

---

## Travail de fin d'études[BR]- Travail de recherche personnel[BR]- Travail d'expertise interdisciplinaire

**Auteur :** Accalogoun, Togbedji Freddy Arnaud

**Promoteur(s) :** 3258

**Faculté :** Faculté des Sciences

**Diplôme :** Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes à l'ère de l'Anthropocène

**Année académique :** 2024-2025

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/22465>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement**

**PROBLEMATIQUE DES INONDATIONS ET QUALITE DES EAUX DE CONSOMMATION  
DANS LES ZONES PERIURBAINES DE LA REPUBLIQUE DU BURUNDI : CAS DE LA  
ZONE DE GATUMBA**



**TOGBEDJI FREDDY ARNAUD ACCALOGOUN**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER DE SPECIALISATION EN GESTION DES RISQUES ET DES CATASTROPHES A  
L'ERE DE L'ANTHROPOCENE**

**ANNEE ACADEMIQUE 2024-2025**

**REDIGE SOUS LA DIRECTION DE YVON HOUNTONDJI**

**COMITE DE LECTURE :**  
**PIERRE OZER**  
**JOOST WELLENS**

## Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l'Université de Liège et de l'Université de Namur.

\*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège et de l'Université de Namur.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : ACCALOGOUN Arnaud ;  
adresse email : [accaarnaud@gmail.com](mailto:accaarnaud@gmail.com)

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

*A Dieu tout puissant, pour son amour infini.*

*A mes filles, Mlles **Floriane et Félicia**, pour toute la joie qu'elles m'apportent ;*

*A ma mère **Clotilde ZODEHOUGAN** et à mon père **Léonard ACCALOGOUN** qu'ils trouvent  
ici le fruit de leur labeur ;*

*A mes chers frères et sœurs ;*

*A ma femme, **Flora** pour son soutien.*

## **Remerciements**

L'aboutissement de ce travail a été possible grâce à la collaboration et aux soutiens financier de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur (ARES).

Je désire donc, témoigner mes profondes reconnaissances à :

**Prof Yvon HOUNTONDJI** pour avoir accepté, malgré ses multiples occupations, de suivre ce travail et d'y avoir apporté toute la contribution scientifique nécessaire ;

**Prof Pierre OZER** : Coordonnateur de Master de Spécialisation en Gestion des Risques et Catastrophe à l'ère de l'Anthropocène pour l'opportunité qu'il nous a offerte ;

**M. HEIN Koufanou** : Assistant du Master de Spécialisation en Gestion des Risques et Catastrophe à l'ère de l'Anthropocène pour sa disponibilité constante ;

**Tous les enseignants de ce master** qui n'ont ménagé aucun effort pour nous transmettre le savoir ;

Mes camarades du master de Gestion des Risques et Catastrophes à l'ère de l'Anthropocène et de la maison communautaire 157 ;

Tous ceux qui de loin ou de près ont contribué à ce travail.

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1 :</b> Impacts socio-économiques des inondations dans la zone d'étude-----	17
<b>Tableau 2 :</b> Teneurs en substances physico-chimiques des échantillons d'eau des forages--	20
<b>Tableau 3:</b> Teneurs en substances physico-chimiques des eaux de la Rusizi et du Tanganyaka-----	21
<b>Tableau 4 :</b> Teneurs en substances physico-chimiques de l'échantillon d'eau témoin-----	21
<b>Tableau 5 :</b> Variation de la concentration en substances physico-chimiques des échantillons d'eau de notre zone d'étude -----	22
<b>Tableau 6 :</b> Résultats des analyses microbiologiques des échantillons d'eau-----	23

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Carte de localisation de la zone d'étude (Gatumba, Burundi).....	8
<b>Figure 2 :</b> Carte hydrographique de Gatumba .....	10
<b>Figure 3 :</b> Evolution de la population de Gatumba de 1949 à 2022 .....	11
<b>Figure 4 :</b> Carte de répartition des points d'eau échantillonnés .....	13
<b>Figure 5 :</b> Caractéristiques démographiques des ménages enquêtés dans la zone d'étude ....	16
<b>Figure 6 :</b> Impacts socio-économiques des inondations dans la zone d'étude (a) fréquence des ménages inondés, (b) fréquence des inondations selon milieu de résidence et (c) fréquences des impacts sur les ménages de notre zone d'étude .....	18
<b>Figure 7 :</b> Site d'installation des victimes d'inondation .....	19
<b>Figure 8 :</b> Prélèvement d'eau de la rivière Rusizi pour divers usages par la population.....	20
<b>Figure 9 :</b> Histogrammes de variation des différents paramètres étudiés .....	23
<b>Figure 10 :</b> Concentration de germes de bactéries présentes dans les échantillons analysés .	24
<b>Figure 11 :</b> Disponibilité de latrines ou non au sein des ménages enquêtés .....	25

## **Sigles et acronymes**

CEPRODILIC :	Centre de Production et de Distribution de la Littérature Chrétienne
DGPGC :	Direction Générale de la Protection Civile et de la Gestion des Catastrophes
DTM :	Displacement Tracking Matrix
GPS :	Global Positioning System
GRCA :	Gestion des Risques et Catastrophes à l'ère de l'Anthropocène
IGEBU :	Institut Géographique du Burundi
ISTEEBU :	Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi
OCHA :	Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
OMM :	Organisation Météorologique Mondiale
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
PDDES :	Plan Décennal de Développement Economique et Social
pH :	Potentiel Hydrogène
PNUD :	Programme des Nations Unies pour le Développement
RDC :	République Démocratique du Congo
REGIDESO :	Régie de Production et de Distribution d'Electricité et d'Eau au Burundi
UE :	Union Européenne
UNEP :	United Nations Environment Programme
UNDRR :	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
WHO :	World Health Organization

## Table des matières

Dédicace .....	iii
Remerciements .....	iv
Liste des tableaux .....	v
Liste des figures.....	vi
Sigles et acronymes .....	vii
<b>RESUME .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1. <i>Contexte et justification</i> .....	1
2. <i>Objectifs</i> .....	3
3. <i>Questions de recherche</i> .....	3
4. <i>Organisation du travail</i> .....	3
<b>CHAPITRE I : ETAT DE L'ART .....</b>	<b>4</b>
1. <i>Etudes sur l'impacts des inondations</i> .....	4
2. <i>Impact des inondations sur la qualité de l'eau</i> .....	4
3. <i>Eaux de consommation humaine</i> .....	5
4. <i>Importance de l'eau sur la santé des populations</i> .....	5
5. <i>Synthèse analytique</i> .....	6
<b>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>8</b>
1. <i>Présentation de la zone d'étude</i> .....	8
1.1. <i>Localisation de la zone d'étude</i> .....	8
1.2. <i>Climat</i> .....	9
1.3. <i>Formation géologique</i> .....	9
1.4. <i>Hydrographie</i> .....	9
1.5. <i>Données démographiques</i> .....	11
2. <i>Données utilisées dans l'étude</i> .....	11
2.1. <i>Données liées à l'impact des inondations à Gatumba</i> .....	12
2.2. <i>Données liées aux points d'eau</i> .....	12
2.3. <i>Données de laboratoire</i> .....	13
3. <i>Méthodologie</i> .....	13
3.1. <i>Revue de bibliographie</i> .....	13

3.2. <i>Outils et matériels de collecte des données</i> .....	14
3.3. <i>Techniques d'échantillonnage</i> .....	14
3.4. <i>Détermination des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et indésirables</i> .....	15
4. <i>Traitemet et analyse des données</i> .....	15
<b>CHAPITRE III : RESULTATS</b> .....	<b>16</b>
1. <i>Caractéristiques démographiques des ménages</i> .....	16
2. <i>Impacts socio-économiques</i> .....	17
3. <i>Résultats des analyses d'échantillons d'eau</i> .....	19
3.1. <i>Analyses physicochimiques</i> .....	19
3.2. <i>Analyses microbiologiques</i> .....	23
3.3. <i>Sources éventuelles de contamination des eaux de consommation échantillonnées dans la zone d'étude</i> .....	24
<b>CHAPITRE IV : DISCUSSIONS</b> .....	<b>26</b>
1. <i>Impacts socio-économiques des inondations dans la zone d'étude</i> .....	26
2. <i>Qualité des eaux de consommation en période de l'inondation</i> .....	27
2.1. <i>Paramètres physico-chimiques</i> .....	27
2.2. <i>Paramètres microbiologiques</i> .....	28
3. <i>Facteurs éventuels de contamination des eaux</i> .....	30
4. <i>Limites de l'étude</i> .....	30
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>31</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>33</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>38</b>
Annexe 1 : <i>Fiche d'inventaire des points d'eau</i> .....	38
Annexe 2 : <i>Questionnaire ménage</i> .....	38
Annexe 3 : <i>Quelques photos de terrain</i> .....	1

## RESUME

Cette étude vise à évaluer la problématique des inondations et la qualité des eaux de consommation dans la zone périurbaine de Gatumba en République du Burundi, une région particulièrement affectée par les inondations depuis plusieurs années. L'impact socio-économique des inondations sur les communautés, l'analyse des eaux consommées et les facteurs de contamination d'origines microbiologiques, humaines etc ont été explorés sur quatre collines : Gaharawe, Mushasha I, Muyangue I et Kinyinya II. Les résultats montrent que les inondations ont un impact significatif sur la démographie et le quotidien des ménages. Sur les 340 ménages enquêtés, 29,7% sont de la colline Gaharawe suivie de Muyangue I (26,6%), Kinyinya II (26,2%) et Mushasha I (17,6%). En ce qui concerne le genre, la majorité des chefs de ménage étaient des hommes (69,12%), âgés principalement entre 31 et 40 ans (29,4%), avec un niveau d'éducation en majorité primaire. Les inondations répétitives généralement dues aux débordements du lac Tanganyika et de la rivière Ruzizi ont provoqué des dégâts socio-économiques majeurs entre 2011 et 2020. Les inondations de 2020 furent les plus sévères, affectant ainsi 45 681 personnes, détruisant 4974 maisons et causant le déplacement de 17 792 habitants. Ces déplacements massifs ont entraîné des conditions de vie précaires dans des camps de fortune. En 2024, le phénomène El Niño a aggravé la situation avec des pluies torrentielles et le débordement du lac Tanganyika inondant une grande partie de Gatumba. Environ 97,1% des ménages enquêtés ont déclaré avoir subi une inondation, dont la majorité réside en milieu rural. Les principaux impacts ont inclus la destruction des habitations (17,6%), des pertes agricoles (15,8%) et un manque d'eau potable (13%). L'analyse physico-chimique des six points d'eaux échantillonnés (Gaharawe, Mushasha I, Muyangue I et Kinyinya II, la rivière Rusizi et le lac Tanganyika) ont révélé des anomalies dans les sources d'approvisionnement. Les températures des eaux (27°C à 29,1°C) ont dépassé les normes de l'OMS et de l'UE (25°C). Les conductivités variant entre 1,3 mS/cm (Kinyinya II) et 2,7 mS/cm (Muyangue I) étaient globalement au-dessus des normes de l'OMS, tandis que le potentiel redox a varié de 148,2 mV (Mushasha I) à 187,48 mV (Gaharawe) pour les forages. Pour les eaux de surface, nous avons des valeurs de 171,9 mV et 191,7 mV respectivement pour le lac Tanganyika et la rivière Ruzizi. La teneur élevée en fer dans certaines sources d'eau, notamment le forage de Muyangue I (0,4mg/l), constitue également un problème. Pour les paramètres microbiologiques, le forage de Kinyinya II et les eaux de surface (Rusizi et Tanganyika) ont présenté les niveaux les plus élevés en coliformes totaux ( $>2419,6$  CFU/100ml), et en E. Coli (98,18 à 2419,6 CFU/ml). Enfin, les causes de contamination de ces différentes sources d'eau étaient multiples : mauvais état des infrastructures d'eau (forages), manque d'accès aux latrines adéquates (44,4% des ménages en disposant, mais 96% sont inondées), pratiques agricoles et déjections animales. Environ 57,05% des ménages sont des exploitants agricoles, ce qui favorise la contamination des eaux, particulièrement en période d'inondation.

**Mots clés :** Inondation, eau de consommation, paramètres physico-chimiques, paramètres microbiologiques, dégâts sociaux économiques

## ABSTRACT

This study aims to assess the issue of flooding and the quality of drinking water in the peri-urban area of Gatumba in the Republic of Burundi, a region particularly affected by flooding for several years. The socio-economic impact of floods on communities, the analysis of consumed water, and contamination factors of microbiological, human, and other origins were explored across four hills: Gaharawe, Mushasha I, Muyangue I, and Kinyinya II. The results show that floods significantly impact the demographics and daily lives of households. Among the 340 surveyed households, 29.7% are from Gaharawe hill, followed by Muyangue I (26.6%), Kinyinya II (26.2%), and Mushasha I (17.6%). Regarding gender, most household heads are men (69.12%), primarily aged between 31 and 40 years (29.4%), with the majority having a primary level of education. Repeated floods, generally caused by the overflow of Lake Tanganyika and the Ruzizi River, caused major socio-economic damage between 2011 and 2020. The 2020 floods were the most severe, affecting 45,681 people, destroying 4,974 homes, and displacing 17,792 residents. These massive displacements led to precarious living conditions in makeshift camps. In 2024, the El Niño phenomenon worsened the situation with torrential rains and the overflow of Lake Tanganyika, flooding much of Gatumba. Approximately 97.1% of surveyed households reported experiencing a flood, with the majority residing in rural areas. The main impacts include the destruction of homes (17.6%), agricultural losses (15.8%), and a lack of drinking water (13%). The physicochemical analysis of six water sources sampled (Gaharawe, Mushasha I, Muyangue I, Kinyinya II, the Ruzizi River, and Lake Tanganyika) reveals anomalies in supply sources. Water temperatures (27°C to 29.1°C) exceed WHO and EU standards (25°C). Conductivity levels range from 1.3 mS/cm (Kinyinya II) to 2.7 mS/cm (Muyangue I), generally above WHO standards, while redox potential varies from 148.2 mV (Mushasha I) to 187.48 mV (Gaharawe) for boreholes. For surface waters, values are 171.9 mV and 191.7 mV for Lake Tanganyika and the Ruzizi River, respectively. High iron content in some water sources, particularly the borehole in Muyangue I (0.4 mg/l), is also a concern. Regarding microbiological parameters, the borehole at Kinyinya II and surface waters (Ruzizi and Tanganyika) show the highest levels of total coliforms (>2419.6 CFU/100ml) and E. coli (98.18 to 2419.6 CFU/ml). Lastly, the causes of contamination of these various water sources are numerous: poor condition of water infrastructure (boreholes), lack of access to adequate latrines (44.4% of households have them, but 96% are flooded), agricultural practices, and animal waste. About 57.05% of households are farmers, which promotes water contamination, especially during floods.

**Keywords:** Flooding, drinking water, physicochemical parameters, microbiological parameters, socio-economic damages

## INTRODUCTION

### 1. Contexte et justification

Les phénomènes climatiques qui se déroulent intensifient sans doute les phénomènes météorologiques extrêmes et augmentent les risques liés aux catastrophes climatique dans le monde (OXFAM, 2021). Selon Taalas Petteri Secrétaire Général, de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) : « *l'Afrique est l'un des continents les plus vulnérables face aux conséquences du changement malgré sa faible contribution aux effets à l'origine de ses impacts* » (Adepoju, 2021). A l'instar des autres régions de l'Afrique comme l'Afrique de l'Ouest, celle de l'Est n'est pas restée en marge des conséquences de ces effets ainsi que des différentes catastrophes à savoir, les inondations, les glissements de terrain ; etc (Omar, 2021).

Le Burundi fait partie des pays de l'Afrique de l'Est affecté par ces changements globaux. En effet, ce pays enclavé, occupe la 187e place parmi les 191 nations du monde, dans le rapport sur l'Indice de développement humain (Programme des Nations Unies pour le Développement [PNUD], 2022). Avec une population de 13,2 millions d'habitants, dont 50,6% de femmes et 41,5% de jeunes âgés de moins de 15 ans, le pays enregistre un taux de croissance annuel de 2,7% (Mondiale, 2024).

Bujumbura, était sa capitale économique et politique jusqu'en 2018, lorsque la capitale politique a été transférée à Gitega. Positionnée à l'extrême ouest du pays, le long de la rive du lac Tanganyika, elle demeure la plus grande ville du pays (Sirven, 2024).

Avec une population de 321 000 habitants en 1999, la ville de Bujumbura comptait 497 166 habitants en 2008 selon (l'Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi [ISTEEBU], 2013). Ce chiffre, en pleine croissance, est projeté à 692 364 habitants en 2020 et à 760 932 et 825701 habitants respectivement en 2025 et 2030 (ISTEEBU, 2013). Cette projection en terme de population est déjà faussée puisque la population est estimée à plus de 1,2 million d'habitants en 2024 (Worldpopulation, 2024).

Il est constaté une tendance similaire à travers tout le pays, en particulier dans les zones périurbaines, avec un taux d'accroissement naturel annuel moyen estimé à 2,4% pour la période de 1990 à 2008 (ISTEEBU, 2008). Cette augmentation rapide de la population a des répercussions négatives sur l'environnement urbain et périurbain, car elle n'est pas accompagnée d'un programme adéquat d'occupation, d'affectation et de gestion des terres et des eaux, tout en tenant compte rigoureusement des zones protégées, des espaces d'intérêt public et des zones bénéficiant d'une protection spéciale (République du Burundi, 2007).

En effet, depuis 2014, Bujumbura est régulièrement confrontée à des inondations récurrentes, principalement en raison de l'élévation du niveau du lac Tanganyika qui borde la ville. Ce lac, réputé pour sa profondeur considérable, constitue l'une des plus grandes réserves d'eau douce au monde, mais il est sujet à des fluctuations imprévisibles sur plusieurs années, entraînant des débordements au-delà de ses rives (United Nations Environment Programme [UNEP], 2014). En outre, la capitale économique a été touchée par diverses inondations provoquées par les crues des rivières, comme dans la plaine de l'Imbo en 2014 (Nzigidahera, 2012). Les eaux de pluie dévalent des collines avoisinantes, pénétrant dans la ville et causant des dommages considérables sur leur passage.

A l'instar des autres communes de Bujumbura, celle de Mutimbuzi et notamment la zone de Gatumba est aussi sujette aux inondations répétées avec la présence de la rivière Rusizi. En 2021, plus de cinquante-deux mille (52 000) personnes ont été touchées par ces inondations. Parmi ceux-là, vingt-deux mille cinq cent quatre-vingt (22 580) personnes ont été déplacées. En parallèle, sept mille neuf cent quatre-vingt-seize (7996) habitations ont été inondées et mille neuf cent trente-quatre (1 934) de ces dernières ont été totalement détruites selon (Displacement Tracking Matrix [DTM], 2021).

De plus, dans les villes tant des pays du Sud global que du Nord, une diversité croissante d'activités humaines engendre des quantités significatives de déchets. Par exemple, la production mondiale de déchets dépasse désormais les deux milliards de tonnes par an (Céline, 2018). Cette production de déchets sur terre est directement liée à la croissance démographique, qui conduit à une augmentation automatique du volume produit. Selon les prévisions de la Banque mondiale (2018), la production mondiale de déchets devrait augmenter de 70% d'ici à 2050, atteindre ainsi une valeur de 3,4 milliards de tonnes de déchets.

Dans la ville de Bujumbura, plus précisément dans la commune de Ntahangwa, à Buterere, se situe la seule décharge publique de la ville. Selon les données du Centre de production et de distribution de la littérature chrétienne (CEPRODILIC), 85 % des déchets sont déversés dans les rivières. Cette organisation précise qu'à peine « 15 % parviennent au principal site d'enfouissement de Mubone, à Buterere », ajoutant que chaque habitant de la mairie de Bujumbura génère en moyenne 0,6 kg de déchets ménagers par jour, soit 217 kg par an (CEPRODILIC, 2020). Selon ces estimations, la ville de Bujumbura produira plus de deux millions de tonnes de déchets d'ici 2033 si cette tendance se maintient (Rukundo, 2020).

Certaines communautés se débrouillent souvent avec des jeunes gens qui collectent ces déchets à titre individuel. Ces tonnes de déchets finissent dans les trois principales rivières traversant Bujumbura : Muha, Kanyosha et Ntahangwa (CEPRODILIC, 2020). La destination finale est le lac Tanganyika qui fournit néanmoins plus de 90% d'eau consommée dans Bujumbura (<https://www.iwacu-burundi.org/lurgence-de-proteger-le-lac-tanganyika/>). De plus, lors des différentes inondations, les eaux de ruissellements collectent les différents déchets des collines de Gatumba et les déversent dans la rivière Rusizi et le lac Tanganyaka (Rukundo, 2020). Fort de ce constat, cette étude se propose d'explorer l'ensemble des pistes d'analyse à travers la thématique intitulée : « **Problématique des inondations et qualité des eaux de consommation dans les zones périurbaines de la République du Burundi : cas de la zone de Gatumba** ».

La présente étude s'inscrit dans la dynamique de la contribution à une meilleure compréhension des problèmes liés à l'inondation et la qualité des eaux consommées par la population de Gatumba. Les résultats de cette recherche pourraient fournir également des bases solides pour des interventions futures visant à protéger et à améliorer la qualité de vie des habitants notamment la qualité des eaux consommées par les habitants de Gatumba

## ***2. Objectifs***

L'objectif global de la présente étude est d'évaluer la problématique des inondations et la qualité des eaux de consommation dans la zone de Gatumba. De façon spécifique, cette étude vise à :

- Évaluer l'impact socio-économique des inondations dans les collines de la zone de Gatumba durant la période 2011 à 2024.
- Analyser la qualité sanitaire des eaux de consommation dans les collines inondées de Gatumba.
- Identifier les principaux facteurs contribuant à la contamination des eaux de consommation pendant les périodes d'inondation.

## ***3. Questions de recherche***

Dans le but de répondre aux objectifs spécifique ci-dessus cités, des questions de recherches suivantes ont été utilisées :

- Quel est l'impact socio-économique des inondations dans la commune de Gatumba durant la période de 2011 à 2024 ?
- Quelle est la qualité sanitaire des eaux de consommation dans les collines touchées par les inondations ?
- Quels sont les principaux facteurs contribuant à la contamination des eaux en période d'inondation ?

## ***4. Organisation du travail***

Le présent travail est structuré autour de trois points : Dans un premier temps, nous avons fait l'état de l'art en ce qui concerne la problématique qui fait objet de notre étude. Elle a abordé les questions environnementales et climatiques au Burundi, les questions d'inondations, et l'état de la qualité des eaux consommées par la population. Dans un deuxième temps, la section « matériel et méthodes » a été consacrée aux différents outils utilisés, aux méthodes de collecte de traitement et à d'analyse des données. Enfin, les résultats obtenus sont analysés et discutés en se basant sur les auteurs ayant abordé des thématiques similaires.

## **CHAPITRE I : ETAT DE L'ART**

L'impact socio-économique des inondations et la qualité des eaux de consommation dans les zones périurbaines, est un sujet de préoccupation majeure en particulier dans des régions vulnérables comme Gatumba. Cette section présente une analyse critique des recherches existantes, en identifiant ce qui a été fait, ce que l'on sait, ce qu'il reste à explorer, et les limites des approches employées jusqu'à ce jour.

### ***1. Etudes sur l'impacts des inondations***

Plusieurs études ont abordé et analysé les causes et les conséquences des inondations dans les zones périurbaines. Les études ont montré que les inondations sont causées par plusieurs facteurs anthropiques tels que l'urbanisation non planifiée, la déforestation, la mauvaise gestion des systèmes de drainage etc. (Douglas, 2008). Ces inondations ont des conséquences multifacettes sur la vie humaine, les infrastructures, l'environnement et la santé publique. Selon (Davies, 2015), les inondations périurbaines causent des déplacements massifs de la population, des destructions d'infrastructures et des pertes économiques significatives. Dans le cas du Burundi les travaux ont documenté les impacts des inondations sur les infrastructures et les moyens de subsistance, soulignant les pertes économiques et les déplacements des populations (Ruzima *et al* 2017, Office for the Coordination of Humanitarian Affairs [OCHA] 2022). Particulièrement dans Gatumba, les inondations de 2021 ont touché plus de 52 000 personnes et détruit près de 2 000 habitations (OCHA, 2021).

Depuis le début de la saison des pluies en septembre 2023 jusqu'à mai 2024, les pluies torrentielles, les inondations, les glissements de terrain et le débordement du lac Tanganyika, exacerbés par le phénomène El Niño, ont touché plus de 297 000 personnes, dont 54 % sont des femmes (OCHA, 2024). Plus de 47 000 personnes, dont 56 % de femmes, ont été déplacées, augmentant les déplacements internes de 39 % pour atteindre près de 80 000 personnes, dont 55 % sont des femmes et des jeunes de moins de 18 ans (OCHA, 2024). Ces catastrophes ont causé la destruction ou des dommages partiels de 24 535 maisons, 220 salles de classe, 5 structures sanitaires, ainsi que des routes, des installations électriques, des réseaux hydrauliques affectant ainsi la qualité des eaux de consommation (OCHA, 2024).

### ***2. Impact des inondations sur la qualité de l'eau***

Plusieurs auteurs ont abordé la qualité de l'eau dans un contexte d'inondation. Lorsqu'il y a une inondation, les problèmes les plus récurrents incluent la pénurie d'eau potable (Frizzlife, 2022), la perturbation des installations de traitement de l'eau, et l'apparition de maladies qui en découle (Santé Canada, 2022). De plus, la qualité des eaux souterraines peut diminuer en raison du transport de divers polluants et de l'effet des inondations sur leur recharge ([https://www.diproclean.com/inondation-eau-potable-qualite-puits-pxl-167\\_215.html](https://www.diproclean.com/inondation-eau-potable-qualite-puits-pxl-167_215.html)). Selon (Frizzlife, 2022), les grandes quantités d'eau présentes lors des inondations emportent les terres agricoles, les infrastructures et les zones industrielles. Par conséquent, les eaux de crue contiennent souvent des produits chimiques, du carburant, des déchets animaux, des bactéries et d'autres substances nocives lorsqu'elles s'accumulent. Le niveau de l'inondation peut

également interrompre les prélèvements dans les réservoirs artificiels et détériorer la qualité de l'eau stockée en raison de la turbidité (Diproclean, 2023). Elle peut également détruire les champs de captage, provoquer des défaillances des pompes et/ou entraîner l'infiltration d'eau de crue chimiquement ou microbiologiquement contaminée dans les puits endommagés (<https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/environnement/eau-potable/puits/salubrite-pendant-apres-urgences.html>). De plus, l'inondation peut endommager les composants de traitement, interrompant ainsi le traitement et le contrôle de la qualité de l'eau (Le Monde, 2024). Il a été démontré que l'inondation peut également endommager le système de distribution, perturber le service d'approvisionnement et contaminer les ressources en eau (Frizzlife, 2022). Enfin, les inondations augmentent la charge microbienne et chimique des sources d'eau, rendant l'eau impropre à la consommation (Le Monde, 2024). En Afrique de l'Est, des recherches ont spécifiquement mis en évidence la présence de coliformes fécaux et d'autres contaminants dans les eaux de surface et souterraines après des événements d'inondation (Taylor *et al.*, 2019). Par contre, au niveau du Burundi et spécifiquement dans la zone de Gatumba, on note très peu d'étude mettant en exergue les inondations et la qualité de l'eau.

### **3. Eaux de consommation humaine**

Cette partie fait appel à la question de la potabilité de l'eau. Ainsi, la Directive de l'UE 2020/2184 du parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2020 définit dans son article 2, les eaux de consommation humaines comme « *a) toutes les eaux, soit en l'état, soit après traitement, destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments, ou à d'autres usages domestiques dans des lieux publics comme dans des lieux privés, quelle que soit leur origine et qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, ou en bouteilles ou en récipients, y compris les eaux de source; b) toutes les eaux utilisées dans les entreprises du secteur alimentaire pour la fabrication, la transformation, la conservation ou la commercialisation de produits ou de substances destinés à la consommation humaine* ».

(L'organisation Mondiale de la Santé [OMS], 2017) quant à elle, définit l'eau potable comme « *une eau propre et salubre, c'est-à-dire qui ne contient pas de microorganismes, de parasites ou de substances à des niveaux ou des concentrations pouvant constituer un danger potentiel pour la santé humaine* ».

Que l'eau destinée à la consommation humaine provienne d'un robinet, d'une bouteille, d'un puit ou prélevée directement dans la nature, elle doit être considérée comme un aliment. À ce titre, elle doit posséder des qualités organoleptiques satisfaisantes pour le consommateur et ne pas nuire à sa santé.

### **4. Importance de l'eau sur la santé des populations**

L'eau est une ressource indispensable à la vie humaine, végétale et animale. Elle est un facteur clé de progrès, influençant le développement des communautés lorsque l'approvisionnement en eau est suffisant pour garantir une vie saine et confortable aux habitants (Orelion, 2017). Environ les deux tiers du poids corporel humain sont constitués d'eau, faisant de ce nutriment

essentiel le principal composant du corps humain. Par exemple, pour un adulte de 80 kg, le corps contient entre 50 et 60 litres d'eau (Vermande, 2002).

L'eau est cruciale pour les échanges nutritifs à l'intérieur des cellules et entre les cellules de nos différents organes. Même les influx nerveux nécessitent un environnement aqueux pour permettre les échanges d'ions et de particules électriques. Comme le climat terrestre, l'eau régule notre température interne. Nous faisons partie intégrante du cycle global de l'eau, qui nous lie à travers le sang, le liquide rachidien et le liquide amniotique, et notre survie dépend des fonctions biologiques qu'elle assure. L'eau dissout et transporte les nutriments et l'énergie dans notre organisme et nos voies métaboliques, purifie nos cellules des déchets, et remplit notre système vital, du liquide rachidien au liquide amniotique (Bouguerra, 2003).

En l'état actuel des connaissances, l'eau liquide est la seule capable de dissoudre les nutriments pour les amener aux cellules et de les débarrasser des métabolites et des impuretés (Bouguerra, 2003) . Ce rôle crucial ne peut être envisagé sans considérer la salubrité. En plus d'être disponible en quantités suffisantes, l'eau doit être saine et pure, car elle est le véhicule le plus courant et le plus important de transmission des maladies (Gleick, 2000).

L'exposition à des eaux contaminées pendant les inondations par exemple est associée à une augmentation des maladies hydriques telles que la diarrhée, le choléra et la typhoïde (Fewtrell, 2008). Dans les pays en voie de développement, les populations des zones périurbaines sont particulièrement vulnérables en raison de l'accès limité aux soins de santé et aux infrastructures sanitaires. Pour exemple, les pics d'inondations récents au Burundi ont conduit à une augmentation des cas de choléra dans cinq districts sanitaires : Bujumbura Nord, Bujumbura Centre, Bujumbura Sud, Kabezi et Isare, avec les plus fortes hausses observées dans la mairie de Bujumbura et le district d'Isare. Une comparaison entre les 20 premières semaines de 2023 et la même période en 2024 montre une augmentation d'environ 10 % des cas de choléra (OCHA, 2024). Depuis le début de l'épidémie en janvier 2023, 1 810 cas de choléra ont été rapportés, avec trois districts sanitaires (Isare, Bujumbura Nord et Cibitoke) représentant 80 % des cas enregistrés (OCHA, 2024). Ainsi, l'approvisionnement en eau potable est une préoccupation majeure de l'hygiène publique.

## *5. Synthèse analytique*

Bien que les études aient abordé les impacts des inondations, il est important d'explorer davantage la résilience des communautés locales. Des études approfondies sont alors nécessaires pour mieux cerner l'adaptation des communautés aux inondations et les stratégies locales qui peuvent être mises en œuvre pour renforcer cette résilience surtout en matière de disponibilité en eau potable. Cela passe par le développement de technologie de surveillance en temps réel et de modèles prédictifs qui pourraient améliorer la gestion de la qualité de l'eau pendant les crises. Mais pour des pays en voie de développement à faible PIB comme le Burundi, la sensibilisation sur les mesures endogènes de potabilité de l'eau devraient être mises en avant. Aussi, le développement d'une approche intégrée qui combine la gestion des inondations avec la protection de la qualité de l'eau s'avère indispensable. Cela inclurait la planification de l'utilisation des terres, la restauration des écosystèmes, l'amélioration des

infrastructures de drainage et l'analyse régulières des différents paramètres des eaux de consommation.

En ce qui concerne les limites des approches employées à ce jour, on peut noter la fragmentation des données. Les différentes études sont souvent localisées et ne fournissent pas une vision globale des impacts des inondations sur la qualité de l'eau (Few, 2003). Sur le plan de la gestion, le manque de coordination inter-institutionnelle peut être considéré comme une limite en ce sens que la gestion des risques d'inondation et de la qualité de l'eau implique plusieurs institutions. Malheureusement, la coordination entre elles est souvent insuffisante. Cela peut ainsi conduire à des réponses inefficaces et à une duplication des efforts (United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], 2015).

L'autre limite qui peut être relevée est l'insuffisance des ressources. En effet, les approches actuelles sont souvent limitées par un manque de ressources financières et techniques, particulièrement dans les pays en développement comme le Burundi. Cela entrave la mise en œuvre de solutions durables et à long terme (Banque Mondiale, 2012).

C'est là toute la quintessence de notre thématique qui permettra d'avoir une idée sur la problématique des inondations et la qualité des eaux consommées par les habitants de Gatumba.

## CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

Dans cette partie du document, nous allons aborder la présentation du milieu d'étude, les outils et techniques de collecte des données, les outils de traitement et les méthodes d'analyse des résultats obtenus.

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

#### 1.1. Localisation de la zone d'étude

La présente étude est conduite dans quatre collines (Gaharawe, Mushasha I, Muyange I et Kinyinya II) de la zone de Gatumba qui est l'une des quatre zones de la commune de Mutimbuzi dans la province de Bujumbura en République du Burundi. Elle est située à l'Ouest du Pays, entre  $3^{\circ} 16'$  et  $3^{\circ} 21'$  de latitude Sud et  $29^{\circ} 12'$  et  $29^{\circ} 16'$  de longitude Est. C'est un delta formé entre deux bras de la rivière Rusizi, déversoir des eaux du lac Kivu dans le lac Tanganyika. Il est délimité au Sud par le lac Tanganyika, au Nord par la commune de Gihanga et la province de Bubanza, à l'Est par la grande Rusizi qui sépare Gatumba de la zone Rukaramu de la commune Mutimbuzi et à l'Ouest par la petite Rusizi qui fait frontière entre le Burundi et la République Démocratique du Congo (RDC). La zone de Gatumba est constituée de neuf collines à savoir Gaharawe, Kinyinya I, Kinyinya II, Mushasha I, Mushasha II, Muyange I, Muyange II, Vugizo et Warubondo (Figure1).

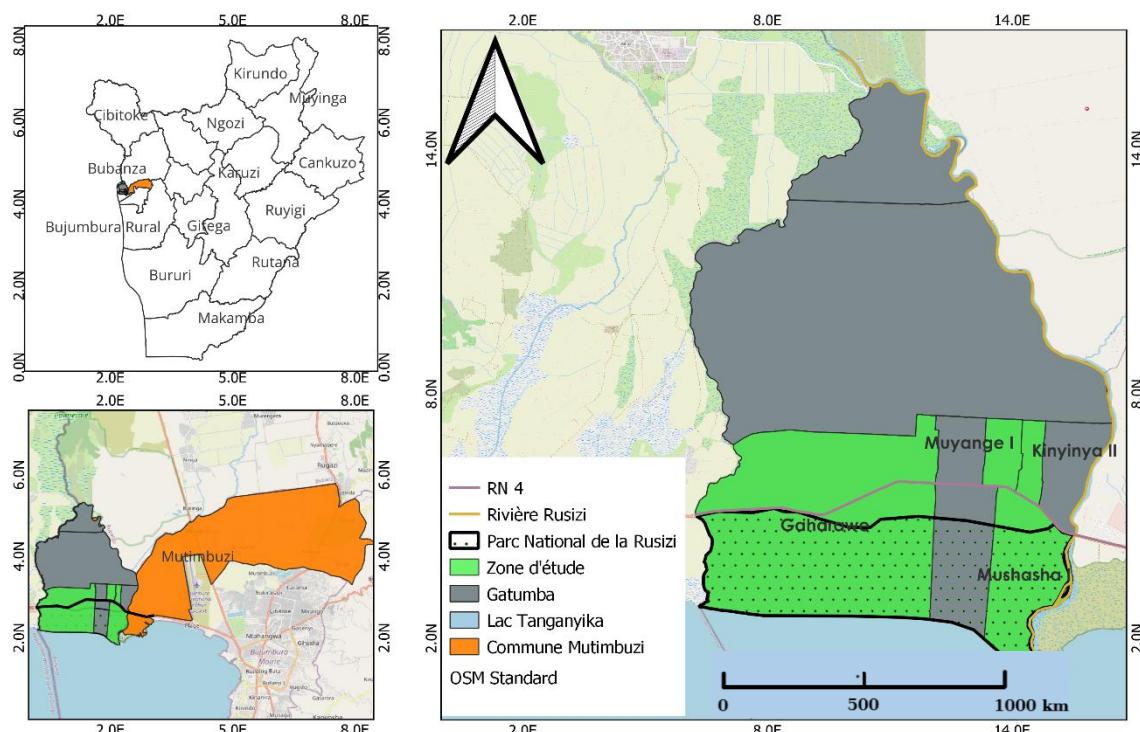


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

## **1.2. Climat**

La région de Gatumba se distingue par un climat spécifique, caractérisé par l'intensité et la durée de la saison sèche. Ce territoire au climat tropical est marqué par des températures élevées, avec des moyennes dépassant généralement 24°C. Le climat est principalement influencé par deux facteurs : L'altitude, qui varie entre 772 mètres (niveau du lac Tanganyika) et 779 mètres, et sa localisation dans la basse vallée de la Rusizi. Selon le Programme régional de Développement Intégré de la plaine de Rusizi (2019), Gatumba connaît deux saisons distinctes : une saison sèche qui s'étend généralement sur trois mois, de mai à août, et une saison humide moins pluvieuse comparée au reste du pays, avec des précipitations annuelles d'environ 800 à 900 mm, contre une moyenne nationale de plus de 1200mm. Cette saison humide commence en octobre et se termine en mai. Parfois, la saison sèche peut inclure des mois sans précipitations, notamment en juillet et août (Ndabamenye *et al.*, 2018 ; Havyarimana, 2020).

## **1.3. Formation géologique**

La plaine de l'Imbo se caractérise comme une plaine sédimentaire, lacustre et fluviatile, avec des dépôts alluvionnaires au sud selon sa morphologie. D'un point de vue géologique, cette plaine résulte des épisodes d'effondrements survenus à la fin du Tertiaire, aboutissant à la configuration actuelle du graben selon le (Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme [MEEATU], 2013). Selon Walleffe (2007), la région étudiée fait partie de la feuille géologique de Bujumbura. Située dans la Rift Valley occidentale africaine, elle s'étend le long de la partie occidentale du Burundi et est composée de dépôts sédimentaires récents, lacustres et fluviatiles du Quaternaire. Ces dépôts trouvent leur origine dans le fossé tectonique créé par des effondrements liés à d'anciens événements tectoniques (Bidou *et al.*, 1991).

Il semble que ces structures d'effondrement existaient déjà au Précambrien, avec des fractures, soulèvements et effondrements survenus à l'époque post-jurassique, avant l'existence du lac Tanganyika. Des mouvements tectoniques significatifs ont repris à la fin du Tertiaire, entraînant un affaissement général au Pléistocène et l'individualisation du fossé avec l'élargissement du graben au sud du mont Sange en RDC (Delvaux *et al.*, 2017). Une fracturation secondaire s'est poursuivie pendant et après les phases d'émissions volcaniques au sud du lac Kivu.

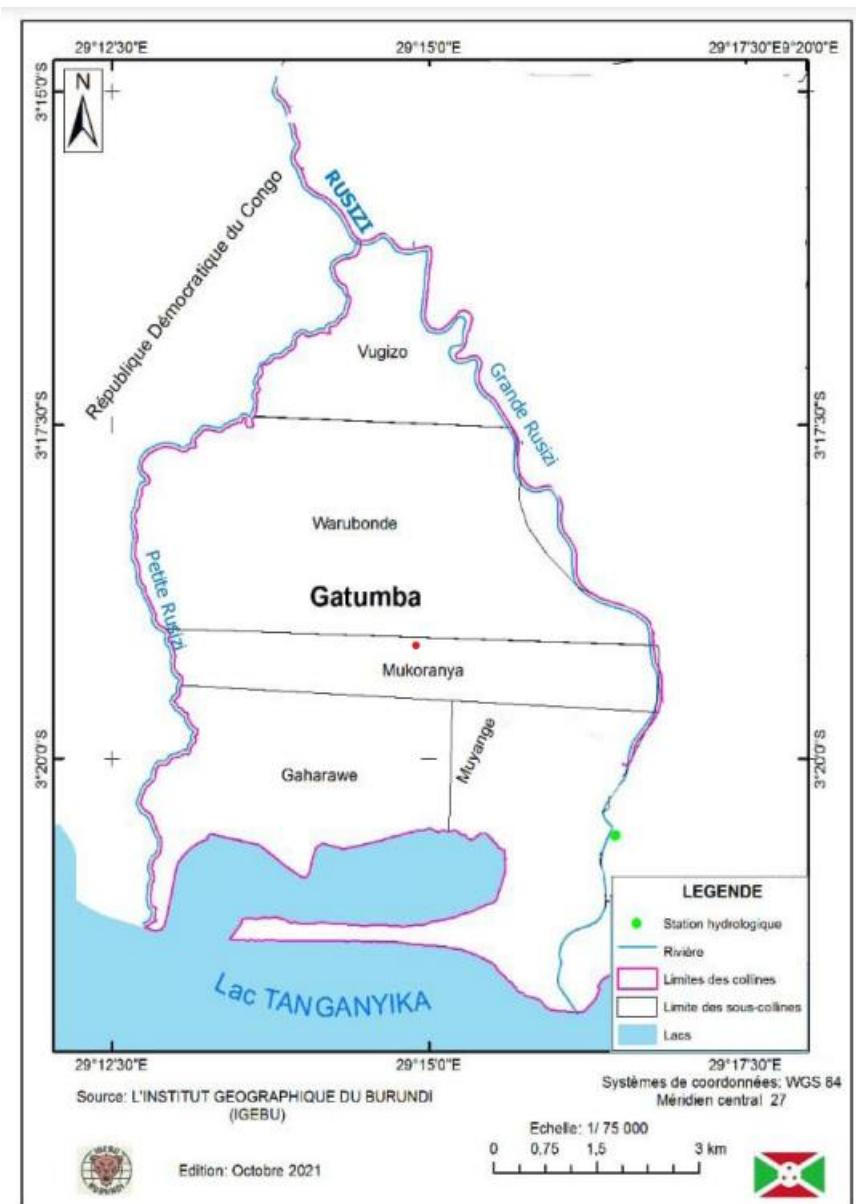
Au nord du lac Tanganyika, cette vaste plaine est drainée par la Rusizi, émissaire du lac Kivu, avec une pente descendant de 1 250 m à la Ruhwa au nord jusqu'à 775 m au niveau du delta (Rapport IGEBU, 2008). Ce delta, appelé Gatumba, serait de formation très récente. Selon Devroey, E.-J. (1949), l'affaissement du lit de la Lukuga en 1878 aurait entraîné le retrait des eaux, exondant la partie peu profonde de l'embouchure de la « Rusizi et créant ainsi le delta. Ce processus de formation de Gatumba montre combien de fois cette zone est prédisposée à l'inondation.

## **1.4. Hydrographie**

Il n'existe aucun cours d'eau majeur prenant sa source à Gatumba ; seules de petites rigoles avec un écoulement limité en raison de la faible pente sont observables durant les périodes de

pluie. En revanche, la Rusizi, qui reçoit les eaux du lac Kivu situé au nord de la plaine ainsi que ses 17 affluents, traverse cette région. À environ 8 km de son embouchure, la Rusizi se divise en deux branches : la grande Rusizi, qui transporte environ 90 % des eaux, et la petite Rusizi, qui emporte le dixième restant. Cette dernière constitue également la frontière avec la République Démocratique du Congo (voir Figure 2).

Le régime hydrologique de la Rusizi varie en fonction des précipitations dans le bassin, fluctuant d'un mois à l'autre. Dans la plaine de l'Imbo, la nappe phréatique est située très près de la surface (Sindayihebura, 2005). À certains endroits, elle se trouve même à moins d'un mètre sous le sol. Cette position peu profonde de la nappe phréatique la rend particulièrement susceptible aux risques de contamination. Selon Sylvain Bolduc, les nappes peu profondes, surtout dans les zones à sols perméables, sont plus susceptibles d'être contaminées (<https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2006-v19-n2-rseau1282/013043ar/>).

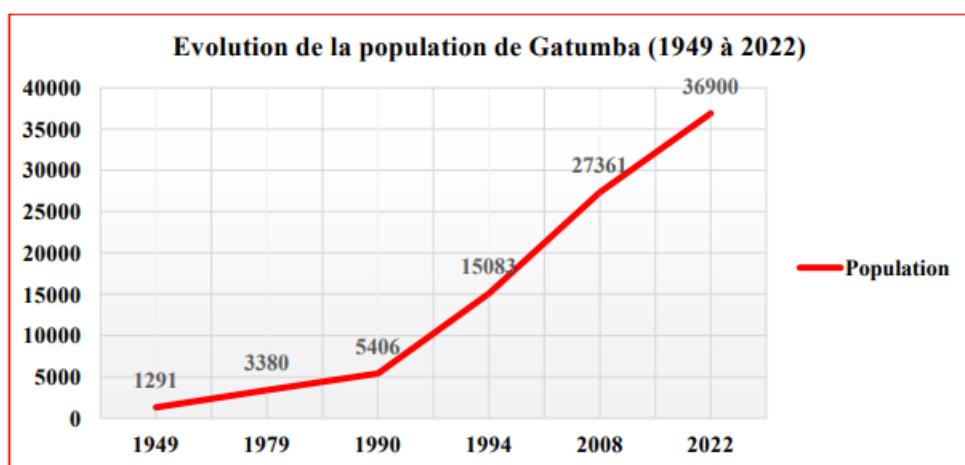


**Figure 2 :** Carte hydrographique de Gatumba

## **1.5. Données démographiques**

Le recensement général de la population et de l'habitat au Burundi n'étant pas effectué à des intervalles réguliers, complique l'évaluation précise du taux de croissance démographique dans notre zone d'étude. Ainsi, il est difficile de déterminer le nombre exact d'habitants que les collines de Gatumba ont compté chaque année. Cependant, les estimations de la population varient selon les sources. Pour comprendre la situation démographique des collines de Gatumba, nous avons consulté les données du ministère chargé des recensements et diverses institutions.

En 1949, les collines de Gatumba comptaient 1 291 habitants, dont 646 hommes et 437 femmes (PDDES, 1949). Le recensement général de 1979 indiquait une population de 3 380 personnes. En 1983, ce chiffre avait atteint 5 528, mais en 1990, il était légèrement retombé à 5 406 habitants, avec 2 776 hommes et 2 630 femmes. La population n'a cessé de croître par la suite. Une étude réalisée par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a révélé qu'en 1994, les collines de Gatumba comptaient environ 15 083 habitants (Sindayizeruka, 2000). En 2008, la population était estimée à 27 361 personnes d'après les données de l'Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi (ISTEEBU, 2008). En 2022, les autorités administratives locales ont estimé la population à 36 900 habitants.



**Figure 3 : Evolution de la population de Gatumba de 1949 à 2022**

Source : (NDAYIZEYE, 2022)

## **2. Données utilisées dans l'étude**

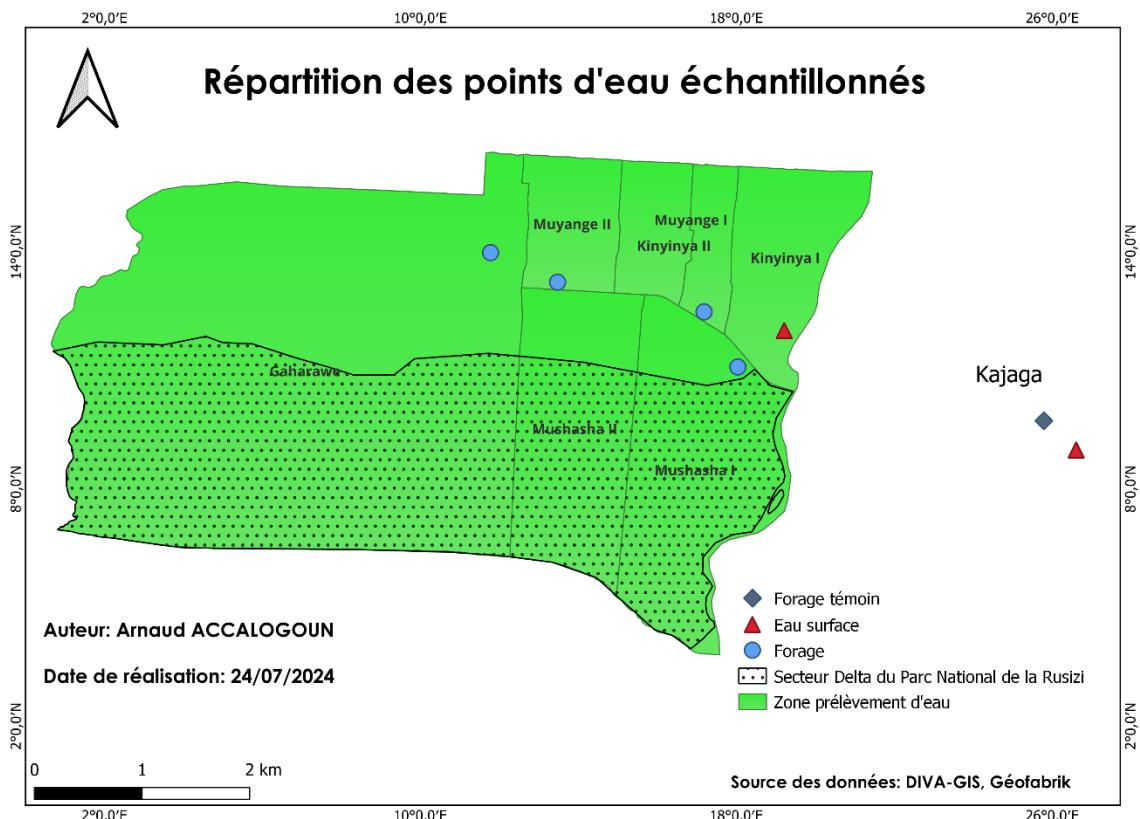
Dans cette section, nous allons décrire les différentes données qui ont été collectées sur le terrain. Dans le cadre de notre étude nous pouvons classer nos données en trois catégories. La première catégorie regroupe les données liées à l'impact des inondations, la deuxième regroupe les données collectées au niveau des différents points d'eaux retenus (données prélevées in situ) et enfin la troisième catégorie regroupe les données de laboratoire.

## ***2.1. Données liées à l'impact des inondations à Gatumba***

A ce niveau, deux types de données sont à retenir à savoir les données primaires et les données secondaires. Les données primaires sont celles que nous avons collectées sur le terrain à partir des observations, des questionnaires et des guides d'entretien. Ces données ont été collectées auprès de 340 ménages, du chef de zone et des responsables des collines de notre zone d'étude Gatumba. Les données secondaires font appel aux données collectées par d'autres personnes, des institutions en rapport avec notre étude. Ce sont entre autres les données sur l'évolution de la population de 1949 à 2008 auprès de l'ISTEEBU, les statistiques sanitaires de 2019 à 2023, des données sur la qualité de l'eau de l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU) et des données sur le suivi des urgences auprès de la Plateforme Nationale de Prévention des Risques et de Gestions des Catastrophes du Burundi.

## ***2.2. Données liées aux points d'eau***

Dans cette rubrique, nous avons fait un inventaire de sept points d'eau destinés à la consommation humaine. L'idéal pour nous aurait été de faire l'inventaire de tous les points d'eaux de consommation au niveau de chaque colline, mais toute la zone étant inondée, l'accès à ces points d'eau a été impossible dans certaines collines. Ainsi, seuls les points d'eau situés dans les collines de **Gaharawe, Muyange I, Mushasha I et Kinyinya II**, mais aussi **le lac Tanganyika, la rivière Rusizi** et un échantillon témoin de la **REGIDESO** ont été inventoriés dans le cadre de cette étude. Les caractéristiques physiques (température, pH, conductivité électrique) ont été mesurées pour chaque point d'eau in situ. Ensuite, tous les points d'eaux ont été géoréférencés pour mieux comprendre leur répartition spatiale dans le bassin versant (figure 4). Il faut noter que cette étape d'inventaire a été précédée d'entretiens réalisés avec les habitants de la zone pour collecter des informations sur les différentes ressources en eau destinées à la consommation humaine.



**Figure 4 :** Carte de répartition des points d'eau échantillonnés

### 2.3. Données de laboratoire

Les données de laboratoire concernent les résultats des analyses microbiologiques qui ont été réalisées au niveau du laboratoire de l'IGEBU.

## 3. Méthodologie

### 3.1. Revue de bibliographie

Cette étape a consisté à documenter dans un premier temps les impacts des inondations (nombre de personnes affectées, nombre de décès, nombre de déplacés, l'accès à l'eau, etc.) de façon générale mais spécifiquement dans la zone de Gatumba. Dans un second temps, les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de consommation humaine ont été documentés. Les paramètres physico-chimiques concernés sont la température, le pH, la conductivité électrique, les réactions d'oxydoréduction (rédox). En ce qui concerne les germes, nous avons recherché les coliformes totaux, *l'Escherichia coli* et les entérocoques. Le seul paramètre indésirable que nous recherché est la teneur en fer. Ainsi, des documents scientifiques incluant les thèses de doctorat, les mémoires de master, les livres, les articles, les rapports et revues pertinents en rapport avec le sujet ont été consultés et analysés. Ceci dans le but de mettre en évidence les éventuels problèmes qui sont provoqués chez les communautés qui subissent d'une part les affres de l'inondation et d'autres part consomment l'eau dont les concentrations en ces différents éléments excèdent les normes en vigueur.

### **3.2. Outils et matériels de collecte des données**

Les principaux outils qui ont été utilisés dans le cadre de la collecte des données sont : le questionnaire numérique (kobocollect) adressé aux ménages des collines de Gaharawe, Muyange I, Mushasha I et Kinyinya II. Pour ce qui est des matériels, nous avons le GPS (Garmin 62S) qui a été utilisé pour le géo-référencement des points d'eau échantillonnés. Un appareil photo pour la prise de vues, des flacons propylène stériles et en polyéthylène non stériles pour maintenir la qualité des échantillons d'eaux à analyser au laboratoire, une glacière pour entreposer les échantillons d'eau afin de les transporter aux laboratoires d'IGEBU pour les analyses. Aussi, les paramètres physico-chimiques ont été réalisés sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre portable Multi 3630 IDS de marque WTW.

### **3.3. Techniques d'échantillonnage**

#### **3.3.1. Sélection des collines**

La zone de Gatumba est composée de neuf (9) collines : Kinyinya I, Kinyinya II, Mushasha I, Mushasha II, Vugizo, Warubondo, Muyange I, Muyange II, Gaharawe. Dans le cadre de notre étude, nous avons retenu les collines Gaharawe, Muyange I, Mushasha I et Kinyinya II. D'après les observations de notre descente sur le terrain, et le brainstorming réalisé, il ressort que ces collines sont régulièrement inondées. Ces quatre collines totalisent une population estimée à 13446 habitants pour 2688 ménages (Données de terrain récoltées auprès des chefs collines, 09/04/2014). Ces collines se retrouvent de part et d'autre du Lac Tanganyika et de la rivière Rusizi. Pour calculer la taille de notre échantillon, nous avons utilisé l'outil survy monkey (<https://fr.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>).

Le dernier recensement au niveau du Burundi date de 2008. Vu le manque de données officielles, nous avons considéré les données collectées auprès des chefs des collines retenues. Notre enquête s'est orientée vers les ménages (chef de famille, femmes ou hommes) et la taille de notre population était approximativement égale 2688 ménages. L'échantillon issu de cette population était égal à 337 que nous avons arrondi à 340 avec une marge d'erreur de 5% pour un coefficient de confiance de 95%.

#### **3.3.2. Prélèvement des échantillons d'eau**

Le processus de prélèvement d'un échantillon d'eau, nécessaire pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques, demande une grande attention, car il influe sur les résultats analytiques et leur interprétation. Pour les analyses physico-chimiques, des flacons en polyéthylène non stériles d'une capacité de 100 ml ont été utilisés pour les prélèvements. Ces flacons ont été rincés trois (3) fois préalablement avec l'eau à prélever avant leur remplissage. Chaque flacon a été rempli à ras bord. Les paramètres tels que le pH, la conductivité électrique, le rédox et la température ont été mesurés sur place sur la base des techniques de (Rodier *et al*, 2009) à l'aide d'une multi paramètre portable Multi 3630 IDS de marque WTW. En ce qui concerne les échantillons destinés aux analyses bactériologiques, seize (16) flacons en propylène stériles de 100ml chacun ont été utilisées. Ces flacons ont été remplis, étiquetés et placés dans une glacière pour être transporté au laboratoire de l'IGEBU où se sont déroulées

les analyses microbiologiques. Pour arrêter les activités biologiques dans les échantillons, ils ont été traités avec 2ml d'acide nitrique à pH < 2, concentré à 65% avant d'être placés dans une glacière réfrigérée (Rodier et al, 2009). Au total sept (7) points d'eau ont été identifiés pour les différents prélèvements à raison de quatre (4) forages répartis dans les quatre collines retenues dans le cadre de notre étude, deux (2) eaux de surfaces (la rivière Rusizi et le lac Tanganyaka) et un (1) point d'eau distribué par la Régie de Production et de Distribution d'Electricité et d'Eau au Burundi (REGIDESO) situé dans une zone non inondée et qui a servi d'échantillon témoin.

### **3.4. Détermination des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et indésirables**

En dehors des paramètres physico-chimiques mesurés sur le terrain, le seul paramètre indésirable qui a été mesuré est le fer (Fe). Cette mesure a été faite par spectrophotométrie qui est une méthode qui consiste à mesurer la densité optique des substances chimiques en fonction de leur longueur d'onde d'absorption. C'est une méthode simple, précise et rapide qui permet de réduire les erreurs qui pourraient être dues aux manipulations (Rodier et al, 2009). Pour la détermination des germes microbiologiques notamment les coliformes totaux, l'*Escherichia coli*, et les Entérocoques, elle s'est faite par la méthode de filtration sur membrane telle que décrite par Rodier et al. (2009). C'est une méthode qui est largement utilisée pour le dénombrement des germes de micro-organismes dans l'eau destinée à la consommation humaine.

## **4. Traitement et analyse des données**

Pour le traitement des données, nous avons utilisé quelques logiciels à savoir QGIS 3.28.11 ; R 4.4.1 et Excel 2016. Le logiciel QGIS a été utilisé pour faire le traitement des diverses informations géographiques ainsi que la réalisation des différentes cartes nécessaires dans le cadre de notre étude. Le logiciel R est utilisé pour le traitement et l'analyse des données quantitatives collectées sur le terrain ainsi que la réalisation de différents tableaux et graphiques. Le logiciel Excel quant à lui a été utilisé pour la saisie des résultats obtenus après les analyses du laboratoire. Les résultats des différentes analyses des prélèvement d'eau ont été ensuite comparés aux normes internationales de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et de la Directive de l'UE 2020/2184 du parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des eaux de consommation humaine en vue de tirer des conclusions.

En ce qui concerne le traitement statistique, une statistique descriptive a été appliquée à l'ensemble des variables afin d'identifier la fréquence des variables prédominantes en fonction de la perception de la population et de leur habitude pour la qualité des eaux de consommation en temps d'inondation. Enfin, pour être mieux guidé dans la prise des décisions, une statistique inférentielle comme le test de chi-deux a été réalisé pour les variables qualitatives, les tests paramétriques ou non sur les variables quantitatives. Le test de Fisher pour analyser l'association entre le milieu de résidence et la survenance d'inondation au sein des ménages.

## CHAPITRE III : RESULTATS

Depuis quelques années, Gatumba est le théâtre des inondations en République du Burundi. Ces impacts ne sont pas sans conséquences sur les habitants de cette zone. Les résultats à présenter dans le cadre de notre étude, s'articuleront dans un premier temps autour de la présentation des caractéristiques démographiques des ménages de notre zone d'étude. Dans un deuxième temps, les données liées aux impacts socio-économiques de l'inondation sur les habitants de Gaharawe, Mushasha I, Muyangue I et Kinyinya II seront présentées. Enfin, viendra la présentation des résultats des échantillons d'eaux analysés dans le laboratoire de l'IGEBU.

### 1. Caractéristiques démographiques des ménages

Les ménages enquêtés dans le cadre de notre étude sont plus représentés au niveau de la colline Gaharawe avec 29,7% du nombre total de ménages contre 26,6% pour la colline de Muyangue I, 26,2% pour la colline de Kinyinya II et 17,6% pour la colline de Mushasha I (Figure 5a). Le niveau d'éducation des chefs de ménages est dominé par le niveau primaire ainsi que le secondaire. Cependant ; 25,3% des chefs de ménages enquêtés ont dit n'avoir aucun niveau scolaire (Figure 5d). En ce qui concerne l'âge des chefs de ménages ; 29,4% ont entre 31 et 40 ans, contre 26,8% pour les personnes âgées de plus de 50 ans et 26,2% pour les chefs de ménages ayant un âge compris entre 18 et 30 ans. La plus faible valeur de cette variable se retrouve dans la catégorie des chefs de ménages ayant un âge compris entre 41 et 50 ans (Figure 5c). Enfin, la majorité des chefs de ménages de la zone étudiée étaient de sexe masculin soit 69,12% des ménages enquêtés (Figure 5b).

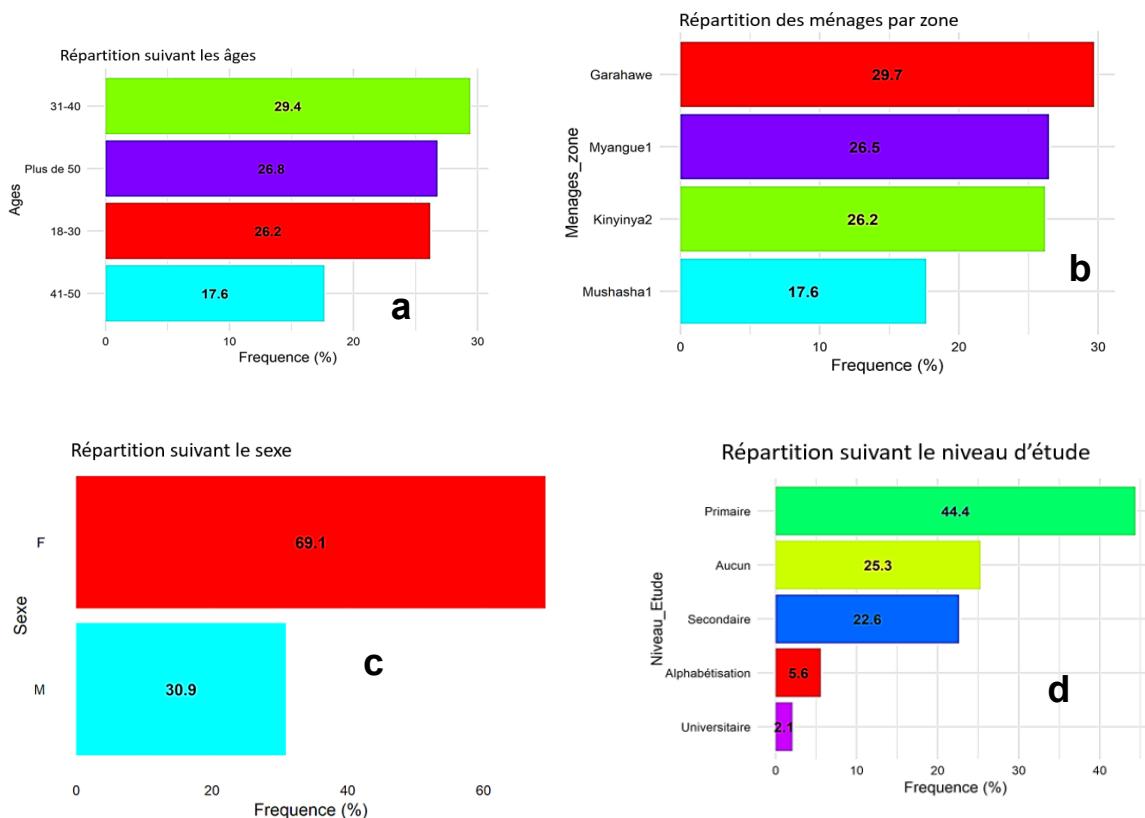


Figure 5 : Caractéristiques démographiques des ménages enquêtés dans la zone d'étude

## **2. Impacts socio-économiques**

Les inondations ont été à la base de plusieurs dégâts liés aux différentes maisons d'habitations, aux différents infrastructures et ouvrages publics ou privés, aux champs et produits de récoltes, à la disponibilité en eau potable etc. Au nombre des inondations qu'a connu la zone de Gatumba, nous pouvons citer entre autres :

Celle de 2011 ayant affecté cinq cent soixante-quatorze (574) ménages et ayant endommagé 120 hectares de champs et deux poteaux électriques.

En 2012, Gatumba a connu une nouvelle inondation ayant touché deux mille cinq cent huit (2508) ménages avec trois cents cinquante hectares de champs détruits.

Celle de 2016, quatre cent cinquante-huit (458) ménages ont été affectés par les inondations et cinquante (50) hectares de champs ont été détruits.

Par contre en 2020, les inondations qui ont touché Gatumba ont été sévères. Les collines les plus touchées sont celles de Mushasha I, Mushasha II, Muyangue I, Muyangue II et Gaharawe. Cette catastrophe naturelle a affecté quarante-cinq mille six cent quatre-vingt-un (45.681) personnes. Elle a également causé le déplacement de dix-sept mille sept cent quatre-vingt-douze (17.792) personnes et détruite complètement quatre mille neuf cent soixante-quatorze (4.974) maisons (OIM, 2020).

Au cours de l'année 2024, le phénomène El Nino a occasionné des pluies torrentielles entraînant ainsi le débordement du lac Tangayika et par conséquent une inondation de la zone de Gatumba. L'enquête réalisée au cours de la période d'avril à mai 2024 sur le terrain auprès des différents ménages ont permis d'évaluer l'impact socioéconomique des inondations dans les quatre collines de notre zone d'étude. Les données sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous ainsi que sur la figure 5.

**Tableau 1 : Impacts socio-économiques des inondations dans la zone d'étude**

N°	Impacts	Nombre de ménages
1	Maisons touchées	317
2	Pertes récoltes	285
3	Manque Eau potable	234
4	Lieu de culte	31
5	Classes détruites (écoles)	32
6	Ménages déplacés	611
7	HPr	63
8	HEPr	212
9	HE	18
10	EPr	3

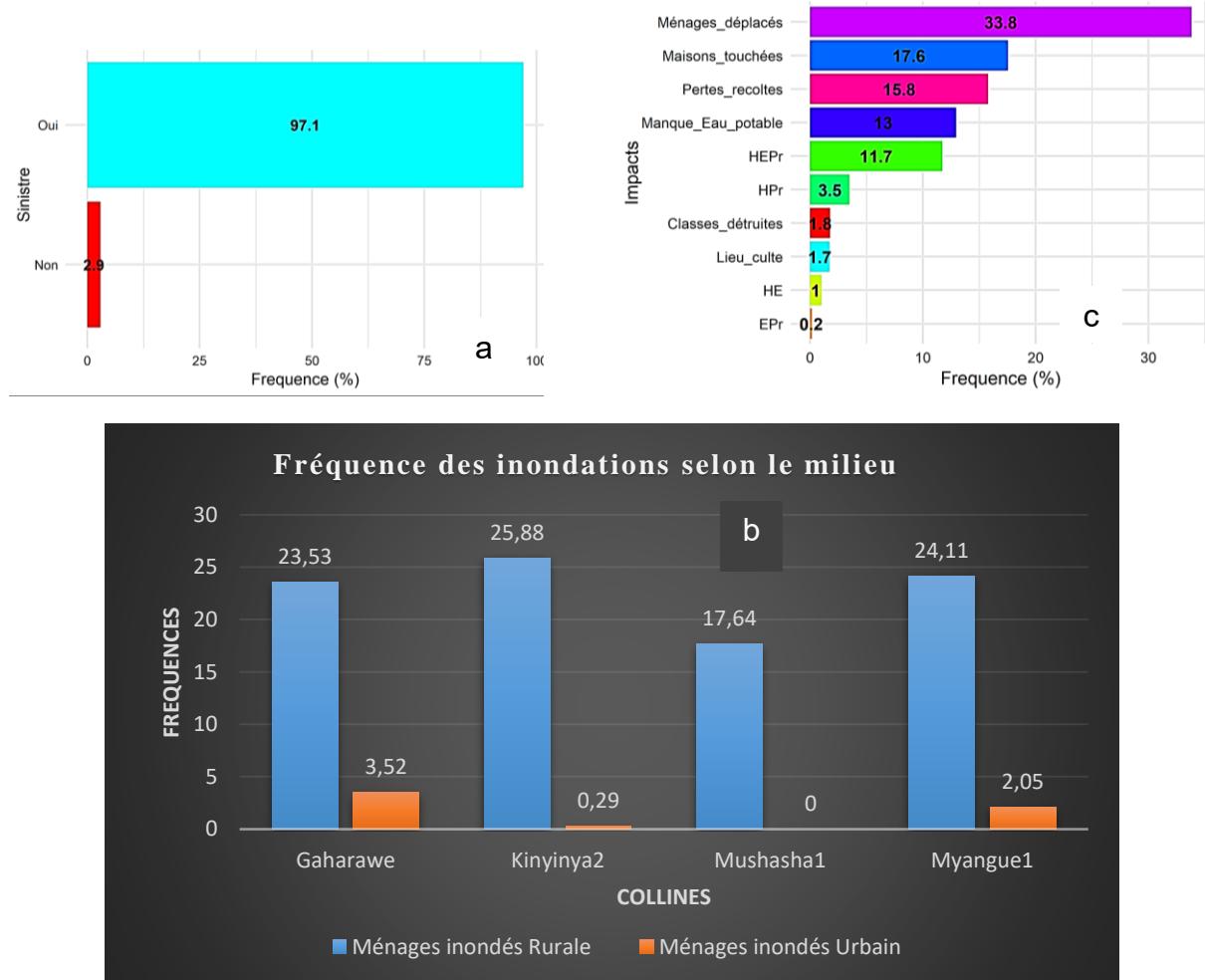
Source : Données d'enquête de terrain, avril-mai 2024

HPr : désigne les ménages ayant subi à la fois les dommages sur les maisons et les champs/ récoltes ;

HEPr : désigne les ménages ayant subi à la fois les dommages sur les maisons, la disponibilité en eau potable et les pertes de récoltes/champs ;

HE : désigne les ménages ayant subi à la fois les dommages liés à leurs habitations mais aussi au manque d'eau potable ;

EPr : désigne les ménages ayant subi à la fois les dommages liés à leurs champs/récoltes mais également au manque d'eau potable.



**Figure 6 :** Impacts socio-économiques des inondations dans la zone d'étude (a) fréquence des ménages inondés, (b) fréquence des inondations selon milieu de résidence et (c) fréquences des impacts sur les ménages de notre zone d'étude

Source : Données d'enquête de terrain, avril-mai 2024

Les données du tableau 1 et de la figure 6 (a,b,c) présentent la fréquence des ménages inondés, la fréquence des inondations par zone de résidence et la fréquence de ces impacts sur les ménages de notre zone d'étude. Il est observé que sur les 340 ménages enquêtés, 97,1% ont déclaré être inondé (Figure 6 (a)). Parmi ces 97,1% ; les ménages les plus affectés sont ceux se retrouvant dans les milieux ruraux (Figure 6(b)). Ainsi, 23,53% des ménages inondés dans la colline de Gaharawé sont en milieu rural contre 3,52% en milieu urbain. Dans la colline de Kinyinya II ; 25,88% des ménages inondés habitent dans le milieu rural contre 0,29% de ménages habitant en milieu urbain. De même, dans la colline de Myanque I, les ménages inondés dans le milieu rural représentent 24,11% contre 2,05% de ménages habitants en milieu urbain. Par contre, tous les ménages inondés dans la colline Mushasha I se situent en milieu

rural. Les inondations sont beaucoup plus marquées en zone rurale. En effet, le test statistique de Fisher entre les variables de résidence et l'inondation des ménages a été significatif avec des valeurs respectives de P-values de  $6,03 \cdot 10^{-12}$  et d'odds ratio de 0. En ce qui concerne les impacts des inondations sur notre zone d'étude, 17,6% des ménages ont déclaré avoir subi des dommages par rapport à leurs habitations, 15,8% ont déclaré avoir perdu leurs champs ou leurs récoltes, 13% de la population habitant la zone impactée ont déclaré manquer d'eau potable. De plus, les inondations dans la zone d'étude ont été à l'origine du déplacement de 33,8% des ménages de la zone d'étude (Figure 6 (c)). Ces ménages ont été installés sur des sites des déplacés où les conditions de vie sont très difficiles. Des tentes de fortune sont installées et abritaient tous les membres du ménage (Figure 7). Les impacts des inondations diffèrent entre les collines. En effet, le test de chi-carré a été significatif avec une P-value égale à 0,0159. Enfin, des impacts liés à la destruction des infrastructures telles que les salles de classes et lieux de cultes ont été également observées.



**Figure 7 : Site d'installation des victimes d'inondation**

Source : Clichée de terrain, avril-mai, 2024

### ***3. Résultats des analyses d'échantillons d'eau***

#### ***3.1. Analyses physicochimiques***

##### ***3.1.1 Teneurs en substances physico-chimiques des échantillons d'eau des forages***

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau destinée à la consommation humaine est nécessaire pour évaluer sa qualité. C'est l'un des moyens d'identification de contaminants physique et chimiques dans l'eau. Les résultats obtenus pour les différents paramètres pris en compte dans le cadre de notre étude est présenté dans les différents tableaux. Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse dans les échantillons d'eau de forage de Gaharawe, Mushasha I, Muyangue I et Kinyinya II.

**Tableau 2 : Teneurs en substances physico-chimiques des échantillons d'eau des forages**

Paramètre	Unités	Forages				Normes OMS	Directive UE
		Gaharawe I	Muyange	Mushasha I	Kinyinya II		
pH	Unité pH	7,795	7,931	7,63	8,199	6,5-8,5	6,5-9,5
Température	°C	29,1	27,4	27,4	27		25
Conductivité	mS/cm	1,7	1,9	2,7	1,3	<1,2	2,5
Rédox	mV	187,4	153,3	148,2	152		
Fer	mg/l	0	0,4	0,2	0	<0,2	0,2

Source : Analyse des échantillons d'eau collectées lors de la phase terrain

Il est montré qu'à part le pH des différents points d'eau qui se retrouve dans les normes de l'OMS et de la Directive de l'UE, les autres paramètres analysés à savoir la température, la conductivité, le rédox ne sont pas conformes aux normes de l'OMS (Tableau 2). Quant à la teneur en fer, seul le forage de Muyange I présente une valeur supérieure à celles de l'OMS et de l'UE.

### **3.1.2. Teneurs en substance physico-chimiques des eaux de surfaces analysées**

L'autre source d'eau utilisée par les habitants de notre zone d'étude est la rivière Rusizi et le lac Tanganyaka (Figure 8). Les résultats issus de l'analyse de ces échantillons prélevés sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous.



**Figure 8 :** Prélèvement d'eau de la rivière Rusizi pour divers usages par la population

Source : Clichée de terrain, avril-mai, 2024

**Tableau 3:** Teneurs en substances physico-chimiques des eaux de la Rusizi et du Tanganyaka

Paramètre	Unités	Eaux de surface		Normes OMS	Directive UE
		Rivière Rusizi	Lac Tanganyaka		
pH	Unité pH	8,156	8,626	6,5-8,5	6,5-9,5
Température	°C	25,5	28,7		25
Conductibilité	mS/cm	0,2	0,2	<1,2	2,5
Rédox	mV	191,7	171,9		
Fer	mg/l	0,2	0	<0,2	0,2

Source : Analyse des échantillons d'eau collectées lors de la phase terrain

Il est observé que la rivière Rusizi et le Lac Tanganyaka présentent des pH qui se retrouvent dans les normes définies par l'OMS et la Directive de l'UE. Leurs températures variant respectivement de 25,5 à 28,5 sont légèrement supérieures à celle définie par la Directive de l'UE qui est de 25°C (Tableau 3). Les valeurs des paramètres conductibilité et teneur en fer, obtenues se retrouvent dans les normes de l'OMS et de l'UE pour le lac Tanganyaka et la rivière Rusizi. Pour le paramètre rédox, les valeurs obtenues sont de 191,7 et 171,9 mV respectivement pour la rivière Rusizi et le lac Tanganyaka.

### **3.1.3. Teneur en substance physico-chimiques de l'échantillon témoin**

Le tableau 4 ci-dessous présente les paramètres physico-chimiques de l'échantillon témoin. L'échantillon témoin est un prélèvement de l'eau distribuée par la REGIDESO. Structure chargée du traitement, de la distribution de l'eau et de l'électricité au Burundi.

**Tableau 4 :** Teneurs en substances physico-chimiques de l'échantillon d'eau témoin

Paramètre	Unités	Valeurs témoin	Normes OMS	Directive UE
pH	Unité pH	8,7	6,5-8,5	6,5-9,5
Température	°C	27,3		25
Conductibilité	mS/cm	0,3	<1,2	2,5
Rédox	mV	195		
Fer	mg/l	0	<0,2	0,2

Source : Analyse des échantillons d'eau collectées lors de la phase terrain

Il est observé que le pH de l'échantillon témoin 8,7 est légèrement supérieur au pH de l'eau selon les normes de l'OMS mais corrobore avec celui donné par la Directive de l'UE. Sa température 27,3°C est également supérieure la valeur donnée par la Directive de l'UE qui est de 25°C (Tableau 4). Par contre sa conductibilité 0,3 et sa teneur en fer sont conformes aux normes recommandées. Enfin, la valeur du rédox obtenue est égale à 195 mV.

### **3.1.4. Variabilité des paramètres physico-chimiques des eaux de la zone d'étude**

Afin d'avoir un aperçu d'ensemble de la qualité physico-chimique des échantillons d'eau de consommation humaine de notre zone d'étude, une analyse statistique globale des six points d'eau a été réalisée. Les valeurs minimum, maximum et moyenne des paramètres mesurés ont été déterminées. Ces valeurs ont été comparées aux normes de l'OMS et de l'UE (tableau 5).

**Tableau 5 :** Variation de la concentration en substances physico-chimiques des échantillons d'eau de notre zone d'étude

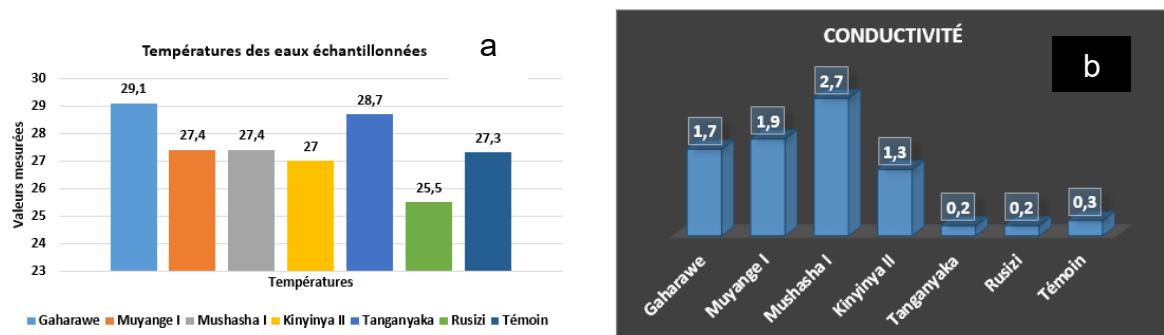
Paramètre	Valeur min	Valeur max	Valeur moyen	Ecart-type	Normes OMS	Directive UE
pH	7,63	8,767	8,158	0,419	6,5-8,5	6,5-9,5
Température	25,5	29,1	27,486	1,177		25
Conductivité	0,2	2,7	1,186	0,984	<1,2	2,5
Rédox	148,2	195	171,357	20,279		
Fer	0	0,4	0,114	0,157	<0,2	0,2

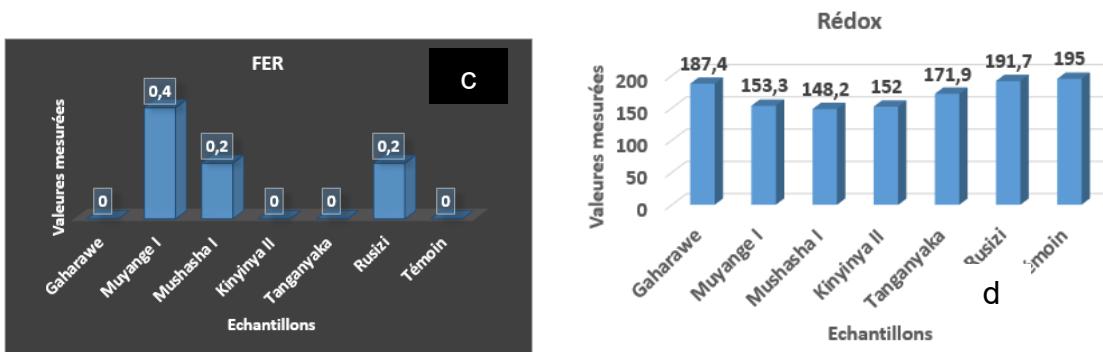
Source : Analyse des échantillons d'eau collectées lors de la phase terrain

Les résultats montrent une eau globalement conforme aux normes de qualité. Le pH avec une moyenne de 8,158 reste dans les limites recommandées par l'OMS et l'UE. La température moyenne 27,486 °C est légèrement supérieure à la référence de l'UE. La conductivité moyenne de 1,186 mS/cm et le fer 0,114 mg/l respectent les seuils recommandés bien qu'un échantillon présente une teneur en fer de 0,4 mg/l, dépassant les normes.

### **3.1.5. Comparaison des paramètres physico-chimiques des points d'eau de la zone d'étude**

La figure 9 (a,b,c,d) ci-dessous présente l'histogramme qui montre une comparaison des différents paramètres des sept (7) échantillons que nous avons analysés.





**Figure 9 :** Histogrammes de variation des différents paramètres étudiés

On peut retenir de ces histogrammes que la teneur en fer (fig 9c) est presque nulle pour tous les échantillons à l’exception du forage de Muyange I qui a une teneur en fer de 0,4 mg/l au-dessus des normes de l’OMS et de l’UE. Il en est de même pour la conductivité de l’échantillon prélevé au niveau du forage de Mushasha I qui a une valeur de 2,7 mS/cm. Les autres échantillons des collines de Gaharawe, Muyange I, Kinyinya II et les eaux de rivières Rusizi et du lac Tanganyika y compris le témoin présentent tous des valeurs conformes aux normes de l’UE.

En ce qui concerne les différentes températures, elles sont toutes proches de la température de l’échantillon témoin mais au-dessus de celle recommandée par la Directive de l’UE. De même, le potentiel rédox des différentes sources d’eau est inférieur à celle de l’échantillon témoin. L’échantillon présentant le plus faible potentiel d’oxydo-réduction est celui de Mushasha I avec une valeur de 148,2 mV ce qui peut provoquer des réactions de réduction des espèces chimiques comme le fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ), le manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) etc affectant ainsi la qualité de l’eau.

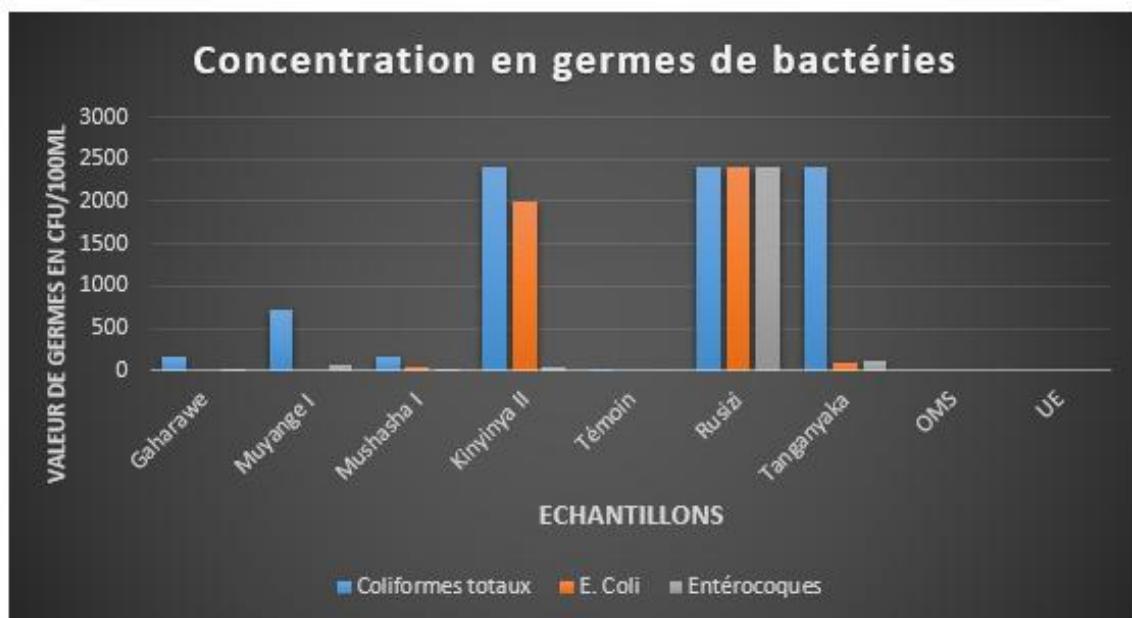
### 3.2. Analyses microbiologiques

En dehors de la détermination des paramètres physico-chimique, celles microbiologiques ont été réalisés. Les paramètres microbiologiques prises en compte dans le cadre de cette étude sont les coliformes totaux dont la présence démontre la dégradation de la qualité de l’eau, *l’Escherichia Coli* (*E. Coli*) et les entérocoques qui montrent la contamination de l’eau par les matières fécales. Les résultats obtenus ainsi qu’une comparaison de ces résultats sont présentés dans le tableau 6 et la figure 10 ci-dessous.

**Tableau 6 :** Résultats des analyses microbiologiques des échantillons d’eau

Germes	Gaharawe	Muyange I	Mushasha I	Kinyinya II	Témoin	Rusizi	Tanganyaka	OMS	UE
<b>Coliformes totaux</b>	167	727	165	>2419,6	19,9	>2419,6	>2419,6	0	0
<b>E. Coli</b>	0	0	36,8	1986,3	0	2419,6	98,18	0	0
<b>Entérocoques</b>	2	55,4	17,1	37,3	0	2419,6	110,6	0	0

Source : Echantillons collectés sur le terrain et analysés au laboratoire d'IGEBU



**Figure 10 :** Concentration de germes de bactéries présentes dans les échantillons analysés

Les résultats des analyses microbiologiques obtenus indiquent que les différentes sources d'eaux consommées dans notre zone d'étude et qui ont fait objet d'analyse montrent pour le paramètre coliformes totaux, que tous les échantillons ont une valeur supérieure à la norme recommandée par l'OMS et la Directive de l'UE. Les valeurs les plus importantes ( $>2419,6$  CFU/100ml) sont observées au niveau des eaux de surfaces (Rusizi et Tanganyaka) mais aussi au niveau du forage de Kinyinya II. Pour le paramètre E. Coli, seuls les échantillons de Gaharawe, Muyange I et le Témoin sont conformes aux normes de l'OMS et de la Directive de l'UE. Le reste des échantillons pourraient être contaminé par des matières fécales d'origines humaines et animales. Les plus grandes valeurs sont observées au niveau de la Rivière Rusizi (2419,6 CFU/100ml), Kinyinya II (1986,3 CFU/100ml) et le lac Tanganyaka (98,18).

Pour le paramètre entérocoques, aucun des échantillons de notre zone d'étude analysé n'est conformes avec l'échantillon témoin, ni avec les normes de l'OMS et la Directive de l'UE. Les plus grandes valeurs sont observées au niveau des eaux de surfaces (Rusizi et Tanganyaka).

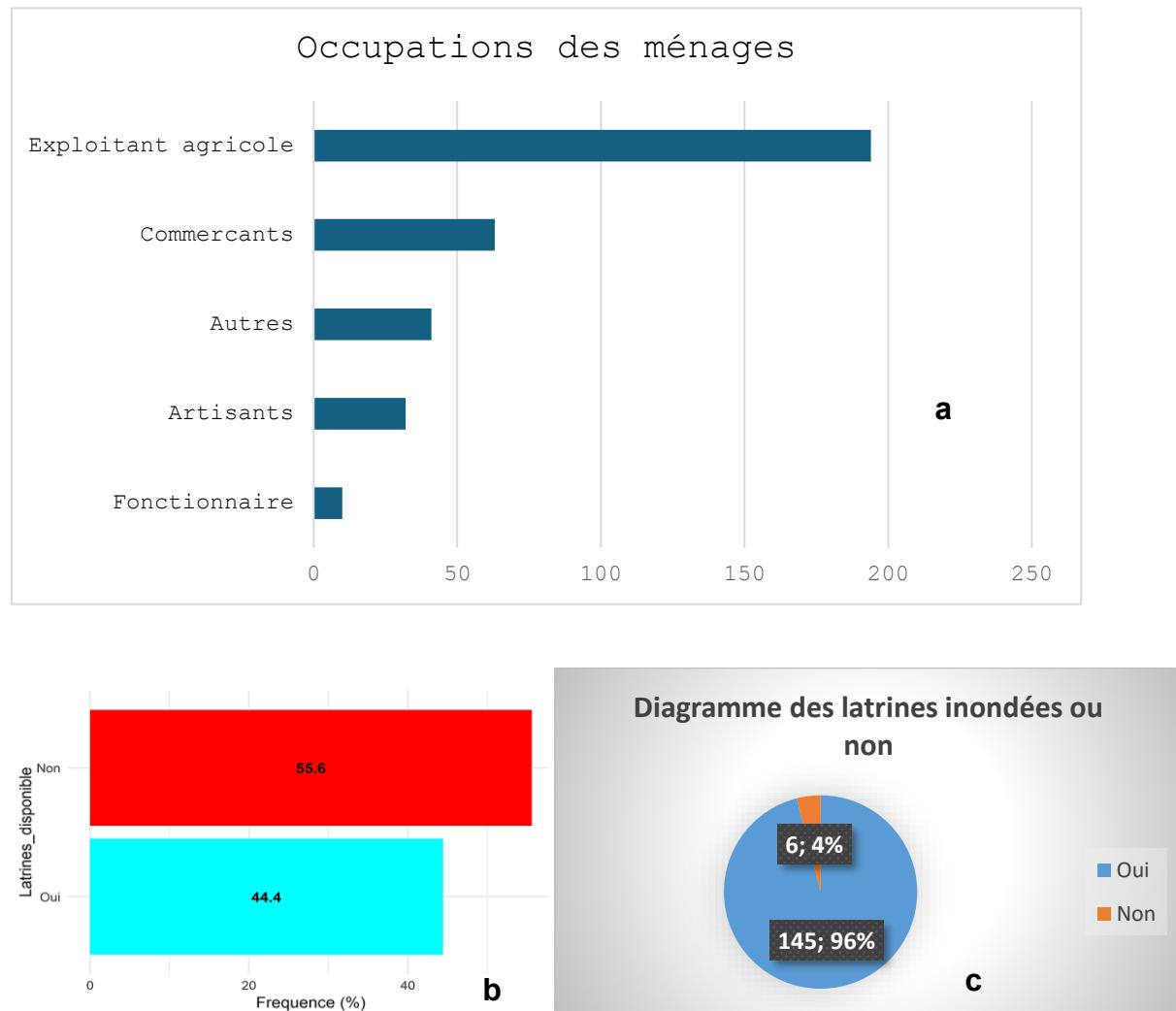
### **3.3. Sources éventuelles de contamination des eaux de consommation échantillonnées dans la zone d'étude**

Les observations faites sur le terrain lors de notre stage ainsi que l'enquête réalisée auprès des ménages révèlent quelques sources éventuelles de contamination dans un contexte d'inondation. Nous avons entre autres :

- Les captages d'eau mal protégés ;
- Le manque de latrines ;
- L'agriculture et les excréments des bétails ;
- Décharges d'ordures non contrôlées ;

- L'inondation.

Au cours de notre enquête, des données ont été collectées sur l'occupation professionnelle des chefs de ménages ainsi que sur la présence ou non de latrines au niveau des ménages enquêtés. Les figures 11 (a, b et c) ci-dessous nous renseigne sur ces données.



**Figure 11 :** Disponibilité de latrines ou non au sein des ménages enquêtés

Source : Données d'enquête de terrain, avril-mai 2024

Les données collectées auprès des ménages ont montré que 194 ménages sur les 340 enquêtés sont des exploitants agricoles donc pratiquent l'agriculture et l'élevage des vaches soit un pourcentage de 57,05% (Figure 11a). Les fumures utilisées ainsi que les déjections des vaches peuvent être des éléments de contamination de l'eau surtout dans un contexte d'inondation. Pour la présence ou non de latrine, cent cinquante un ménages (151) sur les trois cent quarante (340) disposent des latrines soit 44,4 % (Figure 11b). Sur les 44,4 % de latrines disponibles, 96 % sont inondées d'après les ménages (Figure 11c).

## **CHAPITRE IV : DISCUSSIONS**

### ***1. Impacts socio-économiques des inondations dans la zone d'étude***

Pour les caractéristiques démographiques des ménages, les résultats montrent que les ménages enquêtés sont respectivement concentrés dans les collines de Gaharawe, Muyangue I, Kinyinya II et Mushasha I. La prédominance comme chef de ménages est observée chez les hommes qui représentent près de 70% des ménages enquêtés. Le niveau scolaire est majoritairement primaire et secondaire pour les chefs de ménages. Ces données démographiques sont importantes pour mieux appréhender la vulnérabilité des communautés de notre zone d'étude face aux inondations. En effet, plusieurs études ont montré que le niveau d'éducation influence la capacité des ménages à réagir et à se préparer aux catastrophes naturelles (Smith, 2013). Aussi, Ndamani et Watanabe (2016) ont fait savoir que les agriculteurs plus instruits sont mieux informés en raison de leur capacité à accéder aux informations sur le changement climatique et les options d'adaptation. Le faible niveau d'éducation des chefs de ménages (25,3% n'ont aucun niveau scolaire), pourrait expliquer les limites d'accès à l'information et aux ressources nécessaires pour atténuer l'impact des inondations notamment sur l'eau de consommation.

Les inondations de 2024 dans notre zone d'étude ont causé des dégâts significatifs sur les habitations, les infrastructures, les champs. Elles affectent également la disponibilité en eau potable. Les données montrent que 317 ménages ont vu leurs habitations endommagées, un problème exacerbé par l'absence d'infrastructures résistantes aux aléas hydrologiques. Des travaux antérieurs, comme ceux de (Kubwarugira & al, 2019) ont souligné que les zones périurbaines du Burundi sont particulièrement exposés en raison de constructions non adaptées aux risques climatiques. Les pertes agricoles, touchant 285 ménages, mettent en évidence la dépendance des populations locales à une agriculture de subsistance. Ce constat est en accord avec (Bizoza, 2012) qui affirment que les petites exploitants agricoles sont extrêmement vulnérables aux catastrophes naturelles. Par ailleurs, 234 ménages ont souffert d'un manque d'eau potable en raison de la contamination des sources par les eaux de crue. Un phénomène également rapporté par la REGIDESO (2021), qui souligne que les inondations augmentent significativement la turbidité et la charge bactérienne des eaux. Les déplacements massifs de 611 ménages rappellent les inondations passées. Ces impacts socio-économiques sont également en adéquation avec les observations faites dans d'autres régions où les inondations ont des effets dévastateurs sur les communautés locales (Kreibich & Muller, 2017). Nos résultats corroborent avec ceux présentés par (OCHA.., 2024) qui montrent que depuis le début de la saison pluvieuse (septembre 2013 jusqu'à mi-avril 2024) les inondations et les glissements de terrain ont touché plus de 237 000 personnes occasionnant 29 décès, 175 blessés au Burundi. Aussi 19 250 maisons ont été détruites ou endommagées, plus de 200 salles de classes détruites et plus de 42 000 personnes contraintes au déplacement. De plus, 23 109 ménages rapportent avoir perdus leurs champs de cultures. Ce qui aggrave la situation en perturbant les moyens de subsistances et les services de base (Field, 2012). Pour rappel, les inondations de 2011, 2012, 2016 et 2020 ont causé des destructions massives. Par exemple, celle de 2020 a affecté 45 681 personnes. Le nombre de personnes déplacé est estimé à 17 792 habitants pour 4947 maisons détruites. Ces chiffres illustrent l'ampleur des dégâts dans la zone d'étude et soulignent la

nécessité d'améliorer les infrastructures afin de mieux résister aux futures inondations (Parker, 2007). En ce qui concerne l'accès à l'eau potable, son manque signalé par 13% des ménages est un impact important des inondations. La contamination des sources d'eau par les inondations pose des problèmes de santé publique, notamment des maladies hydriques comme le choléra (Few, 2003).

Les résultats de cette étude montrent clairement les impacts socio-économiques considérables des inondations dans les collines de Gaharawe, Muyangue I, Kinyinya II et Mushasha I. Les caractéristiques démographiques et le niveau d'éducation des ménages combinés aux dommages liés aux infrastructures et aux déplacements forcés illustrent la vulnérabilité de cette zone.

## ***2. Qualité des eaux de consommation en période de l'inondation***

L'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau destinée à la consommation humaine est importante pour garantir sa sécurité sanitaire. Les différents résultats obtenus pour les différents paramètres physico-chimique et microbiologique des différents échantillons prélevés au niveau des forages, des sources de surface et de l'échantillon témoin dans la zone d'étude révèlent des non-conformités significatives avec les normes de l'OMS et de la Directive de l'UE.

### ***2.1. Paramètres physico-chimiques***

Pour le paramètre pH, les valeurs obtenues pour les échantillons au niveau de différents forages, des eaux de surface (Rusizi et Tanganyika) se situent dans les normes de l'OMS et de l'UE. Un pH dans la fourchette recommandée (6,5-8,5 selon l'OMS) est essentiel pour éviter la corrosion des canalisations et assurer une désinfection efficace de l'eau. D'autres auteurs comme (Wanélus, 2016) et (Kahoul & Touhami M, 2014) qui ont évalué la qualité physico-chimique des eaux de consommation respectivement à Port-au-Prince (Haïti) et Annaba (Algérie) ont obtenu des résultats se rapprochant de ceux obtenus avec nos échantillons.

Pour le paramètre température, les valeurs des forages (27°C à 29,1°C) et les valeurs des eaux de surface (25,5°C à 28,5°C) sont supérieures à la norme recommandée (25°C selon la Directive de l'UE). De même, la température de l'échantillon témoin (27,3°C) est supérieure à la norme de l'UE. Ce résultat est préoccupant car il indique que même l'eau traitée par la REGIDESO n'est pas totalement conforme aux standards de qualité. Des températures élevées observées au niveau des eaux analysées peuvent favoriser la prolifération des microorganismes pathogènes et altérer aussi le goût de l'eau. Cela a pour conséquence la modification des propriétés chimiques et biologiques de l'eau (Makhoukh, Sbaa, Berrahou, & Van Clooster, 2011).

En ce qui concerne la conductivité, les valeurs des forages, des eaux de surfaces et de l'échantillon témoin ne sont pas conformes aux normes de l'OMS et de l'UE à l'exception du forage de Mushasha I. Variant entre 0,2 mS/cm et 2,7 mS/cm, ces valeurs, quoique dans les normes sont faibles pour certains échantillons et peuvent traduire une très faible minéralisation de l'eau. En effet, la mesure de la conductivité permet d'évaluer le degré de minéralisation de l'eau (Rodier, Legude, & Merlet, 2009). Nos résultats, pour certains échantillons ne sont pas conformes à ceux de (Frantz, 2017) qui a trouvé des valeurs variant entre 0,13 et 0,48 mS/cm indiquant une minéralisation faible à modérément accentuée dans les eaux analysées en Haïti.

Bien que nos valeurs obtenues indiquent des eaux extrêmement pures, elles peuvent manquer de minéraux qui contribuent à la qualité organoleptique et nutritionnelle de l'eau. Aussi, un potentiel d'oxydo-réduction (Rédox) faible peut refléter une faible capacité de l'eau à décomposer les contaminants. Ainsi, nos résultats obtenus variant entre 148,2 et 191,7 mV sont légèrement inférieurs à ceux obtenus par (Kampf, 2018). Ce dernier avait montré que les valeurs de Rédox supérieures à 200 mV sont souhaitables pour une désinfection efficace de l'eau. Enfin, la teneur en fer est presque nulle pour tous les échantillons à l'exception de l'échantillon du forage de Muyange qui présente une valeur de 0,4 mg/l (Figure 9). Cette valeur est supérieure à ceux recommandées par l'OMS et la Directive de l'UE. Néanmoins, nos résultats obtenus corroborent avec ceux de (Makoutode, Assani, Ouendo, Agueh, & Diallo, 1999) qui avaient trouvé des teneurs en fer variant de 0 à 1 mg/L dans les eaux de puits analysées au Bénin.

Les analyses physico-chimiques des eaux de consommation dans la zone d'étude montrent des écarts notables par rapport aux normes de l'OMS et d l'UE. Particulièrement en ce qui concerne la température, la conductivité et le Rédox. Ces résultats soulignent l'importance d'une surveillance continue et de l'amélioration des systèmes de traitement de l'eau pour garantir la qualité de celle-ci même en période d'inondation.

## 2.2. Paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques de l'eau de consommation sont essentielles pour évaluer les risques pour la santé publique. Les paramètres microbiologiques pris en compte dans notre étude incluent les coliformes totaux, *l'Escherichia coli*, les entérocoques. Ces indicateurs permettent de détecter la contamination fécale et la dégradation de la qualité de l'eau. Les coliformes totaux sont des indicateurs de la qualité globale de l'eau. Tous nos échantillons analysés montrent des valeurs supérieures à 0 CFU/100ml qui est celle recommandé par l'OMS et la Directive de l'UE. Les valeurs les plus élevées ( $>2419,6$ ) sont observées au niveau des échantillons prélevés dans les eaux de surface (Rusizi et Tanganyika) ainsi qu'au niveau de l'échantillon prélevé dans le forage de Kinyinya II. Les autres échantillons prélevés au niveau des forages de Gaharawe, Muyangue I et Mushasha II montrent également des niveaux élevés de contamination avec des valeurs qui sont respectivement 167 CFU/100ml, 727 CFU/100ml et 165 CFU/100ml. Selon (Ashbolt, 2004), la présence des coliformes totaux en grande quantité signale une contamination et une dégradation de la qualité de l'eau. Aussi, des études similaires montrent que les niveaux élevés de coliformes totaux sont courants dans les zones périurbaines, en particulier des milieux sujets aux inondations où le ruissellement peut transporter des contaminants des sols vers les différents sources d'eau (Kistemann, *et al.*, 2022). Les valeurs observées au niveau de la rivière Rusizi et du lac Tanganyika peuvent s'expliquer par le fait que ce sont des eaux de surface. En effet, bon nombre de rivière notamment celle de Ntahangwa collecte différents types de déchets de la ville de Bujumbura et se jette dans la rivière Rusizi qui à son tour se jette dans le lac Tanganyika. Ainsi, la présence de coliformes totaux en quantité excessive indique une dégradation significative de la qualité de l'eau due à un mélange d'eaux usées domestiques et de ruissellement agricole (WHO, 2004). Des études conduites par Brasseur *et al* (2021) et Balthazard (2011) ont révélé des germes pathogènes (Oocystes de

cryptosporidium) dans des eaux de surfaces ainsi que des eaux destinées à la consommation humaine en Haïti. Quant à notre échantillon témoin qui est une eau distribuée par la REGIDESO, elle devrait être exempte de tout germe. Malheureusement la concentration en coliformes totaux 19,9 CFU/100ml peut s'expliquer par la vétusté de différentes infrastructures, l'inefficacité ou la défaillance de traitement de cette eau par le service de traitement bactériologique de la REGIDESO. En RDC par exemple, une étude comparative sur la qualité de l'eau produite par les usines de la REGIDESO au centre de Kolwezi a été réalisée. Cette étude a révélé une dégradation de la qualité de l'eau au niveau du réseau de distribution, attribuée à la vétusté des infrastructures et à une chloration insuffisante (Patrick MBWEB KATSHIL, décembre 2021).

La présence de *l'Escherichia coli* pour le deuxième paramètre analysé est observée dans les échantillons d'eaux prélevés au niveau des forages de Mushasha I, et Kinyinya II mais aussi dans les eaux de surfaces de la rivière Rusizi et du lac Tanganyika. Les valeurs obtenues respectivement pour ces différents échantillons 36,8 CFU/100ml ; 1986,3 CFU/100ml ; 2419,6 CFU/100ml et 98,18 CFU/100ml montrent les différents niveaux de concentrations des eaux analysées. La valeur 1986,3 CFU/100ml obtenue pour le forage de Kinyinya II pourrait être due à une fuite du tuyau du forage ou à une infiltration de l'eau d'inondation souillée chargée en une forte concentration de matière fécale. Des études sur la caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville en Côte d'Ivoire ont montré la contamination des eaux souterraines par des bactéries d'origine fécale par infiltration (Brou, 2017). En effet, la présence d'*E. Coli* dans l'eau est un indicateur critique de contamination fécale, signalant un risque élevé de maladies hydriques telles que la diarrhée, la dysenterie et l'hépatite (Ashbolt, 2004). Néanmoins, les échantillons prélevés su niveau des forages de Gaharawe, Muyangue I et le témoin sont conformes aux normes de l'OMS et de l'UE. Cette conformité peut être expliquée par le fait que ces eaux ont peut-être été traitées dans un passé récent.

Pour le paramètre entérocoques, aucun des échantillons analysés à l'exception du témoin n'est conforme aux normes de l'OMS ni de l'UE. Cette contamination des différents échantillons peut être dû probablement au mode de gestion des excréta humains et des fèces d'animaux. De nos résultats, 56,6% des ménages ne disposent pas de latrines or les entérocoques sont des indicateurs robustes de contamination fécale.

L'analyse microbiologique montre la présence de contamination en matière fécale d'origine humaine et/ ou animale que sont les coliformes totaux, *l'Escherichia coli* et les entérocoques. La présence de ces indicateurs montre que les eaux sont soumises à une pollution microbiologique (Ahoussi, *et al.*, 2012) . Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par (Yapo, Mambo, Seka, & Ohou, 2010) qui ont évalué la qualité des eaux de consommations dans les quartiers d'Abidjan en Côte d'Ivoire. Au vu des résultats que nous avons obtenu, nous pouvons dire que les différents points d'eaux analysés sont impropre à la consommation. Ces résultats soulignent également l'urgence de mettre en place des mesures de traitement de l'eau et de prévention des contaminants afin de protéger la santé publique.

### **3. Facteurs éventuels de contamination des eaux**

Les activités agricoles et l'élevage de bétail sont souvent associées à la contamination des sources d'eau par des déjections animales et des fumures. Des études ont montré que les inondations peuvent entraîner le lessivage de ces contaminants dans les sources d'eau souterraines et de surface (Foster, S, & Chilton, 2000). La présence de matières organiques et d'éléments pathogènes dans les bouses des vaches peut considérablement augmenter la charge bactérienne dans l'eau de consommation, particulièrement en période d'inondation (Oliver, 2005). De plus, la faible proportion de ménages disposant de latrines, combinée à l'inondation de la majorité de ces latrines, crée un environnement favorable à la contamination fécale des sources d'eau. Les inondations peuvent entraîner le débordement des latrines (96%) dispersant ainsi les contaminants dans les eaux de surface et les nappes phréatiques (Schmoll, Howard, Chilton, & Chorus, 2006). Les études de (Cairncross, 2010) montrent que l'absence de systèmes d'assainissement adéquats et la mauvaise gestion des excréta sont des facteurs majeurs de contamination microbiologique des eaux. De plus, la nappe phréatique au niveau de la plaine de l'Imbo est très près de la surface (Sindayihebura, 2005) ce qui pourrait faciliter l'infiltration des eaux d'inondations chargés en une multitude de germes pathogènes et par conséquent la contamination des sources d'eau. L'échantillon témoin provenant de l'eau distribuée par la REGIDESO, montre des niveaux de contamination significativement plus bas par rapport aux échantillons des autres sources. Cet écart observé, illustre l'impact des inondations sur la qualité de l'eau.

### **4. Limites de l'étude**

Les limites de cette étude se retrouvent à divers niveaux. En effet, l'évaluation de la qualité de l'eau doit prendre en compte plusieurs paramètres ; une analyse de l'eau pour tous ses paramètres est connue comme un procédé complexe et couteux. Idéalement, une bonne analyse de l'eau doit prendre en considération les paramètres comme le taux de calcium, de magnésium, d'Aluminium, de sulfate, de chlorure, etc. Toutefois, les paramètres considérés dans cette étude peuvent permettre d'estimer la qualité de l'eau de consommation. Cette étude s'est limitée, au plan physique, à la détermination du pH, de la température, de la conductivité électrique, du redox et du fer. Au plan microbiologique, l'étude s'est limitée à rechercher les coliformes totaux, les entérocoques, et les coliformes fécaux notamment « *Escherichia coli* ». L'étude ne s'est pas intéressée aux autres éléments-traces métalliques (plomb, Cadmium, nickel, etc.) ni aux pesticides, pas parce qu'ils ne sont pas importants mais pour des raisons de non disponibilité de matériels et d'équipements au sein du laboratoire de l'Institut Géographique du Burundi (IGEBU) où ces analyses ont été effectuées. À cause des contraintes de temps liés à la durée d'exécution du présent travail et de moyens, nous n'avons pas pu non plus répéter dans le temps les prélèvements et les analyses. Les autres limites de l'étude sont la barrière linguistique et la difficulté d'accès aux collines de notre zone d'étude à cause de l'inondation au moment où nous effectuions les travaux de terrain.

## **CONCLUSION**

L'une des stratégies de gestion des risques dans les pays soumis aux catastrophes doit passer par la disponibilité des données. Ces dernières ne peuvent s'obtenir que par des études et des expérimentations dans ces zones sinistrées.

L'objectif du présent travail visait à rendre disponible une certaine quantité de données sur la problématique des inondations et la qualité des eaux de consommation dans quatre collines (Gaharawe, Muyange I, Mushasha I et Kinyinya II) de la zone de Gatumba, commune de Mutimbuzi. Ces inondations ont des conséquences dévastatrices sur les habitations, les champs/récoltes, les infrastructures et les moyens de subsistance des ménages. Les données recueillies sur le terrain en avril-mai 2024 auprès de 340 ménages enquêtés montrent que :

17,6% des ménages enquêtés ont subi des dommages liés à leurs habitations ; 15,8% des ménages ont déclaré avoir perdu leurs champs ou leurs récoltes ; 13% des ménages ont signalé avoir un accès difficile à l'eau potable et 33,8% des ménages de notre zone d'étude ont dû changer de domiciles. Par contre, les inondations de 2011, 2012, 2016 et 2020 ont successivement touché un nombre croissant de ménages, culminant avec celle de 2020, 45 000 personnes affectées et 18 000 déplacés.

Sur le volet qualité des eaux de consommation, les analyses physico-chimiques et microbiologiques révèlent des préoccupations majeures concernant leur qualité. Les forages de Gaharawe, Muyange I, Mushasha I et Kinyinya II ainsi que les eaux de surface (rivière Rusizi et le lac Tanganyika) présentent des paramètres physico-chimiques (température, conductivité, potentiel d'oxydo-réduction) non conformes aux normes de l'OMS et de l'UE. Quant aux eaux de surface (rivière Rusizi et le lac Tanganyika), elles montrent des niveaux élevés de contamination par les coliformes totaux, le E. Coli, et les entérocoques. Il en est de même pour les autres échantillons ce qui traduit l'insalubrité des différents points d'eau consommés par la communauté à l'exception de l'échantillon témoin. Ce dernier, provenant de l'eau traitée par la REGIDESO, présente des niveaux de contaminants significativement plus bas, confirmant ainsi l'efficacité du traitement de cette eau d'une part mais aussi la contamination des autres sources d'eau par l'inondation.

Pour le paramètre facteur de contamination, les enquêtes ont identifié quelques facteurs contribuant à la contamination de l'eau en période d'inondation. Les résultats de notre enquête ont montré que les habitants sont des exploitants agricoles et que les pratiques agricoles ainsi que l'élevage de bétail contribuent à la contamination de l'eau par les déjections animales. Aussi, l'inondation des quelques latrines disponibles dans la zone d'étude sont autant de facteurs contribuant à la contamination des eaux.

Cette étude qui est l'une des premières sur la qualité des eaux de consommation dans la zone de Gatumba en République du Burundi apporte à partir de ces résultats des preuves concrètes de l'impact des inondations sur la qualité de vie des habitants de cette zone et sur la qualité des eaux de consommation. Elle met en lumière les besoins urgents en infrastructures d'assainissement, en systèmes de gestion des eaux et en politiques de prévention des catastrophes naturelles. Ainsi, les recommandations suivantes sont proposées aux différents acteurs :

## Aux décideurs politiques

- renforcer les infrastructures d'assainissement et construire les latrines résilientes aux inondations ;
- mettre en place des systèmes de gestion et des infrastructures de prévention des inondations ;
- améliorer le traitement et la surveillance continue de la qualité de l'eau pour éviter les problèmes de santé publique ;
- sensibiliser et former les communautés locales aux bornes pratiques d'hygiène et de gestion des ressources en eau.

## A la population locale :

- adopter des pratiques agricoles durables et sécurisées pour minimiser la contamination des eaux ;
- collaborer avec les autorités pour améliorer les conditions d'assainissement.

Au terme de notre étude, d'autres questions de recherche, notamment sur l'efficacité des interventions en cours pour améliorer la résilience des populations face aux inondations se posent. Une future étude pourrait se concentrer sur « ***Comment les communautés périurbaines de Gatumba peuvent-elles renforcer leur résilience face aux inondations et améliorer la qualité de leurs eaux de consommation ?*** ».

## Bibliographie

- Adepoju, P. (2021). L'Afrique est la plus touchée par les effets du changement climatique, selon la COP26. *Nature Africa*, 1-2.
- Ahoussi, K., Koffi, Y., Kouassi, A., Soro, G., Soro, N., & Biémi, J. (2012). Caractérisation Physico-chimique et Bactériologique des Ressources en eau des Localités Situées Aux Abords de la lagune Ébrié dans la commune de Marcory (District d'Abidjan, Côte Ivoire): cas du village d'Abia Koumassi. *Eur. J. Sci. Res.*, 89(3), 359-383.
- Ashbolt, N. (2004). Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198(1-3), 229-238.
- Banque mondiale.** (2012). *Le Rapport de Sendai : Gérer les risques de catastrophe pour un avenir résilient*. Washington, DC : Banque mondiale. Disponible sur <https://documents1.worldbank.org/curated/fr/581211468157507602/pdf/806080WP0FRENCO0Box379809B00PUBLIC0.pdf>.
- Bidou, J.E & al., 1991. *Géographie du Burundi*, Hatier, Paris , 288 p
- Bizoza, A. &. (2012). Financial cost–benefit analysis of bench terraces in Rwanda. *Land Degradation & Development*. 23, 103-115.
- Bouguerra. (2003). Les batailles de l'eau pour un bien commun de l'humanité. Enjeux, Planète. *Une collection mondiale pour une autre mondialisation*, 225.
- Brou, Y. e. (2017). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 396-409.
- Cairncross, S. H. (2010). Water, sanitation and hygiene for the prevention of diarrhoea. *International Journal of Epidemiology*, 39(suppl\_1), i193-i205.
- Céline, D. (2018). 10 chiffres qui montrent que le monde va crouler sous les déchets. *Futura-sciences*.
- CEPRODILIC. (2020). La gestion et valorisation des déchets, des pratiques qui s'avèrent être indispensables. *Centre de Production et de Distribution de la Littérature Chrétienne*.
- Davies, A. &. (2015). INCREASING DISASTER RESILIENCE IN FRANZ JOSEF - MULTI-HAZARD PARTICIPATORY METHODOLOGY..
- Delvaux, D., Mulumba, J.-L., Sebagenzi, M. N. S., Bondo, S. F., Kervyn, F., & Havenith, H.-B. (2017). Seismic hazard assessment of the Kivu rift segment based on a new seismotectonic zonation model (western branch, East African Rift system). *Journal of African Earth Sciences*, 134, 831-855
- Devroey, E.-J. (1949). A propos de la stabilisation du niveau du lac Tanganyika & de l'amélioration de la navigabilité du fleuve Congo. Mémoires de l'Institut Royal Colonial Belge, Section des Sciences Techniques, Tome V, fascicule 3

- Diproclean. (2023). Les inondations cet été peuvent-elles affecter notre eau potable du puits?
- Douglas, I. &. (2008). Climate Change, Flooding and the Urban Poor in Africa. *Environment and Urbanization - ENVIRON URBAN*. 20., 187-205.
- DTM. (2021). Inondation au Burundi. *ONU MIGRATION*, 2p.
- Few, R. (2003). Flooding, vulnerability and coping strategies: local responses to a global threat. *Progress in Development Studies*, 3(1),, 43-58.
- Fewtrell, L. K. (2008). *Évaluation de l'impact sur la santé pour une gestion durable de l'eau*. IWA Publishing.
- Field, C. B. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Foster, S., S, D., & Chilton, P. J. (2000). *Groundwater in urban development: assessing management needs and formulating policy strategies*. Washington: DC World.
- Frantzy, O. (2017). *Étude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin*. Université Catholique de Louvain.
- Frizzlife. (2022). Comment les inondations affectent la qualité de votre eau potable. dispo (<https://www.frizzlife.com/fr-de/blogs/news/how-floods-affect-your-drinking-water-quality?>)
- Gleick, P. (2000). Un regard sur le développement des ressources en eau au XXIe siècle. *Water international* , 25 (1),, 127-138.
- ISTEEBU. (2008). *Analyse de l'état de la structure de la population, Volume 3*. Tome 6. Bujumbura, 87p.
- ISTEEBU. (2013). *Rapport des projections démographiques du Burundi 2008-2030*. 91p. Bujumbura: ISTEETBU.
- Kahoul, M., & Touhami M. (2014). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de. 10.
- Kampf. (2018). Influence of Water Redox Potential on Bacterial Regrowth in Drinking Water Distribution Systems.
- Kistemann, T., Classen, T., Koch, C., Dangendorf, F., Fischeder, R., Gebel, J., & ... & Exner, M. (2022). Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(5),, 2188-2197.
- Kreibich, H., & Muller, M. (2017). New insights into flood warning reception and emergency response by affected parties. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(12), 2075-2092.
- Kubwarugira, & al, e. (2019). Assessing flood exposure in informal districts: a case study of Bujumbura, Burundi. *Journal of Applied Water Engineering and Research*. 7, 1-9.

Le Monde. (2024). *Au Sénégal, des inondations font plus de 56 000 déplacés dans l'est du pays*. Disponible sur [https://www.lemonde.fr/afrique/article/2024/11/05/au-senegal-des-inondations-sans-precedent-devastent-les-futures-recoltes-dans-l-est-du-pays\\_6377819\\_3212.html](https://www.lemonde.fr/afrique/article/2024/11/05/au-senegal-des-inondations-sans-precedent-devastent-les-futures-recoltes-dans-l-est-du-pays_6377819_3212.html)

Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Van Clooster, M. (2011). Contribution à l'étude physicochimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. *Maroc Oriental*, 21.

Makoutode, M., Assani, K., Ouendo, M., Agueh, D., & Diallo, P. (1999). Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand Popo. 7.

Mondiale, B. (2024). Burundi - Vue d'ensemble.

<https://www.banquemonde.org/fr/country/burundi/overview>.

Nzigidahera. (2012). Description du Burundi: Aspects physiques. *MEEATU, Bujumbura*, 10.

OCHA et PNUD, 2020: Inondations des zones riveraines du lac Tanganyika, 5p.

OCHA. (2021). Burundi : inondations et glissements de terrain. *Flash Update N°4*, 2-2.

OCHA, 2022. Aperçu des besoins humanitaires. Burundi. 142 p.

OCHA, .. (2024, Avril 26). L'impact des inondations (effets El Niño). *Flash Update*, pp. 1-3.

Oliver, D. M. (2005). Phosphorus fluxes in surface runoff from a grassland hillslope in Yorkshire, UK: the influence of storm period and antecedent conditions. *Hydrological Processes*.

Omar, A. (2021). *Risque naturels et développement en Afrique de l'Est (Région de l'IGAD)*. Paris: L'Harmattan.

Organisation Internationale des Migrations (OIM), Rapport de Mai 2020

**Organisation mondiale de la Santé (OMS).** (2017). *Directives de qualité pour l'eau de boisson : critères d'hygiène et documents de référence pour les gestionnaires*. 4e édition, mise à jour. Genève : Organisation mondiale de la Santé. Disponible sur <https://www.who.int>.

Orelien, F. (2017). *Étude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin*. Haïti: Mémoire de fin de formation.

OXFAM. (2021). Les événements climatiques extrêmes : quand la planète s'emballe. <https://www.oxfamfrance.org/climat-et-energie/les-evenements-climatiques-extremes-quand-la-planete-semballe/>.

Parker, D. J. (2007). Enhancing the human benefits of flood warnings. *Natural Hazards*, 43, 397-414.

Patrick MBWEB KATSHIL, N. N. (décembre 2021). « Etude comparative de la qualité de l'eau produite dans les usines de la REGIDESO au centre de Kolwezi avec celle distribuée aux clients : Cas du quartier Mununka dans la commune de Manika, Ville de Kolwezi, RD Congo ». *Revue internationale d'innovation et d'études appliquées* , 35, non.(1,), 153-164.

PNUD. (2022). *Rapport sur le développement humain 2021/2022*. New-York: 1 UN Plaza, New York, NY 10017 États-Unis.

République du Burundi, C. E. (2007). *Profil Environnemental de Pays (PEP) du Burundi-Contrat Spécifique n°2006/132723-Rapport final*. Bujumbura, 103p.

République du Burundi. Ministère de l'eau, de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme. *Plan régional de mise en oeuvre de la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Biodiversité dans la plaine de l'Imbo*, Bujumbura, Novembre 2013.

Rodier et al. (2009). *L'analyse de l'Eau: Eaux Naturelles, Eaux Résiduaires, Eau de Mer: Physicochimie, Bactériologie et Biologie* (éd. 10). Paris: Dunod.

Rodier, J., Legude, B., & Merlet, N. (2009). *L'analyse de l'eau*. 9th Edition. Dunod. 1579p.

Rukundo, Y. (2020). Burundi : l'éternel défi de la gestion des déchets. *AA Afrique*, [www.aa.com.tr/fr/afrique/burundi-l-éternel-défi-de-la-gestion-des-déchets/2699843](http://www.aa.com.tr/fr/afrique/burundi-l-éternel-défi-de-la-gestion-des-déchets/2699843).

Santé Canada (2022). Conseils sur les agents pathogènes d'origine hydrique dans l'eau potable. Bureau de la qualité de l'eau et de l'air, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs Santé Canada, Ottawa (Ontario). PP 116

Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., & Chorus, I. (2006). Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources. *World Health Organization*.

Sindayihebura, B. (2005). De l'Imbo au Mirwa ; Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaines et risques naturels dans la région de Bujumbura. *U.F.R. sciences, espaces et sociétés*, 336.

Sindayizeruka O., 2000. *Etude spéciale de socio-économie : Etude socio-économique du village de Gatumba*, Rapport N°1, 33 p.

Sirven, P. (2024). Bujumbura. *ENCYCLOPÆDIA UNIVERSALIS*.

Smith, K. (2013). Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster. *Routledge.*, 504.

Taylor J. et al . Le rapport 2019 de The Lancet Countdown sur la santé et le changement climatique : veiller à ce que la santé d'un enfant né aujourd'hui ne soit pas définie par le changement climatique. *The Lancet* , 394 (10211), 1836-1878.

**UNDRR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction).** (2015). *Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophe 2015-2030*. Genève, Suisse : Nations Unies. Disponible sur <https://www.undrri.org>.

UNEP. (2014). Lake Tanganyika and its Environment: A Report on Water Quality and Pollution Control. Nairobi, Kenya. *United Nations Environment Programme*.

Vermande. (2002). La Gestion Intégrée de l'Eau : les enjeux mondiaux et régionaux. In : *Actes du Colloque International*, (pp. 10-19). Por-au-Prince.

Wanélus, F. (2016). *Caractérisation physico-chimique de l'eau destinée à la consommation humaine*. Haïti: Travail de Fin d'Etudes.

WHO, W. H. (2004). Guidelines for drinking-water quality. Geneva. *World Health Organization*.

Worldpopulation. (2024). Bujumbura population. <https://worldpopulationreview.com/world-cities/bujumbura-population>.

Yapo, O., Mambo, V., Seka, A., & Ohou, M. (2010). Évaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan. *Int. J. Biol. Chem Sci.*, 4 (2), 289-307.

<https://www.iwacu-burundi.org/lurgence-de-proteger-le-lac-tanganyika/> consulté le 20/06/2024

[https://www.diproclean.com/inondation-eau-potable-qualite-puits-pxl-167\\_215.html](https://www.diproclean.com/inondation-eau-potable-qualite-puits-pxl-167_215.html) consulté le 14/11/2024

## ANNEXES

## *Annexe 1 : Fiche d'inventaire des points d'eau*

## *Annexe 2 : Questionnaire ménage*

**Fiche N°**.....

**Date de l'enquête /\_\_/\_/\_/\_/\_/\_/ 2024**

## **0-Identification de l'enquêteur**

Nom et prénoms.....

Contact téléphonique.....

## I-Identification de l'enquêtée

**1-Province.....**

## **2-Commune.....**

### **3-Village/quartier.....**

**4-Nom et prénoms.....**

### **5-Contact téléphonique (whatsapp s'il en a)**

.....

1. Sexes : M /    / F /

## 2. Âges :

- 18-30 ans /\_\_/ ; 31-50 ans /\_\_/ ; Plus de 50 ans /\_\_/

### 3. Niveau d'éducation :

- Aucun /\_\_/ ; Primaire /\_\_/ ; Secondaire /\_\_/ ; Universitaire /\_\_/ ; Alphabétisation /\_\_/

4. Statut de résidence :

- Urbain /\_\_/ ; Périurbain /\_\_/

**Questions sur les inondations :** 5. Avez-vous été affecté par des inondations dans votre région au cours des 10 dernières années ?

- Oui /\_\_/ ; Non /\_\_/

6. Si oui, quelles sont les principales conséquences des inondations dans votre région ? (Cochez toutes les réponses appropriées)

- Dommages aux habitations /\_\_/ ; Pertes de récoltes /\_\_/ ; Manque d'eau potable /\_\_/
- Perturbations des services publics (eau, électricité, etc.) /\_\_/
- Autres (à spécifier) \_\_\_\_\_

7. À quelle fréquence les inondations se produisent-elles dans votre région ?

- Rarement
- Fréquemment

**Questions sur la qualité de l'eau de consommation :** 8. Quelle est la principale source d'eau de consommation dans votre foyer ?

- Robinet d'eau publique
- Forages
- Puits
- Citernes
- Rivière Rusizi
- Lac Tanganyika
- Autre (à spécifier) \_\_\_\_\_

9. Avez-vous remarqué un changement dans la qualité de l'eau de consommation après une inondation ?

- Oui
- Non

10. Si oui, quels types de problèmes de qualité de l'eau avez-vous observés ? (Cochez toutes les réponses appropriées)

- Changement de couleur ou de turbidité

- Odeur ou goût désagréable
- Présence de matières en suspension
- Autres (à spécifier) \_\_\_\_\_

11. Disposez-vous d'informations sur les risques pour la santé associés à la consommation d'eau contaminée après une inondation ?

- Oui /\_\_/ ; Non /\_\_/

12. Traitez-vous l'eau avant de la consommer ?

- Oui /\_\_/ ; Non /\_\_/

- Si oui, quelles sont les techniques de traitement que vous avez utilisées ?  
Aquatab /\_\_/ bouillir /\_\_/ Moringa /\_\_/ Allun /\_\_/

Autres (à préciser)

.....  
.....

13. Comment procurez-vous de l'eau pour vos besoins pendant la période d'inondation ?

- Achat /\_\_/ **Don /\_\_/ Rivière/lac /\_\_/ Puit /\_\_/ Forage /\_\_/ Robinet d'eau publique /\_\_/**

Si Achat, à combien peut-on estimer le prix de 25 litres ? .....

Combien dépensez-vous par jour pour achat d'eau ?

**Questions sur la gestion des ordures :** 14. Où est-ce que vos ordures produites sont jetées ?

1. Décharge\_\_\_\_\_
2. Rivière/lac\_\_\_\_\_
3. Existence de toilettes ?\_\_\_\_\_
3. Autres (à préciser)\_\_\_\_\_

**Questions sur les facteurs contribuant à la contamination de l'eau :** 15. Quels sont, selon vous, les principaux facteurs qui contribuent à la contamination de l'eau de consommation pendant les périodes d'inondation ? (S'il vous plaît, indiquez les trois principaux facteurs)

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

*Annexe 3 : Quelques photos de terrain*



Dégâts causées par l'inondation



Inventaire des points d'eau (Gaharawe à Gatumba)



Flacons utilisés pour les différents prélèvement



Prélèvement d'un échantillon d'eau

