc. c'est aussi planifier (Brunet, 1995).

L'aménagement est, selon Pierre George (1984), l'action concertée d'organisation du territoire qui s'accompagne d'objets qui en définissent la portée. Cet ensemble d'actions d'aménagement vise à réaliser une optimisation de l'utilisation de l'espace régional (Géorge, 1984). L'aménagement comme l'urbanisation vise l'amélioration de l'accès de la population aux services sociaux de base de qualité ainsi qu'aux infrastructures économiques (République du Burundi, 2011). Pour aménager les territoires, tous les acteurs (acteurs institutionnels, entreprises et les habitants) doivent analyser les besoins du présent, mais aussi imaginer le territoire tel qu'il sera dans le futur. Ces acteurs doivent coopérer, participer, gérer et assurer une coordination pour un aménagement décent.

1.1.5.1. Etalement urbain

Selon l'Agence Européenne de l'Environnement, l'étalement urbain est un phénomène de l'expansion géographique des aires urbaines par l'implantation en périphérie, au détriment de larges zones principalement agricoles, de types d'habitat peu dense[4]. Ainsi, l'étalement urbain peut alors être défini comme étant l'expansion démesurée des villes, et la surconsommation de ressources qui y sont associées. C'est la situation résultant de la multiplication des espaces urbains de basse densité, non seulement dans le champ du résidentiel, mais aussi dans les domaines commercial et industriel (Simard, 2014).

Le mouvement de l'étalement urbain est le résultat de facteurs juxtaposés dont le bas coût du foncier en milieu péri-urbain, la prolifération de l'automobile, les valeurs de nostalgie face à la nature et la vie rurale, l'augmentation des revenus des ménages, l'accès facile au crédit, le rôle des promoteurs immobiliers et des gouvernements dans le processus de développement

[4] http://www.developpement-durable.gouv.fr/Quelques-definitions.html consulté le 12/02/2020

urbain (Leinberger, 2009). A cela s'ajoutent des contextes locaux : cas de l'accès à l'eau potable, la topographie ou la configuration de la trame de rues, etc. (Kelbaugh, 2013; Curtis, 2015)

L'étalement urbain est une forme d'urbanisation qui consomme plus de terrains par habitant et s'écarte de plus en plus du modèle de la ville compacte désignant une urbanisation sous forme de maisons de ville, d'immeubles contigus et d'habitats groupés dont l'accroissement se fait naturellement en continuité des urbanisations antérieures (Larose, 2011). Ainsi l'étalement urbain peut être compris comme une extension urbaine en continuité de la ville et la péri-urbanisation comme une extension urbaine en discontinuité pour une transition vers des territoires et des sociétés durables (Larose, 2011). C'est en même temps faire recours à une planification des zones urbaines et des zones péri-urbaines si non à leur restructuration.

1.1.5.2. Planification urbaine

Planifier, c'est penser au futur (tenir compte du futur), c'est contrôler le futur (agir sur le futur), c'est décider, c'est choisir (détermination consciente d'actions définies pour atteindre ses objectifs) (Figures annexes 1 à 3 pp85-87). C'est organiser un peuple et les travaux etc., c'est aussi prendre un engagement réalisable autour duquel des actions déjà effectuées s'organisent (Mintzberg, 1994). La planification est un processus qui commence par la formulation des objectifs et la définition de la stratégie, des politiques et des plans détaillés pour les atteindre. Il permet l'élaboration et la mise en œuvre des décisions qui comprend un nouveau cycle d'élaboration d'objectifs et de définitions des stratégies mises en œuvre en fonction de la performance réalisée ou à réaliser (Thief, 1986; Mintzberg, 1994; Blanc et Glatron, 2005).

La planification est une réflexion sur « quoi faire » et « comment faire » donc une procédure formalisée qui a pour but de produire un résultat articulé, sous la forme d'un système intègre de décisions (Cuenod et Cuenod, 1976). La planification vise le futur pour un aménagement durable et doit faire l'évaluation des facteurs internes et externes, menaces et forces, etc.

1.1.5.3. Péri-urbanisation

La notion de péri-urbanisation qualifie l'urbanisation se réalisant autour des agglomérations, le plus souvent aux dépens des espaces agricoles et naturels (Frétigny, 2011). Depuis quelques décennies le processus s'est diversifié socialement et spatialement, dans son peuplement comme dans ses morphologies (https ://geoconfluence.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/nition-a-la-une/notion-a-la-une-periurbanisation♯ftn1).

La péri-urbanisation se manifeste par la production d'un espace sous forme de lotissement de maisons individuelles ou par dissémination et remplissage de parcelles ouvertes à l'urbanisation sans réelle planification (Clémençon, 2012).

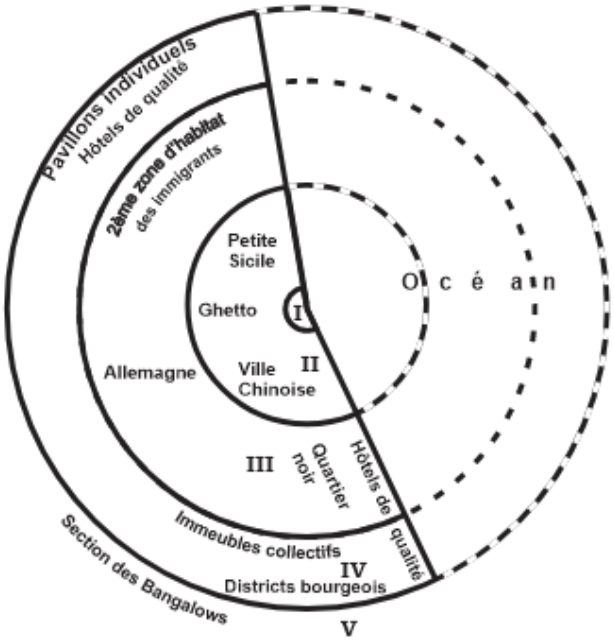
Le péri-urbain est aussi un lieu de prédilection des couches moyennes et en particulier des professions intermédiaires qui constituent incontestablement le groupe socio-professionnel dominant de ces campagnes urbaines (espace qui se complexifie sur le plan social et sur le plan spatial) (Aragau, Berger et Rougé, 2016). La péri-urbanisation touche aussi bien les grandes villes, les petites ou les gros bourgs selon les moyens qu'offrent le transport automobile et la politique culturelle locale et des enjeux relatifs au logement (Habal, 2019).

L'occupation des zones péri-urbaines de Bujumbura se fait souvent sans planification sur des zones agricoles ou couvertes. L'acquisition des terrains se fait entre l'ancien occupant coutumier et le nouvel acquéreur sans distinction socio-professionnelle (couches sociales). L'acquéreur reçoit un terrain (communément appelé parcelle) d'une superficie proportionnelle à son pouvoir d'achat. Cette dynamique se poursuit et les espaces analogues à tendance marécageuse situés au bord du lac sont envahis. C'est l'habitat dispersé du « Grand Bujumbura », qui naît spontanément hors des zones planifiées et qui joue un rôle moteur dans la formation des nouveaux quartiers et l'extension de l'espace urbanisé jusqu'à piétiner sur les espaces couverts. Dans certains endroits, la main des services de l'état se fait remarquer (Nyabugete phase I, II et III par exemple dans notre zone d'étude) dans la péri-urbanisation jusque dans les espaces normalement non destinés à acceuillir des construction pour logement (sur la côte du lac Tanganyika, les zones de repos d'eau, zones maraicageuses, etc.). C'est ainsi que cet espace péri-urbaine, sur le littoral du Lac Tanganyika, notre zone d'étude, voit des enjeux divers s'y erigés.

1.2. Concepts : De la ville concentrique à la vulnérabilité

La notion de système urbain dépend d'une part des caractéristiques de chacun des éléments qui le composent et d'autre part des relations qui les unissent. La variation de chacun des éléments entraîne celle des autres et modifie le comportement du système dans son ensemble (Cuenod et Cuenod, 1976; D'Aquino, 2002). Ainsi, nous admettons que la ville est un système global extrêmement complexe, composé des sous-systèmes aux finalités souvent contradictoires : politico-économique, sociale, culturelle, spatiale, environnementale, etc.

La théorie des zones concentriques nous intéresse dans cette étude. Elle se veut d'être un descriptif mais également tient compte d'éléments économiques dynamiques. Comme le montre Bailly (1973), cette théorie formulée de Chicago par Burgess s'apparente à celle, plus ancienne, des ceintures agricoles de Von Thünen (Cavailhes, Peeters et Thisse, 2004). Ces auteurs comme d'autres démontrent qu'il se dégage autour du centre des affaires, les lieux de rencontre des voies de communication et une zone de logements et l'ascension sociale qui se traduit par une migration géographique[5] (Figure 1.2). Les groupes sociaux favorisés se font construire de nouvelles résidences dans le cadre plus agréable de la périphérie de la ville (Bailly S., 1973).



I : Centre (The Loop)

II. Zone de transition

III. Résidence des travailleurs

IV : Résidence des classes plus aisées

V : Zone des migrations

Figure 1.1. Modèle de Burgess et Park dans le cas de Chicago (Park et Burgess. 1925. p.51 in (Baudelle et Ducom, 2009))

Cette théorie (Figure 1.2) est pourtant nuancée et critiquée. Elle ne peut pas tenir suite aux multiples anomalies existantes dans la plupart des villes. Parmi les différentes critiques, retenons celle de la concurrence pour l'utilisation de l'espace. Cette théorie suppose que les classes les plus aisées vont chercher les zones les plus favorables et qu'elles peuvent se localiser où elles le désirent (Clerc et Garel, 1998; Hoyt, 2000). Ainsi Bailly se pose la question s'il y aurait de l'homogénéité zonale même si le schéma de Burgess (Bailly S., 1973) sur Chicago, présentait des secteurs variés.

[5] http://www.hypergeo.eu/spip.php?article566 consulté le 12/02/2021

Ainsi est né le modèle des zones concentriques modifié (Figure 1.2) où l'espace prend plutôt l'allure d'une étoile selon les axes de transport et/ou les zones de pressentiment.

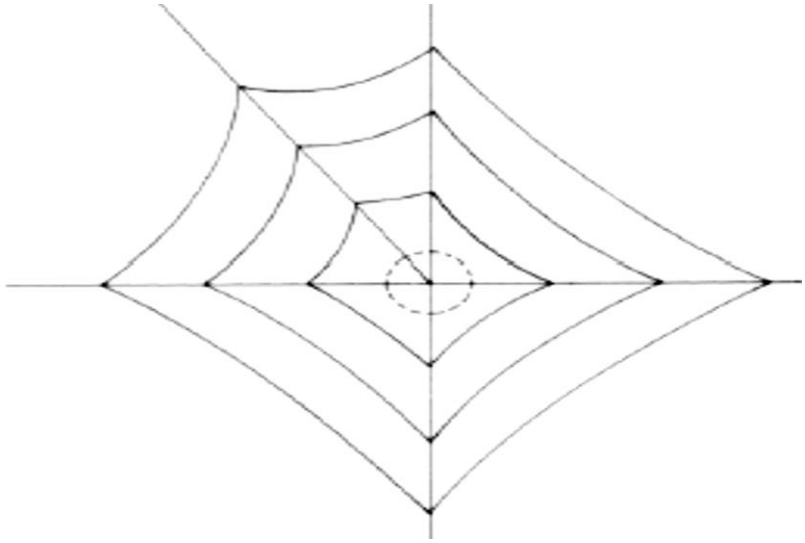


Figure 1.2. Modèle des zones concentriques modifié par la présence d'axes de transport (Bailly. 1973)

Selon Hurd (1911), repris et analysé par Hoyt (2000), il s'est révélé que la présence des axes de transit rend les terrains avoisinants plus vulnérables, accroît la valeur et la ville tend à s'étoffer, à s'allonger le long des axes (Hurd, 1911; Hoyt, 2000) (Figure 1.2). La tendance est de se développer sur les sites, le long des rives des lacs ou des rivières lorsque celles-ci ne sont utilisées que par l'industrie, sur les terrains vacants à la périphérie urbaine, et dans des localisations de prestige au voisinage des centres [quelques fois marginales] (Hurd, 1911). Cette théorie, selon Hoyt, montre que l'espace urbain ne s'organise donc pas directement de manière concentrique, mais sectorielle (Hoyt, 2000). Ce modèle n'est pourtant pas complètement à l'opposé du premier, plusieurs secteurs de la ville pouvant se regrouper sous forme de zones étoilées.

Le constat est que cette occupation est suivie de plusieurs difficultés. La priorité est souvent donnée à s'emparer de sa propre parcelle, même si elles ne sont pas viabilisées plus qu'à la planification, en soi. La double croissance, démographique et spatiale, imbibant sur l'équipement est à la base de la vulnérabilité de la ville face aux inondations grandissantes et autres aléas.

Ainsi, suite aux faibles ressources des pouvoirs publics pour le financement des équipements et infrastructures collectifs, cette augmentation démographique démesurée, se traduit par l'occupation des zones d'inondations, des zones tampons, des zones marécageuses, des zones de fortes pentes, etc. donc de zones présentant des signes de vulnérabilité ou susceptible de l'être. Ceci rejoint la théorie de la vulnérabilité territoriale qui stipule qu'au sein de tout territoire, il existe des éléments susceptibles d'engendrer et de diffuser leur vulnérabilité pouvant provoquer son disfonctionnement et compromettre son développement (D'Ercole et Metzger, 2009).

1.3. Approche théorique

La dynamique des villes, les configurations de l'urbanisation sont trop diverses selon les Etats et les régions (Pourtier, 1991). La ville tend à se fondre dans la campagne, à s'étirer jusqu'à s'étouffer et peut-être aussi de se perdre, tout devient ville et au bout du compte rien n'échappe (Othmann, 2019). Pour mettre en évidence l'implication de l'Etat dans la crise urbaine, il convient de s'interroger sur les origines des intrants monétaires qui conditionnent les échanges des biens et des services en villes (Pourtier, 1991). Le citadin résidant passe de celui de passant; en fonction de ses désirs de consommateurs d'espace, il s'empare d'une zone à l'autre, selon qu'il veut s'octroyer de l'habitant, du travail ou des loisirs (Othmann, 2019).

De ce fait, les territoires s'érodent ainsi que les identités qui ont du mal à se reconstruire. En effet, la ville est un lieu où se façonne l'histoire, c'est le lieu emblématique où s'affrontent les classes et où se jouent les grands intérêts. C'est le lieu des révolutions et de la diffusion des idées, le lieu où tout s'accélère, un incubateur d'accélération sociale et donc un lieu d'innovation (Othmann, 2019).

C'est dans cette optique que le 7ème pilier[6] de la « Vision Burundi 2025 » fait de l'aménagement du territoire un axe important de cette vision lié avec sa politique de développement économique et social, qui a pour objectif l'organisation et la gestion de l'espace national (République du Burundi, 2009, 2011). Au cœur de la stratégie sont posées les questions fondamentales de la nouvelle structure sociétale en ce qui concerne la villagisation, celle liée à la maîtrise de la démographie et à l'urbanisation (République du Burundi, 2011).

[6] Pilier 7 de la vision « Burundi 2025 » p 13 et 69-71a. Ce document vise à répondre aux questions fondamentales dont le ''Burundi Buhire'' se pose sur : Comment les barundi envisagent-ils leur avenir ? Comment veulent-ils construire une société unifiée, inclusive et réconciliée ? Quels sont les défis et les réformes nécessaires à entreprendre pour sortir le pays d'une situation socio-économique déplorable ?

L'aménagement du territoire permet en outre de dégager des terres nécessaires à la modernisation et à l'accroissement de la production agricole et à sa transformation (République du Burundi, 2009). La vision ambitionne de porter le taux d'urbanisation à 40% à l'horizon 2025 afin de pouvoir dégager les terres agricoles et fournir des opportunités d'emplois non agricoles en milieu urbain (République du Burundi, 2009). Mais, le problème est que souvent cette urbanisation se fait de soit même sans planification. C'est qui expose les enjeux, les hommes et ses biens à des risques multiples dont l'inondation en premier lieu.

En effet, de multiple enjeux sur la rive droite du lac Tanganyika sont exposé à des inondations diverses dont la transgression lacustre, les crues torrentielles et les crues péri-urbains. Cette zone est de topographie plus ou moins plane. Encore plus, la quasie totalité de cette zone d'étude est occupée anarchiquement donc sans planification. Ainsi, des enjeux majeurs (cas du station de pompage d'eau d'approvionnement en eau potable de la ville de Bujumbura, des entrpôts des produits pétroliers, le port, etc.) et des enjeux divers sont victime des inondations récurrentes. Ce qui porte préjudice sur la vie globale des habitants de cette zone en particule et de la ville de Bujumbura en générale (80% des eaux qui approvionnent la ville de Bujumbura sont soutirées du lac par cette station de pompage de la REGIDESO et 90% des produits pétroliers dans les entrepôts des la CEP et Interpétrol). Ainsi, la planification devrait penser sur la protection, la durabilité sur le long terme des divers enjeux et en particulier les enjeux majeurs.

1.4. Objectifs de la recherche

1.4.1. Objectifs généraux

Notre étude a pour but de contribuer à connaissance de la vulnérabilité des enjeux et l'analyse du risque d'inondation sur la rive droite du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura.

1.4.2. Objectifs spécifiques

Spécifiquement, cette recherche vise à :

- prendre connaissance de la vulnérabilité des enjeux face au risque d'inondation du littoral Est du lac Tanganyika;
- analyser le risque d'inondation du littoral Est (droite) du lac Tanganyika.

1.5. Problématique

La notion de territoire urbain de Bujumbura est en train de changer d'échelle. Cependant, l'étalement de l'enveloppe urbaine de cette ville pose un problème du maintien des espaces couverts, agricoles et touristiques (Kabanyegeye *et al.*, 2021). Les résultats de ces auteurs révèlent qu'au cours des trois dernières décennies, la proportion de la superficie du bâti a quadruplé au détriment de la végétation dont la proportion est réduite de moitié (Kabanyegeye *et al.*, 2021). Ces espaces concourent à l'alimentation des citadins et à l'amélioration de leur cadre de vie (Larose, 2011). Ils participent dans la préservation de l'équilibre spatial entre la zone urbaine, la zone rurale et le développement durable de cette ville (Diaz Olvera, Plat et Pochet, 2002; Simard, 2015; Habal, 2019).

Cependant, les mécanismes de planification et d'aménagement d'espaces institutionnalisés empêchent les spéculations foncières surtout dans un espace urbain et péri-urbain. Ils concourent à la bonne gestion du patrimoine naturel et aux risques naturels ainsi qu'au développement durable du milieu concerné (CAUE, 2008). Certes il est à constater que la planification défaillante et la péri-urbanisation, associée à une population sans cesse croissante, aboutissent à une occupation anarchique, aux modes d'implantation inadéquats et aux risques naturels diversifiés.

Ainsi, les zones péri-urbaines de Bujumbura en général et le long de la rive Est du lac Tanganyika en particulier nous préoccupent pour comprendre les dynamiques encadrées ou spontanées de ces espaces face au risque récurrent d'inondation qui les guettent. La rive droite du lac Tanganyika est convoitée et accueille des infrastructures et enjeux divers. Ces derniers sont susceptibles d'être affectés par l'inondation lié à la transgression du lac et des crues des cours d'eau, vu l'emplacement de ces enjeux et la topographie plus ou moins présentant une altitude subégale à celle du niveau du lac. Ici des espaces sont ouverts sans ou avec avis public et sont tous soumis à l'inondation. Ces inondation ont affecté 4 421 personnes dans notre zone d'étude en 2021 (OCHA, Avril 2021). Ailleurs, ces crues ont affectés 5 208 et 1 311 ménages menacés à Gatumba, 1 121 ménages à Rukaramu, 234 ménages et 68 ha agricole engloutis par l'eau à Rumonge, 750 ménages à Bugarama, 762 ménages à Nyanza-Lac (OCHA, Avril 2021).

1.6. Questions de fond

Existe-t-il un lien entre la vulnérabilité des enjeux de la rive Est du lac Tanganyika, le risque d'inondation et le dynamisme urbain en Mairie de Bujumbura?

1.7. Hypothèse de recherche

Pour réaliser ce travail, l'hypothèse général est rendre compte de la vulnérabilité des enjeux et du niveau du risque d'inondation de la rive Est (droite) du Lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura.

Deux hypothèses spécifiques sont émises et prises en considération pour mieux mener cette étude :

- la vulnérabilité des enjeux de la rive droite du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura est corrélée des phénomènes naturels et anthropiques
- les facteurs naturels et humains expliquent le risque d'inondation du littoral Est du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura entre Mutimbuzi et Nyabagere;

Le chapitre II développe la méthodologie utilisée, les matériels utilisés, la délimitation du sujet et de la description de la zone de recherche.

Chapitre II : METHODOLOGIE, MATERIELS, DELIMITATION DU SUJET ET DE LA ZONE D'ETUDE

Pour mieux mener cette recherche, plusieurs stratégies sont combinées. Les différentes techniques de recherche nous ont permis de récolter et d'analyser des données indispensables à l'étude et d'établir avec précision les conditions naturelles et socio-économiques du milieu (la rive droite du lac Tanganyika de la ville de Bujumbura, de la rivière Mugere au Sud à la rivière Mutimbuzi au Nord-Est, à une altitude comprise entre 772 et 780 m).

Le recours à la triangulation des ressources nous a été d'une importance capitale dans cette recherche. Ainsi, nous avons pris le modèle de Corbetta (2003) repris par Toyi (Toyi, 2020) comme référence logique de la recherche, qui lie la théorie à la pratique et retourne à la théorie (Figure 2.1), à travers une série de passages, que nous présentons dans la figure 2.1 ci-après :

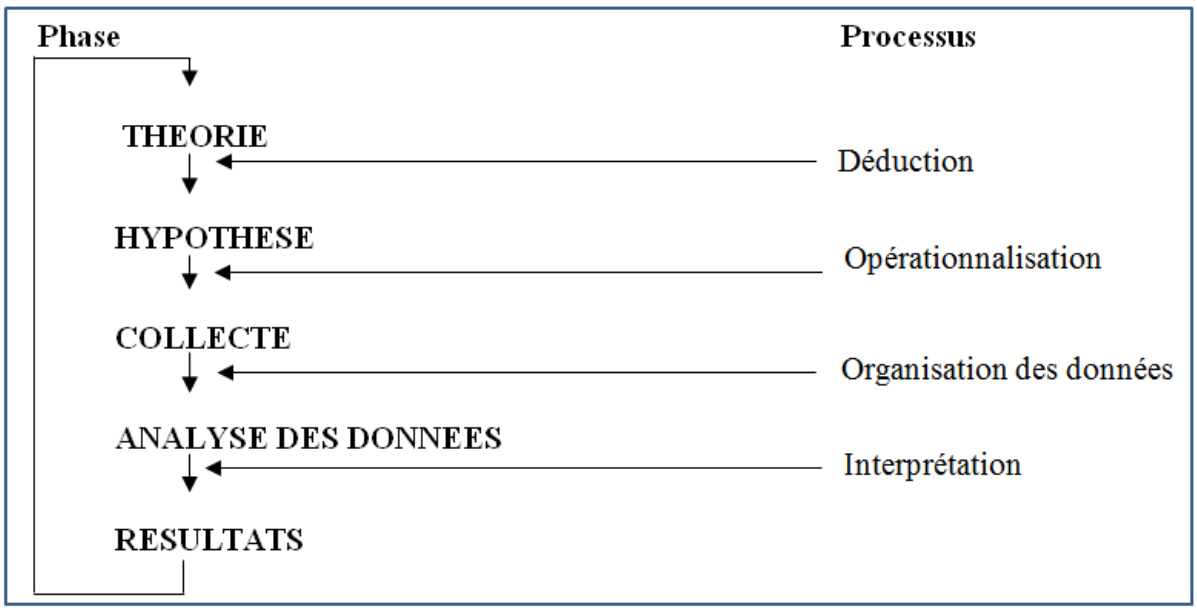


Figure 2.1. Structuration de la recherche (Toyi, 2020)

En effet, cette figure 2.1 montre le passage d'une étape à une autre. La stratégie montre qu'on commence par une recherche théorique à travers une documentation rigoureuse. La déduction à travers cette étape aboutit à la formulation des hypothèses qui, à leur tour, seront confrontées aux données collectées sur terrain. Après analyse, les résultats devront prouver sa conformité ou non aux connaissances théoriques qui ont servi de base. Ainsi, cherchant à nous approprier la théorie de Corbetta (2003) comme repris par Toyi (2020), le schéma ci-après (Figure 2.2) montre la

méthode de recherche et d'analyse de notre choix qui se déclinent en quatre étapes : identification et revue de la littérature en lien avec les observations faites lors des travaux de terrain (voire la motivation), collecte des données sur terrain, traitement et discussion des données et les résultats qui aboutissent à une conclusion.

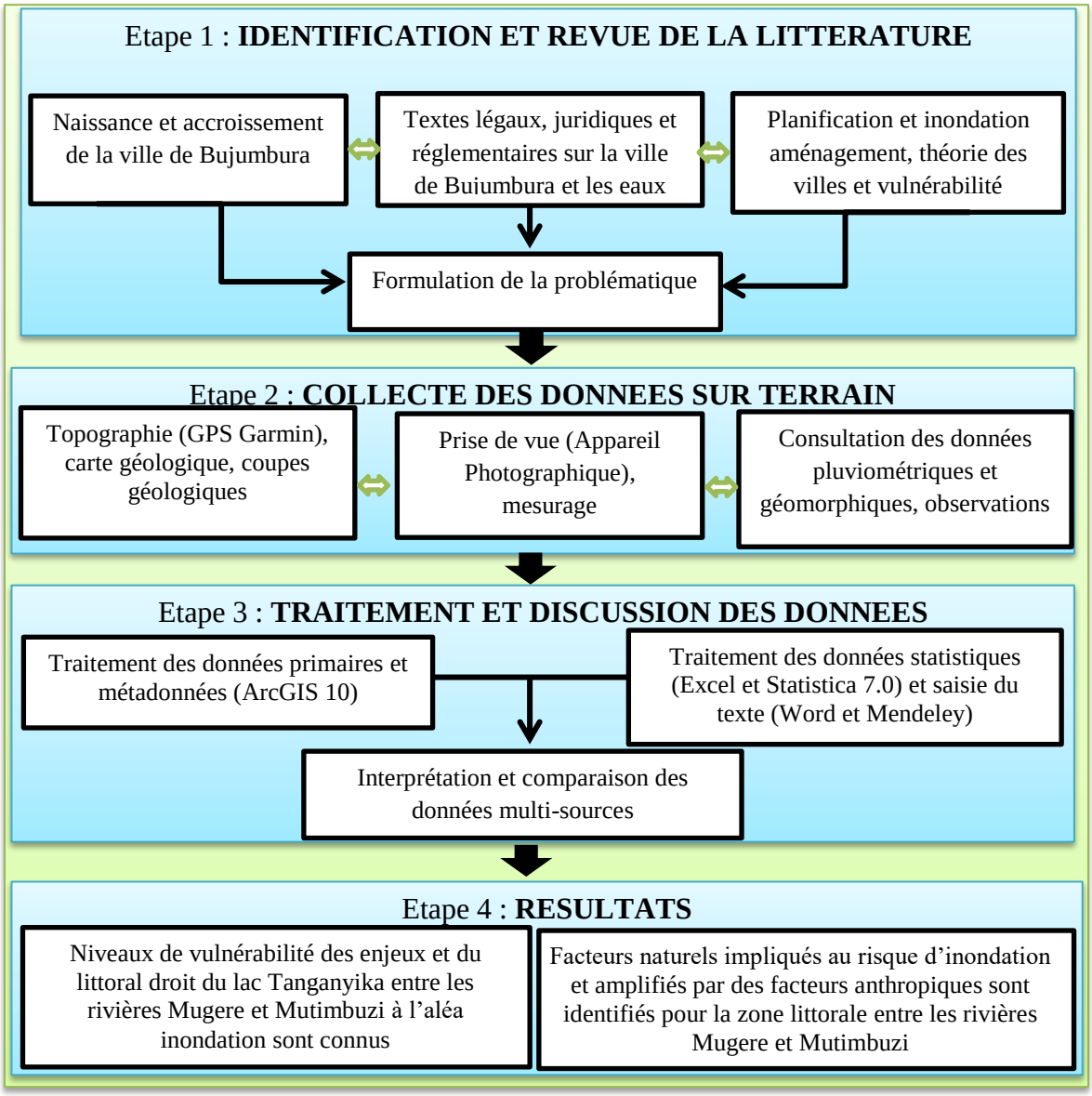


Figure 2.2. Schéma méthodologique suivi dans la recherche

Nous présumons faire cette recherche selon l'approche qualitative qui met en exergue la recherche des facteurs de la vulnérabilité que l'approche quantitative qui recourt aux éléments de la vulnérabilité (D'Ercole *et al.*, 1994). Le risque quant à lui est appréhender par truchement à la

triangulation des ressources tout en combinant les stratégies qui découlent de la recherche quantitative (les statistiques) et de la recherche qualitative (observation, mesure, entretien, etc.).

2.1. Méthodologie et matériels de la recherche

A parti de la figure 2.2, on constate que la méthodologie de la recherche se réalise en trois étapes :

2.1.1. Revue de la littérature

- ***la technique documentaire*** : les recherches préexistantes sur la zone d'étude en particulier la région de Bujumbura et le bassin du lac Tanganyika en général se rapportant à notre sujet ont été consultées. Les travaux effectués ailleurs dans le monde qui se rapportent à ce sujet ont été également consultés. La recherche sur le web nous a facilité à accéder à des sites contenant des méta-datas, des informations diverses et essentielles se rapportant à nôtre sujet.
- ***les données cartographiques préexistantes*** : des données sur la géomorphologie, la géologie, la pédologie, l'hydrologie, la pluviosité, la planification, l'organisation d'espace et les risques naturels sont rassemblées. Le croisement des données de la carte topographique du Burundi au 1/50.000 : feuille Bujumbura, de la carte géologique du Burundi : feuille Bujumbura au 1/100000 ; S4/29N.W et des images satellitaires multidates est opéré. Nous avons aussi exploré les coupes pédo-géologiques de notre zone d'étude.

2.1.2. Collecte des données

- ***la visite de terrain*** : Les travaux de terrains sont constitués par le levé topographique au GPS Garmin Etrh H (l'erreur de précision était de 3 m) (Tableau annexe 1 (p.93-99)), des observations directes et des prises de vue. Ainsi, un tour du 08/04/2021 à bord d'une vedette de la marine sur le lac Tanganyika et un autre du 21/01/2021 accompagné des professeurs ont été effectué (Photos annexes 3 et 4 (p.101)). Bien d'autres descentes sur terrain pour concretiser notre travail ont été faites. A travers différentes visites, nous avons repérer les différentes enjeux, le levé topographique, la prise des photos et des mesurages.
  C'est au cours des visites de terrain que nous avons repertorié et identifié les différents enjeux (majeurs et divers) de la zone d'étude dont certains sont déjà victime de l'inondations et d'autres qui ne le sont pas encore. Ces enjeux ont été relévé au GPS (Garmin Erth H) et insérer dans le logiciel de traitement (ArcGis 10.0).

- ***le recueil et l'analyse des données numériques :*** les données sur la démographie ont été réceuillies auprès de l'ISTEEBU et autres institutions. Ces données ont été traitées numériquement à travers des logiciels Excel et Statistica 7.0 afin de saisir certains indices/indicateurs (voir le point 2.2.2).
- ***la consultation des personnes morales ou physiques :*** La récolte des données et d'informations auprès des différentes institutions, sociétés, ONGs et administrations, services techniques en l'occurrence l'IGEBU, SIP/sm, la Croix-Rouge du Burundi-section Bujumbura, PNPRGC, etc., les directions ayant dans ses attributions la planification, l'aménagement du territoire, l'urbanisme, le tourisme et l'environnement est réalisée. Durant cette periode, il a consisté encore à visiter les archives et les rapports. En cas de besoin, nous avons interviewer les responsables afin de comprédre d'avantage les informations qui paraissent dans les documents à leur disposition ou bien concernant leurs expériences et expertises dans le demaine de leurs activités.

  En plus, des questions à caractère non structuré sur l'appréhension du phénomène d'inondation pour différentes personnes rencontrées sur terrain ont été posées. Ces personnes rencontrées s'agissaient principalement des gardiens des ménages qui sont restés sur place alors que les propriétaires avaient quitté le lieu mais aussi de certains acquéreurs des parcelles rencontrés sur terrain lors de nos visites. Aucune invitation à des personnes avec qui nous nous sommes entretenus n'a été concédée. Seules les personnes rencontrées sur terrain et qui acceptées de répondre à nos inquiétudes ont fait objet de conversation.

2.2. Méthodologie de traitement et d'analyse des résultats

Cette phase est constituée des travaux de bureau effectués après ceux de terrain. Elle comprend le dépouillement, l'analyse et l'interprétation des données ainsi recueillies. Elle se termine par une rédaction et se couple des travaux de terrain supplémentaire pour des compléments et des précisions éventuelles.

2.2.1. Analyse des données cartographiques

- ***l'analyse cartographique*** : Le logiciel ArcGIS 10.0 (logiciels de cartographie et du système d'information géographique) est utilisé pour définir certains paramètres du terrain naturel. Ce logiciel permet aussi d'élaborer les différentes cartes thématiques (localisation, localisation des enjeux, topographique, etc.) visant à fournir des données de base

nécessaires pour décanter le sujet de cette recherche. A partir des points levés au GPS, l'étape ultime a été d'importer les données du dossier Gpx dans le fichier Excel. Le fichier ainsi créé, après quelque précision des noms des lieux et autres informations jugées nécessaire, est glissé dans le catalogue (table of contents). Puis, le fichier du catalogue est soumis à l'outil de géo-référencement (Geopossessing→Display xy Data). L'ellipsoïde utilisé est le « *Word Geodesic System* » génération 84 (WGS84) et la projection « *Universal Transverse Mercator zone 35 sud prj* » (UTM 35S) de méridien central de projection 27°. Le facteur d'échelle a été de 0,996.

A partir de différents outils du logiciel (*Editor, create features, arctoolsbox, analysis tools, geostatisitical analyst tools, Hilshade, Slope, Contour, etc.*) et surtout par interpolation nous avons pu réaliser des *shapefiles* qui ont servi pour élaborer les différentes cartes thématiques qu'on trouve dans ce travail et à définir différentes paramètres (superficie, périmètres, etc.).

- ***l'usage des SIGs*** : la comparaison des images satellitaires multi-sources et à des périodes différentes nous a permis d'avoir une réflexion sur l'extension de la ville et la crise urbaine vis-à-vis de l'espace littoral.

2.2.2. Analyse des données statistiques

L'analyse des donnée statistique : l'analyse des données est centrée sur les 17 ans deniers (nombre d'observations) où les données de chaque année est à notre disponition (de 2005 à 2021) (Tableau 4.2, p.59) à travers divers documents disponibles dans différentes institutions (Port de Bujumbura, IGEBU en premier lieu), thèses et publications. Cet analyse a été faite par truchement au logiciel Statistica 7.0. Dans l'optique de reduire la lourdeur des opérations, un plan de comparaison de 774 m d'altitude a été considéré. Ce plan constitue le niveau global du lac Tanganyika reconu. Ainsi, nous avons déterminé différents indicateurs qui ont servi dans l'appréhension de notre étude en tant que indicateurs déterminants dans notre recherche (Monfort, 1997) :

- la probabilité de survenu : $\boxed{p = \frac{Cas\ favorable}{somme\ de\ cas\ possibles}}$ ici le cas favorable considéré est le cas « extrême » de 1964. Celle de 1878 ne pouvant se reproduire que si est seulement si la Lukuga se referme et qu'il n'y pas d'autres ouvertures (la refermeture du Lac) ;
- la moyenne $\boxed{\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{1} x_i}$ pour caractériser les montée réguières des eaux du Lac ;

- l'écart-type $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}}$ pour inférer dans les calcules les différences dans les montées des eaux du Lac année par année ;
- le coéficient de Skewness qui analyse la symétrie de la distribution : $C_{p_i} = \frac{\bar{x}-Me}{\sigma}$ ce coéfficient analyse la normalité (P_{-val}=0,0972) de la distribution des hauteur d'eau. C'est à partir de ce coéfficient que ressort la distribution de la variabilité du niveau des eaux du lac et qui déterminer sa concentration par rapport à la moyenne et au cas extrême considéré.
- la médiane, pour une variable quantitative continue unimodale est $Me = c_i + a_i\left[\frac{\frac{N}{2}-n_d}{n_i}\right]$ où c_i est la limite inférieure de la classe contenant la médiane ; a_i est l'amplitude de la classe contenant la médiane ; $\frac{N}{2}$ est la moitié du total des observations ; n_d est l'effectif cumulé croissant de la classe, pour confirmer ou pas la moyenne observée ;
- le niveau de confiance considérée est de 95% afin de pourvoir faire le test de Fisher qui atteste la significativité des montées observées. Ainsi, le coéfficient de déterminantion (R^2) qui dépend de la tendance de la montée des eaux elle–aussi est déterminée par l'équation de la droite $y = f(x_i)$ qui tient compte de toutes les fluctuations sur la période considérée avec *y* : hauteurs des eaux et *x* : la période de 2005 à 2021.

Le croisement des données nous a amené à appréhender la vulnérabilité côtière de notre zone d'étude et la probabilité de survenu d'inondation lacustre. Ce croisement basé sur l'inventaire des facteurs déterminants et des enjeux tant humains, matériels qu'environnementaux permet une évaluation de la vulnérabilité face au risque encouru. Or, il n'y a pas de risque sans ni aléa ni activités humaines susceptibles d'être exposées aux dommages (Gollopin, 2006). Ainsi, le degré de perte résultant d'un phénomène peut engendrer des dommages matériels et humains sur un espace bien déterminé (Castel, 2009).

2.3. Délimitation du sujet

L'étude met en exergue les problèmes environnementaux jumelés entre la pression démographique en milieu péri-urbain et les phénomènes naturels source de la vulnérabilité de la zone côtière à l'Est du Lac Tanganyika. Elle consiste alors à analyser et à observer, sur base des concepts scientifiques, la vulnérabilité d'un espace péri-urbain de Bujumbura. Elle identifie les enjeux impactés ou susceptibles de l'être suite à l'inondation. L'etude analyse le niveau du risque à

l'inondation, son niveau de survenu, son intensité, son occurrence et sa perception par la population. Cet étude se borne sur les zones périphériques et péri-urbaines de la ville de Bujumbura tout en se focalisant particulièrement sur la zone riveraine du lac Tanganyika. Cette rive droite du Lac est bornée entre la rivière Mugere au Sud et la rivière Mutimbuzi au Nord-Ouest.

2.4. Localisation et délimitation de la zone d'étude

Comme l'illustre la figure 2.3, la zone d'étude s'inscrit dans un vaste ensemble naturel de la plaine de l'Imbo. Elle est située sur la rive droite du lac Tanganyika. C'est dans la région métropolitaine de Bujumbura. Le site est localisé sur la plaine lacustre du lac Tanganyika, entre la rivière Mugere et Mutimbuzi, zone entre 772 m et 780 m d'altitude.

Cette partie est limitée au Sud par la rivière Mugere et au Nord-Ouest par la rivière Mutimbuzi. Au Nord se trouve la vaste étendue de l'Aéroport International Ndadaye Melchior (ex. Aéroport International de Bujumbura) à quelque 300 m de la RN4 (chaussée d'Uvira). Le Nord-Est et l'Est coïncident avec la courbe de niveau d'altitude de 780 m. En fait, elle correspond pour la partie Nord et Est à l'isohypse 780 m d'altitude (Figure 2.3). Cet espace couvre 1 786,762 hectares (Tableau 4.3 (p.59)). Notons ici que le Ministère des Transports, des Travaux Publics et de l'Equipement avait fixé, après les évènements de 1964, la cote 778 m comme espace réservé pour les cultures péri-urbaines, le tourisme et/ou le '*no man's land'* et la côte 780 m comme altitude inférieur pouvant accueillir des enjeux diverses suite aux inondations observées à cet époque.

Bujumbura, ville héritée de la colonisation, ancienne capitale politique et économique du Burundi, est aujourd'hui la capitale économique (République du Burundi, 2019)[7], son véritable développement est très récent. Par le fait même de sa croissance démographique très rapide, la ville connait une urbanisation désordonnée, marquée par des changements qui se produisent dans une période de crise économique. Bujumbura n'échappant pas à ce constat. De façon générale, la superficie des villes tend à croître encore plus rapidement que la population.

[7] La ville de Bujumbura a été régie par loi n° 1/016 du 20 avril 2005 portant organisation de l'administration communale (article 109) le décret-loi 1/40 du 26 novembre 1996 portant délimitation du périmètre urbain de Bujumbura

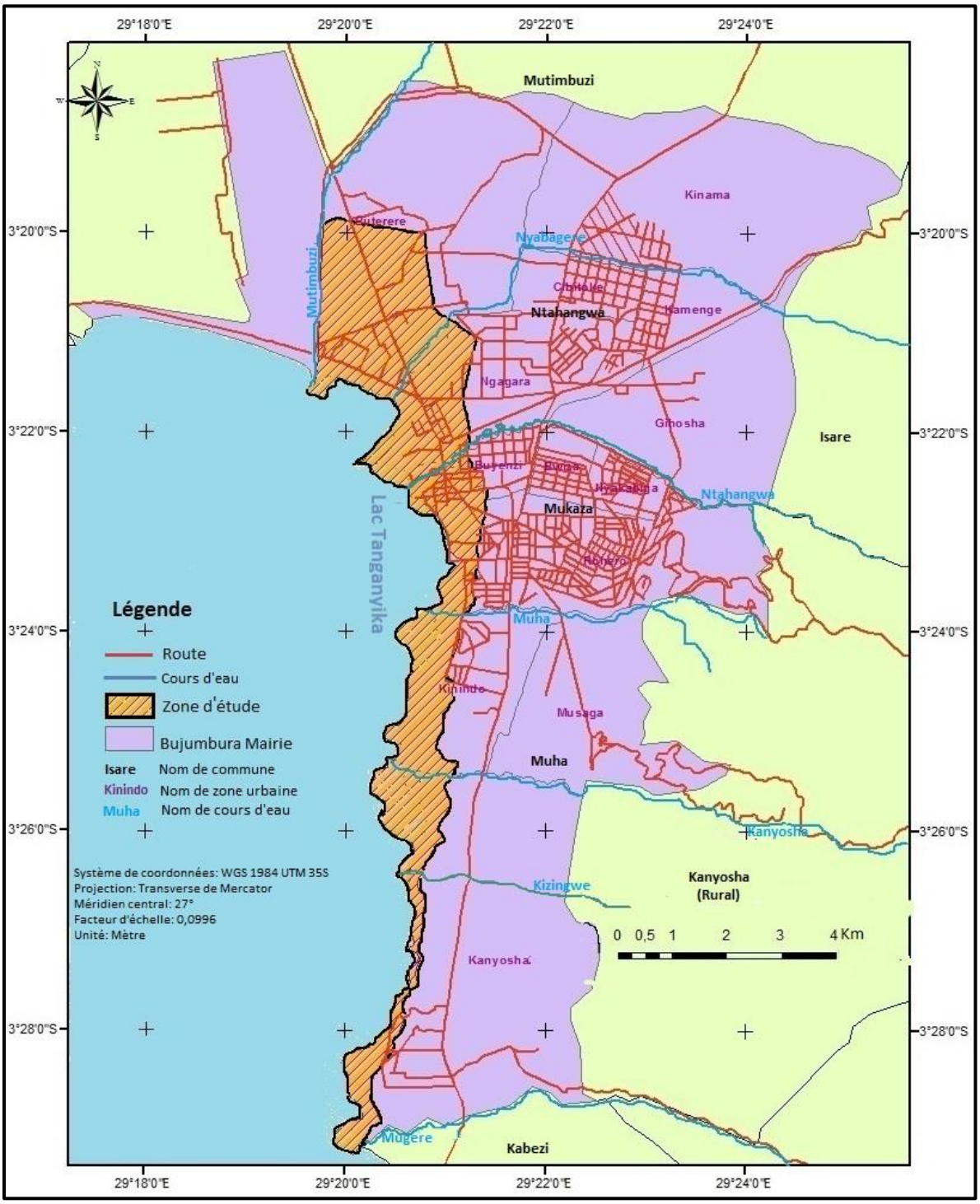


Figure 2.3. Localisation de la zone d'étude (Auteur sur base des données interactives de MAE, CTB et PAIOSA. 2017 et Tableau annexe 1 (p.93-99)

Ce mode de développement physique a pour corollaire la non-continuité de l'espace urbain et de faibles densités, même si localement, la surpopulation de certains quartiers est ardente du fait de l'accroissement du nombre des ménages dans les concessions. Ces concentrations élevées touchent

particulièrement les quartiers anciens, qu'ils soient localisés au centre-ville ou situés aux marges de l'espace urbain dans certains villages périphériques rattrapés par l'urbanisation (cas de Musaga, de Gatumba, Rubirizi, Mubone, Ruziba etc.). Le coût élevé des surfaces loties, l'insuffisance quantitative des parcelles, le développement de l'autoproduction de logements en périphérie, la concentration de plusieurs ménages autour d'une cour intérieure (*urupangu*), etc. entrainent l'éviction de la majorité de la population urbaine.

Au-delà de la partie centrale de l'ancienne ville, la commune Mukaza actuelle pour la majeure partie et une partie de la commune Ntahangwa, il y a eu la création des banlieues (cas du faubourg de Kinama par exemple des années 1980), puis celles des grands ensembles, l'espace urbain s'est diffusé dans un espace rural plus vulnérable, la rive du lac Tanganyika est un cas d'espèce (Kibenga « Rurale », Kajaga, Nyabugete, etc.). Pour les résidences, il y a passage progressif de l'immeuble collectif (le centre) au pavillon individuel en direction des périphéries.

Le développement de la ville de Bujumbura vers les zones périphériques, prouve avec précision de multiples tractations dans l'occupation et l'acquisition des terrains. C'est entre autres la spéculation foncière pour les grands mobiliers et autres ; les villages rattrapés par l'urbanisme et l'occupation par des gens pauvres refoulés par la ville ; d'où la naissance de l'habitat précaire, la production des terrains lotis en quantité et qualité insuffisantes, comme dans d'autres villes (Pinson, 2009; Förster et Ammann, 2018), le non-respect de la réglementation et des pratiques urbaines et du manque du cadre législatif d'urbanisme actualisé (cas du Schéma de Cohérence Territoriale (ScoT), des Plans Locaux d'Habitat (PLH), du Plan de Développement Urbain (PDU) et des Plans locaux d'Urbanisation (PLU)).

2.5. Problèmes rencontrés

Durant cette recherche, de nombreux problèmes ont surgi. Certains ont été surmontés d'autres ont resté avec un impact, moindre soit-il, sur le déroulement de la recherche et de la rédaction. A côté du problème pécuniaire, le problème majeur a été celui d'accès aux informations diverses.

- Manque d'accès à l'internet : les étudiants-chercheurs n'ont pas d'accès sur les réseaux internet de l'Université du Burundi, ce qui les contraint de s'acheter eux-mêmes de gigaoctet pour pouvoir se connecter : malheureusement, les moyens insuffisants des étudiants ne leur permettent pas d'avoir des unités suffisantes.

- Problème d'accès aux logiciels de grandes performances. Ce handicap nous limite dans les manœuvres de confectionner des différentes cartes thématiques et d'opérer des analyses y afférentes aisément. Ceci porte un coup dur sur l'analyse de certains phénomènes et la modélisation de ceux-ci.
- Problème d'accès aux données existantes : au Burundi, les données anciennes manquent cruellement. Les expert-concepteurs de la SDAU-Horizon 2025 (Figure annexe 1 (p.85) reconnaissent ce problème d'archivage (République du Burundi, 2014b). On note ici le problème d'archivage et de stockages des données. L'accès aux données actuelles reste aussi problématique. En effet, certains détenteurs de ces données ne les concèdent pas facilement et quelquefois refusent catégoriquement pour des raisons, motifs et modalités non avoués.
- Enfin le non-accès aux données du projet LATAWAMA (Lake Tanganyika Water Management) – projet initié et mise en œuvre par l'Enabel (Enable Belgium ancien CTB : Coopération Technique Belge) sur financement de l'Union Européenne, en collaboration avec l'ALT (Autorité du Lac Tanganyika) – via le projet initié le 12 janvier 2021, en association avec le bureau d'étude SHER (Namur, Belgique) – pour un suivi quantitatif des ressources en eau du Lac en lien avec le changement climatique. Ce projet a pour objectif de disposer d'un système moderne et efficace de surveillance du niveau du lac Tanganyika avec des précisions sur les apports et les pertes en eau de ce lac afin de prédire et d'alerter la population riveraine.

Suite au problème de pouvoir évaluer les différents types d'inodantions qui hantent notre zone d'étude, seule l'inondation liée au transgression lacustre a été prise en considération dans différentes analyses statistiques et cartographiques.

En conclusion, notre étude combine plusieurs données et différentes stratégies de recherche. Ces dernières nous ont permis de recourir à des écrits préexistants, des données multi-datées, des métadonnées, des travaux de terrains (observations, entretiens, mesurages, prise de vues) donc le recours à la triangulation des ressources (approche qualitative). Cette combinaison nous a permis de bien appréhender les enjeux encours d'étude et de parcourir tout un tas de données afin d'en tirer profit malgré la persistance du problème d'accès à un certain nombre d'informations utiles.

Le chapitre III met en exergue les résultats de notre recherche à travers l'analyse la vulnérabilité dans notre zone d'étude.

Chapitre III : ANALYSE DE L'ALEA D'INONDATION ET DE LA VULNERABILITE

Le risque d'inondation, classé premier sur le plan de contingence nationale et de gestion des urgences (République du Burundi, 2014a; Nibigira, 2018), est un phénomène naturel lié aux caractéristiques tant topographiques, géo-pédologiques, hydriques, pluviométrique d'un bassin versant, facteurs dits naturels donc qui ne sont pas influencés. D'autres facteurs résulteraient de l'action humaine (constructions, déforestations, etc.). L'inondation se manifeste par la submersion d'un espace donné, habité ou pas, occasionnant des dommages (Bani Samari, 2011; Khalifa, 2015; Nibigira, 2018) donc impactant des enjeux diversifiés.

3.1. Analyse de l'aléa d'inondation dans la zone d'étude

3.1.1. Facteurs déclanchants

Il s'agit des facteurs naturels dont on n'a pas d'intervention souvent pour les réguler ou les contrôler. Ces facteurs jouent le rôle déclencheur de l'inondation sur la rive du lac Tanganyika. Ils sont en connivence avec les facteurs responsables des inondations de la ville de Bujumbura pour la plupart et de la rive du lac Tanganyika en particulier.

3.1.1.1. Facteurs pluviométriques

La zone d'étude s'inscrit dans un contexte des précipitations tropicales abondantes, responsables des pertes énormes liées aux inondations. Selon l'IGEBU (2018), on constate qu'un accroissement sensible de la pluviosité est de 10% en moyenne durant la saison A et de 5% pour la saison B à l'horizon 2060 sur Bujumbura. Cela est en connivence avec les températures qui augmenteraient de 1°C à l'horizon 2050 (pour la station de Bujumbura), ce qui porte préjudice sur le système hydrique et rend vulnérables plusieurs enjeux et en particulier le bâtiment et les infrastructures de transports (Masumbuko et Ruhimbi Ndabaniwe, 2018).

Les variations du niveau d'eau du lac Tanganyika peuvent être à la fois saisonnières - avec une saisonnalité marquée des pluies et le niveau plus élevé entre décembre et mai (mai marquant le plus souvent le pic) et Septembre-Octobre (octobre marquant souvent le bas) et interannuelles – selon que les années sont plus humides ou plus sèches (Figueira *et al.*, 2017). En année humide, les apports sont supérieurs aux sorties, le niveau du lac s'accroît. Une succession occasionnelle d'années humides provoque une tendance à court terme de hausse de niveau d'eau, tandis que la succession d'années sèches influent sur la diminution du niveau d'eau. Bujumbura a enregistré des inondations sur des périodes plus ou moins proches,2009, 2010, 2011, 2014 (Nibigira, 2018), 2018, 2019 2020, 2021 (terrain). Le tableau 3.1 nous donne des indications sur les précipitations dans tout le bassin lac Tanganyika. Les fortes pluies dans

la région ou tout simplement dans le bassin du lac Tanganyika, renvoie aux conséquences du changement climatique en cours depuis l'avénement de l'anthropocène, période correspondante à l'activité de l'homme à l'excellence avec divers collolaires.

Tableau 3.1. Pluviométrie dans le Bassin du lac Tanganyika (Hakizimana, 2019)

Pays	**Superficie du bassin**		**Pluviosité moyenne annuelle (en mm)**
Burundi	14 000 km²	6 %	1 070
République Démocratique du Congo	39 000 km²	16 %	1 240
Tanzanie	161 000 km²	67 %	925
Zambie	16 000 km²	7 %	1 080
Rwanda	10 000 km²	4 %	1 320
	240 000 km²	**100 %**	**Médiane 1 080 mm**

Sur la période 1932-1995, le bilan hydrologique annuel moyen est associé à des apports par précipitations directes de 1 090 mm/an (proche de la médiane du tableau 3.1) et à une évaporation en surface de 1 695 mm/an (Bultot, 1993). Rapportés à la surface du lac, les apports du bassin versant représentent environ 955 mm/an et les pertes à l'exutoire de la Lukuga, 365 mm /an (Bergonzini *et al.*, 2002; Sindayihebura, 2005). On note les basses eaux de 1932, 1949, 1984 et 1997 et les hautes eaux de 1937, 1938, 1962, 1963, 1964, 1968, 1998, 2009 sur le lac Tanganyika (Tableau 3.2) avec le même scénario sur d'autres lacs et les grands cours d'eau de la région (Bergonzini *et al.*, 2015; Nibigira, 2018; Sindayihebura, 2005).

Tableau 3.2. Bilan hydrique du lac Tanganyika de 1933 à 1998 ([a]Bergonzini *et al.*, 2002; [b]Sindayihebura, 2005)

Période	**Bilan**
1933-1961[a]	110 mm par an (1937, 1942 et 1952 sont excédentaire alors que 1949 (772,88 m) et 1954 sont déficitaires)
1962-1991[a,b]	630 mm par an (max en 1964 et min en 1984)
1991-1998[b]	3 m atteint en mai 1998

Au vu du tableau 3.3, nous constatons que l'année 2021 n'a enregistré qu'une hauteur la plus basse à Bujumbura. Seule l'année 2011 enregistre une hauteur supérieure à 1000 mm d'eau de pluie par an. Au vu d'autres stations du sous-bassin (Mparambo et Bugarama), nous constatons une grande fluctuation d'une année à l'autre comme pour Bujumbura.

L'accumulation des eaux des années antérieures, dans le bassin du lac, depuis les années 2018 à 2020, a eu des effets sur des années suivant et a eu d'mpact sur la variabilité du niveau du lac qu'on observe sur le lac Tanganyika. Mais cela ne concerne pas seulement le sous bassin entre Mparambo, Bugarama et Bujumbura, mais plutôt tout le bassin dudit Lac.

Tableau 3.3. Précipitations de 2010 à 2020 (Compulation des données de l'IGEBU de 2010 à 2021)

Année	Bujumbura	Mparambo	Bugarama
2010	857,7	1155,1	1528,3
2011	1037,3	1022,9	1650,1
2012	952,0	829,5	1731,0
2013	682,7	1564,3	1408,1
2014	774,3	856,6	1613,9
2015	778,1	903,1	1738,3
2016	465,4	822,0	1065,8*
2017	620,8	769,5	
2018	963,4	1066,1	
2019	957,9	884,2	
2020	910,3	1560,1	

* données de 4 mois de janvier à Avril

L'augmentation de la température et des précipitations porte aussi préjudice sur le risque sanitaire avec la recrudescence des maladies vectorielles et non vectorielles ainsi que celles de mains sales qui surgissent pendant et après les inondations. Selon les résultats de notre recherche, les températures moyennes mensuelles sont restées plus ou moins constantes à Bujumbura en 2021, entre 20,5°C et 21,7°C, avec un minimum de 17,3°C et le maximum de 25,4°C. L'humidité relative varie entre 59% et 74% tandis que les précipitations ont été de 2 mm (juillet) à 94 mm (décembre) (https://fr.climate-data.org/afrique/burundi/bujumbura-mairie-2575/). Ceci est aussi valable pour différentes stations du bassin du lac Tanganyika.

3.1.1.2. Facteurs hydrologiques

Les facteurs hydrologiques sont directement liés aux facteurs pluviométriques. La pluviométrie dans le bassin comme dans ses sous bassins influent sur le comprtement des cours d'eau. le caractère pluviométrique dans la région, longue durée de la saison humides avec l'abondance des précipitations font qu'il y ait beaucoup de sources d'eau et de collecteurs d'eau ruissellentes dont certains sont irréguliers.

Un grand nombre des cours d'eau irréguliers et violents viennent mourir sur cette partie d'étude (Mutimbuzi, Kinyankonge-Nyabagere Ntahangwa, Muha, Kanyosha, Kizingwe, Mugere). Ces rivières qui dévalent et dévastent les Mirwa, développent des zones d'inondation et construisent une grande vallée alluviale sur d'anciennes alluvions lacustres (Ndayirukiye, 1986). Les crues sont abondantes selon la quantité des précipitations et la pente, le long des cours d'eau, et l'altitude surtout le long de la rive du lac Tanganyika. Plus la pente va en diminuant, plus la vitesse de l'eau diminue et plus l'eau s'accumule. Ceci à pour conséquence le débordement des

cours d'eau. Or, ceci est valabre dans la plaine où la pente dininue incessament jusqu'à former des deltas vers leurs embouchures (cas de la Kanyosha par exemple (Photo 3.2 (p.44)) et Mugere (Photo 3.10 (p.52)) ou sont responsable du surcreusement des berges et de dépôt d'alluvion (Photos 3.1 et 3.2). Le débordement est le plus fréquent sur les rives du lac Tanganyika et se combine avec les crues des cours d'eau.

Selon Nibigira, la forme peu allongée des cours d'eau traversant la ville de Bujumbura accentue le degré de réactivité tout en réduisant le temps de transfert de crue (Nibigira, 2018) avec le transfert de sédiments arrachés sur les versants (Photo 3.1). Les activités anthropiques dans le bassin de ces cours, généralement agricoles et minières, favorisent la dégradation des sols et la sédimentation des cours d'eau affluents (Photo 3.2) (Gasse, 2009) ainsi que les pollutions diverses (Photos annexes 1 et 2, p.100). Ce qui peut avoir aussi une répercussion sur la profondeur du fossé du lac et le comportement des cours d'eau (anastomosées par l'activité humaine : curage traditionnel du sable, gravier, moellon, etc.).

Les eaux des cours sont sujet de crues qui s'observent en aval de ceux-ci. Le faible dimensionnement des canaux de ces cours d'eau, les techniques de curages (archaïques et non existantes par endroit) ainsi que le jet des déchets dans les cours d'eaux par la population rivairaine portent préjudice sur le comportement des eaux et provoquent des crues. Ainsi, l'abstruction des canaux par divers déchets fait qu'une sorte d'embâcle se forme. C'est qui est à l'orogine de la formation d'un petit lac artifiel qui fini par déborder, déclachant ainsi des crues fluviales. Encore, plus la dimension des canaux est moindre, selon la quantité des précipitations, plus il est facile de voir ces canaux débordés. Tous cela provoquent des dégâts sur la zone riveraine dont la destruction des enjeux (Photo 3.1), l'effondrement des berges et (Photo 3.2), etc..



Photo 3.1. Effondrement sur la rive gauche, destruction des enjeux et alluvionnement sur la rive droite d'un canal d'évacuation des eaux à Nyabugete I, à 350 m du lac Tanganyika



Photo 3.2. Effondrement sur la rive droite de la Kizingwe et sédimentation vers son embouchure

3.1.2. Facteurs soudjacants

3.1.2.1. Contexte régional

Le lac Tanganyika est l'un des grands lacs du rift albertin. Le rift est le résultat de plusieurs facteurs dont l'élargissement, le remplissage du fossé par des sédiments et surtout de la divergence de deux plaques (orientale et occidentale) et la formation d'une vallée, le *« graben »*, entre deux blocs surélevés, les « *horsts* » (Nibigira, 2018). Les mouvements tectoniques – depuis l'éocène et qui voient son paroxysme avec le miocène. Les retraits successifs des eaux du lac Tanganyika, sont à la base de la formation de terrasses qui se succèdent dans le paysage. Cette extension continue dans cette zone ; qui peut aussi avoir un effet sur la montée des eaux du lac malgré qu'à notre connaissance, une étude en la matière n'a pas encore été faite. Notre zone d'étude s'inscrit dans ce contexte naturel aux pentes légèrement situées entre 0 et 2 %.

Le lac Tanganyika est, depuis 1878 (Bergonzini, Williamson et Albergel, 2015)[8], partie intégrante du bassin du fleuve Congo via l'ouverture de celui-ci par la rivière Lukuga. Son niveau est corrélé aux événements El-Niño dont la cyclicité est de 4-6 ans avec des changements hydrologiques et biologiques associés à des variations climatiques décennales (Gasse, 2009). Cette partie est en proie aux différents risques dont les inondations, les volcanismes (pour la région de Virunga surtout), l'élargissement ou rétrécissement des fonds des lacs, les glissements de terrain, etc. (Nibigira, 2018).

3.1.2.2. Facteurs topographiques

La zone présente une topographie plus au moins plate. L'altitude varie entre 772 m et 780 m. Elle s'étend du Sud au Nord de la ville de Bujumbura sur la troisième terrasse avec une pente très faibles (environ 2%) et un niveau homogène. Cette zone d'étude s'étend sur une superficie de 1 786,762 hectares des 14 510 hectares, soit 12,32% de la ville de Bujumbura, sur un total de 240 000 km^2 de tout le bassin du lac Tanganyika (Nibirantije, 2017) (Figure annexe 4 p.88). Mais, les auteurs ne sont pas unanimes sur l'étendue du bassin versant du lac Tanganyika, elle est de 238 700 km² (Sindayihebura, 2005) 230 000 km^2 (Bergonzini, Williamson et Albergel, 2015), de 220 000 km^2 (Fermon, 2007) et de 263 000 km^2 (Figueira *et al.*, 2017), etc.

[8] Avant la grande débâcle de 1877-1878 (Bergonzini, Williamson et Albergel, 2015), le bassin du lac Tanganyika était fermé jusqu'à ce que le niveau d'eau déborde et érode l'exutoire de la Lukuga à son seuil à 772.7 m d'altitude (au-dessus de la mer), à l'embouchure de la rivière. Avec son élargissement en 1941 par l'œuvre humain en vue d'accroître son écoulement, il ne représente que 6 à 18 % des pertes des eaux du lac (Lopez, 1978).

La ville de Bujumbura, créée en 1897, est d'une superficie de 14 510 hectares avec 10 462 hectares de superficie bâtie aujourd'hui (Kabanyegeye *et al.*, 2021). Les allemands n'ont achetés, le 11 août 1897, que 100 hectares au chef coutumier de l'époque, grand-père de Gashashi et Gisage qui gouverna la région (respectivement Chef de Mushasha Nord et Mushasha Sud) en 1945. Cette superficie était de 0,3 km² en 1907 (Ndayirukiye., 2002). Elle devient de 37 km² en seulement 15 ans. En 1960, Usumbura prend le statut de commune urbaine et change d'appellation pour devenir Bujumbura le 16 octobre 1962. Aujourd'hui, la ville de Bujumbura est constituée de trois communes urbaines (Muha au Sud, Mukaza au centre et Ntahangwa au Nord) qui se subdivisent en 13 zones urbaines (Buterere, Buyenzi, Bwiza, Cibitoke, Gihosha, Kamenge, Kanyosha, Kinama, Kinindo, Musaga, Ngagara, Nyakabiga et Rohero), ces dernières subdivisées aussi en quartiers administratifs divers.

Cette partie s'inscrit dans le prolongement de la plaine alluviale, à l'allure topographique relativement plane et aux altitudes plus ou moins égales à celles de la rive. Le site de notre recherche s'inscrit dans cette vaste morphologie qui se prolonge depuis le Burundi (au Nord du Lac) jusqu'en Zambie (au Sud de celui-ci). La figure 3.1 nous donne l'idée sur la topographie de la zone d'étude. Le constat est que l'altitude varie de 772 à 781 m avec une superficie de 329,160 ha (Tableau 4.3 (p.59)) sous eaux fréquemment, car le niveau du lac global est estimé à 774 m d'altitude.

L'analyse des données de la figure 3.1 nous permet de définir les zones à contraintes ou à éliminer dans la prévision des aménagements urbains pour l'établissement des logements permanents, mais dont certains espaces peuvent faire objet du tourisme ou de '*no man's land*'. Il s'agit des :

- terrains où le système d'assainissement est impossible (pente inférieure à 0,5 %) propres à des horticultures et cultures de marais ou des réserves pour l'agro-tourisme ;
- zones de forte inondation (Tableau 4.3 (p.59)).

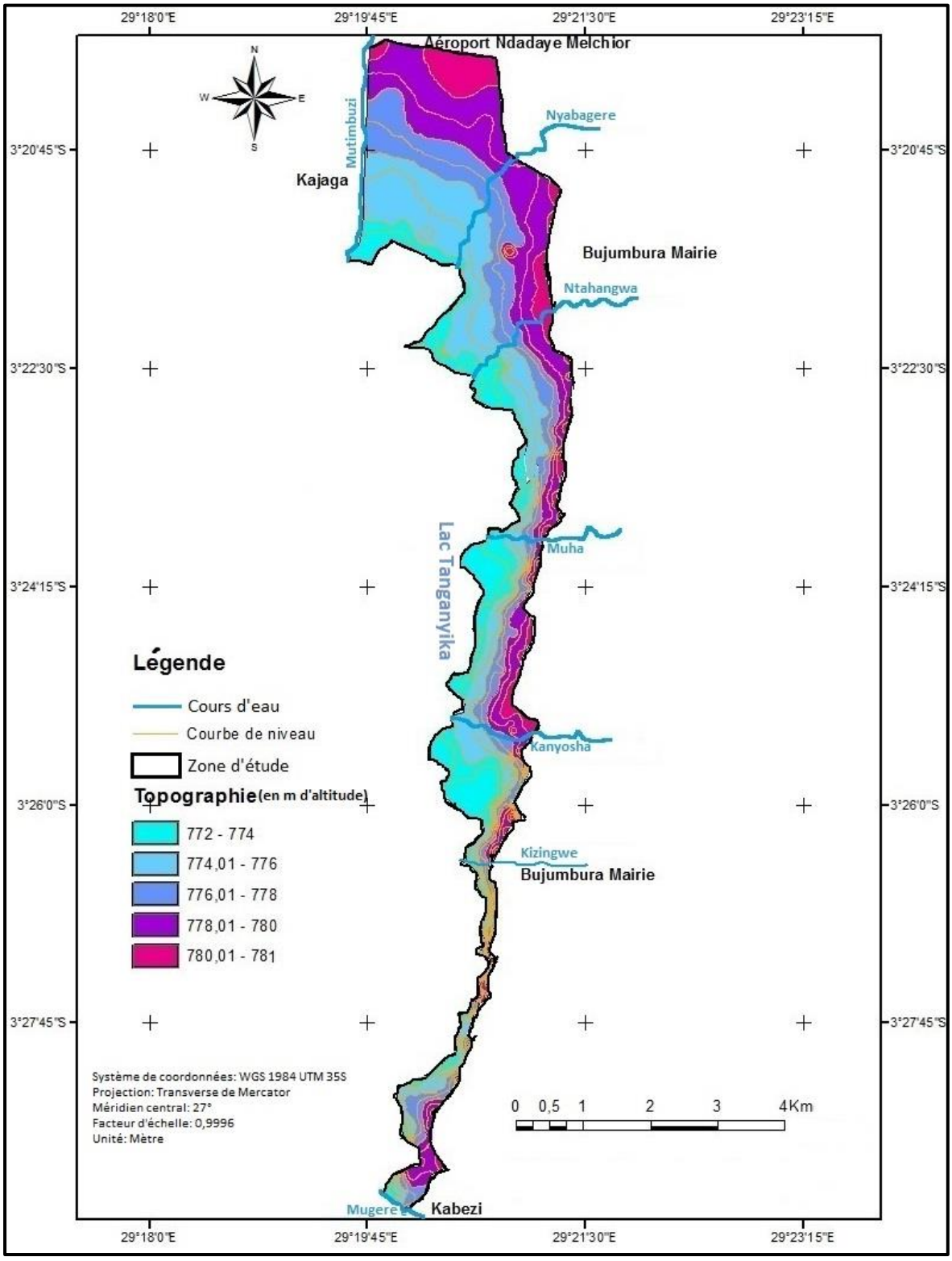


Figure 3.1. Carte hypsométrique de la zone d'étude (Auteur sur base du levé topographique au GPS Garmin Erth H (Tableau annexe 1 (p.93-99))

- zones inondables et marécageuses (contraintes liées à l'eau) (Photo 3.3). Cette zone se prolonge plus ou moins parallèlement avec la rive du Lac. Malheureusement, ces zones sont coinvoitées par des constructions de grande valeur ;



Photo 3.3. Zone marécageuse occupée de jacinthe d'eau le long du lac Tanganyika, à Kibenga « rural »

- zones dangereuses ou impropres à la construction : zone d'accumulation, zone ne pouvant pas être remblayées ou zones réservées aux activités agricoles (ceinture maraîchère) et/ou arboricoles (pépinières). Au 14 mai 2021, l'eau a atteint une hauteur de submersion de 0,36 m à 29°20'51.81" de longitude Est et 3°24'26.56" de latitude sud (Photo 3.4) au dessus du niveau de la route ;



Photo 3.4. Niveau de la hauteur de submersion et caniveau devenu un lieu de pêche à Kinindo bas

3.1.2.3. Facteurs géo-pédologiques

Le littoral du lac Tanganyika est recouvert d'alluvions fluviales déposées par les rivières le traversant (Ndayirukiye, 1986, 2002). Ils sont constitués de sable plus ou moins fin, de limons et d'argiles repartis en matériaux silto-sableux, limoneux, silto-argileux et argileux (AMPF-Burundi, 2019) (Photo 3.5). Leurs epaisseurs varient selon l'importance de la rivière et suite aux dépôts lacustres liés aux différentes montées (Lopez, 1978; Evert, 1980).

Ces matériaux sont parfois stratifiés et de granulométrie variée. Ces terres basses sont souvent inondées par les eaux du lac et sont en voie de colmatage (Sindayihebura, 2005; Sommer *et al.*, 2012). De ce bas-fond, il se pose le gros problème des marécages (près du lac) et la nappe phréatique qui se situe à une faible profondeur. L'aménagement dans la zone marécageuse pose beaucoup de problèmes et doit tenir compte des formations superficielles constituées des argiles gonflantes et sables glissants (Lopez, 1978; Sindayihebura, 2005).



Photo 3.5. Sol à texture sableux, sablo-argileux et argileux

La formation des terrasses de la plaine lacustre est attachée aux abaissements successifs du niveau du lac Tanganyika datant du pliocène (5 à 10 milliards d'années) (Ndayirukiye, 2002) couvert d'alluvions lacustres et fluviales récentes et une mince transition de sable séparant la terre et l'eau dans une moindre mesure. Tenant compte des résultats de coupes suivantes (Figures 3.2, 3.3 et 3.4), notre zone est d'une forte teneur en sable qui résulte de l'érosion des micashistes, métaquartzites, granitoïdes, gneiss et grès feldspathiques qui occupent un espace beaucoup plus vaste sur les versants surplombant la ville de Bujumbura (les escarpements des Mirwa) (Carte Géologique du Burundi, Feuille Bujumbura S4/29NW, 1989). Les formations

argileuses (argile gonflante) se localisent aux alentours des marécages (Kibenga Rural, Nyabugete, etc.). Ce qui prouve que ce sol est fragile et glissant et son lien direct avec la genèses des fossés et bassins endoréiques du Rift Est-Africain – système Kivu-Tanganyika – qui est l'un des plus anciens (Bergonzini, Williamson et Albergel, 2015). La profondeur du sable varie d'un site à un autre. Elle est de 0,2 m jusqu'à 6 m de profondeur à Kinanira à 810 m d'altitude, à 0,60 m de profondeur à Kinindo à 780 m d'altitude et de 0,4 m à 0,80 m de profondeur à Kanyosha à 812 m d'altitude (Figures 3.2, 3.3 et 3.4).

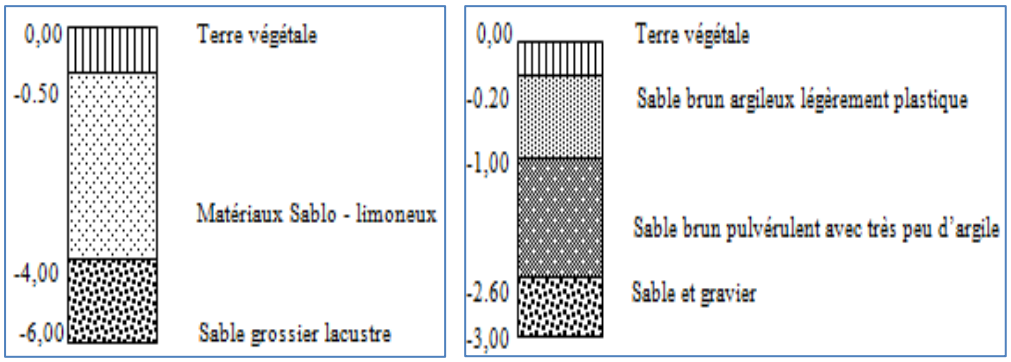


Figure 3.2. Coupe géologique à Kinanira à gauche (à 810 m d'altitude) et à Kinindo à droite (Maison SOCABU à 785 m d'altitude) (LNBTP, rapport n° 264/89)

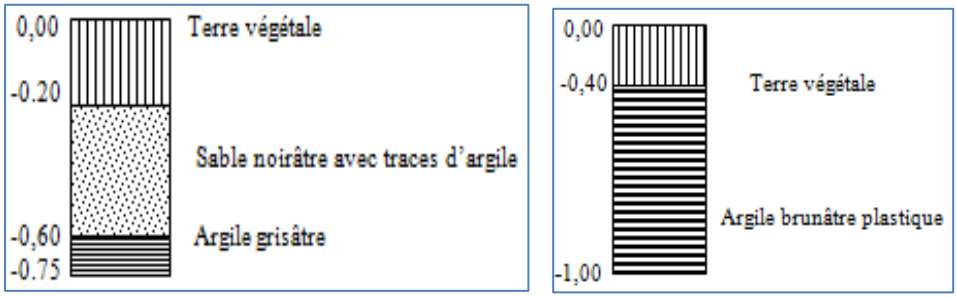


Figure 3.3. Coupe géologique à Kinindo à gauche (Maisons des officiers à 780 m d'altitude) et à Kibenga à droite (765 m d'altitude) (LNBTP, Rapport n° 238/95)

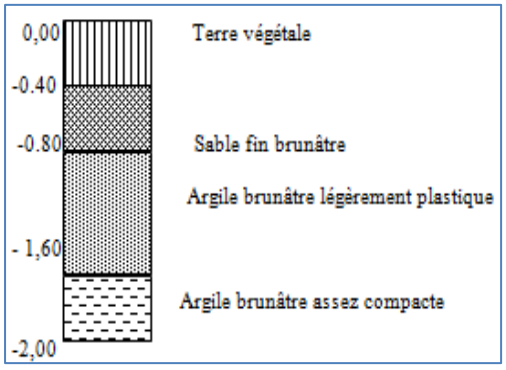


Figure 3.4. Coupe géologique à Kanyosha (Ecole Primaire de Kanyosha à 812 m d'altitude) (LNBTP. Rapport n° 230/91)

La proximité de la zone d'étude par rapport à ces profils (Figures 3.2, 3.3 et 3.4) et que la rive constitue le prolongement vers l'Est, nous fait remarquer que ladite zone est sableuse. Mais, suite aux inondations et l'alluvionnement argilo-limoneux qui en découle, les intestices de ces sables se colmatent, rendant difficile l'eau à s'infiltré : ce qui est à l'origine de la formation des flacs d'eau. Une maison en étage qui s'est effondrée en 2011 (Photo 3.6) à l'Ouest de l'avenue du Large sur le prolongement de l'avenue Ntwarante près du lac, au Nord de Kibenga « Rural » était établie sur un sol à structure non cohérente et de faible portance (Figures 3.2, 3.3 et 3.4, Photos 3.3 et 3.4).



Photo 3.6. Maison effondrée le 9 mars 2011 à Kibenga « Rural »

Les séismes contribuent à l'aggravation d'autres risques naturels dans la région de Bujumbura et dans tout l'ensemble du rift où il est inscrit. Ils contribuent à la déstabilisation des pentes (République du Burundi, 2013; Nibigira, 2018). Le seisme du 22 septembre 1960 a causé de nombreux dégâts. Notons aussi les facteurs tectoniques (formation du rift et du lac Tanganyika qui en résulte à côté d'autres lacs et le soulèvement de deux blocs qui l'emboitent du Nord au Sud) et des périodes climatiques qui se sont succédées sur la région depuis l'éocène à nos jours (ère de l'anthropocène).

3.2. Analyse de la vulnérabilité

3.3.1. Facteurs anthropiques

L'extraction des graviers, du sable et des moellons dans les cours d'eau, l'activité agricole (érosion dans la zone surplombant le graben), métaux lourds et déchets industriels dans le bassin du lac, transport maritime, déchets domestiques et urbains (Photos annexes 1 et 2 (p.100)), etc. jouent un rôle important dans l'aggravation des inondations. En effet, l'intensification liée à la destruction des plantations fixatrices, la culture dans le sens de la pente des contreforts et la déforestation massive augmentent l'exposition des sols à la dégradation. Ce qui est responsable du ruissellement avec le transport de matières diverses sources de la sédimentation du lac Tanganyika et des lits des cours d'eau (Photo 3.2).

La pression démographique et agricole porte un coup dur sur le boisement, avec des pratiques culturales permettant la déforestation et la destruction de l'habitat qui sont à l'origine des modifications de l'occupation et de la gestion du bassin du lac Tanganyika (Bergonzini *et al.*, 2002). Ainsi, dès l'an 2 000, on enregistre pour le Burundi une croissance de 2,0 sur tout le littoral du lac Tanganyika avec une densité de 250 hab./km² (Fermon, 2007) et d'environ 340 hab./km² en 2020 (ISTEEBU, 2020).

En effet, par truchement aux images multidatées, en 2010 (Photo 3.7 en haut), nous observons des espaces vertes non ou faiblement occupées, facilement perceptibles, en proie d'accueillir d'habitations (Kibenga « Rural », Gisyo, Musama, Kajiji). La zone le long de la côte du lac est presque vide. Ceci est aussi le cas pour la zone sur les francs des Mirwa à l'Est sur l'Image. Ainsi, les quartiers, Kizingwe-Bihara, Kinindo Bas (Sabimeli), Nyabugete (I, II, III, IV et V) n'étaient pas encore occupés. Globalement, l'espace littoral était très faiblement occupé. Au fur des années, cet espace a été convoité comme d'ailleurs cela ressort sur l'image en bas de 2021. Avec 2021 (Photo 3.7 en bas), nous constatons que le scenario change catégoriquement. La quasi-totalité de la zone littorale est viabilisée et la partie à l'Est (selon les deux images). En effet, c'est entre 2010 et 2021 que les quartiers Nyabugete (toutes les phases confondues), Nkenga-Buroso, Kizingwe-Bihara, Ruziba, ont été viabilisés. La densification des zones spontanées augmente en même temps. Seule la petite zone dénommée « chez Sebatutsi », viabilisée par un privé avant 2010, fut reconquis par l'agriculture des associations populaires d'auto-développement.

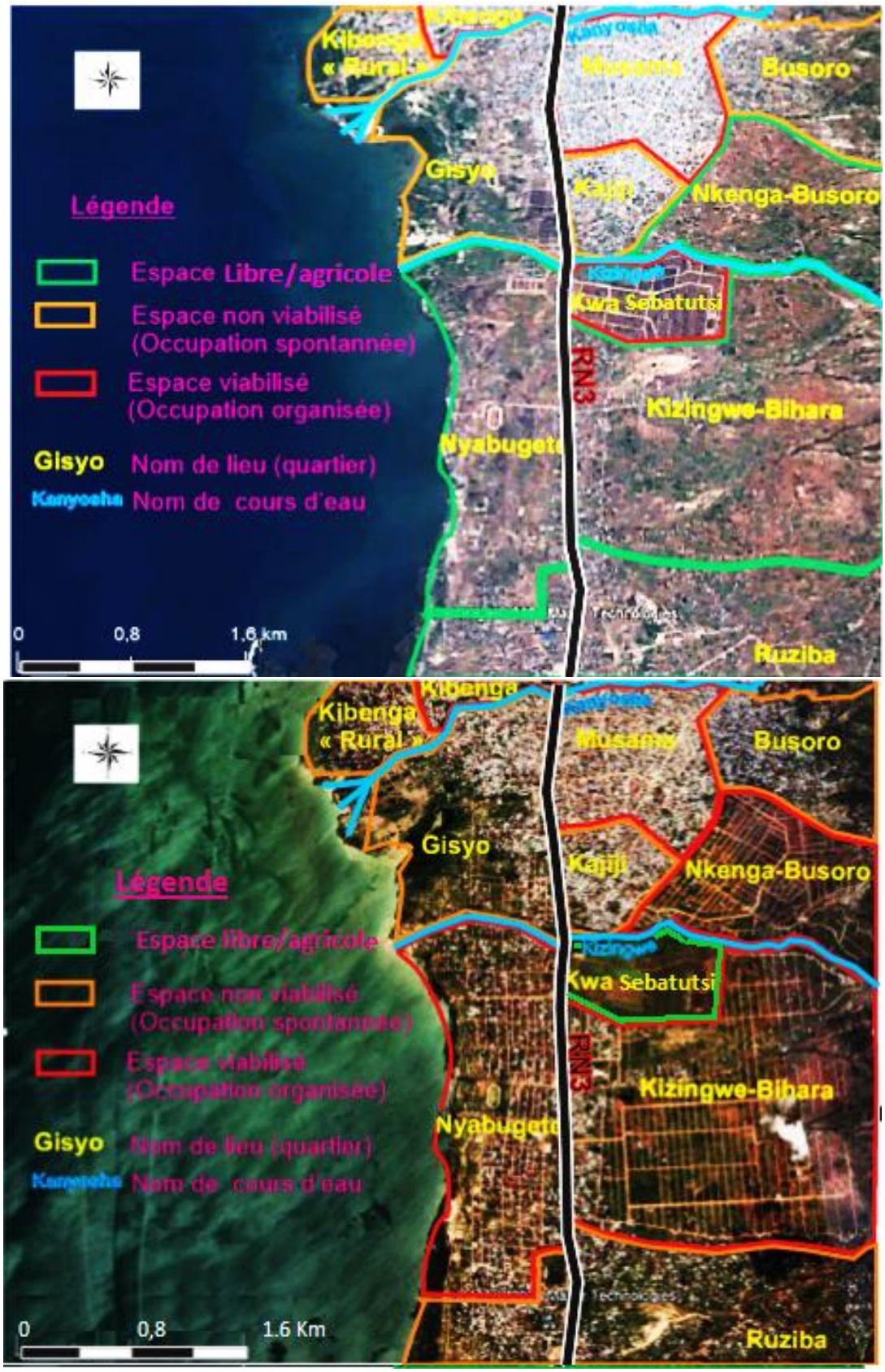


Photo 3.7. Evolution du bâti sur la rive du lac Tanganyika entre 2010 (en haut) et 2021 (en bas) (exemple entre les rivières Kanyosha et Mugere) (Image Google Earth, Maxar technologies consulté le 23/06/2021)

3.3.2. Aménagement et planification

3.3.2.1. Cadre juridique et institutionnel

Pour arriver à une bonne intervention sur le milieu, il faut avoir une planification qui prévoit des affectations des terres à bon escient. Cette intervention volontariste de l'homme est gangrenée de plusieurs problèmes dont certains découlent de la faiblesse légale et institutionnelle. Selon la loi n° 1/09 du 25 mai 2021 portant modification de la loi 1/010 du 30 juin 2000 portant code de l'environnement de la République du Burundi, tous les travaux de construction d'ouvrages ou infrastructures publiques telles que les routes, les barrages, les digues, les ponts et les aéroports doivent être soumis à une étude d'impact environnemental et social. C'est dans ce sens que la planification trouve sa place dans l'aménagement. Il existe un nombre important de textes règlementaires en rapport avec la gestion des aléas et sa prévention.

Pour le Burundi, citons ces textes légaux entre autres:

- Constitution de la République du Burundi, du 7 juin 2018 ;
- Vison Burundi – 2025, de juin 2011 ;
- Cadre stratégique de Lutte contre la Pauvreté (CSLP II) finalisé en 2012 ;
- Plan d'action et de politique sectorielle (2006-2010) du Ministère en charge de l'environnement avec pour mission de sauver l'environnement ;
- Plan d'Action Nationale d'Adaptation au Changement Climatique (PANA) de 2007 ;
- Stratégie nationale de l'environnement de 2002 ;
- Plan de Contingence Nationale revue en 2013 ;
- Stratégie Intégrée d'Appui des Nations Unies au Burundi (2012-2016)-UNDAF 2010-2014 révisé ;
- Loi n° 1/02 du 26 mars 2012 portant Code de l'eau au Burundi ;
- Loi n° 1/09 du 12 août 2016 portant code de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction au Burundi ;
- Loi n° 1/07 du 15 juillet 2016 portant Révision du Code Forestier ;
- Loi n° 1/21 du 15 octobre 2013 portant Code Minier du Burundi ;
- Loi n° 1/13 du 9 août 2011 portant révision de la Loi n° 1/008 du 1er septembre 1896 portant code foncier du Burundi ;
- Loi n° 1/11 du 16 mai 2010 portant code de navigation et de transport lacustre ;
- Décret-loi n°1/41 du 26 novembre 1992 portant institution et organisation du domaine public hydraulique ;

- Décret-loi n° 100/26 du 11 novembre 1989 portant création et organisation de la commission nationale de l'Eau et de l'Energie ;
- Décret-loi n° 1/6 du 3 mars 1980 portant création des parcs nationaux et Réserves naturelles ;
- Décret n° 100/22 du 7 octobre 2010 portant mesures d'application du code de l'environnement en rapport avec la procédure d'étude d'impact environnemental ;
- Décret n° 100/091 du 29 août 2001 portant nomination des membres de la Commission Nationale de l'environnement.

Le Burundi a ratifié des conventions, des accords et des traités internationaux. A savoir :

- Convention sur la gestion durable du lac Tanganyika signée le 12 juin 2003[9] ;
- Convergence sur la biodiversité biologique du 5 juin 1992[10] ;
- Convention Ramsar, 1971[11] ;
- Traité sur la Conservation et la Gestion des Ecosystèmes Forestiers d'Afrique centrale, Ratifié par la loi n°1/40 du 30 décembre 2006.

D'autres textes peuvent être cités : les textes anciens, antérieurs à l'indépendance, concernant la pêche (1932, 1937, 1961), la chasse (1937), les réserves forestières (1934, 1951, 1954), les établissements dangereux, insalubres ou incommodes (1956). Ceux d'après l'indépendance, le décret n° 100/162 du 6 décembre 1979 portant règlement général sur la recherche et l'exploitation des mines et carrières ; le Décret-loi n° 1/6 du 3 mars 1980 concernant les aires protégées ; le Code de la Santé Publique (1982) ; la Loi 1/6 du 25 mai 1983 portant protection du patrimoine culturel national ; le Décret n° 100/241 du 31 décembre 1992 portant réglementation de l'évacuation des eaux usées en milieu urbain ; le Décret-loi n° 1/003 du 30 juin 1993 portant protection des végétaux ; l'Ordonnance n° 52/160 du 16 novembre 1955, réglementant la pêche dans les lacs.

Cependant, il convient de constater que lesdits textes légaux ainsi cités manquent de textes d'application et demeurent par conséquent inefficaces (AMPF-Burundi, 2019). La plupart de ces outils sont très vieux. Il n'existe pas actuellement des documents de politique actualisée et

[9] Ratifié en 2008, cette convention a pour objectif d'assurer la protection et la conservation de la biodiversité biologique et l'utilisation des ressources naturelles du lac Tanganyika et de son bassin (article 2).

[10] C'est dans cette convention, dans la proposition des mesures d'atténuation, que ressort l'obligation d'Etude d'Impact Environnemental qui doit précéder tout projet (aménagement des quartiers, construction des infrastructures, etc.).

[11] Portant sur la conservation des zones humides d'intérêt international avec objet d'enrayer les empiétements progressifs sur les zones humides qui risquent d'entraîner leur disparition.

coordonnée en matière de gestion de l'environnement du lac Tanganyika. Malgré l'existence de tous ses textes, force est de constater qu'ils sont mal exploités ou ne sont pas exploités dans la mise en place des projets d'aménagement. On peut évoquer par exemple le cas des quartiers Kibenga Rural, Gisyo, Nyabugete depuis la première phase à la quatrième, Kinindo bas, etc. qui sont érigés sur des zones marécageuses, des zones de crues et sur la rive du lac Tanganyika en violation des codes de l'environnement et de l'eau.

Nous pouvons noter la présence d'un schéma d'aménagement du littoral du lac Tanganyika (SALT) établi en décembre 1992 comme un autre exemple. Ce schéma a été élaboré par SHER sous les ordres de l'Office Nationale du Tourisme (ONT) (Figures annexes 5 et 6 pp.89-90). La non-publication de ce document, le non-archivage ainsi que l'instabilité des ministères (République du Burundi, 2014b) pourraient être la cause de sa non-vulgarisation et de l'absence de sa mise en exécution. Selon notre informateur ce document avait les grandes lignes suivantes :

- la zone industrialo-portuaire devait rester dans les limites du Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisation (SDAU) de 1982 (Figure annexe 2 (p.86)) ;
- la zone de Bujumbura Nord et Bujumbura Sud étaient réservées aux activités touristiques combinées aux services et commerces, des parcs d'attraction, des terrains de jeu et de sport ;
- le long des rivages est réservé aux plages qui serviront à l'accès libre du public.

Malheureusement ce schéma n'a pas été exécuté et reste inaccessible. De même, dans les archives de l'ONT on ne les trouve pas et la SDAU de Bujumbura horizon 2025 (République du Burundi, 2014b) ne le mentionne pas parmi les documents qui leurs ont servi de base. Au-delà de la protection globale des berges du lac Tanganyika par une bande sur laquelle aucune construction ne sera autorisée, le SDAU de décembre 2014 (Figure annexe 1 (p.85)) (République du Burundi, 2014b) avaient identifiés plusieurs sites pour la création d'aménagements spécifiques balnéaires ou de promenades. Ils devraient s'étendre sur un total de 17 km de linéaire, en plusieurs tronçons. Sur les plages du Nord, des aménagements balnéaires spécifiques devraient être mis en place pour protéger le paysage et mettre en valeur les bancs de sables déjà prisés pour offrir aux habitants de Bujumbura une vraie zone de détente et de marquer la présence du lac. Plus au Sud, deux autres zones similaires devraient être aménagées pour permettre aux habitants de ces quartiers de bénéficier des avantages du lac, sans dégrader les espaces naturels au voisinage. Trois secteurs au bord du lac avaient été classés en Zones de Projets Particuliers (ZPP), compte tenu des enjeux qu'ils représentent :

- le water front, entre le port et le cercle nautique ;
- les plages du nord, Kajaga ;
- la palmeraie au nord de la rivière Mugere.

Néanmoins ; malgré son existence (orientation 7)[12], on observe encore l'occupation spontanée allant jusqu'au s'emparer de ces zones du littoral du Lac Tanganyika. Ce qui laisse penser qu'il n'y a pas de Schéma actualisé d'Aménagement du littoral du lac Tanganyika en 2023. Malheureusement le SDAU 2014 n'a pas été adopté et rejoint les autres documents préexistants. Ce qui explique le no-respect de la loi sur l'aménagement du littoral.

3.3.2.2. Etalement urbain et péri-urbanisation

Bujumbura entre dans le concept de ville concentrique, avec globalement un seul centre – site de Mukaza – (Calcio-Gaudino, 1991)[13]. Son étalement se fait le long des grands axes de communication (cas de la RN1 ; RN3, RN4, RN5, RN7, RN9, ayant toutes leurs points de départ au centre ville ou vers la péripherie de la ville de Bujumbura), le long des rives du lac Tanganyika (cas de Kumase, Kajaga, Kibenga « Rural », Nyabugete, Kinindo Bas, etc.) et des rivières qui traversent cette ville (cas des quartiers Mutanga, Gihosha, Kigobe, etc. sur la rive de la rivière Ntahangwa ; Gasekebuye, OUA, Kinanira I sur la Muha ; Kinanira II, Gisyo, etc. sur la Kanyosha, etc.). Il se développe aussi sur des terrains vacants et/ou agricoles à la périphérie urbaine (Carama, Tenga, Maramvya, Kibenga « Rurale », Gahahe, Kigaramango, etc.) et dans des localisations de prestige au voisinage du centre (Kiriri, Kabondo, etc.).

Bref, le gros de nouveaux lotissements – planifiés et/ou anarchiques – s'érigent sur des espaces périphériques ou péri-urbains jusqu'à apporter ses influences sur les zones hors urbaines (Tenga, Rubirizi, Nyabunyegeri, Kigaramango, etc.) dont certaines sont des *no man's lands* (Figure 3.5). On constate que cet étalement fait que le gris (béton) (Kabanyegeye *et al.*, 2021), aujourd'hui, gagne le terrain au détriment du vert (végétaux) et du bleu (eau) bien que ce

[12] Orientation 7 : limiter les impacts sur l'environnement de Bujumbura (SDAU, 2014) : Limiter les risques environnementaux résultant des pressions anthropiques sur le site (pollution du lac, érosion, inondations, surexploitation des ressources naturelles).

[13] Selon l'auteur, le Burundi enregistre un faible taux d'urbanisation qui s'explique par l'extraordinaire stabilité de la population burundaise, dans l'attachement du paysan à sa colline d'origine, mais aussi à la jeunesse du phénomène d'urbanisation qui est à l'origine urbaine Bujumbura et Gitega datant de l'époque allemande, les autres centres secondaires de l'époque belge. […] la situation de Bujumbura en bordure du lac et la présence du port facilitent évidemment le développement de la ville au détriment des autres centres trop petits et trop éloignés de ce seul vrai marché intérieur. Cette idée est ragaillardie aussi par la SDAU de 2014 (horizon 2025)(République du Burundi, 2014b).

dernier garde sa place ou regagne sa position dans le paysage, souvent avec des dégâts humains et des enjeux divers (vengeance des eaux du lac) est renforcée

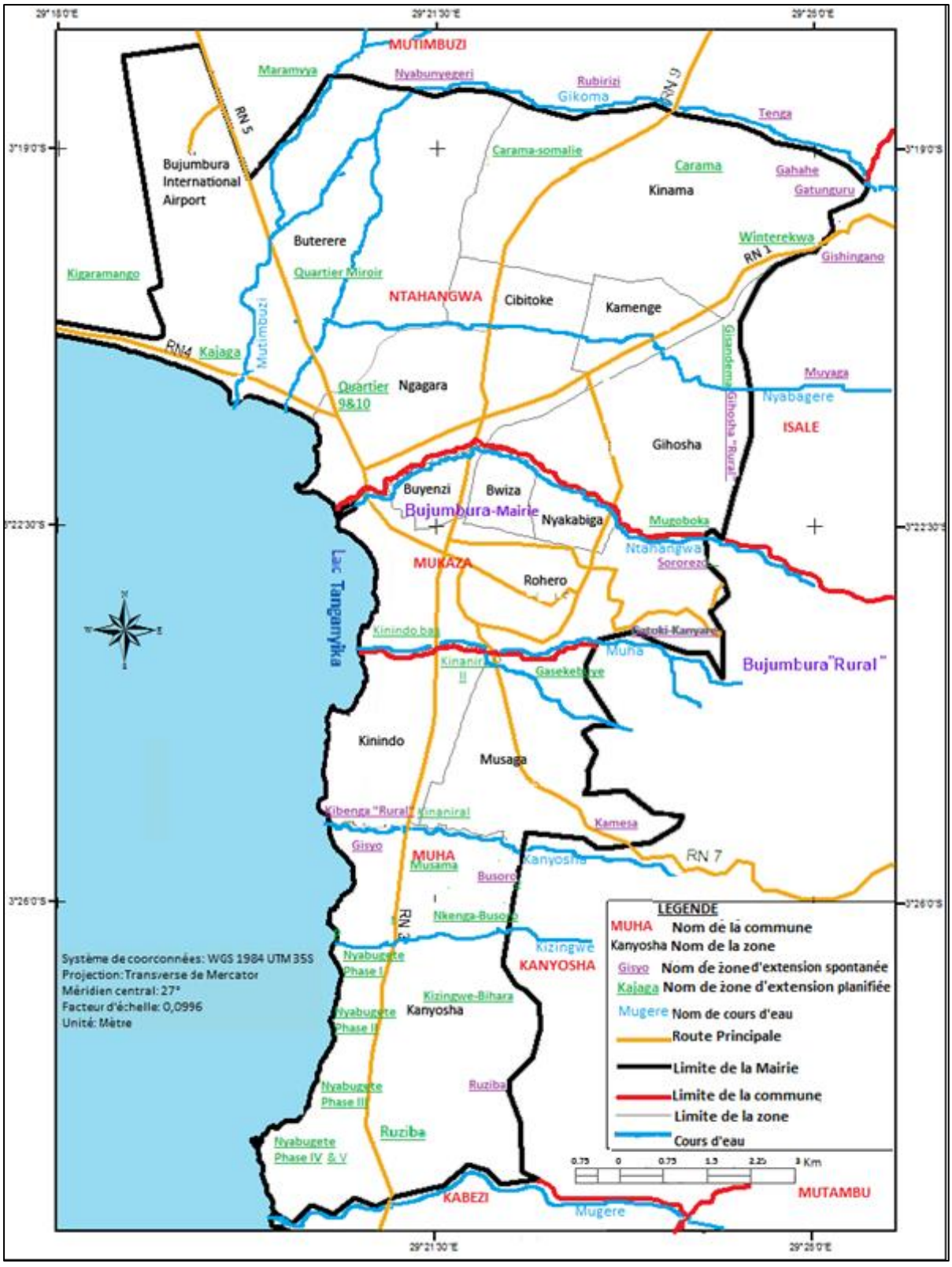


Figure 3.5. Périphérisation de la ville de Bujumbura de l'après 2000 (Auteur sur base des données du terrain et (MEA, CTB et PAIOSA, 2017))

L'étalement urbain, provoque un déplacement quotidien, des périphéries au centre-ville, implique un budget non négligeable, dans les grandes villes du monde comme dans les moyennes et petites (Föster et Ammann, 2018; Habal, 2019; Leinberger, 2009), Bujumbura y comprise. Le centre-ville devient de plus en plus cher et est profitable seulement par les grandes économies. Certains ménages profitent alors des grands espaces périphériques, où le foncier est encore abordable (prix du terrain à bâtir), pour y ériger des habitations selon nos interlocuteurs.

Certains des ménages s'emparent des '*no man's lands'* (Photo 3.8) sans suffisamment conscience sur des coûts supplémentaires et les risques qui les guettent (Iyankunze, 2012). L'absence des documents de planification détaillés et mis à jour est responsable de ces effets. Ces documents permettraient de limiter l'extension des aires urbaines et de leurs affectations. Ici le document visé est le Schéma Directeur d'Aménagement Urbain (SDAU) ainsi que les documents dérivés de celui-ci dont les Plans Locaux d'Urbanisation (PLU) ancien Plan d'Occupation du Sol (POS), le Plan de Développement Urbain (PDU, le Plan Locaux de l'Habitat (PLH), le Schéma de Cohérence Territoriale (ScoT) qui conjurent à chaque aire urbaine ses affectations et prédisent sur l'essor des espaces péri-urbains. Le SDAU comprend à la fois des cartes et des règlements y relatifs. C'est un document à la fois réglementaire, juridique, technique, d'affectation et d'orientation. Ce document permet de limiter l'extension des aires et de décider de leurs affectations tout en endiguant les occupations anarchiques.



Photo 3.8. Hôtel érigé sur un '*no man's land*' dans Kinindo-bas

3.3.3. Occupation du sol

Selon l'étude réalisée en 2021 sur le dynamisme spatial et l'occupation du sol dans Bujumbura ces trente dernières années (Kabanyegeye *et al.*, 2021), la croissance spatiale non planifiée depuis les années 2000 renforce les inégalités sociales et la dégradation visuelle des paysages jusqu'à générer des conflits d'intérêts de différents acteurs. Ce processus augmente la suppression de la couverture végétale. La forte croissance de la population urbaine a pour effet l'augmentation des zones viabilisées, ce qui va augmenter le coefficient de ruissellement via l'imperméabilisation des espaces (Figure 3.5 (p.49), Photos 3.2 (p.44), 3.9 et 3.10).



Photo 3.9. Occupation des quartiers nouvellement ouverts dans une zone à inondation permanente à Nyabugete III

L'imperméabilisation de la zone urbaine ainsi que le déboisement des zones surplombant la ville depuis les années 1980 (Sindayihebura, 2005) ont pour conséquence l'augmentation du ruissellement qui va de pair avec l'exposition face aux inondations récurrentes dans les terres basses à faible pente et en particulier par la reprise de son espace du lac Tanganyika sur son littoral. Or, les quartiers sont érigés sur des espaces jadis constituant des zones de transgression du lac Tanganyika (Photos 3.9 et 3.10), et d'autres sur des zones à inondation permanente (cas du quartier Miroir par exemple) ; ce qui rend ces espaces occupés vulnérables face à l'inondation. Cette zone, le littoral, devrait être érigée pour d'autres faits et tout au moins dans le respect du Schéma d'Aménagement du Littoral du Lac Tanganyika (SALT) (Figures annexes 5 et 6 pp.89-90).



Photo 3.10. Vue aérienne de la Nyabugete phase II, III, IV et Ruziba près de la rivière Mugere (Google Earth, Image @2021 Maxar Technologies Map Data@2021 AND du 22/05/2021)

En conclusion, différents facteurs interviennent dans le déclenchement et à l'amplification de l'inondation. Outre la forte pluviosité, l'augmentation de l'exposition liée : à l'occupation des zones à risques (côte des rivières, littoral, zones marécageuses, zone de repos des eaux, etc.), aux facteurs naturels (pente, le pédo-géologie, saturation des sols, etc.) et aux facteurs anthropiques augmentent le niveau de vulnérabilité. Le quadruplet « précipitation-démographie-aménagement-topographie » joue un rôle très important sur la vulnérabilité face à l'inondation.

Ainsi, l'hypothèse selon lequel les risques d'inondations du littoral Est (rive droite) du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura sont dus aux facteurs naturels et amplifiés par des facteurs humains est vérifiée.

Le chapitre suivant insiste sur les résultats obtenus à propos du risque d'inondation de la littorale Est du lac Tanganyika. Il met en exergue les différents paramètres pour appréhender le risque d'un site.

Chapitre IV : ANALYSE DU RISQUE D'INONDATION

Plusieurs éléments d'analyse entrent en jeu pour la bonne appréhension du risque d'un site en proie à l'inondation. Il s'agit d'analyser la probabilité de survenance d'inondation et le niveau de sévérité de l'inondation. Il s'agit aussi d'analyser son intensité et son occurrence ainsi que le niveau de perception des habitants de l'inondation et le coût afférant à l'inondation. Les différents indicateurs sont appréhender via l'analyse des données de la montée des eaux du lac.

4.1. Probabilité de survenue de l'inondation

L'étude de Bergonzini et ses coéquipiers montre qu'entre 1932 et 1995, le niveau de lac a chuté d'un mètre, soit en moyenne de 15 mm par an (Bergonzini *et al.*, 2002) et que la fluctuation du niveau lacustre est caractérisée par la variabilité hydro-climatique qui a été simultanément constaté sur le lac Victoria et les autres lacs de la sous région (Bergonzini *et al.*, 2002, Sene et Plinston, 1994). De même, l'augmentation du niveau du lac Tanganyika de 3,24 m à la station du port de Bujumbura, commencée en janvier 1962 et culminant en mai 1964, correspond à la crue centenaire du fleuve Congo de 1962 (Laraque *et al.*, 2009), aux forts débits de nombreux affluents du Nil (Conway et Hulme, 1993) et aux hauts niveaux des lacs Kivu, Turkana, et Victoria (Zabel *et al.*, 2001).

La tendance des hauteurs d'eau montre une montée progressive sur les 17 années (Figure 4.1). La probabilité de survenue est de 5,57%. Cela signifie que chacune des 17 années à venir (comptées de 2022) a une chance égale à 5,57% pour remémorer le niveau atteint en 1964 (777,08 m d'altitude) compte tenue de la tendance observée en 2021 (Figure 4.1). Cette tendance, une fois maintenue, elle montre une montée probable de 0,43 m chaque année.

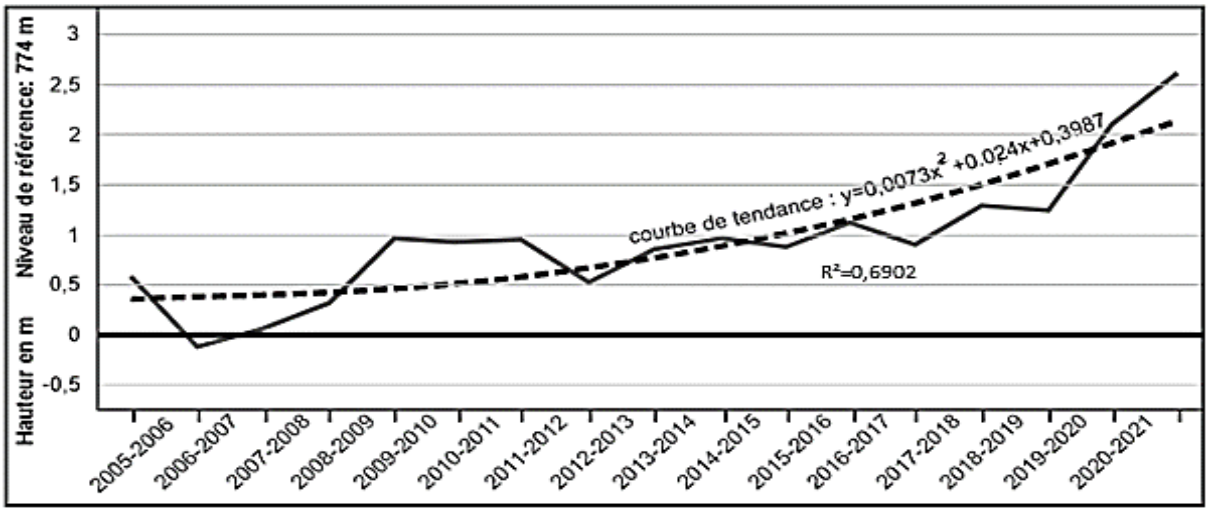


Figure 4.1. Variation du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021 (Auteur, Tableau 4.2 (p.59))

4.2. Niveau de sévérité de l'inondation dans la zone d'étude

Vue la tendance actuelle (0,43 m de montée par an), nous présumons que le niveau de sévérité est élevé car résultant d'une combinaison de plusieurs types d'inondations plus ou moins complexes à évaluer. Si la montée reste constante et régulière chaque année, la moyenne montre une augmentation de 0,9517 m. Pourtant, cette régularité n'est pas observée dans le meilleur des cas. Ainsi, nous avons soumis la moyenne au test : la médianne. Celle-ci est de 0,92m. Or, avec le niveau de confiance de 95%, notre moyenne admet un interval de confiance comprise entre 0,614 et 1,288 (Annexe 6 (pp.91-92)). Comme la médianne se retrouve dans cette intervalle, cela prouve que la majorité des montées observées est concentré autour de la moyenne. Ce qui nous permet de dire que cette tendance lié à la moyenne est confirmée.

Plusieurs phénomènes tant naturels qu'anthropiques entrent en jeu pour expliquer cette sévérité. Les inondations sur la côte du lac Tanganyika s'observent ainsi via :

- **la remontée de nappe** : en effet la nappe phréatique est à moins de 2 mètres de profondeur (selon la SIP/sm – société qui gère le site abritant le quartier OUA de Kinindo – via les constatations et observations lors du creusement de fosses septiques ainsi que les avis des habitants de Kibenga). Par sa formation géologique poreuse (sableuse, silto-argileuse, etc.) (Figures 3.2, 3.3, et 3.4 (p.41)), le sous-sol s'imbibe facilement par les eaux de transgression du lac et surgissent en surface selon que les entrées augmentent et que la surface interstitielle se remplis ;
- **la montée lente** : qui s'observe par le débordement des lits des rivières qui traversent la ville de Bujumbura pendant une période relativement longue (cas du débordement de la Ntahangwa en avril 1986 où on a enregistré 200 mm de pluie en seulement 36 heures causa de multiple dégâts (chausse d'Uvira recouvert d'1m d'eau et le route vers l'aéroport sont interrompues, hauteur de 2,20 m à la SEP, Fina actuel Engen emporté, etc.); cas de la Ntahangwa en janvier 1997 (hauteur de 2,1 m à la SEP, 1 m à la RAFINA, digue mise en place en 1990 submergée et endommagée) ; cas de la Mutimbuzi en 2018 par exemple sur le port de Bujumbura (Photo 4.1)). Cette montée s'observe souvent sur les cours d'eau et sont responsable de multiples dégats sur l'Usine Brarudi, COGERCO, RAFINA, etc. chaque année.
- **la formation rapide des crues torrentielles** consécutives à des averses provenant des bassins versants qui se concentrent rapidement dans les cours d'eau (crues brutales et violentes) et souvent même dans les rues. Ces crues touche la zone, le long de la rive gauche du lac Tanganyika (Kibenga, Sebimeli, Nyabugete, etc. (Photo 4.2).

Souvent, l'intensification des crues torrentielles rend la circulation très difficile sur différents pistes (Boulevard Ndadaye Melchior ancien Boulevard du 1er Novembre devant la BRARUDI et RAFINA, des avenues des quartiers (Photo 4.2), etc.



Photo 4.1. Inondation près de et dans la zone aéroportuaire de Bujumbura par la rivière Mutimbuzi (Masumbuko et Ruhimbi Ndabaniwe, 2018)



Photo 4.2. Avenue de Kibenga « Rural » sous les eaux après une averse

- **le ruissellement urbain et des crues péri-urbains** par l'imperméabilisation du sol (le bâti, la voirie, parkings, terrains, etc.) qui limite l'infiltration des pluies et accentue le facteur de ruissellement occasionnant ainsi la saturation du réseau d'assainissement des eaux pluviales. Ce qui a pour conséquence le déversement de ces eaux sur les voies de circulation, la création des mares dans les parcelles (Photo 4.3) alors que la végétation hydrophile en profite (Photo 4.4).



Photo 4.3. Etat de lieu d'une parcelle de Kinindo-bas après une pluie diluvienne



Photo 4.4. Voies de circulation dans Bujumbura à Kinindo bas, envahie par la jacinthe d'eau suite à la montée du lac Tanganyika

- **Transgression lacustre** : le Lac Tanganyika accueille des eaux de plusieurs cours d'eau avec un bassin de 240 000 km² (Bergonzini *et al.*, 2002; Nibirantije, 2017). Il se trouve dans la zone intertropicale. Vu la pluviométrie (3.1.1 pp31-33), l'hydrologie (3.1.2 pp33-35)), la topographie (plus ou moins plat (3.2.2 pp36-39)) et, ainsi que la pédo-géologie (profondeur de la nappe phréatique et la formation des terrasses (3.2.3 pp40-42) tous ceux-ci favorisent la transgression du lac Tanganyika (Photo 4.5).



Photo 4.5. Transgression du lac Tanganyika à Kibenga « rural »

L'augmentation du niveau du lac observé en 2021-2022 commence 5 ans plutôt mais avec 2017 (+1,68 m soit 776,58-774,9) la tendance se remarque faciliement (tableau 4.2). Au vu du tableau 4.2 (p60) et de la figure 4.1 (p.53), 4.2, on constate une accumulation progressive sur les années suivantes jusqu'à avoir une augmentation du niveau de 2,58m (2021). Un minimum de -0,1 m est enregistre en 2006 (773,9 m) sur les derniers 17 ans. Après 2006, les autres années cosntituent les années d'accumulation.

Bref, la combinaison de tous ces types d'inondation prouve que le niveau de sévérité sur notre zone d'étude est élevé. C'est ainsi que 1 858 ménages, sur environ 1 000 hectares (soit 973,249 ha) de la zone habitée dans cette zone d'étude ont été affectés en 2021 (Tableaux 4.1). Selon OCHA, à Kibenga (Photo 4.5), Gisyo et Kabondo, 2 563 personnes ont été affectées par cette montée lacustre.

4.3. Intensité destructive de l'inondation

La transgression lacustre à laquelle s'ajoutent les crues des rivières sur le littoral droit de la ville de Bujumbura à partir de la rivière Mugere au Sud à la rivière Mutimbuzi au Nord, a causé beaucoup de dégâts. Le tableau 4.1 montre l'intensité destructive des inondations dans la zone d'étude via les enjeux impactés. On assiste à des activités (stations pétrolières, boutiques, bars, hôtels etc.), infrastructures (routes, ponts, etc.), port de pêche, etc. qui ont été affectés. Nous avons pu recenser ceux qui sont susceptibles d'être affectés dont certains le sont déjà. Ils sont repris dans le tableau 4.4 (p.69) et la Figure 4.4 (p.71).

Tableau 4.1. Occurrence d'inondation et enjeux impactés ([1]République du Burundi, 2013; [2]Nibigira, 2018; [3]Sindayihebura, 2005; [4]IOM-Burundi-DTMBurundi et Croix-Rouge-Burundi, 2021) et [5]observation du terrain de l'auteur Décembre 2021)

Année	Zone inondée	Enjeux impactés pour la zone d'études
1961-1964	Littoral jusqu'à 777.06 m d'altitude[1, 3]	Les quartiers Kibenga, Kinindo Bas, Asiatiques, Industriels, le Port de Bujumbura, la chaussée d'Uvira (RN4), SEP (400 000 US$) ; la RN3, Huileries d'Usumbura (4 millions de francs burundais de perte et 2 million pour protection), les cultures, Sociétés pétrolières Socopétrol (8 millions pour la protection), BP Congo (4 million pour la protection) et beaucoup d'autres enjeux en dehors de la zone d'étude. La frange côtière touchée par ces crues est variable selon les endroits (1 à 2 km), etc.
1983	Buyenzi Quartier industriel[1, 3]	Maisons, machines, autres équipements industriels, Routes, COCERCO, RAFINA, Port de Bujumbura, etc.
1983-1986	Crues de la Ntahangwa[1, 3]	Maisons, détérioration des machines et équipement de la zone industrielle, destruction des stocks de COGERCO, BRARUDI, RAFINA, SEP, SNP et port de Bujumbura, Digue de protection, etc.
1990-1991	Kajaga, Chanic[1, 3]	Maisons, Chaussée d'Uvira, Population sinistrée, ponts, etc.
2009	Toute la zone ainsi que la ville de Bujumbura entière[1, 2]	Maisons, écoles, ponts, coupure et court-circuit électrique, cimetière de Mpanda (142 tombes exhumées avec ses impacts et pollution sur toute la zone inondée), pertes en vies humaines (425 morts), incendies déclenchés, écoles, etc.
2010	Centre gynéco-obstétrique de Kabezi, zone de l'aéroport1[, 2]	Equipement, maisons, route, ponts, écoles, etc.
2011	Ngagara, aéroport et ailleurs (surtout avec la Mutimbuzi)[1, 4]	Equipements, 137 maisons détruites, Manque d'eau potable, 30 cas de Choléra dans Sabe, population déplacée vivant dans la promiscuité, etc.
2014	Littoral[2, 4]	Ecoles, hôtels, Maisons d'habitations, etc.
2018-2021	Tout le littoral du lac Tanganyika[4,5]	Ecoles, usines, dépôts, routes, maisons, hôtels, bars, plusieurs déplacés, Chaussée d'Uvira, Boulevard Ndadaye Melchior, Magasins, station d'essence, routes diverses,

		Quartiers en aménagement (Nyabugete I, II, III, IV, Kinindo bas), etc. Personnes déplacées (38 328 personnes avec 5 759 ménages en mairie de Bujumbura dont 1 858 ménages avec en poyenne personnes par ménage en Août 2021 dans la zone d'étude), etc.
2022	Tout le littoral du lac Tanganyika[4, 5]	Routes, maisons, quartiers littoraux, 170 maisons (Kibenga) envahis par l'eau (quartiers affectés Nyabugete, Kibenga-rural, Kinindo-bas, etc.)

Les inondations de 2009 sont considérées comme catastrophiques par le PNUD qui estime les pertes industrielles à 4.5 millions de US$. Ces inondations étaient dues au manque de nettoyage/curage des cinq cours d'eau durant plus d'une dizaine d'années et ont dévié de leurs lits, avec augmentation de la vitesse et la déforestation des aires protégées autour de la plaine pendant la période de la guerre civile (République du Burundi, 2013).

4.4. Hauteur de submersion à l'inondation

Compris entre 772 m (niveau du lac) et l'isohypse 780 m, cette partie est de pente souvent inférieure à 2%. Ainsi, cela entraîne la stagnation des eaux de pluie et des eaux d'inondations (Lopez, 1978; Evert, 1980) ainsi que la propension de la transgression du lac Tanganyika. Cette partie est souvent le théâtre des inondations récurrentes : 114,80 ha pour la seule zone comprise entre Muha et Ntahangwa ont été victime de la montée brusque du lac qui a atteint, le 15 mai 1964, la cote de 777,06 m alors qu'en 2021, le niveau a été de 776,8 m (Tableau 4.2 ; 4.3).

Tableau 4.2. Fluctuation du niveau des eaux du lac Tanganyika de 1878 à 2021 ((ᵃLopez, 1978; ᵇEvert, 1980; ᶜSindayihebura, 2005; ᵈFermon, 2007; ᵉBergonzini *et al.*, 2002) ᶠinformation recueillie auprès des responsables du port de Bujumbura)

Période	Côte (en mètre) maximum	Période	Côte (en mètre)maximum
1878[a,b]	783,6	2008[f]	774,30
1894[a,b]	772,5 (la côte la plus basse observée)	2009[f]	774,97
1895-1908[a,b,c]	774,8	2010[f]	774,92
1908-1923[a,b,c]	773,2	2011[f]	774,96
1925-1938[a,b,c]	774,85	2012[f]	774,52
1938-1949[a,b]	776,91	2013[f]	774,86
1949[e]	772,88	2014[f]	774,98
1950-1964[a,b,c,d]	777,06	2015[f]	774,88
1964[e]	777,08	2016[f]	775,12
1975[b,c,d]	774	2017[f]	774,90
1992-1999 [c,d]	775,42	2018[f]	775,30
1999-2005[f]	773,56	2019[f]	775,24
2005[f]	774,6	2020[f]	776,10
2006[f]	773,9	2021[f]	776,58
2007[f]	774,05		

Tableau 4.3. Surfaces inondées et estimation de volume d'eau selon la hauteur de submersion entre la Mugere et la Mutimbuzi (Auteur à partir des données du tableau 4.2 et des figures 3.1 (p.33) et 4.3 (p.64))

Niveau (altitude en m)	Aire (en ha)	Hauteur de submersion (en m)	Observations
772,00-774,00	329,160	2,00	Zone inondée en permanence et est couverte des eaux du lac
774,00-775,42	679,376	1,42	Zone régulièrement inondée
775,42-776,90	973,249	1,48	Zone d'inondation moyenne
776,90-778,00	1 197,917	1,10	Niveau d'alerte maximale
778,00-781,00	1 786,762	3,00	Zone touchée avant l'ouverture de la Lukuga

Selon nos résultats, sur les 17 dernières années, la montée significative est autour de la moyenne chaque année, entre 0,614 m et 1,288 m (Annexe 6 pp.91-92). Même si la majorité des années ont des montées autour de la moyenne (0,9517 m), il s'avère nécessaire d'anlyser leur ditribution. Selon le test de normalité (coéfficient de Skewness), P_{-val}=0,0972 donc supérieure au risque α=0,05 (Niveau de Confiance de 95%), nous constatons que la majorité des montées est concentrée au milieu des années considérées (2005-2021) (Annexe 6 (pp.91-92), Figure 4.2), ce qui prouve que les montées observées telle année dépend des accumulations antérieures. Si une année augmente (R^2=0,6902) (Annexe 6 (pp.91-92), Figure 4.1 (p53)), cela signifie que la montée des eaux depuis 2005 à 2021 explique la montée globale à 69,02%. Alors, si une année s'ajoute, le niveau augmente de 0,107 m (95%, Interval de Confiance : 0,6807-0,1476). Cette augmentation est fortement significative selon le test de Ficher (P_{-val}=0.00), ce qui explique les inondations observées ces 17 dernières années (2005-2021).

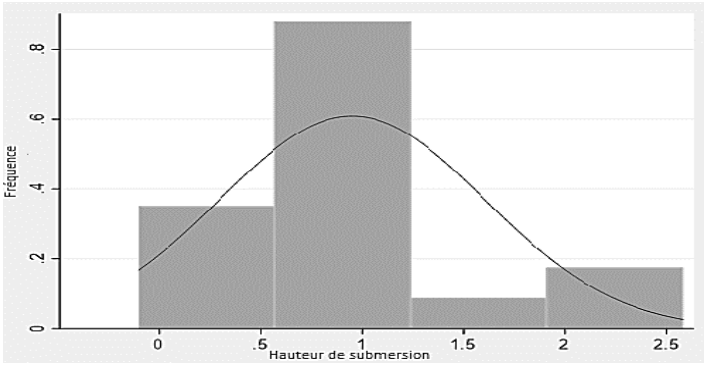


Figure 4.2. Distribution de la variabilité du niveau du lac Tanganyika de 2005 à 2021

Les princpales fluctuations du niveau du lac (Tableaux 4.1 et 4.2 (pp.58-59), Figures 4.1 (p.53)) et 4.2 et des variations s'observent non seulement sur de longues périodes mais aussi pour une durée bien limitée et courte (Figures 4.1 (p.53) et 4.2). Le 14 avril 2021, le niveau a atteint

776,45 m (Photo 4.6). En comparant les résultats des tableaux 4.1 et 4.2 (pp.58-59); on se rend compte qu'une surface de 1 786,762 de hectares sur un périmètre de 46,706 km, (zone d'étude) pourrait être submergée si la côte 781 m serait atteint. Avec 778 m (établi après 1964) 1 197,917 ha seront submergés. Malgré le risque d'inondation, cet espace est convoité et exploité anarchiquement sans plan d'aménagement pour la plupart.

Avec cette côte 776,42 m (Photo 4.5), on se rend compte qu'une superficie de 973,25 était submergé en décembre 2021. Ce qui laisse penser les impacts sur les différents enjeux. La côte de l'an 1878 n'est pas beaucoup plus évoquée car Bujumbura était encore presque vide d'homme (République du Burundi, 2013). Mais, au vu de cette côte, toute la partie industrielle, Kajaga, Kinindo, Asiatique, Kibenga, Nyabugete, etc., donc tous les quartiers longeant la côte du lac Tanganyika étaient sous les eaux. On estime le niveau du lac Tanganyika à 774 m, mais avec des fluctuations récurrentes pouvant atteindre facilement 778m (cote fixée par l'urbanisme) et 772,5 m (niveau le plus bas observé en 1894 (Tableau 4.2 (p.59)). Pour mieux appréhender cette fluctuation, la figure 4.1 (p.53) prouve qu'elle est beaucoup plus sensible selon des années successives, d'une année à l'autre. Ceci prouve que les pics observés dépendent des accumulations des années précédentes (Figure 4.1 (p.53), 4.2).



Photo 4.6. Limnimètre et limnigraphe au Port de Bujumbura (niveau 776,42 m)

Selon le tableau 4.2 (p60), on peut estimer, avec précision, que tous les 13 ans, le niveau du lac enregistre des amplitudes extrêmes. Ceci n'empêche de penser aussi aux variations saisonnières, malgré leurs ampleurs faibles à court terme. En 2002, pour la seule partie de Kibenga, 494 ménages étaient sous menaces évidentes d'inondations liées à la montée du lac Tanganyika (Sindayihebura, 2005).

4.5. Place d'occurrence de l'inondation sur la rive droite du lac Tanganyika

Les précipitations exceptionnelles des années 2006, 2007, 2009, 2018-2021 (Nibigira, 2018; IOM-Burundi, DTMBurundi et Croix-Rouge-Burundi, 2021) sont responsables des inondations sur le littoral du Lac en particulier, ce que confirme la figure 4.2, et sont liées à des accumulations des eaux sur de petites périodes. A ce premier, ajoutons l'augmentation de la population de 60 000 habitants en 1962 et 485 323 habitants en 2008 contre 776 258 habitants en 2021 (République du Burundi, 2013; ISTEEBU, 2020) en tant qu'élément aggravant.

Ce dernier augmente la pression démographique sur les bords des rivières traversant la ville de Bujumbura et le littoral du lac Tanganyika, sous le risque d'inondation élevé. Ces facteurs augmentent le niveau d'exposition à l'aléa inondation de la rive du lac Tanganyika.

La vulnérabilité de la rive du lac Tanganyika s'observe non seulement par les inondations répétitives sous ses différentes formes mais également par le phénomène de ravinement lié au coportement des cours d'eaux et canaux d'évacution des eaux. Elle est liée aussi aux problèmes de planification constituent les contraintes majeures de notre zone d'étude. Le constat est que le béton prend place du vert (végétation) et du bleu (eau), certaines maisons étant établies sur la rive du lac jusqu'à empiéter le lac sans technique appropriée comme c'est le cas de Lacosta Beach et ses alentours (Photos 4.7, 4.8 et Photos de couverture). Ces endroits qui ont accueillis ces enjeux sont, non seulement sur des espaces de transgression lacustre mais aussi théâtre des inondations récurrentes pour des périodes très réduites.

Les manquements dans la planification urbaine et dans le suivi, le mauvais dimensionnement des ouvrages d'assainissement des eaux pluviales, l'occupation anarchique des zones planifiées, le pavage des bandes des réseaux divers, le manque de moyens pour protéger les zones instables et à risques augmentent le malaise et la nuisance vis-à-vis des habitants de l'agglomération de Bujumbura et de son environnement en général et de notre zone d'étude en particulier. Ainsi, cette zone est établie soit par achat au coutumier ou soit par la complicité des autorités (via des aménagements non concertés). Elle est souvent le théâtre de multiples crues et inondations ainsi que d'éventuelles transgressions lacustres (Figure 4.3 (p.64), Tableau 4.3 (p.59) et Photo 4.8 (p.63)).

Dans cette zone nous constatons aussi l'implication de la population en place. Certains nous ont relatés qu'ils assistent impuissamment à cette montée récurrente. L'un d'eux, avec qui nous somme entretenu, nous a dit : «*…turakunze kubona ayo mazi aduga hama agasubira inyuma, kandi ibihe vyinshi. Haraheze imisi itari mike tubibona. Ubu ho amazi yararenze! Aha yaraca*

no mu madirisha. Ariko turahaguma » traduit « …nous assistons à la hausse et repris des eaux du lac maintes fois. Dans nos jours, les eaux du lac ont augmenté soudainement ! Ces eaux ont pénétré dans nos maisons en passant sous les fenêtres cette fois-ci. Mais, certains y restent malgré cela » (Photos 4.8) et Photos de la couverture) ». La figure 4.3 (à base des tableaux 4.1, 4.2 et 4.3 (pp.57-58) montrent les surfaces inondées selon les niveaux déjà observés de 1878 à 2021.



Photo 4.7. Lacoste Beach noyé complètement dans les eaux du lac Tanganyika

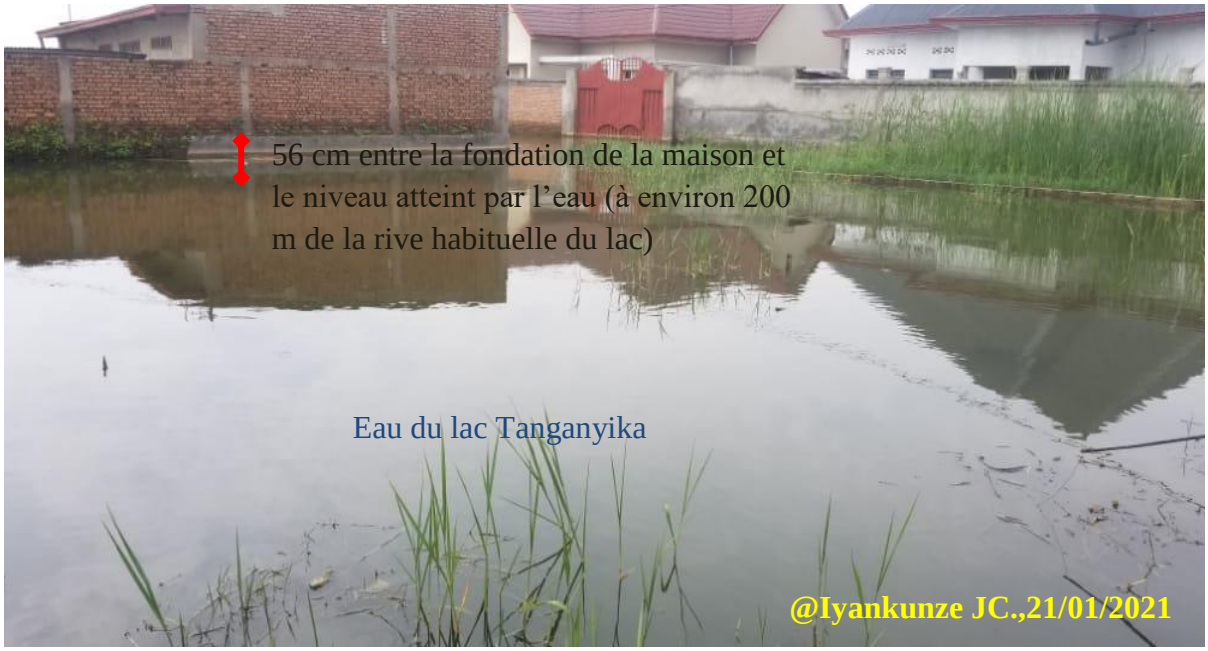


Photo 4.8. Maisons en pleine eau du lac Tanganyika à Kibenga « Rural »

Sur la photo 4.8 on voit des maisons abandonnées suite à la transgression des eaux du lac. Ces maisons, comme d'autres plus encore, sont érigées sur le bord du lac à environ 200 m du Lac compte tenu du niveau d'avant 2021. Lors de notre visite, nous avons constaté que au moins ½ mètre avait été sous les eaux. Le gris (béton) tend à absorber le bleu (l'espace d'étalement des eaux du lac), mais la technique employée ne permet pas cet établissement et les eaux du Lac regagnent souvent sa place tout en infligeant aux occupants de lourdes pertes.

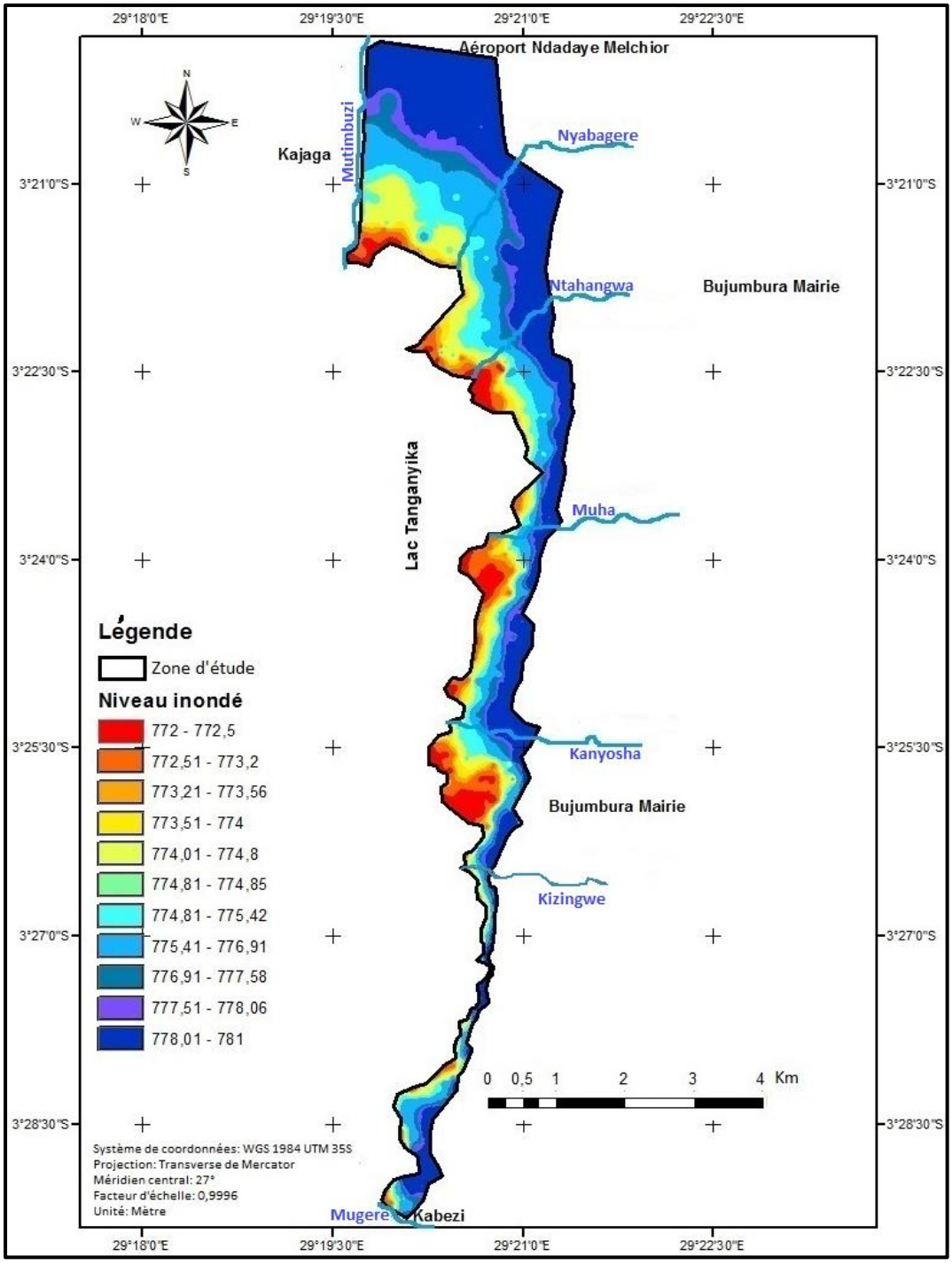


Figure 4.3. Zones inondées selon les niveaux déjà observés depuis 1878 à 2021 (Auteur sur base des tableaux 4.1, 4.2 et 4.3 (pp.58-59))

4.6. Perception du risque d'inondation

La culture du risque est la connaissance qui permet aux acteurs d'adopter un comportement adapté en cas d'une catastrophe. Les plus graves inondations et les niveaux atteints en 1961, 1962, 1964 (777.82 m), les inondations de Kajaga de 1991, tout le littoral en 2014, les inondations de 2018 à 2021, devraient susciter et forger l'idée de la culture du risque. Malheureusement, cela n'empêche pas que les gens continuent de s'installer sur ces zones. En outre, l'ouverture des zones urbaines sur le littoral ne tient pas compte du risque potentiel. Or, la mise en place d'un système d'alerte précoce (SAP) devant tenir compte de la connaissance du risque, le contrôle/surveillance technique et service d'alerte, la communication et la diffusion des communications afin de susciter la capacité d'une réponse de la communauté (UN/ISDR et PPEW, 2006).

A travers le lotissement du littoral « *les institutions publiques sont les premières responsables du non-respect des zones tampons* » selon les dires de certains acquerreurs des nouvelles parcelles rencontrés à Nyabugete II (Photo 4.9). Or, le lotissement/viabilisation des quartiers de Nyabugete (phase I, II, III et IV), Kajaga, Gisyo, Kibenga, Kigaramango, Kinindo-bas (Sabimeli), Kajaga, etc. sont des cas frappants de la violation du cadre institutionnel, légale et réglementaire existant par les services censés mettre en pratique la loi malgré leur multiplicité (3.3.2.1. p45-48) prouvant le manque de culture.



Photo 4.9. Espace aménagé de Nyabugete phase II sous l'eau

Sur la photo 4.9 on voit des lotissements sous eaux avec une borne à l'endroit de l'étoile. La flèche montre que cet espace, plan arrière, est déjà occupé malgré l'inondation. Ainsi, certains acquerreurs de ces parcelles nous racontés qu'ils ont fait la demande comme d'autres, mais qu'ils ont trouvé que les parcelles leurs attribués étaient victime d'inondations. Il responsabilise les autorités publiques chargées de la mise en valeur des sites et de l'attribution des parcelles ainsi ouverts.

Le non-respect de la loi face à l'aménagement et la non-prise en compte des risques encourus dans le temps sont autant de problèmes justifiant le manque de la culture du risque. Ainsi, l'allure démesurée d'occupation anarchique de différents espaces prouve à un seul coup la faiblesse de l'autorité à arrêter des mesures imposantes allant jusqu'à détruire les constructions illégalement érigées sur ces espaces. Ceci est d'autant plus dangereux du fait que la loi sur la prévention et la gestion des catastrophes n'apparaît pas clairement dans la constitution de la République du Burundi[14] malgré l'implication des experts en la matière.

L'exploitation anarchique des Mirwa par l'agriculture sur les fortes pentes, la construction anarchique, les routes d'orientation dans le sens de la plus grande pente là où la vitesse des eaux est maximale, cas de Kizingwe-Bihara, augmentent la nuisance et le seuil de risque. La destruction des plantations de soutènement (cas des manguiers de Nyabugete), l'occupation des canaux d'évacuation des crues (Quartier Asiatique), la cimentation des parcelles, etc. et en plus l'augmentation du coefficient d'occupation du sol (COS), diminuent la capacité d'infiltration du sol (CIS) et augmentent les possibilités d'inondation : seuil anthropique.

L'implication de la communauté est incontournable. Mais, la population aussi est sourde devant le danger qui la guette. Bien qu'on les empêche quelque fois ou que le danger est devant leurs portes, certains d'entre eux continuent à refuser de quitter l'endroit (cas de Kibenga « Rural »). Certains continuent à y ériger des édifices (Photos 4.10 et 4.11). Les autres restent sur place croyant que le phénomène peut s'arrêter à tout moment alors qu'il les guette plutôt. Nos observations sur terrain prouvent aussi cette manque de la perception du rique d'innondation et donc de la culture du risque par la population locale et le pouvoir public. Ce manque augmente la vulnérabilité des différents enjeux sur la rive gauche du lac Tanganyika.

[14] L'article 69, alinéa 1, ne stipule que les biens publics sont sacrés et que chacun (murundi) est tenu à les respecter et à les protéger, y compris la défense des patrimoines nationaux. L'article 247 alinéa 1 quant à lui ne parle que du respect et du faire respecter les conventions tant régionales qu'internationales dont le Burundi est signataire et ratificatif (Constitution de la République du Burundi adoptée par référendum du 17 mai 2018 et promulguée à Gitega le 17 Août 2018 par le Président de la République)



Photo 4.10. Indifférence des occupants : construction dans les eaux du lac à Zion Beach



Photo 4.11. Erection des maisons de grande fortune sur le site inondé à Kibenga

4.7. Coût de l'inaction face à l'inondation

Le coût de l'inaction renferme les finances directes (dépenses correctrices et remise en état) et indirectes (répercussions sur d'autres marchés) (Johnstone, Jones et Hascic, 2008). La catastrophe d'inondation ne peut être réduite qu'en partie par des mesures relevant des politiques publiques. L'érection de différentes infrastructures non adaptées (Photo 4.12) ne va pas sans perte énorme malgré la difficulté d'évaluation surtout de l'incertitude (Johnstone, Jones et Hascic, 2008). Dans notre zone d'étude beaucoup d'enjeux se voient affectés avec des pertes énormes. Ainsi, environ 2 000 foyers sont affectés avec leurs biens et effets (Tableau 4.1, p.57).



Photo 4.12. Bâtiment à deux niveaux en cours d'effondrement à Kinindo-bas

Dans la zone d'étude, l'assainissement est remis en cause et continue de l'être (Photos 3.1 (p.35), 3.2 (p.44), 3.8 (p.50), 4.1 à 4.5 (pp.55-57) et 4.7 à 4.12 (pp.63-68)). Il va de pair avec l'affectation des ressources, dommages environnementaux (pollution de nappe, du sol, etc.), la contamination du site, la remise en cause des sites de loisir et de repos (les plages et beachs sont affectés) et les pertes écologiques. Plusieurs enjeux sont susceptibles d'être affectés. Malheureusement, certains sont déjà victimes (Figure 4.4 (p.71), Photo 4.13) alors que d'autres n'en sont pas exemptées (Tableau 4.4). Ici on remarque aussi que les installations de la REGIDESO (80% de la production d'eau desservie dans la ville de Bujumbura étant produit à

partir des eaux du lac Tanganyika après traitement alors que ces installations se trouvent sur la rive de ce Lac) sont en cours d'être impactées si rien n'est fait avec d'importants impacts sur la vie des citadins du littoral.

Le tableau 4.4 et la figure 4.4 mettent en exergue les enjeux pouvant être affectés. Mais, nous n'espérons pas avoir la liste exhaustive de tous les enjeux affectés (Photo 4.13). Par exemple nous n'avons pas pu recenser toutes les habitations privées (ménages individuels ou non) ni les route non-goudronnées, etc. Certes, ces chiffres sont indicatifs mais aussi prouvent l'ampleur des dégâts engendrés ou pouvant être engendré sur notre zone d'étude (Figure 4.4 (p.71).

Tableau 4.4. Enjeux susceptibles d'être affectés dans la zone d'étude en 2021 (Auteur, données relevées du terrain du 05 novembre au 26 décembre 2021)

Enjeux		**Effectifs observés**
Equipements portuaires		1 (Ensemble)
Equipement de la REGIDESO		2
Equipement SEB		2
Station-service et dépôt de carburant		21
Entrposages de carburant		2 (SEP et Interpétrol)
Hôpital et Centre de Santé		9
Etablissement scolaire		16
Equipement du Musée Vivant		1 (Ensemble)
Marché et Galerie		7
Usine, entreprise, garage et dépôt de marchandises divers		59
Abattoir		1
Lieu de culte		53
Espace récréatif		16
Equipement routier	gare routière	1
	ronds-points	3
	Ponts	5
Bar, centre de conférence, Hôtel, Restaurant		79
Banque et micro-finance		5
Route goudronnée		32,58 km
Bureau (administration et ONG)		25
Equipement	Militaire	8
	Policier	5

NB : Les bars, hôtels, centres de conférence et restaurents sont mise en esemble car souvent une même entité exerce deux ou toutes ces activités. C'est aussi le cas pour certains garages, entreprises, usines, et dépôt de marchandise (biens et équipements).



Photo 4.13. Erosion des berges menaçants plusieurs enjeux socio-économiques : route reliant le service de la marine, le bâtiment abritant le service d'immatriculation de l'OBR et les bâtiments portuaires de Bujumbura suite à la force de la marée haute

Remarquons que certains des enjeux sont déjà touchés par des inondations : exemple Lacosta Beach (Photo 4.7 (p.63)), Nyabugete Beach, Sun Beach, Safi Beach, Cap Town Beach, Cercle Nautique de Bujumbura (CNB Beach), Kumase Beach, Zion Beach (Photo 4.10 (p.67)), Safari Gate, Ecofo Kibenga « rural », la route de contournement du port de Bujumbura, etc. Bref les enjeux se trouvant dans la partie en couleur rouge, orange et bleu-vert.

Des enjeux majeurs sont touchés ou risque de l'être au vue de la probabilité de survenu. Ainsi, les pompes de la REGISESO sont sur la rive, à seulement 5 à 10 m. Cet enjeu une fois impacté, plus de 80% des habitants de Bujumbura connaitront la pénérie d'eau. Ce qui aura pour conséquences des maladies diverses. Le comble de malheur, 2 hopitaux d'envirgure régionale et nationale (Hôpital de la Police et Bumelec) sont dans le colimateur de la montée des eaux ainsi que les réservoirs de la SEP et Interpétrol avec risque de pénerie total du carburant.

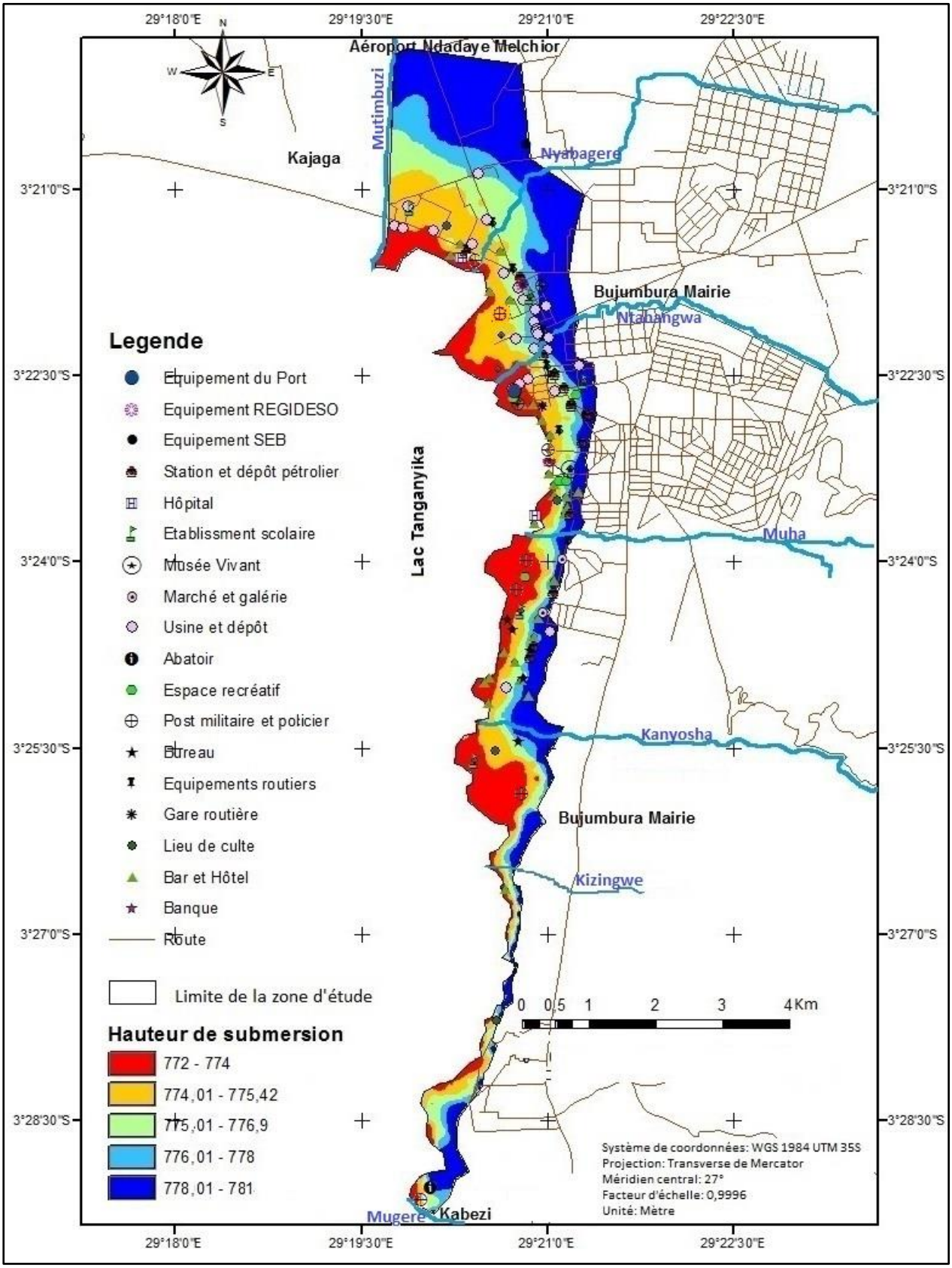


Figure 4.4. Relevé des enjeux susceptibles d'être affectés d'inondation (selon le niveau déjà reconnu et le niveau d'alerte maximal) (Auteur, travaux de terrain du 05 novembre au 26 décembre 2021, Tableaux 4.1 (p.58), 4.3 (p.59) et 4.4 (p.69))

4.8. Proposition des mesures

Des mesures doivent être prises pour éviter de graves problèmes liés aux inondations. Celles-ci concernent notamment les mesures permettant d'éviter toute création des étangs de stagnation des eaux, l'évacuation des gens de la zone affectée, l'épandage des désinfectants sur la zone affectée, la fourniture en vivres, abris et couvertures à la population affectée par l'aléa, etc.

Pour une bonne gestion de cette catastrophe, malgré des incertitudes dans le processus de changements climatiques, des mesures visant l'atténuation de la vulnérabilité devraient être prises, ce qui augmente la capacité d'adaptabilité. Ainsi, nous proposons des mesures suivantes :

- restaurer le paysage et maintenir au maximum la couverture boisée et/ou cultures pérennes (agroforesteries) qui contrôlent l'hydrologie (courant et matériaux transportés) dans le bassin versant du lac Tanganyika ;
- mettre en activité le système de surveillance du lac et d'alerte précoce (SAP) pour rendre compte avec précision le niveau du lac et ses fluctuations (malgré son existence depuis janvier 2021 au niveau régional) ;
- restaurer et maintenir des zones humides, instaurer et respecter une zone tampon au bord du lac Tanganyika (altitude 780 m) ;
- mettre un accent particulier sur la restriction de l'attribution des parcelles et l'interdiction de construire dans les zones inondables et dangereuses ;
- gérer des sédiments via l'amélioration des pratiques agricoles et le contrôle de la déforestation, la lutte contre la pollution urbaine, minière et industrielle dans le bassin versant du lac Tanganyika et ses environs ;
- réglementer les zones d'inondations en l'occurrence la surface de repos des crues des cours d'eau (cas des quartiers Miroir, Kajaga, Kibenga « Rural, etc.) et instaurer une politique d'aménagement/réaménagement strict ;
- communiquer, éduquer, conscientiser et sensibiliser l'ensemble des acteurs dans les différents secteurs impliqués dans le changement climatique, l'aménagement, l'urbanisme, l'éducation, etc. ;
- transférer la technologie visant les possibilités d'exploiter des mécanismes de flexibilité offerts par le protocole de Kyoto dont le « Mécanisme pour un Développement Propre » (MDP) (Bisore, 2006) ;

- mettre en œuvre les contenus du PANA et développer la bibliothèque virtuelle pour faciliter la documentation et le classement des informations et évaluation des risques ;
- informer, former et sensibiliser la population sur la culture du risque ;
- gérer et échanger des informations transfrontalières afin de se préparer à l'urgence et aux interventions en cas des inondations tout en protégeant les biens publics et privés ;
- mettre en place un système de récolte, de gestion et de stockage des bases de données sur les catastrophes et de les mettre à la disposition des chercheurs ;
- mettre en action toutes les étapes de l'aménagement afin de bannir toute occupation anarchique et des mises en valeur illégale des sols ;
- démolir les infrastructures érigées dans les zones à hauts risques inondations sans techniques appropriées ;
- impliquer des institutions de recherche, universitaires et techniques à travers un mécanisme de concertation, de communication et de renforcement des capacités techniques au service de la cartographie, de la prévision et de la gestion des catastrophes ;
- plaider pour la construction en hauteur afin de dégager les zones inondables autour du lac Tanganyika et les zones de repos des crues.

L'œuvre de gestion des inondations dans la zone d'étude peut se rapporter au renforcement des mesures structurelles et non structurelles, et aux instituts de recherche et organismes techniques et administratifs, tout en encourageant le développement des technologies et l'amélioration de l'observation, de la prévision et des systèmes d'alerte et d'évacuation. Ces efforts contribuent à augmenter leur efficacité tout en corrigeant les manques et les faiblesses.

Notons que quelques œuvres sont déjà installées, observées ou en cours de l'être. Quelques mesures d'adaptation et d'atténuation sont entreprises. Il faut alors les renforcer et les étendre sur toute la rive en respectant la technique d'usage pour y prévenir. On note par exemple l'enrochement (Photos 4.14 et 4.15), le renforcement de la végétalisation ainsi que la redynamisation du mur préventif (qui ne resté que quelques 20 m lors de la prise de photo et en mauvais état. Elle n'existe plus car il a été débordé ; mais aussi n'était pas en bonne état d'usage déjà en 2011) (Photo 4.16).



Photo 4.14. Enrochement de pied de la rive du lac Tanganyika pour protéger le Boulevard du Japon



Photo 4.15. Protection de berge par enrochement avec couvert végétal sur le Boulevard du Japon



Photo 4.16. Mur préventif contre la transgression lacustre en destruction entre Kinindo bas et Kibenga « rural »

En conclusion, sur base des résultats obtenus pour le littoral Est du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura (compte tenu du contexte quadruplet géomorphologie-hydro-pluviométrie-aménagement-démographie), il est clair que les décideurs doivent rester conscients des liens directs entre les plans d'aménagement urbain et les inondations. Par conséquent, des efforts devraient être faits pour promouvoir une planification tenant compte des conditions environnementales afin de réduire la vulnérabilité aux inondations. La forte augmentation démographique et l'imperméabilisation des espaces sont également des paramètres à explorer davantage pour prévenir l'inondation.

Les résultats sur les inondations dans notre zone d'études ont montré des impacts négatifs. Les inondations s'accompagnent souvent des épidémies et des maladies des mains sales, suite aux conditions de promiscuité qu'elles induisent, des pertes énormes en enjeux, en vies humaines, etc. On note aussi l'affectation de la ressource en eau douce consommée dans la ville de Bujumbura (90 % de l'eau consommée provient du lac Tanganyika : enjeux majeur) et d'infrastructures divers.

Le quadruplet responsable de la vulnérabilité au risque d'inondations de la rive droite du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura est en relation avec les phénomènes naturels et anthropiques confirme l'hypothèse 2.

CONCLUSION GENERALE

Dans l'optique d'apprécier les impacts de la croissance de la ville de Bujumbura sur les milieux péri-urbains et la vulnérabilité qui en découlent face au risque d'inondation, ce mémoire voit le jour sous le titre « **Enjeux, Risque et Vulnérabilité de la zone péri-urbaine de la ville de Bujumbura (Burundi) et impacts associés. Exemple de la rive droite du Lac Tanganyika »**.

Notre étude a fait recours à la triangulation des ressources avec truchement sur des écrits préexistants, des données multi-datées, des métadonnées, des travaux de terrains (observations, entretiens non-structurés, mesurages, prise de vues et levés). Cette combinaison des stratégies nous a permis de bien appréhender les enjeux, de détecter les impacts encourus, de repérer le niveau de risque de la zone d'étude et de bien exploiter les informations utiles à la réussite de cette recherche. Ainsi, le but de contribuer à la réduction de la vulnérabilité aux risques d'inondations et de crues sur la rive droite du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura afin d'en atténuer les effets et d'en assurer l'adaptation est mise à la portée de qui pourrait intervenir.

Nous avons montré que le rapport entre les aspects hydro-climatiques, topographiques, pédo-géologiques, humains et aménagement permet de comprendre le bien-fondé de la connaissance du site avant son aménagement. Ainsi, la croissance démographique des villes implique de nouveaux lotissements et par conséquent l'extension des surfaces urbanisées. La gestion du milieu urbain de Bujumbura n'est pas facile à exercer suite à la croissance rapide, démesurée et surtout incontrôlée dont le rythme est devenu aujourd'hui inquiétant et qui se heurte à une planification déficiente et hasardée. Ce qui aboutit souvent à des dysfonctionnements des espaces, de l'aménagement et du bien-être de la population.

Nous avons aussi trouvé que suite à l'ignorance, à la résistance ou à la méconnaissance mais aussi par complicité ou l'implication des services publiques, les populations se sont installées sur des zones inconstructibles et à risque de la rive du lac Tanganyika. Ainsi, la côte fixée à 778 m par les services techniques aux aménageurs n'est pas respectée. Il est anormal qu'en ignorant et/ou en ne faisant pas respecter le plan d'aménagement du milieu, l'homme utilise les ressources naturelles pour améliorer son cadre de vie sans prendre en compte l'impact négatif que cela porte sur son évolution générale. Néanmoins, cette situation interpelle des décideurs pour un aménagement réfléchi et vulgarisé en vue d'une bonne gestion qui prend compte des besoins des générations futures tout en sauvegardant les générations présentes.

Or, les inondations dans cette zone d'étude s'accompagnent souvent des pertes énormes en enjeux divers et majeurs, des pertes en vies humaines, etc. Notons par exemple l'infestation de la ressource en eau douce consommée dans la ville de Bujumbura (80 % de l'eau consommée provient du lac Tanganyika), 32,58 km de route goudronnées, 9 établissements sanitaires dont 3 hôpitaux, 15 établissements scolaires dont 2 universités, plus d'une vingtaine de station services (carburant) dont 2 gros entreposages (SEP, Interpétrol), etc. L'inondation a occasionné d'importants dégâts tant matériels qu'humains sur le littoral du lac Tanganyika où en Août 2021, 5 759 ménages (avec en moyenne 6 personnes par ménage) étaient déjà victimes des inondations en Mairie de Bujumbura dont 1 858 ménages pour la zone d'étude. 1 197, 914 hectares ont été submergés avec de multiples enjeux (infrastructures). Ces inondations sont directement liée aux transgressions lacustres, aux débordements des rivières qui traversent la ville de Bujumbura de la rivière Mugere au Sud et à la rivière Mutimbuzi au Nord, à la remontée des nappes et aux crues urbains. Mais aussi des apports en eaux par d'autres cours appartenant au bassin versant du Lac Tanganyika.

Ces résultats doivent inclure et susciter l'intérêt de tout un chacun face aux risques d'inondation. L'inondation dans cette zone d'étude est lié à la transgression lacustre, aux débordements des rivières qui travaersent la ville de Bujumbura de la rivière Mugere au Sud à la rivière Mutimbuzi au Nord, à la remontée des nappes, aux crues torentielles et aux ruissellements urbains et péri-urbains.

Compte tenu du contexte quadruplet pluviométrie-hydro-géomorphologie-aménagement-démographie et en se basant sur des résultats obtenus pour le littoral Est du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura, il est temps d'interpeler les décideurs et aménageurs de perpétuer les liens directs qui existent entre les plans d'aménagement urbain et la vulnérabilité d'un site. Nous affirmons avec véracité que la vulnérabilité des enjeux et les risques d'inondations du littoral du lac Tanganyika en Mairie de Bujumbura sont en fonction directe avec sa situation géographique (contexte régional et local), la variabilité du niveau du lac, les conditions naturelles (précopitations, sol, pente, etc.), l'occupation du sol, etc. Bref, les phénomènes naturels en corrélation avec les facteurs anthropiques qui amplifient les premiers.

Nous ne prétendons pas avoir épuisé tous les aspects de la vulnérabilité des enjeux aux risques d'inondations sur la rive du lac Tanganyika. De cela, nous invitons les autres chercheurs d'user de leur force afin de développer davantage l'étude pour le bien-être de la population et de la vie urbaine décente et durable de Bujumbura et des autres villes riveraines du Lac Tanganyika.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Ouvrages Généraux

Billaudot, F. et Besson-Guillaumot, M. (1979) *Environnement. Urbanisme. Cadre de vie. Le droit et l'Administration*. Paris: Montchrestien, 759p.

Brunet, R. (1995) *Aménagement du territoire en France*. Paris, 367p.

Bergonzini, L., Williamson, D. et Albergel, J. (2015) 'Planche 2. L'hydrologie et la limnologie autour du lac Tanganyika', in Cazenave-Piarrot, A., Ndayirukiye, S., et Valton, C. (eds) *Atlas des pays du Nord-Tanganyika*. IRD Editions. Marseille: 2015, pp. 24–27. ISBN : 978-2-7099-2152-7 doi: 010066443.

Dahman, M. (1984) *Planification et aménagement du territoire: Quelques élélments théoriques et pratiques*. Alger: Office des Publications Universitaires, 279p.

Dauphiné, A. et Provitolo, D. (2013) *Risques et catastrophes: Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Armand Col. Paris, 416p, doi: 10.3917/arco.dauph.2013.01.0048.

Dayer, M. G. (1979) *Bujumbura 1978. Une enquête socio-économique de la FSEA. Résultats et commentaires*. FSEA, 405p.

Evert, M.-J. (1980) *Le lac Tanganyika, sa faune et la pêche au Burundi*. Bruxelles, Bujumbura: CEE.

Fermon, Y. (2007) *Étude de l ' état des lieux de la partie nord du lac Tanganyika dans le cadre du Programme Pêche d ' Action Contre la Faim en République Démocratique du Congo*. Action Contre la Faim-USA, 86p.

Géorge, P. (1984) 'Un Dictionnaire de géographie', in *Annales de Géographie*. Paris: Armand Colin. 93, n° 515.

Hoyt, H. (2000) *Cent ans de valeurs foncières à Chicago: la relation entre la croissance de Chicago et l'augmentation de ses valeurs foncières, 1830-1933*. Livres sur la barbe. 234p.

Hurd, R. M. (1911) *Principales of city land values. The record and guide*. New-York: Nez-York.

Leinberger, C. B. (2009) *The Oprtion OF Urbanism. Investing in a New American dream*. Washington DC, Covelo, London: Island Press, 201p.

Mintzberg, H. (1994) *Grandeur et décadence de la planification stratégique.* Dunod. Edited by Romelaer P.(traducteur). Paris: Stratégie Management. http://hdl.handle.net/2042/29262.

Ndayirukiye, S. (2002) *Bujumbura centenaire, Croissance et défis*. Harmattan. Paris: (Sous la direction), 375p.

Thief, R. A. (1986) *Précis de direction et de gestion*. Les éditions d'organisation. 498p.

Veyret, Y. (2004). *Géographie des risques naturels en France*. *De l'aléa à la gestion*. Hatier, Paris. 94p

2. Thèses

Bisore, S. (2006) *La problématique climatique au Burundi: analyse de la contribution du pays, risques de domages potentiels, politique d'adaptation et comparaison dans le contexte global*. Université Libre de Bruxelles, 100p.

Habal, T. (2019) *La croissance urbaine transfrontalière, entre péri-urbanisation et concentration : apport de la télédétection*. Université de Lorraine. https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02444663.

Lopez, A. (1978) *Les paysans-Pêcheurs des basses terres du burundi. Contribution à l'étude de la cmplementarité de deux activités à partir de deux exemples types: Kitaza et Rutunga*. Université de Bordeaux III.

Ndayirukiye, S. (1986) *La plaine occidentale du Burundi: Etude régional*. Université de Nice.

Nibigira, L. (2018) *Etude des risques naturels liés aux interactions entre les mouvements de masse et les réseau hydrographique dans la région des lacs Kivu et Tanganyika*. Université de Liège, 245p.

Sindayihebura, B. (2005) *De l'Imbo au Mirwa. Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura (Burundi)*. Toulouse 2, 337p. valable sur http://www.theses.fr/2005TOU20013.

3. Mémoires

Bani Samari, S. (2011) *Implications des facteurs physiques dans les risques d'inondation a ouagadougou : cartographie des zones a risques et mesures de preventions*. International Institute for Water and Environmental Engineering, Fondation 2iE, 74p.

Boubchir, A. (2007) *Risques d'inondation et occupation des sols dans le Thore (Région de Labruguière et de Mazamet).*Université de Toulouse Le Mirail, Sciences Espaces et Sociétés, CNRS- GEODE-UTM, Cedex (France),

Iyankunze, J. C. (2012) *Planification urbain, risques naturels et proposition d'aménagement du quartier Kibenga 'Rural'*. Univerité du Burundi, FLSH. 101p.

Khalifa, D. (2015) *Contribution à l'étude de l'aléa ' inondations': Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (w.Ain Defla)*. Ecole Normale Supérieure d'hydraulique-Arbaoui-Abdellah (Algérie).

Madi, R. (2014) *Contribution à l'étude des crues pour une gestion du risque aux inondations*. Ecole Nationale Supérieure d'hydraulique-Arbaoui Abdellah (Algérie).

Misago, J., et Niyonkuru, G., (1987), *Etude d'aménagement du quartier Musaga*, Bujumbura ISTAU, 206p.

4. Articles, Revues et Publications

Antoni, J.-P. et Youssoufi, S. (2007) 'Urban sprawl and consumption of space. A comparative study of Besançon, Belfort et Montbéliard', *Revue Géographique de l ' Est*, 47(3), pp. 1–15. Available at: https://journals.openedition.org/rge/1433.

Aragau, C., Berger, M. et Rougé, L. (2016) 'The Middle Classes in outer suburbs: The case of West of the Parisian Region', *Cybergeo : European Journal of Geography [en ligne]*, (775). doi: 10.4000/cybergéo.27592.

Arthur, C. J. (1986) 'Marx and Engels, The German Ideology', *Royal Institute of Philosophy Lecture Series*, 20, pp. 149–167. doi: 10.1017/S0957042X00004090.

Bailly S., A. (1973) 'Les théories de l ' organisation de l ' espace urbain (6 fig .,' *Espace Géographique*. Doin,8,Pla, 2(2), pp. 81–93. https://www.persee.fr/spgeo_0046-2497_1973_num_2_2_1384.

Baudelle, G. et Ducom, E. (2009) 'L'organisation de l'espace urbain par la distance au centre : des modèles contradictoires ?', *La distance, objet géographique*, pp. 85–104.

Becerra, S. (2012) 'Vulnérabilité, risques et environnement : l'intinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemprain', *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement [en ligne]*, 12 (1), pp. : http://journals.openedition.org/vertigo/11988 ; doi : https://doi.org/10.4000/vertigo.11988 consulté le 10 février 2022

Bergonzini, L. *et al.* (2002) 'Variation interannuelle du bilan hydrique du lac Tanganyika (1932–1995): changement dans la relation précipitation-excédent lacustre / Interannual variation of the water budget of Lake Tanganyika (1932 – 1995): changes in the precipitation-lake wate', *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), pp. 781–796. doi: 10.1080/02626660209492980.

Blanc, N. et Glatron, S. (2005) 'Urban landscapes in town planning and national environmental policy', *Espace Geographique*, 34(1), pp. 65–80. doi: 10.3917/eg.341.80.

Bultot, F. (1993) 'Evaporation from a tropical lake: comparison of theory with direct measurements-comment.' *Journal of hydrology* 143. (3-4): 513-519.

Calcio-Gaudino, C. (1991) 'Urbanisation et déséquilibre de l'occupation de l'espace au Burundi'. In P Vannetier (sous la direction) (1991). *Urbanisation et développement dans les pays tropicaux*, Centre d'études Géographique tropicale, Paris, pp. 27–43.

Castel, R. (2009) 'Les ambiguités de l'intervention sociale face à la montée des incertitudes', *Informations sociales*, 2, pp. 24–29.

Cavailhes, J., Peeters, D. et Thisse, J.-F. (2004) 'La valeur du cadre de vie agricole dans les couronnes péri-urbaines', *INRA Sciences Sociales*, (3/03), pp. 1–4. doi: 10.22004/ag.econ.132486.

Clémençon, A.-S. (2012) 'Eric Charmes, La ville émiettée, essai su la clubbisation de la vie urbaine', *Géocarrefour*, (2), p. 114. doi: 10.4000/geocarrefour.8208.

Clerc, P. et Garel, J. (1998) 'La réception du modèle graphique de Burgess dans la géographie française des années cinquante aux années soixante-dix', *Cybergeo*. doi: 10.4000/cybergeo.5332.

Conway, D., & Hulme, M. (1993). 'Recent fluctuations in precipitation and runoff over the Nile sub-basins and their impact on main Nile discharge'. *Climatic change*, *25*(2), 127-151.

Cuenod, J. et Cuenod, M. (1976) 'Approche Systemique de la Croissance Urbaine', in *Overlapping Tendencies in Operations Research Systems Theory and Cybernetics*. Birkhäuser Basel, pp. 142–152. doi: 10.1007/978-3-0348-5793-2_11.

Curtis, D. E. A. (2015) 'Development assistance and the lasting legacies of rebellion in Burundi and Rwanda', *Third World Quarterly*, 36(7), pp. 1365–1381. doi: 10.1080/01436597.2015.1041103.

D'Aquino, P. (2002) 'Territorial development, between space and power: An argument for bottom-up territorial planning', *Espace Geographique*, 31(1), pp. 3–22. doi: 10.3917/eg.311.0003.

D'Ercole, R. (2014) 'Vulnérabilité : vers un concept opérationnel ?Conférence invitée, Colloque international', in Ird, PrProdig, and UMR (eds) *Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion*. Brest.

D'Ercole, R. *et al.* (2015) 'Présentation introductive', : *Bulletin de l'Association de géographes français, 72e année, 1995-4 (Septembre). Croissance urbaine et risques naturels*, pp. 311–338. Available at: http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bagf_0004-5322_1995_num_72_4_1843

D'Ercole, R. et Metzger, P. (2009) 'La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain', *Cybergeo : European Journal of Geography [en ligne]*, document 4. Available at: http://www.cybergeo.eu/index22022.html.

D'Ercole, R., Thouret, J-C., Dollfus, O. et Asté, J.-P. (1994) 'Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse'. In *Revue de géographie alpine*. 82 (4). pp. 87-96. doi : 10.3406/rga.1994.3776

Diaz Olvera, L., Plat, D. et Pochet, P. (2002) 'Etalement urbain, situations de pouvreté et accès à la ville en Afrique subsaharienne . L ' exemple de Niamey', in Bussière, Y. et Madre, J.-L. (eds) *Démographie et transport: Villes du Nord et villes du Sud*. Paris: L'Harmattan, pp. 147–175. https://www.researchgate.net/publications/5087099.

Figueira, P. *et al.* (2017) 'Accès aux port du lac Tanganyika: Principaux défis et recommandations/Port access in the Lake Tanganyika: key challenges and recommandations', *Water Global Practice. Africa Region*, pp. 1–18.

Förster, T. et Ammann, C. (2018) 'Les villes africaines et le casse-tête du développement', *Revue internationale de politique de développement*, (10). doi: 10.4000/poldev.3352.

Föster, T. et Ammann, C. (2018) 'African Cities and the Development Conundrum', *International Development Policy | Revue internationale de politique de développement*, [on line](10), pp. 1–19. doi: 10.4000/poldev.3352.

Frétigny, R. (2011) 'Eric Charmes, La ville émiettée. Essai sur la clubbisation de la vie urbaine', *Métropoles*, (9). doi: 10.4000/metropoles.4456.

Gasse, F. (2009) 'Capitre 4. Evolution des grands lacs du rift', in Hirsh, B. et Roussel, B. (eds) *Le Rift est-africain: Une singularité plurielle*. IRD Editio. Marseille, pp. 1–31. doi: 10.4000/books.irdeditions.1734.

Gollopin, G. C. (2006) 'Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity', *Global environmental change*, 16(3), pp. 293–303.

Kabanyegeye, H. *et al.* (2021) 'Trente-trois ans de dynamique spatiale de l ' occupation du sol de la ville de Bujumbura , République du Burundi Résumé', *Afrique SCIENCE*, 18 (1), pp. 203–215.

Kelbaugh, D. (2013) 'The Environmental Paradox of Cities: Gridded in Manhattan vs. Gridless in Dubai', *Consilience*. Columbia University. www.jstor.org/stable/26476127.

Laraque, A., Bricquet, J. P., Pandi, A., & Olivry, J. C. (2009). 'A review of material transport by the Congo River and its tributaries'. *Hydrological Processes: An International Journal*, *23*(22), 3216-3224.

Larose, F. (2011) 'Pour une transition vers des territoires et des sociétés durables. Mobilité urbaine, comportement individuels et territoires', *Cités, Territoires, Gouvernances*. http://histgeopa.e-monsite.com/pages/periurbanisation-et-etalement-urbain.html.

Meur-férec, C., Deboudt, P. et Morel, V. (2008) 'Coastal Risks in France : An Integrated Method for Evaluating Vulnerability Coastal Risks in France : An Integrated Method for Evaluating Vulnerability', *Coastal Education & Research Foundation, Inc.*, 24(2B), pp. 178–189. West Palm Beach. ISSN 0749-0208. doi: 10.2112/05-0609.1.

Nibirantije, J. M. (2017) 'Gestion de la ressource eau et les ecosystèmes dans un climat changeant', in *Autorité du Lac Tanganyika*. Rome: Autorité du Lac Tanganyika, p.16. www.lta.alt.org.

Othmann, R. (2019) 'Contribution à l ' analyse des théories urbaines dans la durée : De Maurice Halbwachs à Vincent Kaufmann', *International Journal of Innovation and Applied Atudies*, 25(3), pp. 817–830. https://www.ijas.issr-journals.org/.

Pinson, D. (2009) 'Histoire des villes', in Stébé, J.-M. et Marchal, H. (eds) *Traité sur la Ville*. Sociologie. Traité sur la Ville: PUF, pp. 41–89. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01131514

Pirazzoli, P. A. (1993) 'Les littoraux (Leur évolution). Collection Université, Éditions Nathan, Paris, 191 p., 52 fig., 54 photos, 10 tabl., 19 × 13 cm, 65 FF (environ 17 $ can.).', *Géographie physique et Quaternaire*, 49(2), pp. 185–324. doi: 10.7202/033050ar.

Pourtier, R. (1991) 'Crise de l'Etat et crise urbaine en Afrique noir', in Vennetier, P. (sous la dir) (ed.) *Urbanisation et développement dans les pays tropicaux de Venintier P. (sous la dir)*. Talence. Paris: Espaces tropicaux, CEGET-CNRS, pp. 3–16.

Sene, K. J., & Plinston, D. T. (1994). 'A review and update of the hydrology of Lake Victoria in East Africa'. *Hydrological Sciences Journal*, *39*(1), 47-63.

Simard, M. (2015) 'Étalement urbain, empreinte écologique .et ville durable. Y a-t-il une solution de rechange à la densification ?', *Cahiers de géographie du Québec*, 58(165), pp. 331–352. doi: 10.7202/1033008ar.

Villecroix, P. (2019) 'Les littoraux à Zanzibar : des espaces investis et subvertis par le tourisme', *Spécial Histoire-Géographie*. 1999. Réunion, 69-89, doi : Hal-02406144.

Zabel, M., Schneider, R. R., Wagner, T., Adegbie, A. T., de Vries, U., & Kolonic, S. (2001). 'Late Quaternary climate changes in Central Africa as inferred from terrigenous input to the Niger Fan'. *Quaternary Research*, *56*(2), 207-217.

5. Rapport, communications et documents administratifs

AMPF-Burundi (2019) *Projet de développement du corridor de transport sur le port de Bujumbura et du lac Tanganyika et la réhabititation des voiries d'accès au port. Etude d'impact environnemental et social et du plan de gestion environnementale*. Bujumbura.

CAUE (2008) *État d'avancement des documents d'urbanisme au 1/11/2008 (DDE66 - SUH)*. Perpignan.

Conseil Général de l'Essonne (no daté) *Le risque inondation. Dossier d'information, Alp'Géorisques et Graphies*. www.prim.net et essonne.fr. La source principale de ce document est le site http://www.environnement.gouv. – http://www.prim.net (Conception réalisation : Alp'Géorisques et Graphies) de Août 2014 de la Direction de la Prévention des pollutions et des risques du Ministère de l'écologie et du développement (France)

Hakizimana, G. (2019) 'Atalier de consultation pour le nouveau projet régional "Soutien à la gestion intégrée des ressources en eau du lac Kivu et du fleuve Ruzizi"', in *Mise en Oeuvre de la convention sur la gestion du Lac Tanganyika*. Kigali: Autorité du Lac Tanganyika. www.lta.alt.org.

IOM-Burundi et Croix-Rouge-Burundi (2021) *Apercu du suivi des urgences. Désatres Naturels: Janvier 2018-Octobre 2021*. Bujumbura.

ISTEEBU (2017) *Projections démographiques 2010-2050. Niveau national et Provincial*. Bujumbura.

ISTEEBU (2020) *Rapport des projections démographiques au niveau communal 2010-2050*. Bujumbura.

ISTEEBU, MSPLS et ICF International, . (2012) *Enquête Démographique et de santé Burundi 2010. Rapport Final*. Bujumbura, Calverton, Maryland.

Johnstone, N., Jones, T. et Hascic, I. (2008) *Coûts de l'inaction face à certains enjeux de la politique de l'environnement : Rapport succinct [ENV/EPOC (2007)16/Final], Réunion du comité des politiques d'environnement (EPOC) au niveau ministériel. Environnement et compétitivité*.

LNBTP, rapport n° 264/89, Rapport n° 230/91, Rapport n° 238/95.

Masumbuko, J. de D. et Ruhimbi Ndabaniwe, T. (2018) *Etude d'évaluation de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques dans les secteurs des transports et du bâtiment au Burundi*. Bujumbura, 38p.

MEA, CTB et PAIOSA (2017) *Atlas Marais Interactif marais/plaines/bas-fonds et bassins versants et manuels de conception de maintenance et de gestion d'aménagements hydroagricoles*. Edited by SHER et I-MAGE. BDP CTP-BDI/812 Code Navision : BDI 1006511.

OCHA (2021) Burundi: inondations des zones riveraines du Lac Tanganyika. Flash Update N°1 du 20 Avril 2021. https://www.unoocha.org/burundi

ONT (1992) 'Détail d'équipement de la zone Bujumbura', in MINATE (ed.) *Schéma d'aménagement du littoral du lac Tanganyika. Version Final*. SHER. Bruxelles, Bujumbura, pp. 56–63.

Région Nouvelle-Aquitaine et L'ORE Poitou-Charentes (2015) 'Les crues et les inondations', *L'Environnement en Poitou-charentes*, pp. 1–6. https://www.environnement-poitou-charentes.org/les-crues-et-les-inondations-html.

République du Burundi (2009) 'Stratégie Nationale et plan d'action en matière d'éducation environnementale et de sensibilisation'. Bujumbura: MEEATU, NTEAP/IBN. http://bi.chm-cbd.net.

République du Burundi (2011) *Vision burundi 2025*. Bujumbura, Burundi.

République du Burundi (2012) 'Loi n°1/02 du 26 mars 2012 portant Code de l'eau du Burundi'. Bujumbura.

République du Burundi (2013) *Rapport d'evaluation des capacites nationales pour la reduction des risques, la preparation et la reponse aux urgences au Burundi*. Bujumbura.

République du Burundi (2014a) *Plan de contingence national de gestion des urgences*. Bujumbura.

République du Burundi (2014b). Schema Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de la Ville de Bujumbura à l'horizon 2025. Rapport 4. SDAU Final. Bujumbura, Goupe Huit/SHER, MTTPE, 248p.

République du Burundi (2019) *Loi n°/1/04 du 04 fevrier 2019 Portant fixation de la capitale politique et de la capitale économique du Burundi*.

Ruzima, S. et Hetz, K. (2017) *Guide de formation : Prévention des risques et gestion des catastrophes au niveau communal en Burundi*. Bujumbura. GIZ, Adelphi et Gitec.

Sommer, K. *et al.* (2012) 'Burundi: Profil urbain de Bujumbura', *Programmes des Nations unies pour les établissements humains*, p. ISO 14001:2004-certified. www.unhabitat.org/publications.

UN/ISDR et PPEW (2006) 'Développement de systèmes d'alerte précoce : Une liste de contrôle', *Troisième Conférence sur les systèmes d'alerte précoce (EWC III)*, March, 13 p.

6. Cours

Monfort, A. (1997) *Cours de Statistique Mathématique*. Editions E. Edited by Economie et STA. Paris.

Sindayihebura, B. (2021) *Cours d'Aménagement du territoire et urbanisme*. Bujumbura: Université du Burundi, SPTDD.

Toyi, A. (2020) *Notes de cours de Enquête sociodémographique*. UB.

7. Webographie

https://fr.climate-data.org/afrique/burundi/bujumbura-mairie-2575/r/février-2/♯climate-table-year (consulté le 04/01/2022)

http://www.hypergeo.eu/spip.php?article566 (consulté le 12/02/2021)

http://www.developpement-durable.gouv.fr/Quelques-definitions.html (consulté le 12/02/2020

http://documents1.worldbank.org/curated/en/153781517257439497/text/Port-access-in-the-Lake-Tanganyika-key-challenges-and-recommendations.txt (consulté le 19/03/2021)

https ://geoconfluence.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/a-la-une/nition-a-la-une/notion-a-la-une-periurbanisation♯ftn1 (consulté le 20/10/2020)

https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/enjeu/29621 consulté le 18/10/2021)

http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/enjeux (consulté le 09/12/2021)

https://www.schoolmouv.fr/definitions/enjeu/definition (consulté le 25/09/2021)

ANNEXES

Annexe 1. Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de 2014

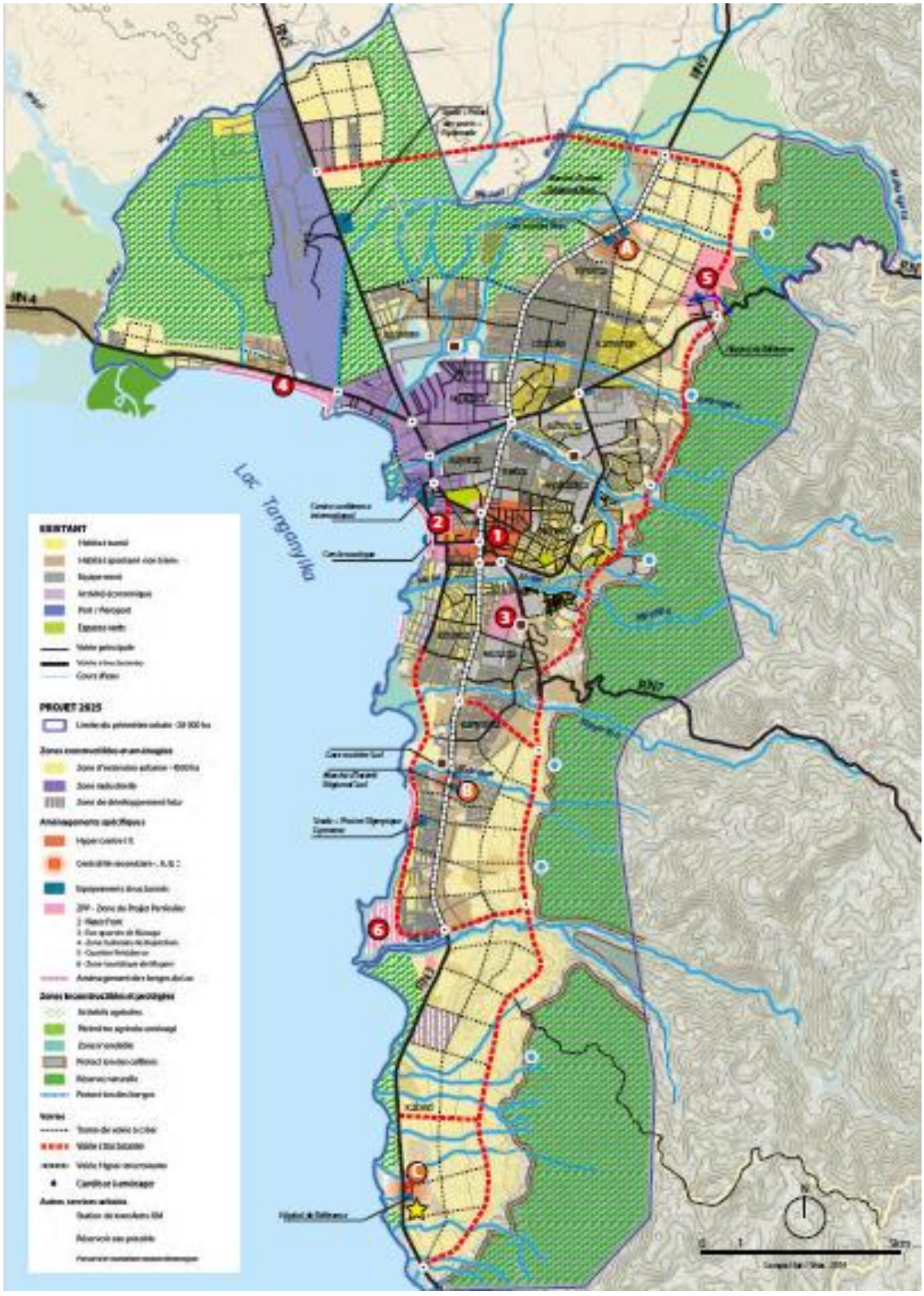


Figure annexe 1. SDAU 2014 de Bujumbura à l'horizon 2025 (République du Burundi, 2014b)

Annexe 2. Schéma Directeur d'Aménagemen et drbanisme de 1982

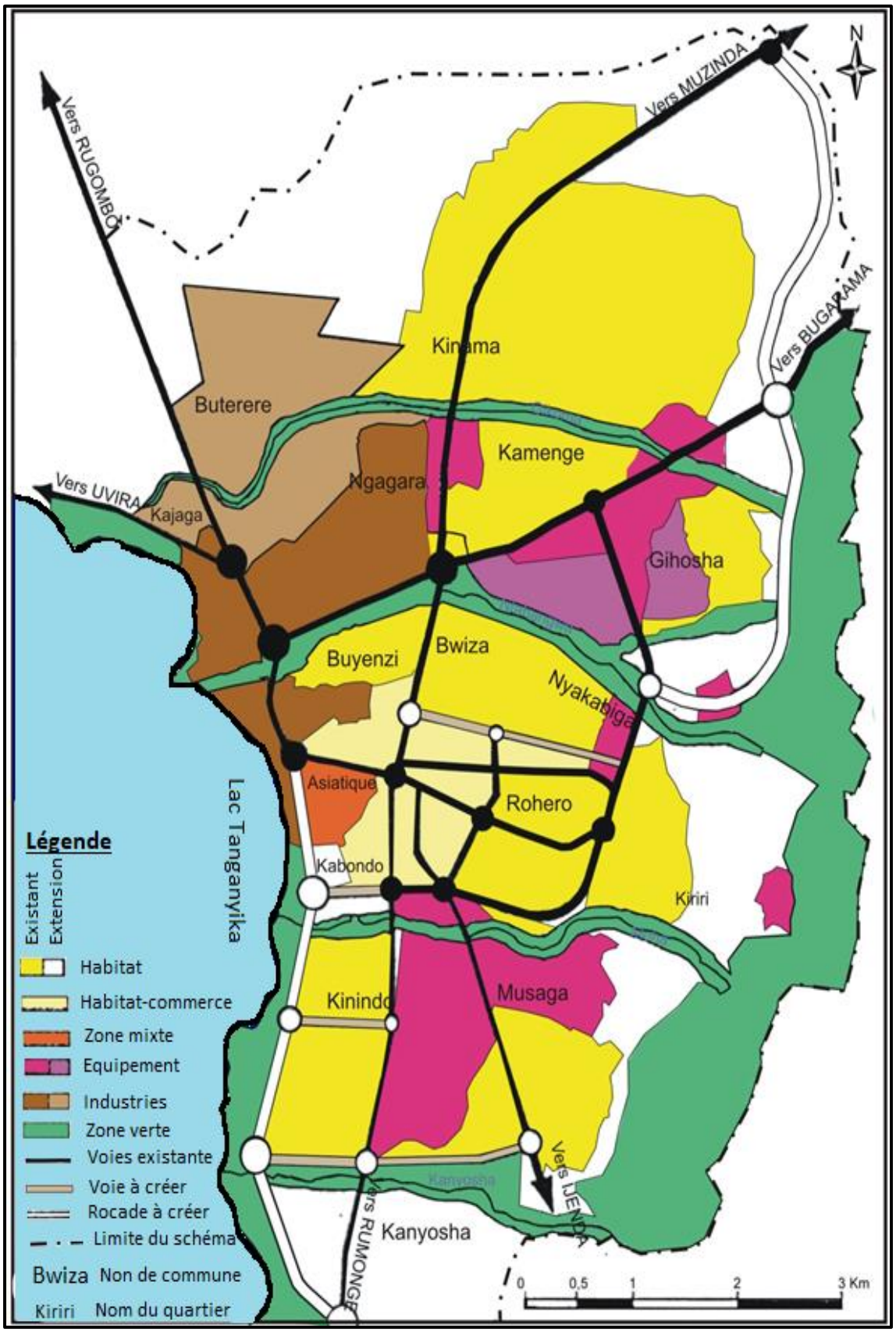


Figure annexe 2. SDAU 1982 (Misago et Niyonkuru (1987) retouché par l'auteur)

Annexe 3. Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme de 1966

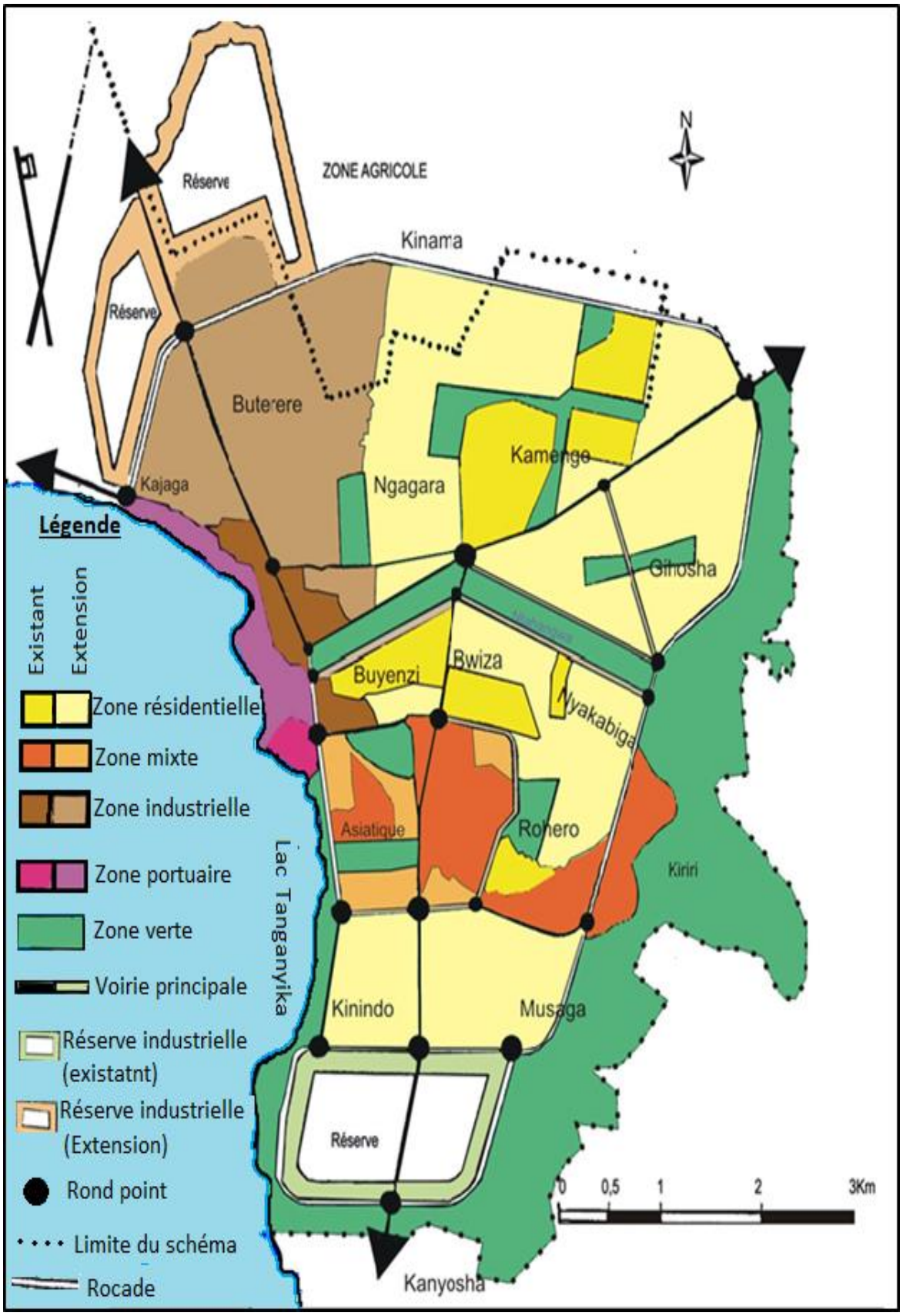


Figure annexe 3. SDAU 1966 (Misago et Niyonkuru (1987) retouché par l'auteur)

Annexe 4. Bassin du Lac Tanganyika et ses caractéristiques

Pays riverains	Burundi, RD Congo, Tanzanie & Zam
Altitude (à la surface)	773 m
Superficie	32,600 km²
Volume	19 000 km³
Profondeur maximum	1,470 m
Profondeur moyenne	570 m
Durée de vie	440 years
Superficie du bassin	223,000 km²
Population vivant dans le bassin	12,5 millions
Densité de la population dans le bassin	45/km²
Longeur du lac	670 km
Perimètre	1,900 km
pH	8.6 – 9.2

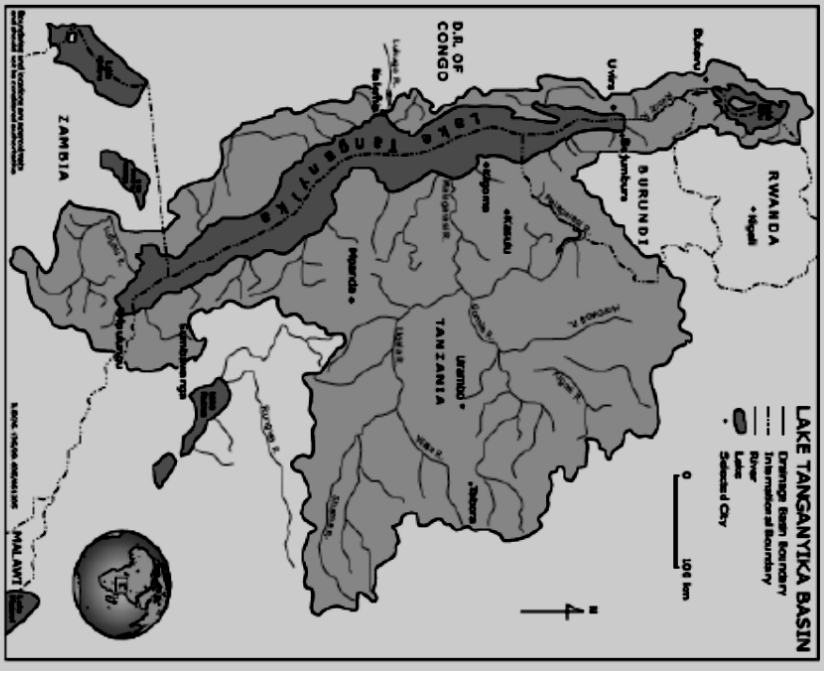


Figure annexe 4. Bassin du lac Tanganyika (Nibirantije, 2017)

Annexe 5. Schéma d'aménagement du littoral du lac Tanganyika (SALT)



Figure annexe 5. Schéma d'aménagement du littoral du lac Tanganyika entre les rivières Mutimbuzi et Kagera (Kigaramango) (ONT, 1992)



Figure annexe 6. Schéma d'aménagement du littoral droit du lac Tanganyika entre les rivières Kanyosha et Mutimbuzi (ONT, 1992)

Annexe 6. Resultats des traitements au Statistica 7.0

```
-------------------------------------------------------------------------------

name:  <unnamed>
log:  C:\Users\lenovo\Documents\Resultats.log
  log type:  text
 opened on:   7 Mar 2023, 09:22:52

. sum Hauteur, detail
                      Hauteur
-------------------------------------------------------------
      Percentiles      Smallest
 1%       773.9         773.9
 5%       773.9        774.05
10%      774.05         774.3      Obs                  17
25%       774.6        774.52      Sum of Wgt.          17

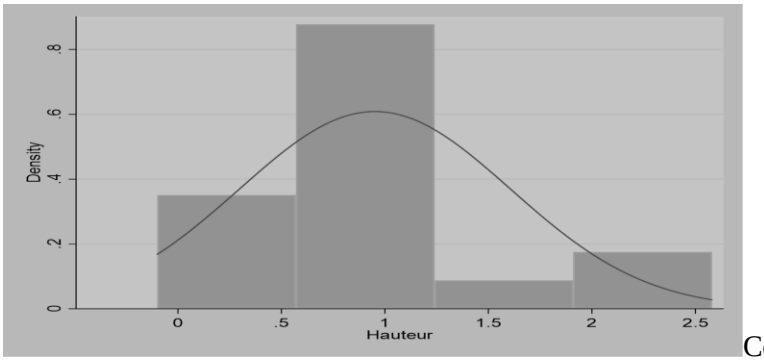
50%      774.92                   Mean           774.9518
                 Largest       Std. Dev.      .6555078
75%      775.12         775.24
90%       776.1          775.3      Variance       .4296904
95%      776.58          776.1      Skewness       .8239954
99%      776.58         776.58       Kurtosis        3.9221

. import excel "C:\Users\lenovo\Documents\montée Tanga 2005 2021.xlsx", sheet("F
> euil1") firstrow
. br
. sum Hauteur, detail
                      Hauteur
-------------------------------------------------------------
      Percentiles      Smallest
 1%         -.1           -.1
 5%         -.1           .05
10%         .05            .3      Obs                  17
25%          .6           .52      Sum of Wgt.          17

50%          .92                   Mean           .9517647
                 Largest       Std. Dev.      .6555078
75%         1.12           1.24
90%          2.1            1.3      Variance       .4296904
95%         2.58            2.1      Skewness       .8239954
99%         2.58           2.58       Kurtosis        3.9221
```

```
. mean Hauteur
Mean estimation                 Number of obs   =        17
--------------------------------------------------------------
             |       Mean   Std. Err.     [95% Conf. Interval]
-------------+------------------------------------------------
     Hauteur |   .9517647    .158984      .6147337    1.288796
--------------------------------------------------------------

. sktest Hauteur
                    Skewness/Kurtosis tests for Normality
                                              ------ joint ------
    Variable |       Obs  Pr(Skewness)  Pr(Kurtosis) adj chi2(2)   Prob>chi2
-------------+-----------------------------------------------------------------
     Hauteur |        17     0.0972        0.1318        4.98        0.0828
```



Concentration

```
. regress Hauteur Années
      Source |       SS           df       MS      Number of obs   =        17
-------------+----------------------------------   F(1, 15)        =     33.42
       Model |  4.74509804         1  4.74509804   Prob > F        =    0.0000
    Residual |  2.12994902        15  .141996601   R-squared       =    0.6902
-------------+----------------------------------   Adj R-squared   =    0.6695
       Total |  6.87504706        16  .429690441   Root MSE        =    .37682

------------------------------------------------------------------------------
     Hauteur |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
     Annees |   .1078431   .0186556     5.78   0.000     .0680797    .1476066
      _cons |  -216.1365   37.55381    -5.76   0.000    -296.1805   -136.0924
------------------------------------------------------------------------------
. log close
      name:  <unnamed>
       log:  C:\Users\lenovo\Documents\Resultats.log
  log type:  text
 closed on:   7 Mar 2023, 09:38:28
```

Annexe 7. Levé topographique

Tableau annexe 1. Levé topographique

Longitude	Latitude	Altitude	Nom/ lieu	Autres		Longitude	Latitude	Altitude	Nom/ lieu	Autres
29,4565	-3,5344	775	Hotel	Ubuntu		29,4324	-3,5663	775	eglise	AN
29,3530	-3,5291	774	Hotel	Ubuntu		29,4155	-3,5624	773	Hotel	Lacosta
29,3513	-3,5279	774	Hotel	New		29,4223	-3,5555	773	Hotel	but-lacoste
29,4780	-3,5278	778	Station	large		29,3703	-3,5457	779	Galerie	Muha.
29,4964	-3,5250	775	Pont	asiatique		29,4434	-3,5408	774	Hotel	Nyabugete
29,3778	-3,5234	780	Pont	Muha		29,4841	-3,5119	778	Usine	Onatour
29,4420	-3,5212	773	hotel	en cours		29,4925	-3,5099	774	Hotel	AN
29,4758	-3,5195	777	auditorat	Militaire		29,4981	-3,5069	780	Usine	Rudi Paints
29,4773	-3,5188	777	bureau	FDN		29,3554	-3,5064	776	Bureau	OIM
29,4018	-3,5168	774	Ecole	kibenga rural		29,4044	-3,5042	779	Station	Asiatique
29,3729	-3,5158	780	hotel	Serenity Garden		29,4080	-3,5015	779	Station	Asiatique
29,4826	-3,5136	776	Station	kinindo		29,4073	-3,4913	774	Eglise	plein evangile
29,4823	-3,5002	776	Hotel	King Palace		29,3826	-3,4911	777	Station	Asiatique
29,5044	-3,5000	779	Station	Asiatique		29,3435	-3,4904	778	Abatoir	Mugere
29,4683	-3,4988	777	Usine	GMB		29,4930	-3,4903	774	Gare	routière
29,4821	-3,4987	773	hotel	AN		29,4657	-3,4894	773	Bar	safi beach
29,4504	-3,4986	775	Hotel	AN		29,4810	-3,4890	774	Hotel	Tanganyika
29,4778	-3,4936	777	Ecole	ISP		29,4220	-3,4879	773	Bar	Kumase
29,4832	-3,4873	774	Hôpital	Bumerec		29,4826	-3,4879	774	bureau	UNICEF
29,4604	-3,4872	773	Post	marine		29,3824	-3,4876	776	Station	Asiatique
29,3805	-3,4866	778	Station	sabimeli		29,3347	-3,4875	779	Nyabugete	N/A
29,3727	-3,4862	776	Hotel	sabimeli		29,3344	-3,4850	775	Mugere	River
29,3322	-3,4861	772	Mugere	River		29,3335	-3,4848	775	Mugere	River
29,3362	-3,4859	778	Mugere	River		29,3347	-3,4848	778	Nyabugete	N/A
29,3350	-3,4859	776	Mugere	River		29,3362	-3,4843	778	Nyabugete	N/A
29,3327	-3,4855	773	Mugere	River		29,3340	-3,4843	777	Nyabugete	N/A
29,3368	-3,4853	777	Mugere	River		29,3353	-3,4841	779	Nyabugete	N/A
29,3314	-3,4851	772	Nyabugete	River		29,3343	-3,4840	778	abatoir	Mugere
29,3357	-3,4850	777	Nyabugete	N/A		29,3318	-3,4839	772	Nyabugete	River
29,3386	-3,4819	780	Nyabugete	River		29,3359	-3,4836	779	Nyabugete	N/A
29,3350	-3,4819	780	Nyabugete	N/A		29,3367	-3,4833	778	Nyabugete	N/A
29,3394	-3,4819	781	Nyabugete	River		29,3351	-3,4830	780	Nyabugete	N/A
29,3344	-3,4819	779	Nyabugete	N/A		29,3376	-3,4829	778	Mugere	River
29,4547	-3,4818	774	Espace vert	Port		29,4608	-3,4827	776	Usine	Tanérie du Bdi
29,3363	-3,4817	780	Nyabugete	N/A		29,3330	-3,4824	773	Nyabugete	N/A
29,3376	-3,4814	779	Nyabugete	N/A		29,3375	-3,4822	779	Nyabugete	N/A
29,4740	-3,4688	773	hotel	espace Vego		29,3382	-3,4813	780	Nyabugete	N/A
29,4945	-3,4687	777	Marché	kinindo		29,3362	-3,4811	781	Nyabugete	N/A
29,3414	-3,4686	774	Nyabugete	N/A		29,3387	-3,4810	781	Nyabugete	N/A
29,3383	-3,4685	772	Nyabugete	inondé		29,3378	-3,4805	779	Nyabugete	N/A
29,3421	-3,4679	776	Nyabugete	N/A		29,3387	-3,4804	781	Nyabugete	N/A
29,3628	-3,4679	774	eglise	Protestante		29,4074	-3,4796	777	Usine	Id
29,3417	-3,4676	775	Nyabugete	N/A		29,3360	-3,4794	779	Nyabugete	N/A
29,3408	-3,4674	773	Nyabugete	N/A		29,4935	-3,4793	778	Camp	Ecolage
29,4641	-3,4674	776	Station	Carburant		29,3377	-3,4788	779	Nyabugete	N/A
29,3404	-3,4674	773	Nyabugete	inondé		29,3361	-3,4783	778	Nyabugete	N/A

29,4531	-3,4673	774	entrepôt	Port	29,3359	-3,4781	778	Nyabugete	N/A
29,3409	-3,4673	773	Nyabugete	N/A	29,4674	-3,4781	776	Régidéso	pompe
29,3398	-3,4673	772	Nyabugete	inondé	29,3344	-3,4781	772	Nyabugete	N/A
29,3395	-3,4672	772	Nyabugete	N/A	29,4681	-3,4779	776	Pompe-SEB	SEB
29,9611	-3,4670	773	Ecole	Université	29,3782	-3,4776	778	Hotel	New
29,3723	-3,4658	776	Station	lac tanga	29,4464	-3,4774	773	bureau	ONUB
29,3431	-3,4654	781	Nyabugete	N/A	29,3337	-3,4770	772	Nyabugete	N/A
29,3431	-3,4649	780	Nyabugete	N/A	29,3772	-3,4770	778	Hotel	AN
29,3428	-3,4648	777	Nyabugete	N/A	29,3354	-3,4766	776	Nyabugete	N/A
29,3409	-3,4646	772	Nyabugete	N/A	29,3338	-3,4762	772	Nyabugete	N/A
29,3426	-3,4641	775	Nyabugete	N/A	29,3377	-3,4762	780	Nyabugete	N/A
29,3739	-3,4624	76	Hotel	safari gate	29,3891	-3,4754	776	Centre	Hyppique
29,4420	-3,4624	775	Dépôt	Brarudi	29,3381	-3,4745	781	Nyabugete	N/A
29,3432	-3,4616	775	eglise	AN	29,3339	-3,4742	776	Nyabugete	N/A
29,3769	-3,4616	772	Hotel	Zion	29,3352	-3,4741	777	Nyabugete	N/A
29,3433	-3,4615	775	Nyabugete	N/A	29,3376	-3,4741	780	Nyabugete	N/A
29,3416	-3,4614	772	Nyabugete	N/A	29,3351	-3,4741	776	Nyabugete	N/A
29,3425	-3,4612	773	Nyabugete	N/A	29,3366	-3,4741	778	Nyabugete	N/A
29,3438	-3,4611	780	Nyabugete	N/A	29,3345	-3,4728	777	Nyabugete	N/A
29,4634	-3,4606	774	entrepôt	Port	29,3335	-3,4726	775	Nyabugete	N/A
29,3440	-3,4595	778	Nyabugete	N/A	29,3329	-3,4726	772	Nyabugete	N/A
29,3437	-3,4595	777	Nyabugete	N/A	29,4563	-3,4720	776	Port	Bujumbura
29,3431	-3,4595	775	Nyabugete	N/A	29,3594	-3,4710	776	entreprise	maritime
29,3441	-3,4595	781	Nyabugete	N/A	29,3405	-3,4704	777	Nyabugete	N/A
29,3453	-3,4591	780	Nyabugete	N/A	29,3413	-3,4704	781	Nyabugete	N/A
29,3450	-3,4589	780	Nyabugete	Falaise	29,3391	-3,4703	775	Nyabugete	N/A
29,3447	-3,4589	779	Nyabugete	N/A	29,3375	-3,4703	774	Nyabugete	N/A
29,3454	-3,4588	781	Nyabugete	N/A	29,3413	-3,4701	780	Nyabugete	N/A
29,3441	-3,4587	777	Nyabugete	N/A	29,3354	-3,4700	772	Nyabugete	inondé
29,3442	-3,4586	777	Nyabugete	Falaise	29,3400	-3,4698	776	Nyabugete	N/A
29,4541	-3,4586	776	Ront point	Chanique	29,3412	-3,4696	779	Nyabugete	N/A
29,3449	-3,4585	780	Nyabugete	Falaise	29,3373	-3,4696	774	Nyabugete	inondé
29,3450	-3,4585	782	Nyabugete	Falaise	29,3412	-3,4693	777	Nyabugete	N/A
29,3445	-3,4583	776	Nyabugete	Falaise	29,3400	-3,4690	774	Nyabugete	N/A
29,3851	-3,4417	774	Hôpital	Police	29,3446	-3,4580	781	Nyabugete	Falaise
29,3430	-3,4416	773	Nyabugete	N/A	29,3446	-3,4578	781	Nyabugete	Falaise
29,3579	-3,4415	780	Station	kinindo	29,3988	-3,4577	778	Ecole	LT
29,3456	-3,4412	779	Nyabugete	N/A	29,3448	-3,4571	780	Nyabugete	Falaise
29,3417	-3,4409	772	Kizingwe	River	29,3451	-3,4571	784	Nyabugete	Falaise
29,3446	-3,4409	776	Nyabugete	N/A	29,3440	-3,4564	772	Nyabugete	N/A
29,3424	-3,4408	773	Kizingwe	River	29,3445	-3,4561	775	Nyabugete	N/A
29,4710	-3,4408	780	SEB	N/A	29,3571	-3,4561	776	Hotel	Club du lac
29,3434	-3,4406	775	Kizingwe	River	29,3451	-3,4560	784	Nyabugete	Falaise
29,3462	-3,4405	781	Nyabugete	N/A	29,3449	-3,4560	780	Nyabugete	Falaise
29,3449	-3,4402	778	Kizingwe	River	29,3453	-3,4558	784	Nyabugete	Falaise
29,3463	-3,4400	781	Kizingwe	River	29,3455	-3,4552	781	Nyabugete	Falaise
29,3521	-3,4398	777	Hotel	Royal Place	29,3458	-3,4551	785	Nyabugete	Falaise
29,3464	-3,4397	782	Gisyo	N/A	29,3456	-3,4547	780	Nyabugete	Falaise
29,3450	-3,4396	778	Gisyo	N/A	29,3456	-3,4546	779	Nyabugete	Falaise
29,3422	-3,4391	772	Gisyo	Lac	29,4743	-3,4541	775	entrepôt	port
29,4997	-3,4391	777	Ront point	Brarudi	29,3456	-3,4540	781	Nyabugete	Falaise
29,3690	-3,4388	773	Hotel	AN	29,3456	-3,4539	781	Nyabugete	Falaise
29,3928	-3,4387	776	Pont	Nyabagere	29,3455	-3,4539	779	Nyabugete	N/A
29,3433	-3,4387	774	Gisyo	N/A	29,3455	-3,4536	780	Nyabugete	N/A

29,3443	-3,4373	774	Gisyo	N/A	29,3447	-3,4535	774	Nyabugete	N/A
29,3923	-3,4372	779	Usine	Kinju	29,3438	-3,4532	772	Nyabugete	N/A
29,3447	-3,4369	774	Gisyo	N/A	29,3453	-3,4526	780	Nyabugete	Falaise
29,3478	-3,4368	781	Gisyo	N/A	29,3453	-3,4525	780	Nyabugete	N/A
29,3482	-3,4364	780	Gisyo	N/A	29,3447	-3,4523	775	Nyabugete	N/A
29,3910	-3,4356	775	Station	Police	29,3457	-3,4517	779	Nyabugete	N/A
29,3453	-3,4355	773	Gisyo	N/A	29,3458	-3,4517	780	Nyabugete	N/A
29,3490	-3,4355	781	Gisyo	Mare	29,3447	-3,4510	774	Nyabugete	N/A
29,3497	-3,4351	776	Gisyo	Mare	29,3444	-3,4506	772	Nyabugete	N/A
29,3428	-3,4350	772	Gisyo	Lac	29,3444	-3,4503	772	Nyabugete	N/A
29,3485	-3,4349	782	Gisyo	Mare	29,3460	-3,4503	781	Nyabugete	N/A
29,3497	-3,4347	776	Gisyo	Mare	29,3455	-3,4503	776	Nyabugete	N/A
29,3494	-3,4343	776	Gisyo	Mare	29,3462	-3,4491	780	Nyabugete	N/A
29,3489	-3,4339	782	Gisyo	N/A	29,3454	-3,4491	775	Nyabugete	N/A
29,3442	-3,4336	772	Gisyo	Lac	29,3445	-3,4490	772	Nyabugete	N/A
29,4369	-3,4336	776	Hotel	Bora Bora	29,3608	-3,4476	776	Station	GEMECA
29,3438	-3,4331	772	Gisyo	Lac	29,3451	-3,4475	772	Nyabugete	N/A
29,3486	-3,4330	775	Gisyo	Mare	29,3462	-3,4473	781	Nyabugete	N/A
29,3928	-3,4324	776	Pont	Mutimbuzi	29,3457	-3,4472	775	Nyabugete	N/A
29,3543	-3,4322	773	Hotel	CNB	29,3451	-3,4471	772	Nyabugete	N/A
29,3393	-3,4320	772	Kanyosha	River	29,3582	-3,4463	774	Hotel	LT
29,3460	-3,4319	772	Gisyo	N/A	29,3450	-3,4459	773	Nyabugete	N/A
29,3420	-3,4313	772	Gisyo	N/A	29,3466	-3,4456	781	Nyabugete	N/A
29,3713	-3,4312	776	hotel	New	29,3602	-3,4451	776	Banque	GEMECA
29,3406	-3,4303	773	Kanyosha	River	29,3439	-3,4450	772	Nyabugete	N/A
29,3391	-3,4301	772	Kibenga	N/A	29,3443	-3,4441	774	Hotel	Nyabugete
29,3449	-3,4297	773	Kanyosha	River	29,3463	-3,4436	781	Nyabugete	N/A
29,3399	-3,4297	774	Kanyosha	River	29,3437	-3,4435	772	Nyabugete	N/A
29,3459	-3,4292	772	Gisyo	N/A	29,3455	-3,4433	777	Nyabugete	N/A
29,3447	-3,4292	772	Gisyo	N/A	29,3441	-3,4432	774	Nyabugete	N/A
29,3487	-3,4292	773	Gisyo	N/A	29,3761	-3,4424	776	Terrain	tempête
29,3495	-3,4290	776	Gisyo	N/A	29,3437	-3,4424	773	Nyabugete	N/A
29,3496	-3,4290	777	Gisyo	N/A	29,3453	-3,4423	778	Nyabugete	N/A
29,3509	-3,4289	788	Gisyo	N/A	29,4330	-3,4423	774	Réservoir	Interpétrol CEP
29,3419	-3,4282	774	Kanyosha	River	29,3669	-3,4422	774	Terrain	tempête
29,3404	-3,4280	772	Kibenga	N/A	29,3375	-3,4249	772	Kibenga	N/A
29,3389	-3,4279	772	Kibenga	N/A	29,3477	-3,4248	777	Kanyosha	River
29,3461	-3,4274	773	Gisyo	N/A	29,3394	-3,4247	773	Kibenga	N/A
29,3422	-3,4274	774	Gisyo	N/A	29,3470	-3,4244	777	Kanyosha	River
29,3385	-3,4273	772	Kibenga	N/A	29,3479	-3,4244	778	Kanyosha	River
29,3415	-3,4273	774	Kanyosha	NRiver	29,3426	-3,4243	775	Kibenga	N/A
29,3415	-3,4272	774	Kibenga	N/A	29,3462	-3,4241	777	bureau	Auditorat
29,3482	-3,4272	774	Gisyo	N/A	29,3987	-3,4237	776	Usine	Savonor
29,3375	-3,4271	772	Kibenga	N/A	29,3419	-3,4235	775	Kibenga	N/A
29,3400	-3,4269	773	Kibenga	N/A	29,3478	-3,4235	778	Kanyosha	River
29,3443	-3,4268	774	Gisyo	N/A	29,3486	-3,4234	781	Gisyo	N/A
29,3402	-3,4267	774	Ecole	kibenga rural	29,3420	-3,4233	775	Kibenga	N/A
29,3402	-3,4267	774	Ecole	kibenga rural	29,3387	-3,4233	775	Kibenga	N/A
29,3488	-3,4266	779	Gisyo	N/A	29,3827	-3,4233	776	Bar	Restau
29,3426	-3,4264	775	Kanyosha	River	29,3403	-3,4229	773	Kibenga	N/A
29,3497	-3,4261	781	Gisyo	N/A	29,4949	-3,4227	777	Station	Brarudi
29,3591	-3,4260	778	bar	Muha	29,3483	-3,4224	778	Kanyosha	River
29,3399	-3,4260	772	Kibenga	N/A	29,3415	-3,4223	775	Kibenga	N/A
29,3376	-3,4260	772	Kibenga	N/A	29,3498	-3,4218	780	Kibenga	N/A

29,3406	-3,4259	773	Kibenga	N/A		29,3502	-3,4217	781	Kibenga	N/A
29,3431	-3,4257	775	Kanyosha	River		29,3403	-3,4213	773	Kibenga	N/A
29,3437	-3,4257	775	Kanyosha	River		29,3472	-3,4213	780	Kibenga	N/A
29,3431	-3,4253	774	Eglise	plein evangile		29,3473	-3,4181	780	Hotel	Serenity Garden
29,3460	-3,4253	776				29,4708	-3,4209	772	Terrain	kinindo
29,3443	-3,4253	775	Kanyosha	River		29,3440	-3,4206	777	Kibenga	N/A
29,3812	-3,4252	776	Musée	Vivant		29,3484	-3,4198	781	Kibenga	N/A
29,3474	-3,4162	778	Kibenga	N/A		29,3420	-3,4190	778	Hotel	akeza Hall
29,3427	-3,4160	773	Kibenga	N/A		29,3620	-3,4190	778	Hotel	akeza Hall
29,3464	-3,4159	773	hotel	Vego		29,3478	-3,4212	781	Kibenga	N/A
29,3497	-3,4159	781	Kinindo	N/A		29,3347	-3,4180	781	Kibenga	N/A
29,4997	-3,4158	778	Usine	RAFINA		29,3441	-3,4180	775	Kibenga	N/A
29,3421	-3,4158	772	Lacoste	Beach		29,3460	-3,4180	777	Large	N/A
29,3483	-3,4157	779	Kinindo	N/A		29,3477	-3,4180	780	Kibenga	N/A
29,3468	-3,4156	776	bureau	OIM		29,3426	-3,4179	774	Kibenga	N/A
29,3406	-3,4156	774	Lacoste	Beach		29,3489	-3,4173	781	Kibenga	N/A
29,3422	-3,4156	775	hotel	lacoste		29,3483	-3,4170	780	Kibenga	N/A
29,3469	-3,4153	776	large	N/A		29,3461	-3,4169	777	Kibenga	N/A
29,9694	-3,4169	778	usine	imuhira print		29,3444	-3,4169	778	Usine	imuhira print
29,3494	-3,4150	780	Kinindo	N/A		29,3429	-3,4149	774	Kibenga	N/A
29,3543	-3,4141	774	Pompe	Regideso		29,3416	-3,4162	773	Hotel	lacosta
29,3489	-3,4140	779	Kinindo	N/A		29,3440	-3,4162	776	Kibenga	N/A
29,4819	-3,4140	776	Usine	Brarudi		29,3595	-3,4094	774	garage	N/A
29,3498	-3,4136	781	Kinindo	N/A		29,3461	-3,4092	774	Kinindo	N/A
29,3457	-3,4134	775	Hotel	ubuntu		29,3453	-3,4092	774	bureau	UNICEF
29,3464	-3,4130	776	Kibenga	N/A		29,3513	-3,4086	781	Kinindo	N/A
29,3478	-3,4128	778	Station	large		29,3510	-3,4085	780	Kinindo	N/A
29,3478	-3,4128	778	Station	large		29,3499	-3,4083	778	Kinindo	N/A
29,3448	-3,4128	774	Kibenga	N/A		29,3436	-3,4081	773	Kinindo	N/A
29,3432	-3,4127	772	Kibenga	N/A		29,3446	-3,4077	773	bureau	ONUB
29,3442	-3,4121	773	hotel	construction		29,3487	-3,4076	778	Hotel	New
29,3477	-3,4119	777	bureau	FDN		29,3498	-3,4070	778	Kinindo	Marché
29,3483	-3,4114	776	Station	kinindo		29,3494	-3,4069	777	Marché	kinindo
29,3512	-3,4113	781	Kinindo	N/A		29,3494	-3,4069	777	Marché	kinindo
29,3502	-3,4108	780	Kinindo	N/A		29,3465	-3,4067	773	Ecole	Université
29,3436	-3,4107	772	Kibenga	N/A		42,3961	-3,4067	773	Ecole	Université
29,3497	-3,4106	779	Kinindo	N/A		29,3472	-3,4056	775	Usine	UMAMEBU
29,3489	-3,4103	777	Kinindo	N/A		29,3508	-3,4052	779	Large	N/A
29,3511	-3,4102	781	Kinindo	N/A		29,3447	-3,4045	772	Kinindo	N/A
29,3482	-3,4100	776	Hotel	Royal Palace		29,3481	-3,4045	773	Kinindo	N/A
29,3504	-3,4094	774	garage	N/A		29,3503	-3,4045	776	Kinindo	N/A
29,3482	-3,3986	775	Muha	N/A		29,3508	-3,4042	780	Station	kinindo
29,3428	-3,3985	772	Kinindo	N/A		29,4943	-3,4040	779	Pont	Ntahangwa
29,3501	-3,3983	776	Muha	N/A		29,3454	-3,4033	772	Kinindo	N/A
29,3450	-3,3980	773	Kabondo	N/A		29,3513	-3,4032	780	Large	N/A
29,3490	-3,3978	776	Kabondo	N/A		29,3516	-3,4031	781	Kinindo	N/A
29,3528	-3,3973	781	Muha large	Pont		29,4563	-3,4028	773	Usine	Pembe
29,3515	-3,3973	778	Muha	N/A		29,3509	-3,4026	778	Bar	Muha
29,3467	-3,3968	773	Kinindo	N/A		29,3471	-3,4021	774	Terrain	kinindo
29,3469	-3,3965	773	Kabondo	N/A		29,3428	-3,4020	776	Kinindo	N/A
29,3454	-3,3964	772	Kinindo	N/A		29,3517	-3,4017	779	Kinindo	N/A
29,3542	-3,3959	780	Kabondo	N/A		29,3433	-3,4017	773	Kinindo	N/A
29,4381	-3,3957	774	Réservoir	CEP		29,3485	-3,4015	773	Kinindo	N/A
29,3506	-3,3951	775	Kabondo	N/A		29,4578	-3,4015	777	Dépôt	Brarudi

29,3519	-3,3950	777	Kabondo	N/A		29,3415	-3,4015	772	Muha	N/A
29,3482	-3,3949	773	hotel	Construction		29,3500	-3,4013	774	Kinindo	N/A
29,3549	-3,3948	781	Kabondo	N/A		29,3521	-3,4012	781	Kinindo	N/A
29,3535	-3,3945	778	Kabondo	N/A		29,3459	-3,4011	772	Kinindo	N/A
29,3543	-3,3943	780	Large	N/A		29,3472	-3,4006	773	Kinindo	N/A
29,4876	-3,3939	778	Dépôt	Brarudi		29,3655	-3,3997	775	Eglise	Orthodoxe
29,3483	-3,3937	774	Hôpital	Bumerec		29,3520	-3,3996	779	Galerie	Muha
29,3530	-3,3937	778	Station	sabimeli		29,3523	-3,3993	779	Usine	N/A
29,3523	-3,3936	776	Hotel	sabimeli		29,3475	-3,3993	773	Kinindo	N/A
29,3523	-3,3936	776	Hotel	sabimeli		29,3449	-3,3992	773	Muha	N/A
29,3533	-3,3933	778	Av du Large - Bld du Japon	Jonction		29,4453	-3,3990	774	Dépôt	Blé
29,3538	-3,3932	780	Kabondo	N/A		29,3461	-3,3989	774	Muha	N/A
29,3543	-3,3932	781	Kabondo	N/A		29,3473	-3,3989	774	Muha	N/A
29,3494	-3,3930	773	Kabondo	N/A		29,3524	-3,3912	776	Hotel	safari gate
29,3483	-3,3928	772	Kabondo	N/A		29,3508	-3,3912	772	Hotel	zion
29,3527	-3,3927	778	Hotel	AN		29,4947	-3,3908	779	Ront point	Métalusa
29,3509	-3,3924	774	Kabondo	N/A		29,3541	-3,3906	776	Hotel	Club du lac
29,3508	-3,3924	774	Kabondo	N/A		29,3503	-3,3904	773	Kabondo	N/A
29,3532	-3,3923	779	Musée Vivant	N/A		29,3971	-3,3902	780	Station	Asiatique
29,3542	-3,3922	781	Kabondo	N/A		29,3508	-3,3896	774	Hotel	LT
29,3494	-3,3921	773	Kabondo	N/A		29,3526	-3,3892	776	Terrain	tempête
29,4857	-3,3920	778	Dépôt	Brarudi		29,3517	-3,3892	774	Terrain	tempête
29,3513	-3,3918	774	eglise	Protestante		29,4850	-3,3885	778	Usine	Métaludi
29,3489	-3,3918	772	Kabondo	N/A		29,3526	-3,3884	776	Musée Vivant	N/A
29,4189	-3,3914	775	Usine	Siphar		29,3553	-3,3883	781	Kabondo	N/A
29,3504	-3,3801	775	Gare routière	N/A		29,3531	-3,3883	778	Musée Vivant	N/A
29,3554	-3,3800	779	Station	Asiatique		29,3554	-3,3883	781	Station	Regidso
29,3470	-3,3795	773	Buyenzi	N/A		29,3502	-3,3882	773	Hotel	CNB
29,3563	-3,3794	780	Centre hippique	N/A		29,3554	-3,3878	781	Station	Regidso
29,3545	-3,3793	778	Bld Ndadaye	N/A		29,3531	-3,3875	776	Musée	Vivant
29,3533	-3,3791	777	Station	Asiatique		29,3550	-3,3866	781	Asiatique	N/A
29,3493	-3,3790	774	Gare routière	Bujumbura		29,3501	-3,3864	774	Kabondo	N/A
29,3432	-3,3790	772	port	N/A		29,3504	-3,3864	774	Pompe	Regideso
29,3466	-3,3789	773	Bar	safi beach		29,3528	-3,3860	775	Musée	vivant
29,3481	-3,3789	774	Hotel	Tanganyika		29,3534	-3,3854	776	Asiatique	N/A
29,3535	-3,3788	776	Buyenzi	N/A		29,3505	-3,3852	774	Asiatique	N/A
29,3431	-3,3788	772	port	N/A		29,3547	-3,3840	780	Station	Asiatique
29,3532	-3,3788	776	Station	Asiatique		29,3500	-3,3836	773	Asiatique	N/A
29,3460	-3,3787	773	Post	marine		29,3550	-3,3832	780	Asiatique	N/A
29,3455	-3,3782	774	Espace vert	Port		29,3503	-3,3829	774	Hotel	Ubuntu
29,3503	-3,3781	775	Gare routière	N/A		29,3558	-3,3829	781	Asiatique	N/A
29,3443	-3,3779	772	port	N/A		29,3511	-3,3828	775	Asiatique	N/A
29,3553	-3,3777	779	Centre hippique	N/A		29,3517	-3,3825	775	Pont	asiatique
29,4822	-3,3776	778	Usine	Métalusa		29,3535	-3,3818	777	Asiatique	N/A
29,3444	-3,3773	772	port	N/A		29,3489	-3,3815	773	Buyenzi	N/A
29,3509	-3,3771	776	entreprise	maritime		29,3493	-3,3810	774	Hotel	AN
29,3560	-3,3768	779	Centre hippique	N/A		29,3528	-3,3809	775	Asiatique	N/A
29,3521	-3,3768	776	Bld	Ndadaye M.		29,3554	-3,3804	779	Station	Asiatique
29,3522	-3,3766	776	Station	lac Tanganyika		29,3485	-3,3804	774	Buyenzi	N/A
29,3544	-3,3765	778	Avenur	Tanzanie		29,3459	-3,3804	772	Port	N/A
29,3444	-3,3762	772	port	N/A		29,3486	-3,3804	774	Gare routière	N/A
29,3463	-3,3761	774	entrepôt	Port		29,3566	-3,3802	781	Bld	Ndadaye
29,3438	-3,3696	774	Réservoir	CEP		29,3558	-3,3802	779	Station	Asiatique

29,3488	-3,3694	778	Dépôt	Brarudi		29,3549	-3,3758	778	Ecole	LT
29,3516	-3,3693	780	Ntahangwa	N/A		29,3480	-3,3755	776	Port	N/A
29,3495	-3,3691	779	Ront point	Métalusa		29,3408	-3,3754	773	Ntahangwa	N/A
29,3528	-3,3690	780	Ntahangwa	N/A		29,3474	-3,3754	775	Entrepôt	port
29,3452	-3,3689	775	CEP	N/A		29,3541	-3,3750	779	Buyenzi	N/A
29,3485	-3,3689	778	Usine	Métaludi		29,3508	-3,3749	776	Bld	Ndadaye
29,3496	-3,3687	779	Cogerco	N/A		29,3511	-3,3748	776	Station	GEMECA
29,3512	-3,3680	780	Amsar	N/A		29,3473	-3,3747	772	Port	N/A
29,3540	-3,3678	781	Ntahangwa	N/A		29,4656	-3,3746	774	Ecole	Chanique
29,3482	-3,3678	778	Usine	Métalusa		29,3510	-3,3745	776	Banque	GEMECA
29,3524	-3,3676	781	Industriel	N/A		29,3468	-3,3743	772	Port	N/A
29,3484	-3,3662	778	Usine	Onatour		29,3562	-3,3742	780	Terrain	St augustin
29,3498	-3,3657	780	Usine	Rudi Paints		29,3433	-3,3742	774	Carburant	Interpétrol CEP
29,3468	-3,3649	777	Usine	GMB		29,3382	-3,3739	772	Ntahangwa	N/A
29,3450	-3,3649	775	Hotel	AN		29,3500	-3,3739	777	Ront point	Brarudi
29,3474	-3,3648	777	ISP	N/A		29,3498	-3,3738	776	Buyenzi	N/A
29,3478	-3,3644	777	Ecole	ISP		29,3447	-3,3738	775	Buyenzi	N/A
29,3433	-3,3641	774	Industriel	N/A		29,3542	-3,3737	779	Usine	Kinju
29,3422	-3,3638	773	Bar	Kumase		29,3546	- 3,3737	779	market	Ruvumera
29,3461	-3,3633	776	Usine	Tanérie		29,4621	-3,3736	774	Usine	Gaspas group
29,3518	-3,3630	780	Industriel	N/A		29,3561	-3,3734	781	Terrain	St augustin
29,3493	-3,3629	778	Camp	Ecolage		29,3388	-3,3733	772	Ntahangwa	N/A
29,3467	-3,3628	776	Régidéso	pompe		29,3420	-3,3732	773	Buyenzi	N/A
29,3468	-3,3628	776	Pompe-SEB	SEB		29,3539	-3,3731	780	23 Buyenzi	N/A
29,3462	-3,3626	777	Industriel	N/A		29,3408	-3,3728	775	Ntahangwa	N/A
29,3464	-3,3617	776	Station	Carburant		29,3388	-3,3726	773	Ntahangwa	N/A
29,3528	-3,3614	781	Industriel	N/A		29,3387	-3,3725	773	Ntahangwa	N/A
29,3461	-3,3614	778	Industriel	N/A		29,3392	-3,3725	776	Buyenzi	N/A
29,3526	-3,3614	781	Ngagara	N/A		29,3495	-3,3723	777	Station	Brarudi
29,3490	-3,3613	778	Industriel	N/A		29,3372	-3,3722	773	Ntahangwa	N/A
29,3442	-3,3612	775	Dépôt	Brarudi		29,3357	-3,3722	773	Ntahangwa	N/A
29,3442	-3,3612	775	Dépôt	Brarudi		29,3380	-3,3720	772	Ntahangwa	N/A
29,3456	-3,3612	776	Igiti rond pt	c'Urukundo		29,3345	-3,3720	773	Industriel	N/A
29,3414	-3,3611	773	Industriel	N/A		29,3398	-3,3717	775	Ntahangwa	N/A
29,3390	-3,3609	773	Industriel	N/A		29,3500	-3,3716	778	Usine	RAFINA
29,3454	-3,3609	776	Ront point	Chanique		29,3427	-3,3715	775	Ntahangwa	N/A
29,3448	-3,3605	776	Chanic	N/A		29,3362	-3,3714	774	Industriel	N/A
29,3268	-3,3604	772	Mutimbuzi	River		29,3482	-3,3714	776	Usine	Brarudi
29,3281	-3,3604	772	Ngagara	N/A		29,3447	-3,3712	775	Ntahangwa	N/A
29,3372	-3,3601	773	Industriel	N/A		29,3450	-3,3711	776	Ntahangwa	N/A
29,3452	-3,3600	775	Industriel	N/A		29,3367	-3,3705	772	Industriel	N/A
29,3376	-3,3595	774	Kinyakonge	N/A		29,3471	-3,3704	777	Ntahangwa	N/A
29,3359	-3,3594	773	Ngagara	N/A		29,3421	-3,3703	775	Ntahangwa	N/A
29,3482	-3,3593	781	Ngagara	N/A		29,3518	-3,3703	779	Ntahangwa	N/A
29,3287	-3,3592	773	Ngagara	N/A		29,3473	-3,3703	777	Ntahangwa	N/A
29,3385	-3,3592	774	Hôpital	Police		29,3458	-3,3701	777	Dépôt	Brarudi
29,3369	-3,3589	773	Hotel	AN		29,3458	-3,3701	777	Dépôt	Brarudi
29,3369	-3,3589	773	Hotel	AN		29,3535	-3,3700	781	Buyenzi	23e Av
29,3393	-3,3589	776	Pont	Nyabagere		29,3502	-3,3699	779	Usine	cogerco
29,3404	-3,3589	775	Kinyakonge	N/A		29,3317	-3,3561	773	Ngagara	N/A
29,3279	-3,3585	773	Ngagara	N/A		29,3285	-3,3561	773	Mutimbuzi	N/A
29,3437	-3,3584	776	Hotel	Bora Bora		29,3537	-3,3556	781	Ngagara	N/A
29,3393	-3,3582	776	Pont	Mutimbuzi		29,3347	-3,3556	775	Usine	UMAMEBU
29,3492	-3,3580	777	Ngagara	N/A		29,3526	-3,3555	779	Ngagara	N/A

29,3442	-3,3578	775	Industriel	N/A	29,3306	-3,3553	773	Usine	Pembe
29,3325	-3,3578	772	Ngagara	N/A	29,3320	-3,3553	775	Ngagara	N/A
29,3295	-3,3577	772	Ngagara	N/A	29,3285	-3,3552	774	Ngagara	N/A
29,3399	-3,3574	776	Usine	Savonor	29,3365	-3,3550	775	Eglise	orthodoxe
29,3383	-3,3573	776	Bar	Restau	29,3295	-3,3549	774	Dépôt	Blé
29,3412	-3,3572	774	Kinyakonge	N/A	29,3426	-3,3546	776	Pont	Nyabagere
29,3369	-3,3571	776	Ngagara	N/A	29,3364	-3,3543	775	Ngagara	N/A
29,3419	-3,3411	779	Ngagara	N/A	29,3419	-3,3541	775	Usine	Siphar
29,3290	-3,3399	778	Mutimbuzi	N/A	29,3286	-3,3541	775	Ngagara	N/A
29,3368	-3,3396	779	Ngagara	N/A	29,3450	-3,3537	776	Ngagara	N/A
29,3324	-3,3390	777	Ngagara	N/A	29,3545	-3,3527	780	Ngagara	N/A
29,3316	-3,3525	774	Ecole	Chanique	29,3401	-3,3386	780	Ngagara	N/A
29,3312	-3,3524	774	Usine	Gaspas group	29,3416	-3,3371	781	Ngagara	N/A
29,3305	-3,3521	775	Ngagara	N/A	29,3292	-3,3366	779	Mutimbuzi	N/A
29,3287	-3,3520	775	Ngagara	N/A	29,3365	-3,3361	780	Ngagara	N/A
29,3411	-3,3512	776	Ngagara	N/A	29,3130	-3,3333	781	Ngagara	N/A
29,3327	-3,3509	774	Ngagara	N/A	29,3294	-3,3319	781	Mutimbuzi	N/A
29,3549	-3,3508	781	Ngagara	N/A	29,3312	-3,3311	780	Ngagara	N/A
29,3380	-3,3507	775	Ngagara	N/A	29,3502	-3,3502	778	Ngagara	N/A
29,3504	-3,3504	779	Kabondo	N/A	29,3399	-3,3481	777	Ngagara	N/A
29,3471	-3,3441	780	SEB	SEB	29,3407	-3,3480	777	Usine	Id
29,3367	-3,4833	778	Nyabugete	N/A	29,3350	-3,4819	780	Nyabugete	N/A
29,3351	-3,4830	780	Nyabugete	N/A	29,3394	-3,4819	781	Nyabugete	River
29,3376	-3,4829	778	Mugere	River	29,3344	-3,4819	779	Nyabugete	N/A
29,4608	-3,4827	776	Usine	Tanérie du Bdi	29,4547	-3,4818	774	Espace vert	Port
29,3330	-3,4824	773	Nyabugete	N/A	29,3363	-3,4817	780	Nyabugete	N/A
29,3375	-3,4822	779	Nyabugete	N/A	29,3376	-3,4814	779	Nyabugete	N/A
29,3382	-3,4813	780	Nyabugete	N/A	29,4740	-3,4688	773	Hotel	espace Vego
29,3362	-3,4811	781	Nyabugete	N/A	29,4945	-3,4687	777	Marché	kinindo
29,3387	-3,4810	781	Nyabugete	N/A	29,3414	-3,4686	774	Nyabugete	N/A
29,3378	-3,4805	779	Nyabugete	N/A	29,3383	-3,4685	772	Nyabugete	inondé
29,3387	-3,4804	781	Nyabugete	N/A	29,3421	-3,4679	776	Nyabugete	N/A
29,4074	-3,4796	777	usine	Id	29,3628	-3,4679	774	Eglise	Protestante
29,3360	-3,4794	779	Nyabugete	N/A	29,3417	-3,4676	775	Nyabugete	N/A
29,4935	-3,4793	778	Camp	Ecolage	29,3408	-3,4674	773	Nyabugete	N/A
29,3377	-3,4788	779	Nyabugete	N/A	29,4641	-3,4674	776	Station	Carburant
29,3361	-3,4783	778	Nyabugete	N/A	29,3404	-3,4674	773	Nyabugete	inondé
29,3359	-3,4781	778	Nyabugete	N/A	29,4531	-3,4673	774	entrepôt	Port
29,4674	-3,4781	776	Régidéso	pompe	29,3409	-3,4673	773	Nyabugete	N/A
29,3344	-3,4781	772	Nyabugete	N/A	29,3398	-3,4673	772	Nyabugete	inondé
29,3448	-3,4128	774	Kibenga	N/A	29,3442	-3,4121	773	Hotel	construction
29,3432	-3,4127	772	Kibenga	N/A	29,3477	-3,4119	777	bureau	FDN
29,3487	-3,4076	778	Hotel	New	29,3483	-3,4114	776	Station	kinindo
29,3498	-3,4070	778	Kinindo	Marché	29,3512	-3,4113	781	Kinindo	N/A
29,3494	-3,4069	777	Marché	kinindo	29,3436	-3,4081	773	Kinindo	N/A
29,3494	-3,4069	777	Marché	kinindo	29,3446	-3,4077	773	bureau	ONUB
29,4656	-3,3746	774	Ecole	Chanique	29,3468	-3,3743	772	Port	N/A
29,3510	-3,3745	776	Banque	GEMECA	29,3562	-3,3742	780	Terrain	St augustin
29,3433	-3,3742	774	Carburant	Interpétrol CEP					

Annexe 8. Quelques photos



Photo annexe 1. Pollution du lac Tanganyika par un cours d'eau (embouchure de la rivière Rusizi)



Photo annexe 2. Pollution de la rive droite du lac Tanganyika (avenue de la Plage)



Photo annexe 3. Départ de l'équipage (le vaisseau en pleine eau du lac Tanganyika) avec nos coéquipiers de classe et le Professeur Bernard Sindayihebura



Photo annexe 4. Visite de Nyabugete II avec le Professeur Jean Marie Sabushimike et nos coéquipiers de classe