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

Vulnérabilité des Mirwa face aux changements climatiques : Cas de la commune Isare

Nizigiyimana, Chadrac

2021-08
UB, FLSH
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/109

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

MASTER EN SOCIETES, POUVOIRS, TERRITOIRES ET DEVELOPPEMENT DURABLE

VULNERABILITE DES MIRWA FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : Cas de la commune Isare

Par :

NIZIGIYIMANA Chadrac

Mémoire

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

Option : Aménagement

Identification des membres du jury :

Président du jury : Dr. Ir. SINDAYIHEBURA Bernard

Directeur de mémoire : Prof. SABUSHIMIKE Jean Marie

Secrétaire du Jury : Dr. NKUNZIMANA Athanase

Bujumbura, Août 2021

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Président du jury : Dr. Ir. SINDAYIHEBURA Bernard

Directeur de mémoire : Prof. SABUSHIMIKE Jean Marie

Secrétaire du Jury : Dr. NKUNZIMANA Athanase

DEDICACES

A nos chers parents : **Regretté NAHIMANA Albert** et **NTIRABAMPA Euphémie** ;

A nos frères et sœurs ;

A **MWARAMA Modeste ;**

A la famille **NZIRUBUSA Révérien** ;

Nous dédions ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je serais ingrat de ne pas exprimer mes sincères remerciements à l'endroit des personnes qui, de près ou de loin ont contribué à sa réalisation.

Mes sentiments de gratitude vont en premier lieu à l'endroit du Professeur SABUSHIMIKE Jean Marie qui a accepté de diriger le présent travail malgré ses multiples obligations. Sa rigueur scientifique, ses conseils et sa franche collaboration m'ont été d'une importance capitale. N'eût été son coup de main, ce travail n'aurait pas eu lieu.

Notre reconnaissance va également à l'endroit du Directeur Général de l'OBPE pour le stage pratique accordé et par conséquent l'accès aux données disponibles au sein de l'OBPE et spécialement dans la Direction de l'Environnement et du Changement Climatique.

Mes vifs remerciements vont également à l'endroit de tous mes éducateurs en master en général, et plus particulièrement en master II.

Je tiens enfin à remercier sincèrement le Directeur Général de l'IGEBU qui m'a accordé la permission d'avoir accès aux données disponibles au sein de cet institut et le personnel de la commune Isare qui nous a accordé la permission de faire le terrain sur toute l'étendue de la commune.

A tous ceux qui m'ont prêté main forte au cours de mes études, je leur dis sincèrement merci.

NIZIGIYIMANA Chadrac

RESUME

La région des Mirwa est particulièrement vulnérable aux changements climatiques. Plusieurs facteurs sont à la base de cette vulnérabilité. Il s'agit des facteurs naturels ou physiques et des facteurs humains ou les activités anthropiques.

A ces facteurs s'ajoutent la démographie galopante ou explosion démographique mais aussi la mauvaise gouvernance spécialement dans le domaine de l'environnement ou manque de l'autorité environnementale. Ce sont ces facteurs qui aggravent les conséquences néfastes des changements climatiques sur l'environnement.

La région des Mirwa a toujours été victime de ces changements climatiques qui se manifestent souvent sous forme d'érosion hydrique. Cette dernière étant intense, cause des dégâts énormes.

La commune Isare est particulièrement touchée par la vulnérabilité liée aux changements climatiques. Il en résulte plusieurs glissements, les effondrements des berges, la destruction des infrastructures socio-économiques, la diminution des récoltes sans oublier la perte des vies humaines.

A titre d'exemple, en 2014, des glissements de terrain dus à une forte pluie ont eu lieu sur 45% de la commune Isare sur les collines à pente longue et raide dont Kibuye, Sagara, Karunga, Kwigere, Gishingano, Benga et Caranka, occasionnant 70 morts, 150 blessés graves, 200 blessés légers, 200 maisons détruites, 6000 sans-abris, 3 ponts détruits, 150 animaux domestiques tués (vaches, moutons, chèvres, porcs et poules). Ces glissements ont également déraciné des arbres, emporté 400 ha de cultures et coupé les pistes et routes.

Devant une telle situation, le gouvernement, les organisations et associations opérant dans le domaine de l'environnement ainsi que la population ne peuvent pas rester bras croisés. Quelques efforts ont été fournis mais il reste encore un long parcours.

Pour atténuer durablement la vulnérabilité de la région des Mirwa en général et de la commune Isare en particulier, il convient alors d'utiliser les techniques modernes de protection des bassins versants adaptées à chaque type de terrain et maitriser la démographie.

« ***Vaut mieux prévenir que guérir*** ». Les aménagements durables qu'on aura réalisés en amont ne profiteront pas seulement aux populations des régions des Mirwa mais aussi à la ville de Bujumbura en aval.

Bref, la stabilisation des régions des Mirwa protègera impérativement et durablement la ville de Bujumbura.

ABSTRACT

The Mirwa region is particularly vulnerable to climate change. Several factors are at the root of this vulnerability. These are natural or physical factors and human factors or anthropogenic activities.

To these factors are added the galloping demography or demographic explosion but also the bad governance especially in the field of the environment or the lack of environmental authority. It is these factors that exacerbate the negative consequences of climate change on the environment.

The Mirwa region has always been the victim of these climatic changes which often manifest themselves in the form of water erosion. The latter being intense, causes enormous damage.

The commune of Isare is particularly affected by the vulnerability linked to climate change. This results in several landslides, bank collapses, the destruction of socio-economic infrastructure, reduced harvests, not to mention the loss of human life.

As an example, in 2014, landslides due to heavy rain have occurred in the municipality of Isare on 45% of the hills with long and steep slopes including Kibuye, Sagara, Karunga, Kwigere, Gishingano, Benga and Caranka, causing 70 dead, 150 seriously injured, 200 slightly injured, 200 destroyed houses, 6000 homeless, 3 destroyed bridges, 150 killed domestic animals (cows, sheep, goats, pigs and chickens). The landslides have uprooted trees, washed away crop trees and cut off tracks and roads.

Faced with such a situation, government, environmental, organizations and associations operating in the field of environment as well as the population cannot remain idle. Some efforts have been made but there is still a long way to go.

To sustainably attenuate the vulnerability of the Mirwa region in general and the Isare commune in particular, it is therefore necessary to use modern watershed protection techniques adapted to each type of terrain and to control the demography.

« Prevention is better than cure ». The sustainable development carried out upstream will not only benefit the populations of the Mirwa regions but also Bujumbura city downstream.

In short, the stabilization of the Mirwa regions will imperatively and durably protect the city of Bujumbura.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY ..... **i**

DEDICACES ..... **ii**

REMERCIEMENTS ..... **iii**

RESUME ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

TABLE DES MATIERES ..... **vi**

LISTE DES TABLEAUX ..... **x**

LISTE DES FIGURES ..... **xi**

LISTE DES PHOTOS ..... **xii**

LISTE DES CARTES ..... **xiii**

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **xiv**

AVANT-PROPOS ..... **xv**

0. INTRODUCTION GENERALE **1**

0.1. Problématique 1

0.2. Hypothèses 2

0.3. Intérêt du Sujet et objectif 2

CHAPITRE I : CADRE CONCEPTUEL ET THEORIQUE **3**

I.1. Cadre conceptuel 3

I.1.1. Altération des roches 3

I.1.2. Bassins versants 3

I.1.3. Changement climatique 4

I.1.4. Développement durable 4

I.1.5. Erosion hydrique 4

I.1.5.1. Erosion en nappes 4

I.1.5.2. Erosion en rigole 5

I.1.5.3. Erosion par ravinement 5
I.1.6. Géomorphologie 5
I.1.6.1. Géomorphologie structurale 5
I.1.6.2. Géomorphologie climatique 5
I.1.7. Mouvements de terrain 6
I.1.8. Résilience 6
I.1.9. Variabilité climatique 6
I.1.10. Vulnérabilité 6
I.2. Cadre théorique 7
I.2.1. Développement durable 7
I.2.1.1. Principes du développement durable 7
I.2.1.2. Piliers du développement durable 8
I.2.1.3. Finalités du développement durable 10
I.2.2. Vulnérabilité et prévention des risques 10
I.2.2.1. Vulnérabilité 10
I.2.2.2. Prévention des risques 11
I.2.3. Changements climatiques 12
I.2.3.1. Changements climatiques au Burundi 12
I.2.3.2. Causes des changements climatiques 13
I.2.3.3. Réduction des gaz à effet de serre 14
I.2.3.4. Adaptation aux changements climatiques 14
CHAPITRE II : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE ET MATERIELS ET METHODES 17
II.1. Présentation générale de la zone d'étude 17
II.1.1. Régions naturelles 17
II.1.2. Prédispositions naturelles des Mirwa 20

II.1.2.1. Géomorphologie structurale des Mirwa 20
II.1.2.2. Nature géologique des Mirwa et de la commune Isare 20
II.1.3. Situation géographique de la commune Isare 22
II.1.4. Prédisposition naturelle de la commune Isare 23
II.1.4.1. Hydrographie 23
II.1.4.2. Climat 24
II.1.5. Environnement humain de la commune Isare 26
II. 2. Matériels et méthodes 31
II.2.1. Consultation des documents 31
II.2.2. Analyse du paysage par télédétection 32
II.2.3. Visite de terrain 32
II.2.4. Entretien qualitatif 32
II.2.5. Utilisation des logiciels 34
II.2.6. Prise des photos 34
II.2.7. Equation universelle des pertes en terre 35
II.2.8. Synthèse de la méthodologie de la recherche 37
CHAPITRE III : PRESENTATION, ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS 38
III.1. Présentation des résultats 38
III.1.1. Vulnérabilité des paysages physiques 39
III.1.1.1. Perte en terres (sols) 40
III.1.1.2. Glissements de terrain 42
III.1.1.3. Effondrement des berges 45
III.1.2. Vulnérabilité des paysages humains 47
III.1.2.1. Destruction des infrastructures et la perte des vies humaines 47
III.1.2.2. Diminution accrue des récoltes 50

III.2. Analyse et discussion des résultats 51
III.2.1. Facteurs naturels ou physiques 51
III.2.1.1. La tectonique 52
III.2.1.2. Altération des roches 53
III.2.1.3. Erosion hydrique 55
III.2.2. Facteurs humains 56
III.2.2.1. Destruction du couvert végétal 57
III.2.2.2. Pression humaine sur les ressources naturelles 58
III.2.3. Analyse de l'équation universelle de Wischmeier 62
III.2.4. Points de vue de la population vulnérable 63
III.2.5. Hiérarchisation des risques majeurs en commune Isare 64
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 66
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2. 1 : Données climatiques de la Commune ISARE en 2018 25

Tableau 2.2 : Population de Bujumbura rurale en 2008 et en 2021 26

Tableau 2. 3 : Population de la commune Isare 1979-2008 28

Tableau 2.4 : Evolution de la population et de la densité de la commune Isare 29

Tableau 3.1 : Evénements liés aux variabilités climatiques 42

Tableau 3.2 : Destruction des infrastructures scolaires 47

Tableau 3.3 : Techniques de protection des sols adaptées à chaque type de terrain 61

Tableau 3.4 : Vulnérabilité des régions à très forte pente 62

Tableau 3.5 : Causes de la dégradation du sol dans la région des Mirwa 63

Tableau 3.6: Hiérarchisation des risques majeurs en commune Isare 64

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Piliers du développement durable 9

Figure 1.2 : Interaction entre vulnérabilité, aléa géomorphologique et risque 11

Figure 1.3 : Proposition de schéma du processus d'adaptation 15

Figure 2.1: Evolution du climat de la commune Isare en 2008 25

Figure 2.2: Population de Bujumbura en 2008 et 2011 27

Figure 2.3 : La population de la commune Isare 1979-2008 29

Figure 2.4 : Evolution de la population de la commune Isare 30

Figure 2.5 : Synthèse de la méthodologie de la recherche 37

Figure 3.1 : Processus de l'altération, érosion et sédimentation 53

Figure 3.2 : Processus de l'érosion hydrique (pluviale) 55

Figure 3.3 : Causes de la dégradation du sol 64

LISTE DES PHOTOS

Photo 3.1 : Destruction des champs en zone Benga (Mars, 2020) 38
Photo 3.2 : Effondrement d'une partie du remblai et de l'accotement de la plateforme routière sur la RN1 à Muberure en 2014 39
Photo 3.3 : Insuffisance du couvert végétal à Rushubi 40
Photo 3.4 : Eboulement des talus de déblai ayant provoqué l'effondrement de la chaussée sur la RN1 (Muberure) 41
Photo 3.5 : Destruction des maisons dans les zone Rushubi et Benga, Mars 2020 43
Photo 3.6 : Glissement de terrain à Sagara en Zone Kibuye (Décembre, 2018) 43
Photo 3.7 : Glissement de terrain à Cirisha, zone Rushubi 44
Photo 3.8 : Glissement de terrain à Sagara, Zone Kibuye 44
Photo 3.9 : Effondrement des berges de la rivière Nyabagere dans la zone Nyambuye 46
Photo 3.10 : Effondrement des berges de la Ntahangwa à Nyarukere, zone Kibuye 46
Photo 3.11 : Destruction de la route Rushubi- Kibuye, colline Nyarukere 48
Photo 3.12 : Destruction des champs à Sagara (2016) 49
Photo 3.13 : Forte pente dans la commune Isare, zone Nyambuye 52
Photo 3.14 : Roches meubles et très altérables à Gasekebuye 54
Photo 3.15 : Destruction d'une maison construite dans une zone de glissement de terrain à Benga, 2020 56
Photo.3.16 : Dégradation du couvert végétal à sous colline Sheshaka, zone Nyambuye 57
Photo 3.17: Extraction des matériaux de construction dans la Ntahangwa à Nyarukere 59
Photo 3.18 : Extraction des matériaux de construction à Nyarusagamba en 2018, Zone Benga 59
Photo 3.19 : Etalement urbain vers les escarpements des Mirwa (Zone Gihosha) 60

LISTE DES CARTES

Carte 2.1 : Carte des régions naturelles du Burundi 17

Carte 2.2 : Carte des différentes altitudes des régions naturelles du Burundi 19

Carte 2.3 : Carte géologique de la commune Isare 21

Carte 2.4 : Carte administrative de la commune Isare (zone spécifique de notre étude) 22

Carte 2.5 : Densité hydrographique de la Commune Isare 24

Carte 3.1: Carte des principaux glissements de terrain dans la commune Isare 45

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

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

APRN/BEPB : Association Protection des Ressources Naturelles pour le Bien-Etre de la Population au Burundi

ASBL : Association Sans But Lucratif

BEPEF : Bureau d'Etude des Programmes de l'Enseignement Fondamental

CCNUCC : Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GES : Gaz à Effet de Serre

GIE : Gestion Intégrée de l'Environnement

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

IGEBU : Institut Géographique du Burundi

INECN : Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature

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

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

OAP : Organisation d'Appui à l'Autopromotion

OBPE : Office Burundais pour la Protection de l'Environnement

ONERC : Observation Nationale sur les Effets du Réchauffement Climatique

PANA : Programme d'Action Nationale d'Adaptation

PIB : Produit Intérieur Brut

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

RN : Route Nationale

s. d. : sans date

s. l. : sans lieu

SPTD : Sociétés, Pouvoirs, Territoires et Développement Durable

UB : Université du Burundi

ULB : Université Libre de Bruxelles

AVANT-PROPOS

Ce mémoire de fin des études de master est intitulé : « vulnérabilité des Mirwa face aux changements climatiques, cas de la commune Isare ». Le choix de ce sujet de recherche n'est pas le fruit du hasard. L'inspiration provient de notre préoccupation principale qui est l'aménagement compatible avec l'environnement.

En effet, les changements climatiques contribuent à la dégradation de l'environnement physique et humain et surtout sur des terrains à forte pente comme c'est le cas de la région des Mirwa. Isare est la commune frontalière de la capitale économique du Burundi. Cette dernière subit quelques fois les conséquences de la dégradation environnementale en provenance de la région des Mirwa en général et de la commune Isare en particulier.

Le but du travail est alors celui de montrer la vulnérabilité des zones rurales en amont de la ville de Bujumbura afin de mettre en place des aménagements visant la protection de ces zones à forte pente. Cela pourra atténuer les impacts négatifs des changements climatiques sur la Mairie de Bujumbura.

Quelques difficultés ont été rencontrées lors de la réalisation de ce travail car les documents en rapport avec notre zone d'étude sont peu nombreux. De même, la visite de terrain n'est pas facile à cause des routes de mauvaise qualité et surtout du relief accidenté qui n'est quelques fois accessible qu'à pied et difficilement. Mais, pour s'adapter à cette difficulté, une analyse du paysage par télédétection via Google Earth a été utilisée.

0. INTRODUCTION GENERALE

Le relief du Burundi est caractérisé par les plaines, les escarpements, les hautes montagnes, les plateaux et les dépressions. Ces éléments montrent bien l'image de la géomorphologie structurale de ce pays.

L'élément du relief sur lequel il convient de mettre un accent particulier est celui des escarpements ou des bassins versants à forte pente qui sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques.

En effet, le degré de la pente et sa longueur est l'un des facteurs de l'érosion hydrique en cas d'excès pluviométriques. Pour notre cas, il s'agit de la région des Mirwa en général et de la commune Isare en particulier.

0.1. Problématique

La région des Mirwa connaît une instabilité considérable et généralisée de ses bassins versants en amont aussi bien qu'en aval. La sensibilité des roches des Mirwa à l'altération physique et surtout à l'altération chimique constitue une menace environnementale très redoutable.

Cette situation est aggravée par les changements climatiques se manifestant surtout par les précipitations abondantes. Ces dernières sont à craindre car elles occasionnent souvent des conséquences catastrophiques.

Les secteurs socio-économiques les plus vulnérables sont :

- Le secteur des ressources en eau ;
- Le secteur de l'agriculture ;
- Le secteur de l'énergie ;
- Le secteur de transport et le secteur de la santé.

La vulnérabilité des paysages est remarquable sur les versants à forte pente des Mirwa, dans les cours d'eau qui traversent cette région affectant la ville de Bujumbura ainsi que le lac Tanganyika.

A ce propos, il convient de se poser plusieurs questions dont les principales sont les suivantes :

Quels sont les manifestations de la vulnérabilité des Mirwa et spécialement de la Commune Isare face aux changements climatiques ? Quelles sont les principaux facteurs de cette vulnérabilité.

0.2. Hypothèses

- ✓ L'érosion hydrique occasionnée par les changements climatiques provoque la dégradation de l'environnement physique et humain de la commune Isare.
- ✓ Les prédispositions naturelles et les activités anthropiques sont des facteurs de la vulnérabilité de la région des Mirwa et surtout de la commune Isare face aux changements climatiques.

0.3. Intérêt du Sujet et objectif

Le choix du sujet et de la zone d'étude : « Vulnérabilité des Mirwa face aux changements climatiques, cas de la commune Isare » n'est pas le fruit du hasard.

Il émane d'une analyse minutieuse des manifestations des changements climatiques dont souffre la ville de Bujumbura, capitale économique du Burundi.

Les catastrophes occasionnées par les excès pluviométriques et qui causent des pertes énormes dans la Mairie de Bujumbura sont l'une des origines de notre inspiration.

La question qui se pose est celle de savoir pourquoi Bujumbura est très vulnérable aux changements climatiques et quels sont les facteurs externes qui aggravent la situation.

Après certaines observations de la disposition des paysages, d'un côté le bloc affaissé où se trouve Bujumbura Mairie et d'un autre côté le bloc soulevé où se localise la région des Mirwa avec ses escarpements, une réflexion à murir à l'aide de la recherche s'est imposée.

La commune Isare a été préférée car elle est limitrophe de la ville de Bujumbura et surtout frontalière de la commune Ntahangwa dont une partie est très vulnérable à l'érosion hydrique émanant de l'amont et aboutissant le plus souvent aux glissements de terrain, à l'effondrement des berges, inondations, la destruction des infrastructures mais aussi la perte des vies humaines.

Notre objectif est alors celui de démontrer les facteurs et la manifestation de la vulnérabilité face aux changements climatiques dans le milieu rural à forte pente. La ville de Bujumbura étant indirectement la plus exposée aux conséquences néfastes de cette vulnérabilité.

CHAPITRE I : CADRE CONCEPTUEL ET THEORIQUE

Ce chapitre est subdivisé en deux principaux points : le premier concerne le cadre conceptuel ou la définition des concepts-clés et le second (cadre théorique) traite des notions générales en rapport avec notre étude.

I.1. Cadre conceptuel

Pour bien comprendre le contenu de ce travail, il convient de connaître clairement les concepts de base qui reviennent dans le développement de ce travail. Ces concepts sèment souvent des confusions et c'est pour cette raison qu'il est préférable de les éclaircir.

I.1.1. Altération des roches

Qu'est-ce qu'altérer ? C'est « rendre autre », nous dit l'Académie Française. Altérer une roche, c'est donc rendre cette roche autre, la « modifier dans sa nature, dans sa constitution ». Au sens large, selon DEHOUCK (2012), l'altération englobe l'ensemble des modifications physicochimiques que peut subir une roche, sous l'effet des agents atmosphériques ou des eaux de surface ou thermales.

Dans son sens plus restreint, l'altération désigne uniquement les modifications d'ordre chimique et leurs conséquences au niveau minéralogique. Les modifications d'ordre physique sont quant à elles regroupées sous le terme d'érosion, ou plus rarement d'altération mécanique (DEHOUCK, 2012).

I.1.2. Bassins versants

Zone géographique drainée par un cours d'eau. Le concept s'applique à diverses échelles, de l'exploitation agricole drainée par une crique à un grand bassin fluvial (FAO, 2006).

Le bassin versant correspond, en principe, à l'unité géographique sur laquelle se base l'analyse du cycle hydrologique et de ses effets.

Le bassin versant est une surface élémentaire en théorie hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire.

Le bassin versant topographique est limité par une ligne de partage des eaux, mais celui-ci peut différer du bassin versant réel à cause des circulations souterraines ou à cause d'effets anthropiques (https://echo2.epfl.ch, le bassin versant et son complexe, page consultée le 5/9/2020 à 11:00).

I.1.3. Changement climatique

Selon le GIEC (2007), le changement climatique est considéré comme une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine.

Cette définition diffère de celle figurant dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), selon laquelle les changements climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

I.1.4. Développement durable

D'après le rapport Brundlandt « Our Common Future » publié en 1987, le développement durable se définit comme suit : « Le développement durable est un développement répondant aux besoins actuels sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ».

I.1.5. Erosion hydrique

L'érosion hydrique est définie comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers le lieu de dépôt. La pluie (hauteur, intensité, fréquence) et le ruissellement diffus sont à l'origine du splash, du transport et du dépôt de la terre enlevée. La vitesse de l'eau est le facteur prépondérant de l'action du ruissellement superficiel.

I.1.5.1. Erosion en nappes

L'érosion en nappes, bien qu'étant la plus discrète n'en est pas moins redoutable. L'énergie cinétique d'une goutte de pluie se transforme à l'impact en énergie mécanique capable de déplacer les particules du sol.

Même sur une pente très faible, l'eau ruisselant en surface suit les lois de la gravitation et se dirige vers le bas de la pente. Une particule de sol retombant après un petit voyage aérien sera donc soumise au flux de l'eau et déplacée.

De proche en proche, d'énormes quantités de terre migrent ainsi de manière insidieuse vers le bas des pentes.

Les particules plus volumineuses de taille supérieure à 2 mm ne sont pas entraînées et restent donc sur place. C'est ainsi que les sommets des pentes débarrassés des portions fines laissent apparaître graviers et pierres déchaussés.

I.1.5.2. Erosion en rigole

L'érosion en rigoles est déjà plus inquiétante et s'amorce sur des pentes un peu plus fortes quand un sol détrempé subit de fortes pluies. Dans ce cas, l'eau converge vers les points bas, les thalwegs, et prend de la vitesse.

De ce fait, elle devient capable de prélever et de transporter davantage de particules ; sa densité augmente et corrélativement, sa puissance érosive.

Elle creuse alors des rigoles pouvant atteindre plusieurs décimètres de profondeur, amorçant un phénomène d'érosion régressive. Dans ce cas, même des pierres de quelques centimètres peuvent être transportées.

I.1.5.3. Erosion par ravinement

Le ravinement est beaucoup plus grave puisque dans ce cas particulier, le sol est entièrement évacué et la roche-mère, si elle est meuble, est profondément entaillée. Il se manifeste dans toutes les régions où ont lieu des épisodes pluvieux intenses et quand les pentes sont suffisamment fortes.

En effet, les ravins peuvent atteindre couramment plusieurs mètres de profondeur (PAUTROT, 2012).

I.1.6. Géomorphologie

La géomorphologie décrit et s'efforce d'expliquer les formes du relief terrestre.

I.1.6.1. Géomorphologie structurale

La géomorphologie structurale étudie les formes de relief dans ses rapports avec la structure géologique. La relation structure-relief impose sa marque dans les formes de paysages envisagés de façon statique.

I.1.6.2. Géomorphologie climatique

La géomorphologie climatique prête plus d'attention à la spécificité des processus d'érosion, en rapport avec les climats actuels et anciens qui conditionnent, pour une même structure, l'apparition de formes différentes.

La conjonction des processus érosifs propres à un climat ou à une succession de climats sur une structure donnée explique le caractère dynamique des paysages.

Le paysage morphologique, dominé par des formes résiduelles d'ablation et d'accumulation perd alors sa logique structurale et ne peut plus s'interpréter qu'en termes de géomorphologie climatique (http : //horizon.documentation.ird.frs, page consultée le 3/9/2020).

I.1.7. Mouvements de terrain

Les mouvements de terrain sont des déplacements (avec ou sans rupture) vers l'aval de masses rocheuses compactes ou désagrégées et/ou de terrain meuble (sols y compris) et d'eau, sous l'effet de la gravité.

Ils comprennent principalement les processus d'éboulement (chute de pierres et de blocs, éboulement et écroulement), les glissements de terrain et les coulées de terre.

Ils peuvent se produire de façon rapide et brutale (éboulements), ou se dérouler lentement et de façon continue (LATELTIN, 1997).

I.1.8. Résilience

Capacité d'un système social ou écologique d'absorber des perturbations tout en conservant sa structure de base et ses modes de fonctionnement. La capacité de s'organiser et la capacité d'adaptation au stress et aux changements (BOUREIMA & al, 2012).

I.1.9. Variabilité climatique

Phénomènes extrêmes à plus court terme, notamment les ouragans tropicaux, l'oscillation australe El Nino et l'oscillation de l'Atlantique Nord. La variabilité peut être due à des processus naturels inhérents au système climatique (variabilité climatique), ou à des variations naturelles ou anthropiques externes : vulnérabilité externe (MEEATU, 2013).

I.1.10. Vulnérabilité

Du latin vulnus, vulneris (la blessure) et vulnerare (blesser), le vulnérable est selon le dictionnaire Larousse, celui qui peut être blessé, frappé, qui peut être facilement atteint, qui se défend mal. Le terme a pour synonymes fragile et sensible.

Mesure dans laquelle, un système est sensible ou incapable de faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (MEEATU, 2013).

I.2. Cadre théorique

Certaines notions générales en rapport avec notre sujet d'étude sont à développer. Il s'agit du développement durable, de la vulnérabilité et surtout du changement climatique.

I.2.1. Développement durable

Trois points seront abordés à savoir le principe du développement durable, les Piliers du développement durable et les finalités du développement durable.

I.2.1.1. Principes du développement durable

Le développement durable vise à traduire dans des politiques et des pratiques un ensemble de 27 principes, énoncés à la Conférence de Rio en 1992. Parmi ces principes, on peut signaler :

- ✓ **Responsabilité**

Elle s'exerce aux niveaux individuel et collectif. Au niveau international, étant donné la diversité des rôles joués dans la dégradation de l'environnement mondial, les Etats ont des responsabilités communes mais différenciées.

Les pays développés admettent la responsabilité qui leur incombe dans l'effort international en faveur du développement durable.

Exemple : les pays riches, principaux responsables du changement climatique global, s'engagent à des quotas de réduction de leurs émissions de gaz à effet de serre. La responsabilité induit d'autres applications comme le principe de pollueur-payeur (désignant les pollueurs à qui l'ont fait payer économiquement parlant leur pollution), celui de réparation des dommages causés.

- ✓ **Solidarité**

Dans le temps : entre les générations présentes et futures. Ainsi, les choix du présent doivent être effectués en tenant compte des besoins des générations à venir, de leur droit à vivre dans un environnement sain.

Dans l'espace : entre le Nord et le Sud, l'Est et l'Ouest, entre régions pauvres et régions riches, entre milieu urbain et rural etc.

- ✓ **Participation**

Ce principe vise à mettre en œuvre des processus d'information transparente et pluraliste, de consultation, de débat public, de gestion des conflits, en intégrant tous les acteurs concernés à tous les niveaux de décision, du local à l'international.

✓ **Précaution**

En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement.

La précaution diffère de la prévention, qui analyse par exemple le rapport entre coût de dépollution et bénéfices en termes d'emplois créés. En matière de précaution, face aux risques, on agit pour rendre les choix réversibles, sans évaluer les coûts.

✓ **Subsidiarité**

La prise de décision et la responsabilité doivent revenir à l'échelon administratif ou politique le plus bas en mesure d'agir efficacement. Les règles internationales devraient être adaptées aux contextes locaux et sous régionaux.

Le développement durable et ses principes s'appliquent à toutes les activités et tous les secteurs. On parle ainsi de santé durable, de ville durable, de gestion durable des forêts, de modes de production et de consommation durables (http://www.adequations.org/spip.php, page consultée le 10/5/2021).

I.2.1.2. Piliers du développement durable

Le développement durable ne se réduit pas à la protection de l'environnement. Il est fondé sur trois piliers, trois composantes interdépendantes :

- La dimension environnementale ;
- La dimension sociale ;
- La dimension économique.

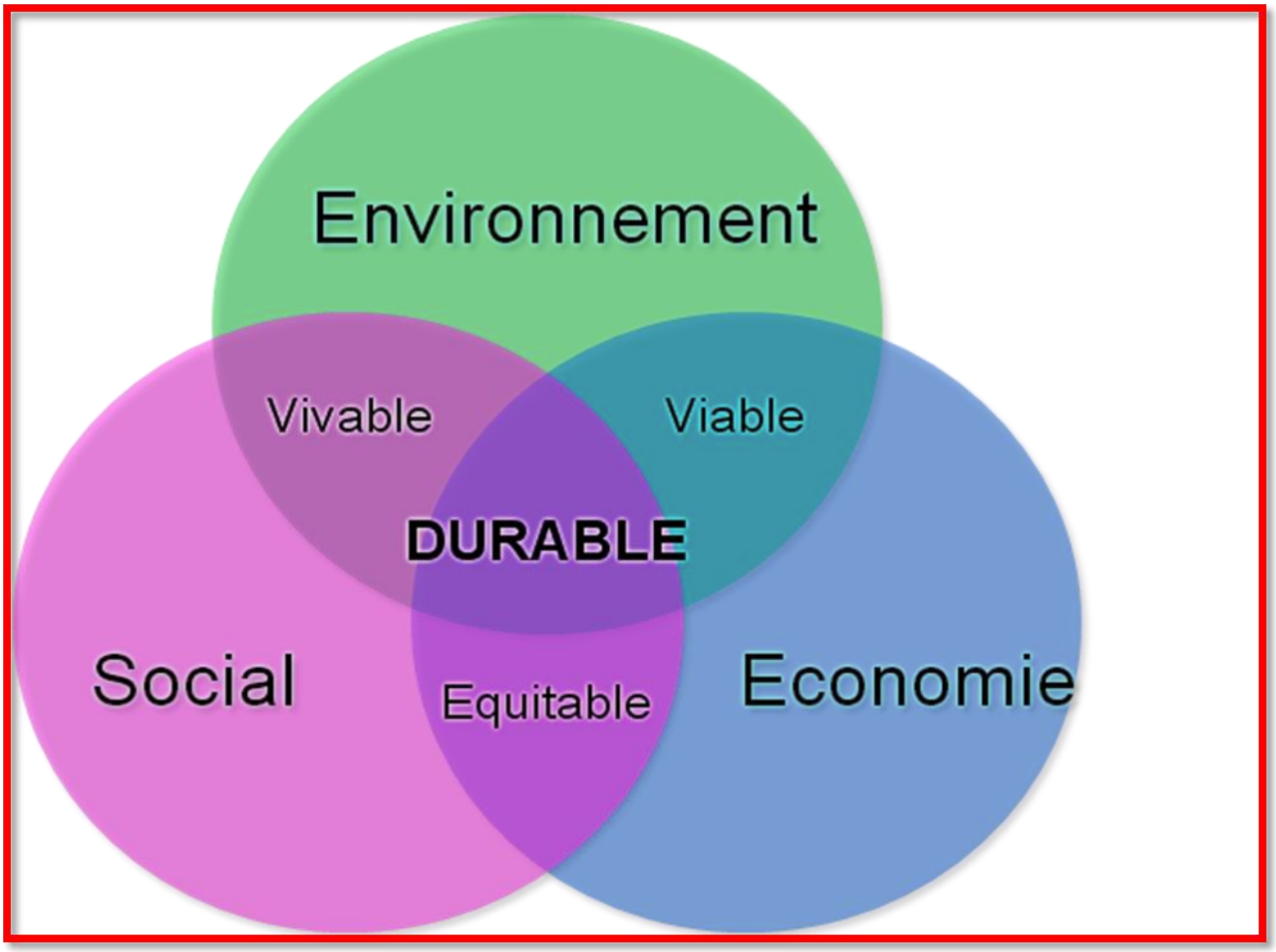


Figure 1.1 : Piliers du développement durable

Source : (https://www.3-0.fr/doc-ddles, page consultée le 5/5/2021)

Le développement durable doit être à la fois économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable. Le social doit être un objectif, l'économie un moyen et l'environnement une condition. Le développement est « durable » s'il est conçu de manière à en assurer la pérennité du bénéfice pour les générations futures.

- **Le pilier économique** : le développement durable implique la modification des modes de production et de consommation en introduisant des actions pour que la croissance économique ne se fasse pas au détriment de l'environnement et du social.
- **Le pilier social ou encore le pilier humain** : le développement durable englobe la lutte contre l'exclusion sociale, l'accès généralisé aux biens et aux services, le développement du commerce équitable et autres.

- **Le pilier environnemental** : dans les pays industrialisés, l'environnement est l'une des principales préoccupations. Ils consomment et produisent trop de déchets. Il s'agit de rejeter les actes nuisibles à notre planète pour que notre écosystème, la biodiversité, la faune et la flore puissent être préservées.

I.2.1.3. Finalités du développement durable

- La lutte contre le changement climatique et la protection de l'atmosphère ;
- La préservation de la biodiversité, des milieux et des ressources ;
- La cohésion sociale et la solidarité entre les territoires et entre les générations ;
- L'épanouissement de tous les êtres humains ;
- Une dynamique de développement suivant des modes de production et de consommation responsables.

Chaque finalité est transversale aux enjeux sociaux, environnementaux et économiques, piliers du développement durable (https://www.3-0.fr/doc-ddles, page consultée le 5/5/2021).

I.2.2. Vulnérabilité et prévention des risques

En cas de la vulnérabilité d'une région, il s'avère nécessaire de conscientiser suffisamment la population environnante en vue d'adopter une bonne gestion des catastrophes qui peuvent se produire et pour une meilleure adaptation.

I.2.2.1. Vulnérabilité

La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation (MEEATU, 2013). Il s'agit des facteurs physiques comme la morphologie, la pente, la nature géologique et la quantité de pluie.

A cela s'ajoutent les facteurs humains dont la pression démographique ou les activités anthropiques.

Le risque = vulnérabilité + aléa

L'aléa est défini comme étant la probabilité qu'un événement naturel se produise au cours d'une période déterminée.

Le risque quant à lui est considéré comme un danger éventuel plus ou moins prévisible. (https:// laviedesidees/ le concept de vulnérabilité, page consultée le 25/6/2021).

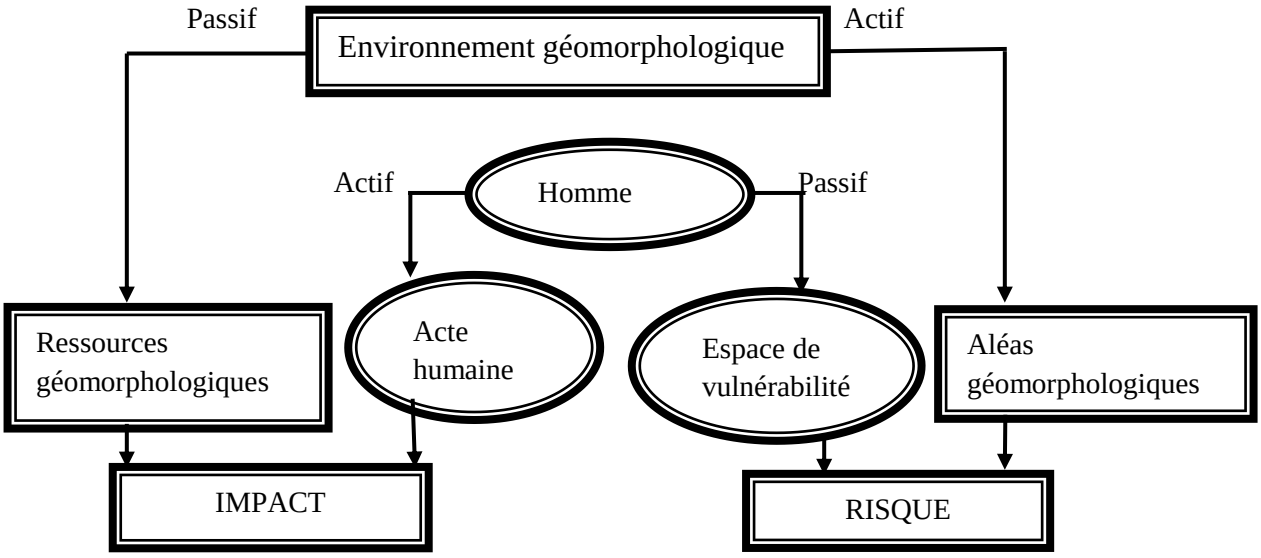


Figure 1.2 : Interaction entre vulnérabilité, aléa géomorphologique et risque

Source : REYNARD & PRALONG (2004)

La géomorphologie et toute activité humaine entretiennent une double relation d'impact et de risque. L'environnement géomorphologique peut jouer un rôle passif de réservoir de ressources naturelles pour la société ; en ce sens une activité humaine peut créer des impacts sur l'environnement géomorphologique.

L'environnement géomorphologique peut avoir un rôle actif en termes de processus géomorphologiques, d'aléa géomorphologique profitant de l'espace vulnérable et finalement, s'il y a interaction avec des activités ou des infrastructures humaines, on aboutit au risque (REYNARD & PRALONG, 2004).

En effet, d'un côté, l'environnement géomorphologique (passif) peut être stable mais, à cause des activités humaines, les ressources géomorphologiques deviennent menacées et subissent ainsi des impacts négatifs.

De l'autre côté, sans aucune intervention de l'être humain, l'environnement géomorphologique (actif) peut présenter naturellement un alea géomorphologique et cela constitue un grand risque sur cet espace de vulnérabilité.

I.2.2.2. Prévention des risques

Le principe de prévention s'applique pour toute situation à risque connu et comportant des dommages prévisibles.

La prévention est un des moyens d'intervention privilégiés de l'action publique notamment dans les domaines de l'environnement, de la santé, de la sécurité routière ou de l'action sociale.

Le principe de prévention concerne également chacun d'entre nous au quotidien, en particulier lorsque nous agissons prudemment afin d'éviter tout accident (DIDIER, 2012).

La prévention des risques et la gestion des catastrophes nécessitent des mécanismes institutionnels adéquats pour soutenir un plan de gestion des risques de catastrophes.

Ce plan est centré sur l'ensemble des politiques de réduction de la vulnérabilité. Il implique également la disponibilité des ressources financières, le climat favorable aux consultations avec les différentes parties prenantes et la participation de la communauté.

Pour s'assurer de l'intégration de la réduction des risques de catastrophes, il est essentiel que dans la planification physique des paysages soient intégrés des aspects relatifs à la planification socio-économique et environnementale afin de promouvoir une utilisation rationnelle des sols, un développement ordonné des aménagements du territoire, une protection stricte des infrastructures ainsi que la sécurité publique (SABUSHIMIKE, 2018).

I.2.3. Changements climatiques

Le concept de changement climatique est un concept d'actualité sur lequel il existe beaucoup de discussions.

I.2.3.1. Changements climatiques au Burundi

Au Burundi, le changement climatique est une réalité dont les conséquences se font sentir depuis quelques temps. Plusieurs régions ont connu une rupture nette des séries pluviométriques et hydrométriques.

Le déficit pluviométrique s'est notamment traduit par l'aggravation de l'aridité et la réduction significative des principales zones humides et le tarissement de sources et asséchement des rivières et les lacs et surtout les lacs du Nord (Cohoha).

Les pluies torrentielles, les températures extrêmes sont aussi des phénomènes climatiques qui révèlent aujourd'hui la vulnérabilité de plus en plus grandissante de notre pays.

La baisse de la production, les pertes en vies humaines, les inondations répétitives, les glissements de terrain, l'augmentation des risques de maladies, la perte de la biodiversité, etc. sont autant de conséquences enregistrées au Burundi suite aux perturbations climatiques.

Dans ce contexte, l'élaboration d'une politique nationale en matière de lutte contre le changement climatique s'impose en vue de proposer des mesures et des activités prioritaires visant à réduire les effets néfastes du changement climatique à travers différents secteurs socio-économiques les plus vulnérables du pays.

La politique nationale sur le changement climatique s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre de la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique et du Protocole de Kyoto auxquels le Burundi fait partie.

Le but est de gérer efficacement le changement climatique de manière à ce que les effets néfastes qu'il a sur les différents secteurs et dans divers domaines soient réduits au minimum (MEEATU, 2013).

Signalons que la protection de l'environnement en général et la gestion rationnelle des ressources en particulier aboutissent au développement durable.

I.2.3.2. Causes des changements climatiques

Cette perturbation de l'équilibre atmosphérique s'exprime par une augmentation des températures moyennes sur Terre, modifiant ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

Cette perturbation de l'équilibre atmosphérique s'exprime par une augmentation des températures moyennes sur Terre, modifiant ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.

Les GES sont naturellement présents dans l'atmosphère. Ces gaz forment une couche autour de la Terre, qui lui permet de conserver sa chaleur : c'est l'effet de serre. En effet, le soleil réchauffe la Terre qui, par la suite, réémet une partie de sa chaleur vers l'espace.

Les GES présents dans l'atmosphère emprisonnent une partie de cette chaleur, l'empêchant de retourner dans l'espace. Ce phénomène permet de conserver des températures moyennes de 15 °C sur notre planète. Sans cela, il y ferait environ – 18 °C, ce qui ne permettrait pas la vie telle que nous la connaissons (Environnement Canada, 2009).

Le développement des activités humaines modernes, dont le transport, l'industrie, la déforestation et l'agriculture, est responsable de l'émission massive de trois principaux GES : le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote : N_2O (CAMIRAND & GINGRAS, 2009).

I.2.3.3. Réduction des gaz à effet de serre

Pour faire face localement aux changements climatiques, il convient de participer à la réduction des gaz à effet de serre et surtout le CO_2.

❖ **Le rôle du couvert végétal**

Si l'arbre subit le climat global, et s'il en est parfois la victime, il peut aussi influencer considérablement le climat local en interférant avec l'énergie du soleil, du vent, de la pluie à son propre profit comme de tout ce qui l'entoure.

Comme toutes les autres plantes, l'arbre utilise le gaz carbonique de l'air (CO_2) en fixant du carbone dans ses tissus, mais aussi dans le sol. Les arbres et surtout ceux hors forêt ont des capacités naturelles de conversion de carbone sous forme de matière organique (contenant près de 50% de carbone).

En effet, tous les arbres peuvent stocker du carbone dans la matière qui les constitue : la biomasse. Ils aspirent du carbone en grandes quantités pour leur croissance et le conservent durablement dans le bois, les feuilles et les racines.

L'humus qui est la couche supérieure des sols créée par la biomasse morte des arbres et des autres végétaux, se transforme en matière organique grâce au travail des décomposeurs du sol. Une partie de cet humus riche en carbone est finalement stabilisée et immobilisée dans les sols (Quatrième congrès d'agroforesterie, 2019).

La photosynthèse quant à elle, permet à l'arbre de capter le CO_2 pour ensuite synthétiser des glucides. C'est donc grâce à la photosynthèse que l'arbre peut exercer sa fonction de puits de carbone (CAMPAGNA, 1996).

I.2.3.4. Adaptation aux changements climatiques

L'adaptation aux changements climatiques ou aux dérèglements climatiques désigne les stratégies, initiatives et mesures individuelles ou collectives (entreprises, associations, etc.) visant, par des mesures adaptées, à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains contre les effets réels ou attendus des changements climatiques (BOUREIMA & al, 2012).

Dans la Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique, l'Observation Nationale sur les Effets du Réchauffement climatique l'ONERC en sigle (2007) considère l'adaptation comme l'ajustement des systèmes naturels ou humains face à un environnement changeant.

Cela met déjà en exergue deux principes fondamentaux : on s'adapte toujours à quelque chose (« environnement changeant ») et cela se traduit par une modification (« ajustement ») qu'elle soit physiologique, technique, organisationnelle, comportementale (TISSOT, 2011) …

S'adapter suppose donc d'abord avoir identifié un changement (s'adapter à quoi ?) et les moyens d'y parvenir (comment s'adapter ?).

Avant toute action de lutte contre l'érosion, une étude précise de terrain est nécessaire pour définir les causes des problèmes, localiser avec les agriculteurs les axes d'écoulements de l'eau sur le bassin versant et définir précisément les aménagements à réaliser et les principes de gestion des terres à préconiser (DUPILET, 2003).

Pour s'adapter aux changements climatiques, un schéma a été proposé par le PANA Burundi et mérite d'être mis en application.

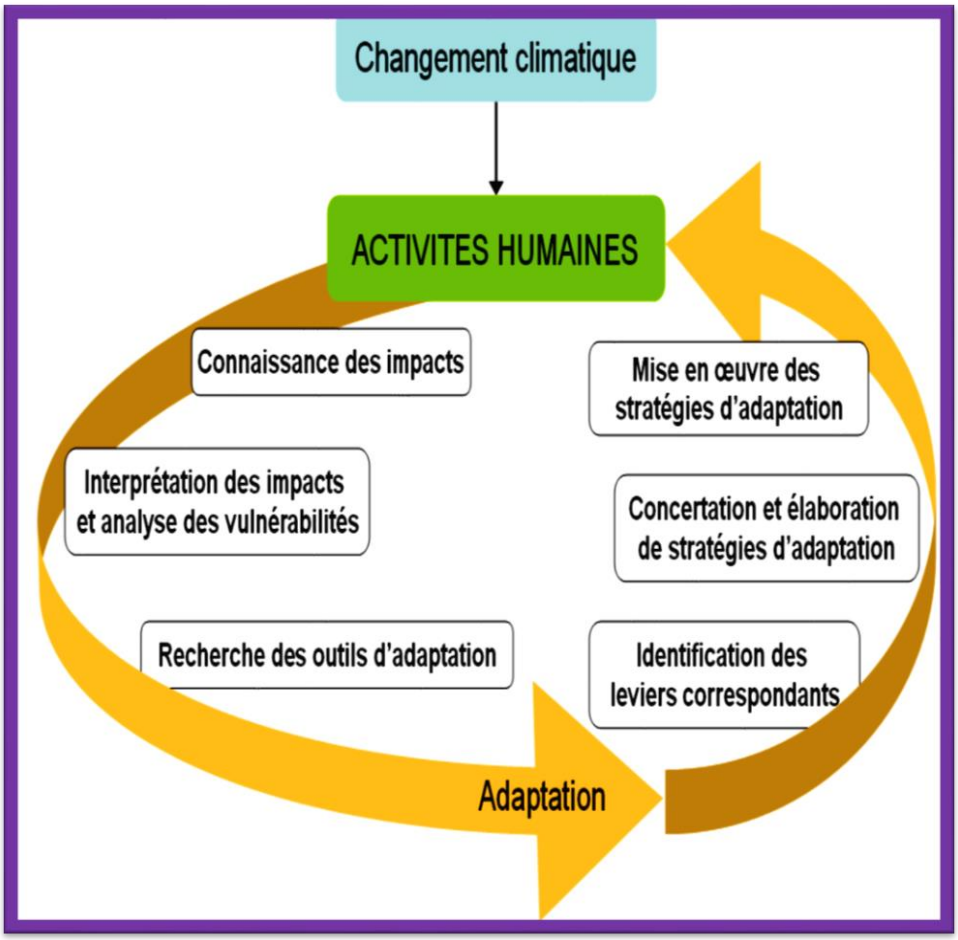


Figure 1.3 : Proposition de schéma du processus d'adaptation

Source : TISSOT (2011).

Il existe une relation entre les changements climatiques et les activités humaines. Ces dernières peuvent être la cause des changements climatiques ou peuvent en subir les conséquences.

Mais aussi, les activités humaines peuvent contribuer à atténuer les changements climatiques à travers les différents aménagements ou projets.

En effet, un bon aménagement ou une gestion rationnelle des ressources naturelles permet une réduction considérable de la vulnérabilité liée aux changements climatiques. Au cas contraire, lorsque les aménagements mis en place ne sont pas compatibles avec l'environnement, on assiste à une augmentation de la vulnérabilité.

Lorsque les changements climatiques deviennent une réalité, il convient de faire une analyse afin de relever les impacts négatifs qu'ils occasionnent. Une interprétation des impacts permet de constater le degré de vulnérabilité. Cela conduit à la recherche des outils d'adaptation tenant compte du problème existant.

Pour élaborer des stratégies d'adaptation plus efficaces, il convient de faire une concertation des personnes compétentes sans ignorer les bénéficiaires du projet ou la population vulnérable.

En fin, les stratégies convenues sont mises en application intégralement à travers les activités humaines visant une adaptation aux changements climatiques.

CHAPITRE II : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE ET MATERIELS ET METHODES

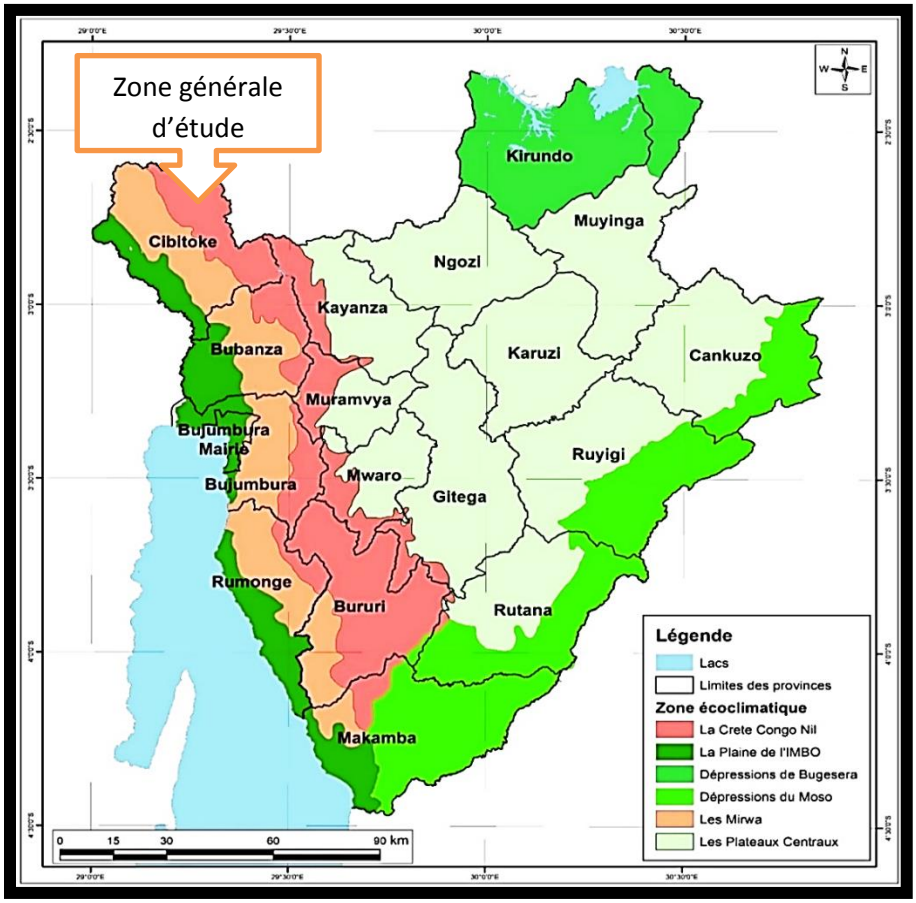
Avant de faire l'interprétation des résultats, il s'avère nécessaire de commencer par le chapitre qui s'intéresse d'abord à la présentation générale de la zone d'étude ainsi qu'aux matériels et méthodes.

II.1. Présentation générale de la zone d'étude

Notre zone d'étude est l'une des régions à la fois naturelle et traditionnelle. Mais, l'accent particulier sera mis sur l'aspect naturel pour bien vérifier nos hypothèses.

II.1.1. Régions naturelles

Le Burundi est caractérisé par 5 zones éco-climatiques ou 5 régions naturelles à savoir la plaine basse de l'Imbo, ***la région escarpée des Mirwa*** **(**notre zone d'étude**)**, la zone montagneuse de la Crête Congo-Nil, les plateaux centraux et les dépressions du Kumoso et du Bugesera.



Carte 2.1 : Carte des régions naturelles du Burundi

Source : Auteur sur base de fonds de carte du Burundi

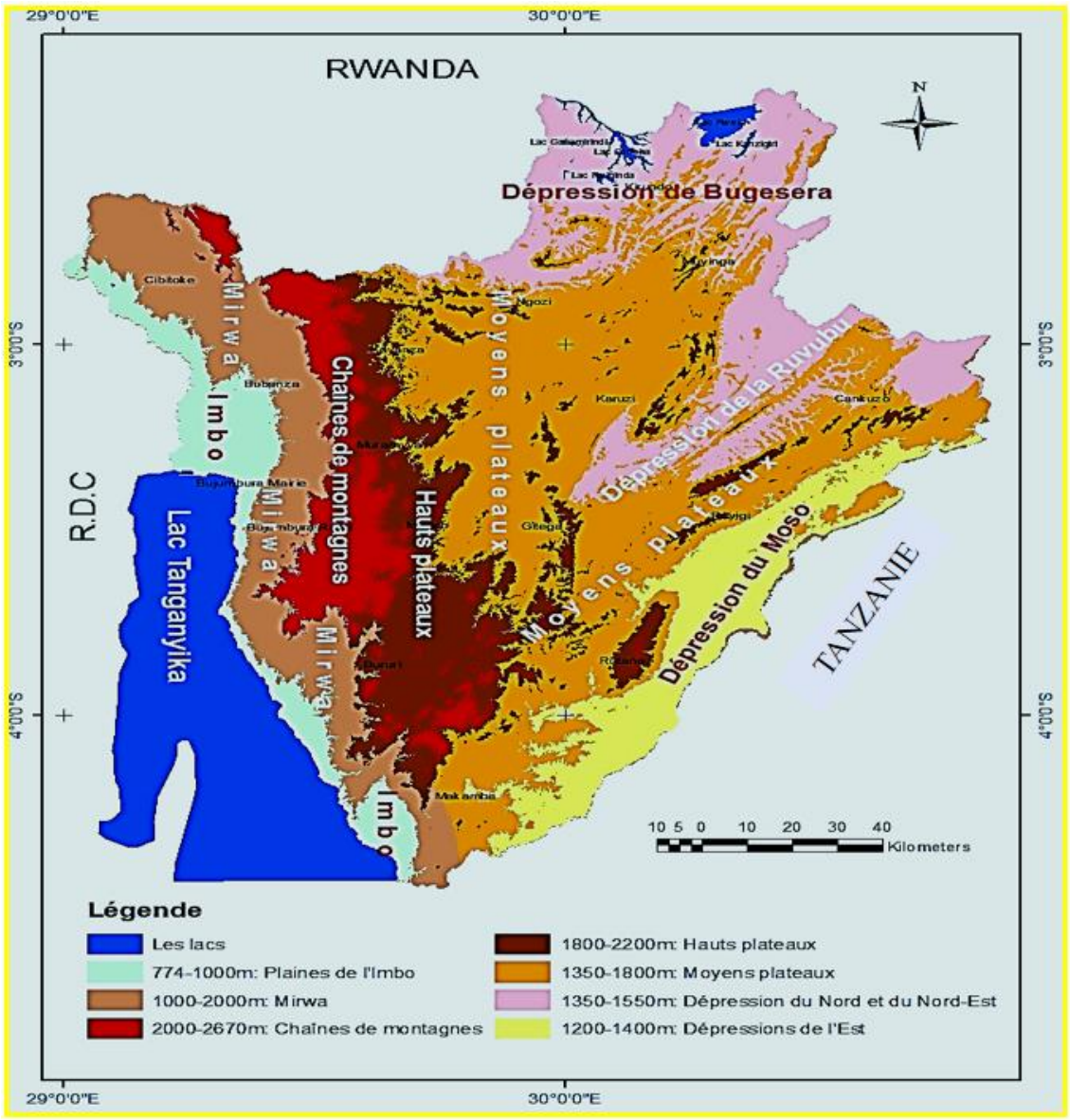
La région naturelle des Mirwa est située à l'Ouest du Burundi. Il s'agit de l'ensemble des escarpements allant du Nord-Ouest (Cibitoke) au Sud-Ouest (Makamba) via les provinces de Bubanza, Bujumbura rurale et Bururi. Il existe une différence entre les régions naturelles qui sont au nombre de cinq et les régions traditionnelles qui sont au nombre de onze.

En effet, les régions traditionnelles se définissent en tenant compte de l'origine politico-historique ou des aspects économiques. Néanmoins, les régions naturelles se définissent par leurs caractéristiques physiques c'est-à-dire que l'on tient compte des caractéristiques du relief, des sols et du climat (BEPEF, 2017).

Par exemple, le climat du Burundi est de type tropical humide influencé par l'altitude qui varie entre 773 m et 2670 m (MEATU, 2013). Il est caractérisé par une alternance de la saison pluvieuse et de la saison sèche.

La différence d'altitudes est l'élément essentiel pour étudier le relief d'une zone. C'est cette différence d'altitudes qui permet de constater à l'œil nu que notre zone d'étude se situe dans une région à très forte pente.

Quant à la commune Isare, elle se trouve dans la région naturelle des Mirwa surplombant la ville de Bujumbura. Son relief est, en grande partie, accidenté, avec une altitude variant entre 1 000 m et 1 750 m (ABUTIP ASBL, 2019).



Carte 2.2 : Carte des différentes altitudes des régions naturelles du Burundi

Source : Prof Jean Marie SABUSHIMIKE (2014)

La forte opposition régionale est très remarquable sur terrain. Il s'agit de :

- Le grand fossé d'effondrement où se logent le lac Tanganyika et les plaines de l'Imbo d'un côté ;
- Les escarpements de faille des Mirwa, les chaînes de montagnes et hauts plateaux de l'autre côté ;
- Les plateaux moyens centraux qui ont été à l'abri de la fracture, et couvrent la majeure partie du pays ;
- Les dépressions de Moso à l'Est et du Bugesera au Nord-Est.

II.1.2. Prédispositions naturelles des Mirwa

La région des Mirwa connaissent des pentes raides et longues. Ces dernières combinées avec la nature géologique des roches existantes amplifient le phénomène de l'érosion hydrique qui dégrade énormément l'environnement.

II.1.2.1. Géomorphologie structurale des Mirwa

Sur le plan morphologique, les basses terres de l'Imbo offrent aujourd'hui des paysages caractéristiques de plaines aux pentes faibles et modérées correspondant au bloc affaissé, communément appelé aussi le graben du lac Tanganyika.

Par contre, les paysages des Mirwa et ceux de la crête Congo-Nil offrent dans leur majeure partie des morphologies hostiles à l'emprise humaine. C'est parce que l'on a affaire à un relief le plus jeune du Burundi dont l'agent essentiel de leur construction est sans doute la révolution tectonique du Rift Occidental Africain.

Cela nous amène à reprendre cette histoire géologique très récente du Burundi qui oppose d'une part le bloc soulevé des Mirwa et la crête Congo Nil communément appelé en allemand le horst et d'autre part le bloc affaissé ou le graben (allemand) autrement dénommé le fossé du Lac Tanganyika et les plaines côtières de l'Imbo (OAP, 2016).

Ce sont ces soulèvements tectoniques forts et violents qui reviennent expliquer la fragilisation généralisée des roches des Mirwa vis-à-vis des altérations physiques et chimiques évoquées précédemment.

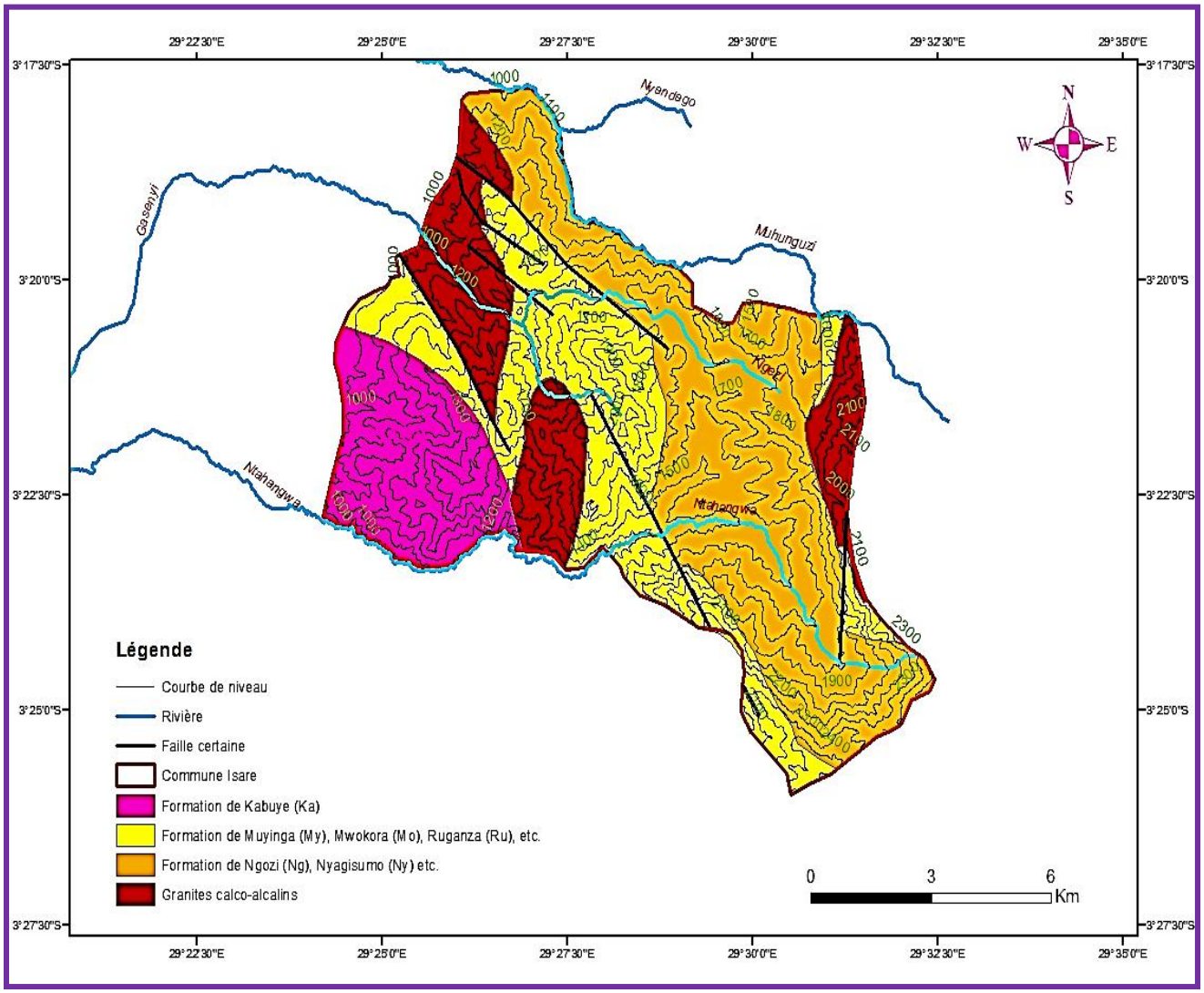
II.1.2.2. Nature géologique des Mirwa et de la commune Isare

Les roches des Mirwa sont très sensibles à l'altération physique et surtout à l'altération chimique. Les intrusions granitiques et basiques semblent occuper la majeure partie de la région des Mirwa. Les roches sédimentaires sont également présentes avec un métamorphisme relativement élevé.

Comme cette lithologie est dominée par des gneiss, des migmatites rubanées, des amphibolites et des intrusions granitiques et basiques, leurs minéraux sont très connus pour leur altérabilité rapide.

Les biotites, les plagioclases, les feldspaths et autres minéraux cataclasés et mylonitisés rendent, en effet, ces terrains géologiques très altérables dans des milieux qui sont chauds et humides comme ceux des Mirwa et de la crête Congo-Nil.

Certaines zones peuvent atteindre une puissance d'altération de plus de 20 à 30m ou même plus de profondeur. Cette dernière expose donc les Mirwa à des phénomènes généralisés de glissements et éboulements de terrain (OAP, 2016).



Carte 2.3 : Carte géologique de la commune Isare

Source : auteur, sur base de fonds de carte du Burundi

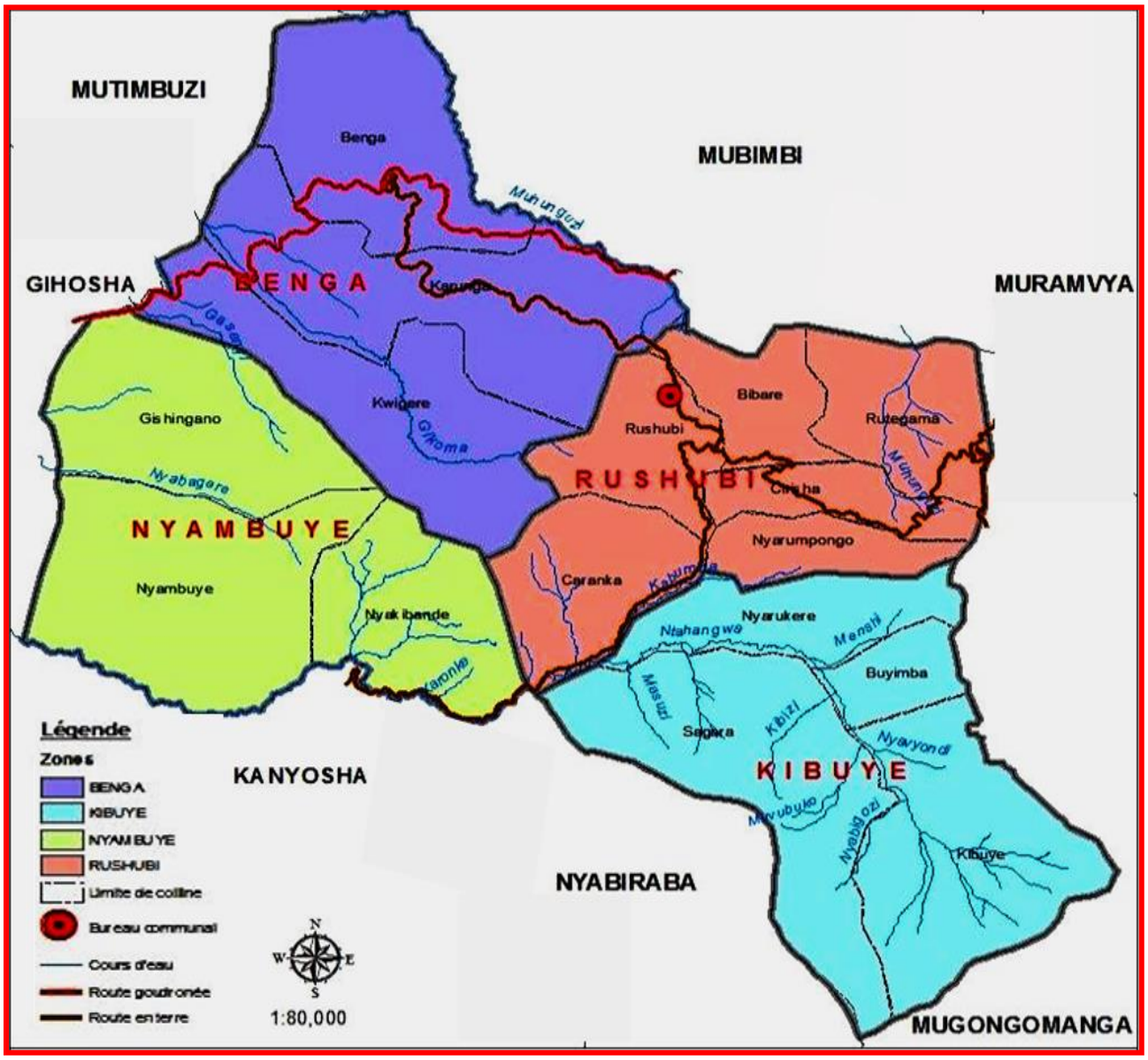
Les courbes de niveaux sont très serrées et montrent que la commune Isare est dominée par des zones à fortes pentes favorables au travail de l'érosion hydrique et surtout lorsque la nature géologique est fragile.

Les sols sont généralement minces et peu évolués. Ainsi dominent des lithosols sur des éperons quartzitiques, d'où la prédominance des sables dans les cours d'eau qui résultent de la destruction de ces lithosols.

Ces sols sont relativement fertiles, mais ne doivent être cultivés qu'avec de très grandes précautions, car l'érosion y est intense et ils ont un pouvoir de rétention de l'eau très élevé, ce qui provoque souvent des glissements de terrain (BOLLIN & al, 2014).

II.1.3. Situation géographique de la commune Isare

La commune Isare est l'une des communes de la province Bujumbura, d'une superficie de 166,5 km^2. Le chef-lieu de la commune se trouve à environ 24 km de la ville de Bujumbura.



Carte 2.4 : Carte administrative de la commune Isare **(zone spécifique de notre étude)**

Source : ABUTIP (2020).

La commune Isare est subdivisée en quatre zones administratives, à savoir Benga, Kibuye, Nyambuye et Rushubi, qui comprennent en tout seize collines de recensement.

Les entités administratives limitrophes de la commune Isare sont la commune Ntahangwa à l'Ouest, la commune Mugongo-Manga à l'Est, les communes Nyabiraba et Kanyosha au Sud, la commune Mubimbi au Nord, la commune Muramvya au Nord-Est et la commune Mutimbuzi au Nord-Ouest.

II.1.4. Prédisposition naturelle de la commune Isare

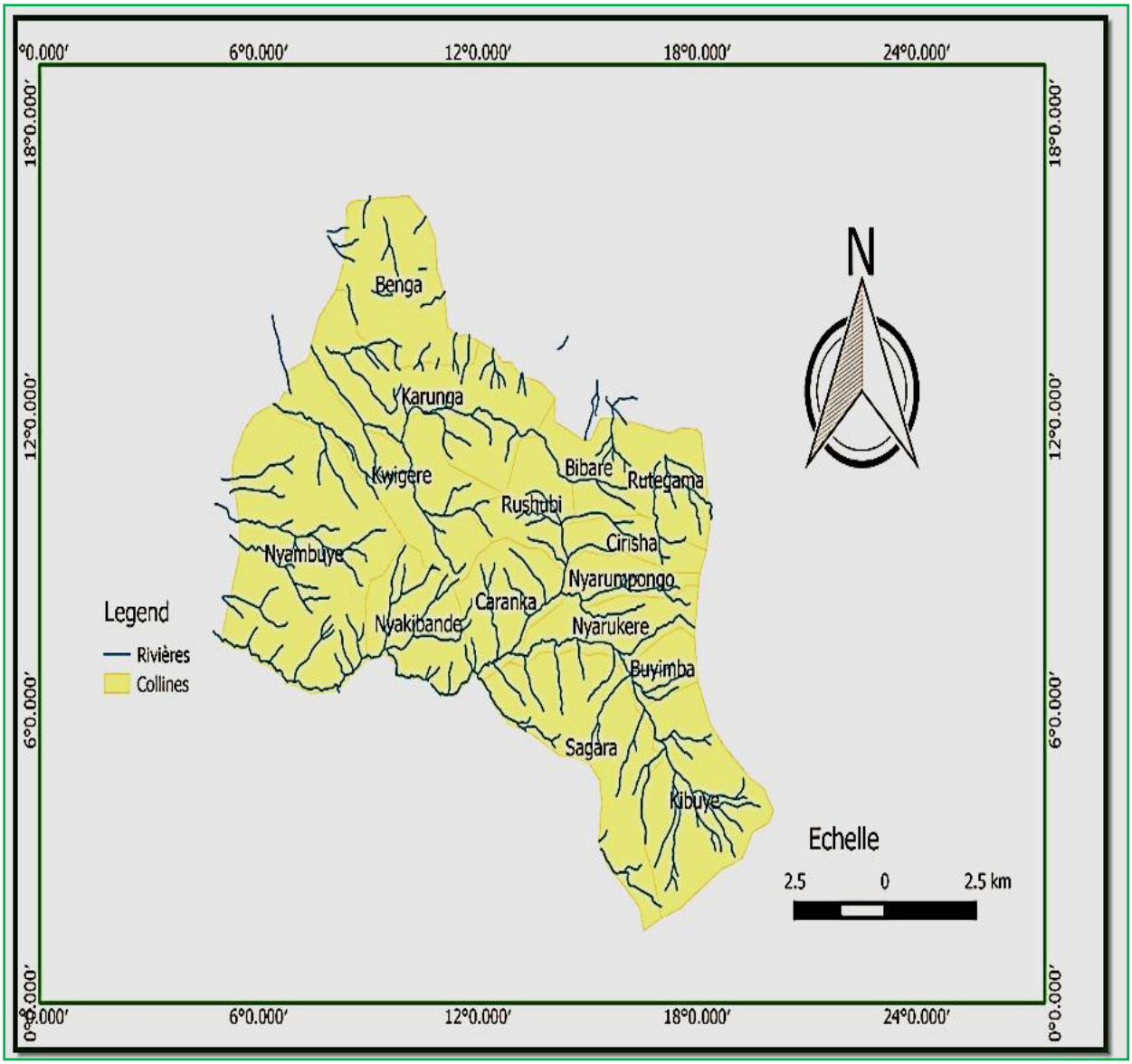
A part la nature géologique ci-haut développée, il convient de s'intéresser à l'hydrographie et surtout au climat de la commune Isare.

II.1.4.1. Hydrographie

En ce qui concerne l'hydrographie, le réseau est plus dense. Selon ABUTIP,2020), la commune d'Isare est traversée principalement par les rivières de Ntahangwa, Gikoma, Gasenyi, Nyabagere et d'autres petits cours d'eau.

Ces cours d'eau ont un régime torrentiel caractérisé par un écoulement rapide et par des crues fréquentes et brusques en saison de pluies. Cela a pour conséquence le surcreusement rapide et continu de leurs lits et des torrents temporaires.

L'abondance de réseau hydrographique est à l'origine de l'aspect disséqué du relief et des manifestations spectaculaires de l'érosion hydrique à certaines époques de l'année (ABUTIP, 2020).



Carte 2.5 : Densité hydrographique de la Commune Isare

Source : Auteur sur base de fonds de cartes du Burundi

La commune Isare est traversée par de nombreux cours d'eaux. Ces derniers deviennent très torrentiels pendant la saison pluvieuse et spécialement en cas des excès pluviométriques.

II.1.4.2. Climat

La température moyenne varie entre 17°C et 23°C tandis que les précipitations moyennes annuelles varient de 1 100 à 1 800 mm par an (BOLLIN & al, 2014).

Tableau 2. 1 : Données climatiques de la Commune ISARE en 2018

Mois d'année	J.	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Température moyenne (°C)	19.4	19.6	19.2	19.3	18.9	18.4	18.4	19.2	19.8	19.7	19.1	19.3
Température minimale moyenne (°C)	14.5	14.6	14.2	14.5	14.1	12.7	12	12.6	13.5	13.9	14	14.4
Température maximale (°C)	24.4	24.6	24.3	24.1	23.7	24.2	24.9	25.8	26.1	25.5	24.2	24.3
Précipitations (mm)	143	153	184	204	114	17	7	17	66	115	168	176

Source : ABUTIP ASBL (2019)

Ces caractéristiques climatiques sont actuellement affectées par les effets du changement climatique qui se manifestent par une augmentation des précipitations et des températures entraînant une plus grande fréquence d'événements météorologiques extrêmes tels que les pluies diluviennes ayant pour conséquences les inondations, les glissements de terrain et les ravinements ainsi que des périodes de sécheresse prolongée (RUZIMA S et all,2017).

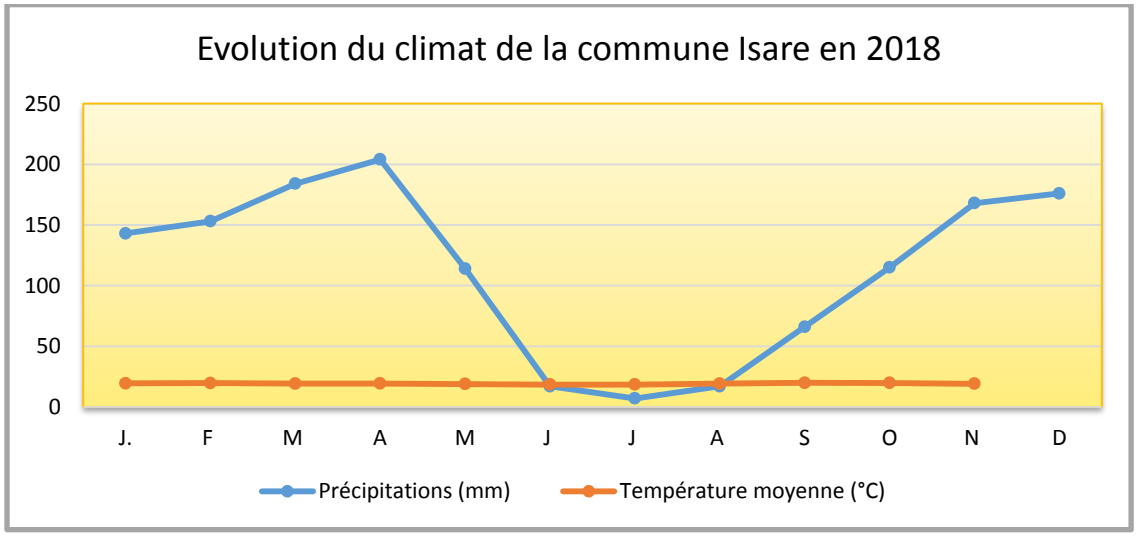


Figure 2.1: Evolution du climat de la commune Isare en 2008

Les précipitations varient énormément suivant la période tandis que les températures sont plus ou moins constantes. Le mois qui enregistre plus de précipitations est le mois d'Avril tandis que celui qui enregistre moins de précipitation est le mois de Juillet.

II.1.5. Environnement humain de la commune Isare

La commune Isare est comptée parmi les régions rurales à densités de la population les plus élevées. La mentalité nataliste fait que la commune Isare enregistre une croissance démographique très élevée. Cette situation démographique expose la commune aux risques de conflits fonciers, d'érosion, d'insécurité alimentaire et autres (ABUTIP, 2020).

Tableau 2.2 : Population de Bujumbura rurale en 2008 et en 2021

Communes	Effectif de la population en 2008	Effectif de la population en 2021
Commune Isare	**78 740**	**122942**
Commune Kabezi	49079	76630
Commune Kanyosha	78823	123072
Commune Mubimbi	41689	65092
Commune Mugongomanga	27985	43695
Commune Mukike	24660	38503
Commune Mutambu	43763	68330
Commune Mutimbuzi	69525	108554
Commune Nyabiraba	50 554	78933
Total	**464818**	**725 751**

Source : RGPH (2008) et ISEEBU (2020)

La population est inégalement répartie. Certaines communes comme Kanyosha et Isare (en deuxième position) ont des effectifs très élevés tandis que les autres comme Mukike et Mugongomanga ont des effectifs moins élevés.

L'effectif de la population en 2008 est obtenu grâce aux données du recensement général de la population et de l'habitat tandis que l'effectif de la population en 2021 est obtenue grâce aux projections démographiques au niveau communal par l'ISTEEBU.

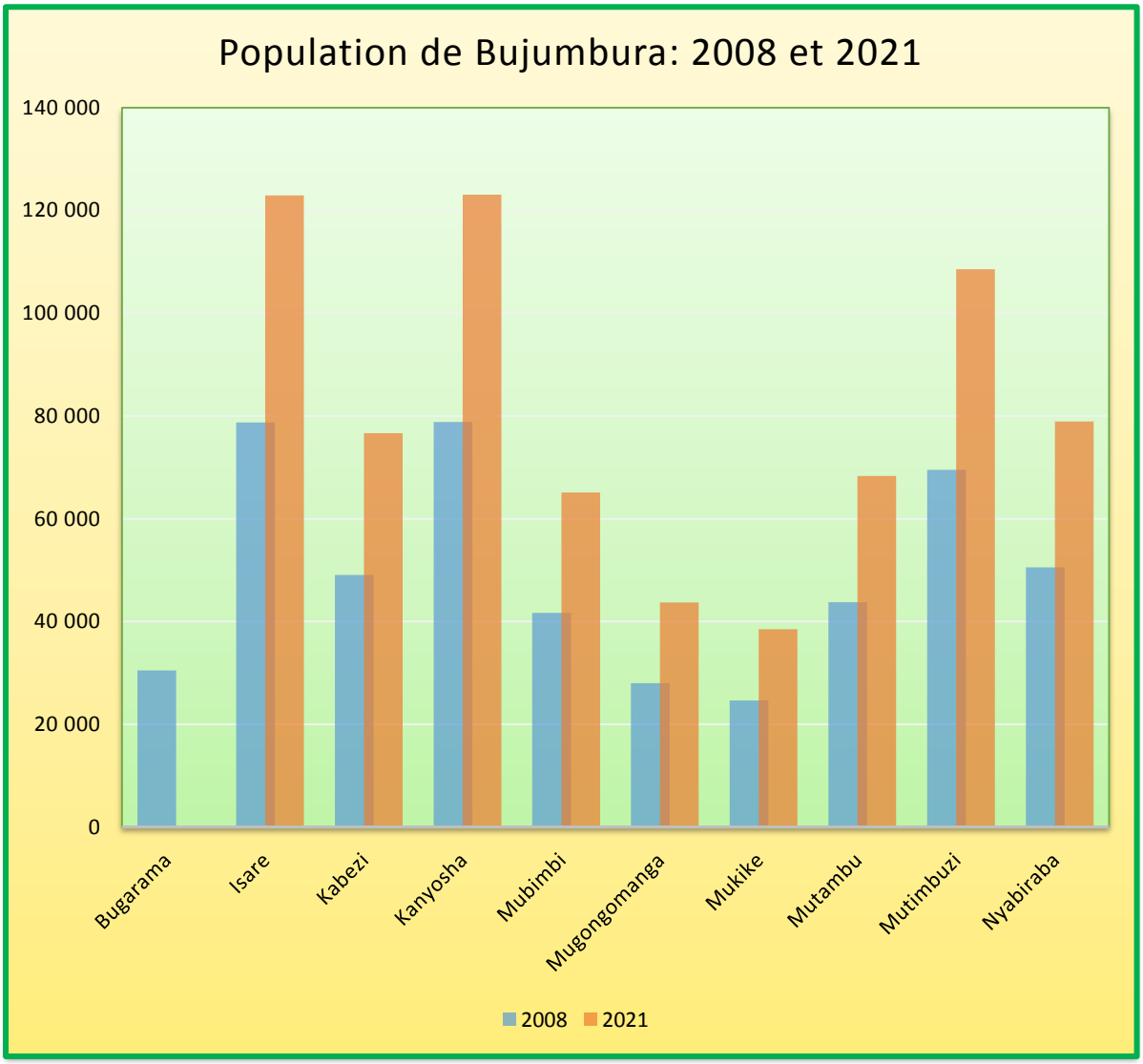


Figure 2.2: Population de Bujumbura en 2008 et 2011

Source : Auteur sur base des données du tableau 3.2

La commune Isare en deuxième position après Kanyosha à un effectif de la population qui s'élève à ***78 740*** habitants. Les projections démographiques montrent que l'effectif de la population est actuellement (en 2021) estimée à 122942 habitants. Mukike est la commune la moins peuplée de la province.

Tableau 2. 3 : Population de la commune Isare 1979-2008

Année			1979	1990	2008	1979	1990	2008
Commune	Collines	Sup. (ha)	Pop. Totale	Pop. Totale	Pop. Totale	Densité (hab. /km^2)	Densité (hab. /km)	Densité (hab. /km^2)
Isare	Benga	510	3437	4191	6571	674	822	1288
	Bibare	350	1140	1787	2619	326	511	748
	Buyimba	220	877	1206	1738	399	548	790
	Caranka	550	2011	2721	3735	366	495	679
	Cirisha	310	1008	1120	1880	325	361	606
	Gishingano	1530	4549	6082	7273	297	396	475
	Karunga	1200	2397	4282	4434	200	357	370
	Kibuye	1630	3106	3739	6047	191	229	371
	Kwigere	1180	2543	3081	5427	216	261	460
	Nyakibande	880	2979	4052	5691	339	460	647
	Nyambuye	940	3762	5111	7424	400	544	790
	Nyarukere	450	2272	2752	3966	505	612	881
	Nyarungongo	180	1712	2100	2837	951	1167	1576
	Rushubi	220	1672	1977	4977	760	899	2262
	Rutegama	670	2963	3573	4554	442	533	680
	Sagara	820	5054	6360	9567	616	776	1167
	Total gén.	**11640**	**41482**	**54134**	**78740**	**356**	**465**	**676**

Source : NKUNZIMANA (2012)

Toutes les collines connaissent une augmentation des effectifs de la population et de la densité. La commune Isare connaît alors une croissance régulière de la population depuis 1979 jusqu'en 2008. Cette croissance de la population est à l'origine de la pression foncière ou la dégradation de l'environnement.

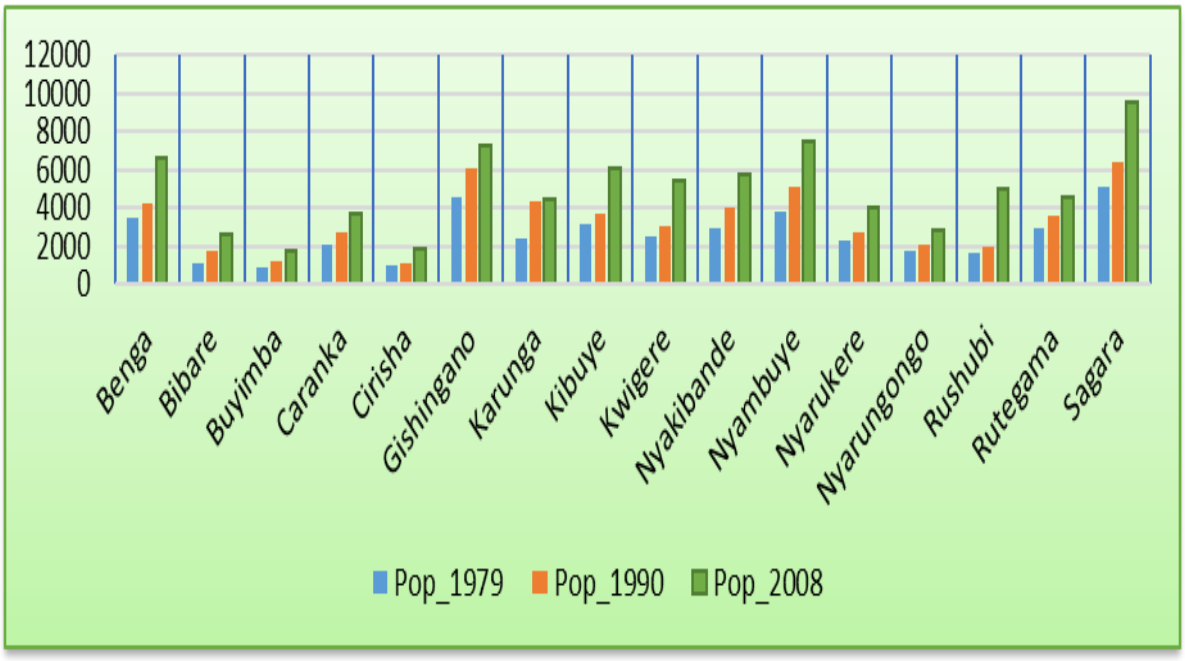


Figure 2.3 : La population de la commune Isare 1979-2008

So**urce** : Auteur, sur base des données du tableau 3.3.

Dans toutes les collines de la commune Isare, la croissance de la population varie avec le temps. Selon les données des recensements 1979 (en bleu), 1990 (en rouge), 2008 (en vert), au fur et à mesure que les années avancent, la population va en augmentant. La colline Sagara occupe la première place partout.

Tableau 2.4 : Evolution de la population et de la densité de la commune Isare

ANNEES	1979	1990	2008
POPULATION	**41482**	**54134**	**78740**
Densité	**356**	**465**	**676**

Depuis 1979 toutes les collines de la commune Isare ont connu une croissance positive de la population. De ce fait, la Commune Isare a connu une augmentation de la population considérable soit 41482 habitants en 1979 et 78740 habitants en 2008 soit une différence de 37258 habitants (78740habitants-41482habitants) pendant 29 ans (1979-2008).

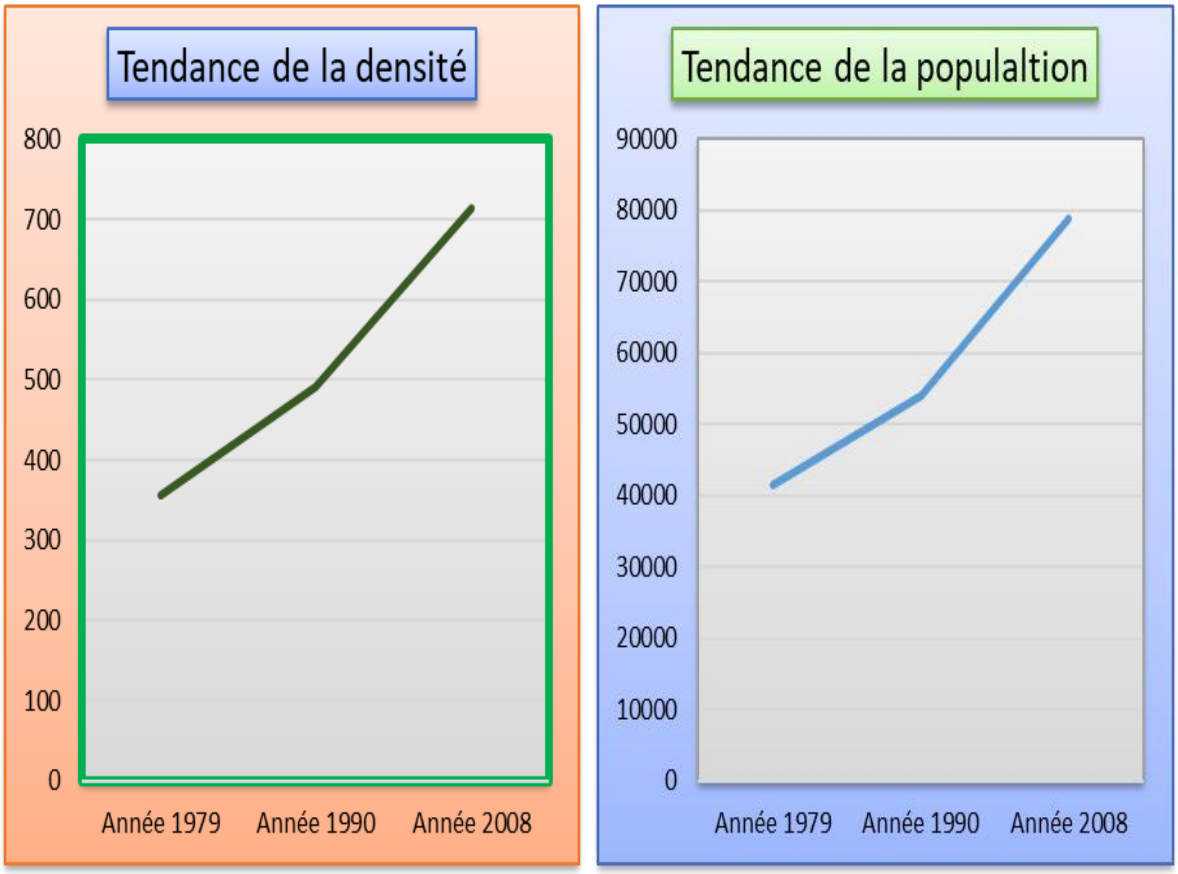


Figure 2.4 : Evolution de la population de la commune Isare

Source : Auteur, sur base des données du tableau 3.4

La courbe de l'évolution montre que depuis 1979 jusqu'à 2008 la population de la commune Isare a toujours connu une augmentation. Au fur du temps, la courbe occupe une position plus élevée qu'avant. Il en est de même pour la densité. Plus la population augmente, plus la densité augmente aussi. Comme la population augmente très rapidement, on peut parler de l'explosion démographique.

Une augmentation rapide de la population engendre plusieurs conséquences pour le pays dans tous les domaines du développement. Le domaine le plus visiblement touché est le domaine de l'environnement.

En effet, l'être humain pour survivre accepte tous les risques et quelques fois inconsciemment et dégrade énormément l'environnement. Sa préoccupation majeure reste le présent alors que l'avenir lui réserve des surprises qui peuvent compliquer davantage la vie.

II. 2. Matériels et méthodes

Pour réaliser efficacement ce travail de recherche, le matériel et la méthode spécifiques ont été utilisés. Il s'agit de la consultation des différents documents, télédétection, visite de terrain, entretien qualitatif, utilisation de quelques logiciels et l'équation universelle des pertes en terre de Wischmeier.

II.2.1. Consultation des documents

La consultation des documents a été effectuée dans les bibliothèques, institutions et sur internet. Pour bien aborder notre travail de recherche, plusieurs documents ont été utilisés comme la référence bibliographique le démontre.

Il ne s'agit pas seulement des documents en rapport avec le Burundi car d'autres auteurs provenant des pays étrangers ont déjà écrit et publié pas mal de documents en rapport avec l'aménagement et l'environnement.

Ceci a servi efficacement pour comparer la situation qui règne dans les autres pays à celle qui existe au Burundi en général et dans la région des Mirwa en particulier.

En effet, deux catégories de documents ont été suffisamment consultées tels que les documents physiques ou en papier et les documents électroniques. Ces documents sont essentiellement des publications des ministères, des ouvrages généraux comme les mémoires et thèses mais aussi les notes de cours.

Certains documents ont été consultés grâce à l'OBPE car c'est au sein de cet office que mon stage a été effectué. Il a été profitable pour moi du fait que parmi les préoccupations de cette institution figurent les questions sur l'environnement et les changements climatiques.

De même, l'IGEBU a été visité pour chercher les données en rapport avec la cartographie et la météorologie de notre zone d'étude. En tant qu'Institut Géographique du Burundi, il a été identifié comme une institution mieux placée pour nous fournir assez d'informations.

La commune Isare qui est notre zone d'étude dispose de certains documents et surtout le plan de contingence de la commune Isare. Ce dernier a été suffisamment consulté pour constater les événements du passé en rapport avec la vulnérabilité de la commune Isare afin de les comparer à la situation actuelle.

Cependant, les documents qui s'intéressent particulièrement à la région des Mirwa et à la commune Isare ne sont pas nombreux. Pour compléter ce manque, d'autres documents en rapport avec les régions à forte pente ont été consultés.

II.2.2. Analyse du paysage par télédétection

L'analyse du paysage à l'aide de Google Earth pour identifier à distance les zones les plus menacées par les changements climatiques a été utilisée. En effet, la visite de terrain sur toute la région des Mirwa demanderait énormément de temps et de moyens.

Google Earth a été utilisé pour constater les zones les plus vulnérables comme par exemple l'insuffisance du couvert végétal à Rushubi afin de conclure si la vulnérabilité des Mirwa face aux changements climatiques est une réalité ou un mensonge.

II.2.3. Visite de terrain

Une visite de terrain a été organisée et effectuée dans la Commune Isare en date du 13/5/2021 pour constater les manifestations actuelles de la vulnérabilité en vue de proposer des stratégies d'adaptation relatives à la réalité.

En effet, le thème de notre travail en soi exige une visite de terrain car la vulnérabilité des paysages par exemple ne s'entend pas mais s'observe et cela exige une présence physique pour obtenir des informations fiables.

Certains endroits localisés dans les 4 zones de la commune Isare ont été visités. Il s'agit des endroits qui sont plus connus où la vulnérabilité se fait vraiment remarquer comme les photos le témoignent bien. On peut citer par exemple des glissements de terrains à Sagara, à Cirisha, effondrement des berges de la Ntahangwa et la destruction de la route à Nyarukere et autres. Ces endroits inquiètent et l'administration locale et la population environnante.

Comme le paysage de la commune Isare est plus menacée par les glissements de terrain, l'effondrement des berges et l'extraction des matériaux, la visite de terrain a été orientée vers les zones qui enregistrent essentiellement ces informations ou ces réalités environnementales.

Cependant, certaines difficultés se sont fait remarquer comme le déplacement à moto sur des routes en mauvais état et glissantes pendant la saison des pluies. Certains endroits étant inaccessibles exigent la marche sur des zones à fortes pentes et donc à risque.

II.2.4. Entretien qualitatif

L'entretien qualitatif prend au sérieux les compétences des acteurs locaux, ces derniers ne sont plus objets mais sujets de recherche, des associés en quelque sorte. Il repose sur l'idée que les acteurs locaux sujets de l'entretien ont véritablement quelque chose à révéler au chercheur qu'il ne sait pas encore.

C'est donc à partir des savoirs locaux recueillis par l'entretien qualitatif que se construisent les analyses du chercheur. Le but de l'interview qualitative est de comprendre comment les sujets étudiés voient le monde, d'apprendre leur terminologie et leur manière de juger, de capturer la complexité de leurs perceptions individuelles et expériences.

L'objectif prioritaire de l'interview qualitative est de fournir un cadre dans lequel les interviewés peuvent exprimer leur propre manière de sentir avec leurs propres paroles.

L'interrogation qualitative est un instrument dédié non pas pour la collecte des données mais pour la compréhension de la réalité sociale (TOYI, 2018).

Suivant cette ligne de conduite, plusieurs entretiens ont été effectués et avec différentes catégories de personnes pour pouvoir bien nous situer par rapport à la recherche.

Le premier entretien est celui effectué avec le directeur de mémoire pour nous entendre et sur le thème et sur le contenu du document. A base des informations qui ont été fournies par celui-ci et les réponses données à mes questions, une lumière a jailli et cela a permis de bien aborder le sujet de ce travail de recherche.

Le deuxième entretien qui a contribué à la réalisation efficace de ce travail est celui effectué avec le personnel de l'OBPE et surtout celui qui est chargé des questions de l'environnement et des changements climatiques.

Etant expérimenté dans le domaine, il a fourni des informations non en rapport avec ce qu'il pense mais ce qu'il observe sur terrain et que nous vivons quotidiennement.

Le troisième entretien a été effectué avec le personnel de la commune Isare et spécialement l'agent qui est chargé des questions foncières dans toute la commune. C'est celui-ci qui nous a permis de bien identifier les zones les plus vulnérables à l'érosion hydrique ou aux glissements de terrains.

Etant dans une région où on est considéré comme étranger, même si l'administration avait octroyé une permission écrite, cet agent a montré la ligne de conduite pour éviter la fuite des informations et assurer la sécurité. De ce fait, mon accompagnateur devrait être quelqu'un qui habite la région et qui est populaire afin que la population soit incitée à s'exprimer librement.

Quant à l'entretien avec la population environnante et par conséquent touchée directement par la vulnérabilité, il a attiré plus notre attention.

En effet, une partie de la population qui a été rencontrée aux alentours des zones menacées par les glissements de terrain comme par exemple Cirisha et Sagara affirme que c'est à cause des monstres que la commune Isare est vulnérable et qu'il n'y a pas moyen de lutter contre cela à moins qu'il y ait l'intervention de la main forte de la part de Dieu.

Cependant, une autre partie de la population a donné son point de vue plus ou moins scientifique tout en précisant à quelle période ces éléments sont fréquents et tout en proposant certaines stratégies d'adaptation ou d'atténuation. Ces informations ont contribué pour constituer efficacement certaines stratégies d'adaptations mentionnées au niveau des recommandations.

Au sein de l'IGEBU, après l'accord du Directeur Général de cet institut, un entretien avec le chargé de la cartographie a été effectué pour lui demander les données en rapport avec la cartographie.

II.2.5. Utilisation des logiciels

Les logiciels de Cartographie comme Q gis et Arc gis ont été utilisés. Il s'agit des logiciels qui sont intervenus pour réaliser les cartes telles que la carte de la région naturelle du Burundi, la carte géologique de la commune Isare et la carte de la densité hydrographique de la commune Isare. Certaines réalités du paysage ne s'expliquent aisément qu'à l'aide d'une représentation cartographique.

Egalement, les données organisées en séries statistiques ont été représentées graphiquement à l'aide du logiciel Excel. Les histogrammes ont été utilisés pour comparer les différentes réalités tandis que les courbes interviennent pour montrer plus clairement les changements d'évolution (https://openclassroom.com/fr/courses-realisez des rapports-statistiques, page consultée le 10/8/2021 à 15h00).

Les autres graphiques tirés des autres documents ont été utilisées pour compléter celles réalisées à base des données regroupées dans des séries statistiques.

II.2.6. Prise des photos

La visite de terrain a été complétée par une prise des photos spécialement des endroits les plus vulnérables aux changements climatiques. Les photos mentionnées dans notre travail de recherche sont d'une grande importance car elles ont servi d'appui pour présenter les résultats.

L'illustration par des photos dans le domaine de l'environnement ou d'aménagement est très nécessaire pour faire comprendre le phénomène. C'est un matériel didactique semi-concret dont on peut toujours se servir pour témoigner une situation environnementale quelconque.

Contrairement aux images satellitaires qui peuvent être obtenues par télédétection, la prise des photos exige une présence physique tout près de l'endroit à photographier.

La qualité des photos peut dépendre du climat ou la période de la journée et surtout du type de l'appareil utilisé.

II.2.7. Equation universelle des pertes en terre

Pour faire l'analyse et la discussion des résultats, l'équation universelle des pertes en terre a servi d'appui. Il s'agit du modèle de Wischmeier qui est en relation étroite avec les facteurs de la vulnérabilité des Mirwa qui se manifestent souvent en cas d'excès pluviométriques.

En effet, en 1959, Wischmeier a finalement abouti à l'" ***universal soil loss equation*** " due à l'érosion pluviale (pluies et ruissellement) puis en 1978 la ***Revised Universal Loss Soil Equation***. Cette équation est utilisée aux Etats-Unis depuis cette date en agriculture.

Son principe est de comparer l'érosion d'un site quelconque à l'érosion d'une parcelle témoin ayant une longueur de 22m et une pente de 9% sur jachère nue, c'est - à- dire labourée périodiquement de manière à ce qu'aucune végétation ne puisse s'y développer et telle que le sol ne puisse former une croûte superficielle.

Ce modèle empirique établi à partir du traitement statistique des résultats de nombreuses mesures en parcelles expérimentales menées sur plus de 20 ans exprime les pertes en sol comme le produit de différents facteurs selon la formule : **A = R x K x LSw x C x P**

- **A** est la perte de sol due à l'érosion et constatée par unité de surface pendant une période de temps déterminée. Cette valeur peut ensuite être comparée aux limites de « ***pertes de terre tolérables*** ».
- **R** est appelé facteur pluie ou indice d'érosivité (***rainfall factor***). Il a été défini comme le produit de l'énergie de la pluie par son intensité maximum en 30 minutes. Plus les précipitations sont intenses et plus elles durent longtemps, plus grands sont les risques d'érosion.

- **K** est appelé le facteur sol et caractérise l'érodabilité de ce sol (***soil erodibility factor***). Elle peut être définie comme la susceptibilité du sol à l'érosion et est établie par rapport à une parcelle standard, évaluée en tenant compte de la texture, de la teneur en matière organique, de la structure et de la perméabilité du sol sans tenir compte du couvert végétal et des pratiques culturales. Le facteur K est alors une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement.
- **S x L** : le facteur pente et déclivité tient compte à la fois de la longueur de la pente (L) et de son inclinaison (S). Dans la pratique, les deux facteurs de pente, L et S sont combinés en un seul facteur topographique qui permet d'évaluer globalement l'influence de la pente sur la vitesse de l'érosion. Plus la pente est forte et longue, plus élevé est le risque d'érosion.
- **C :** est le facteur de couverture végétale. C'est une mesure de l'efficacité relative des systèmes de gestion des sols et des cultures dans la prévention ou la réduction de la perte de sol.

La valeur du facteur **C** est conditionnée par plusieurs variables :

- La voûte de verdure (feuilles et branches qui interceptent les gouttes de pluie et dissipent une partie de leur force érosive) ;
- La couverture végétale (résidus de culture et végétation vivante sur la surface du sol) ;
- La biomasse du sol (toute la matière végétale dans le sol, les résidus aident à améliorer l'écoulement de l'eau dans le sol et la capacité de rétention du sol) ;
- Le travail du sol (type, période et fréquence de travail du sol ce qui influe sur la porosité, la rugosité de surface et la compaction du sol).

P est le facteur des pratiques de conservation ou de soutien (ou pratiques culturales antiérosives) est une mesure des effets des pratiques visant à modifier le profil, la pente ou la direction de l'écoulement du ruissellement en surface et à réduire ainsi l'érosion.

Il reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion.

C'est le rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié, travaillé mécaniquement d'une certaine façon et protégé contre l'érosion d'une certaine manière avec celle qui aurait lieu si le terrain était labouré fréquemment dans le sens de la plus grande pente (STONE & HILBORN, 2000).

II.2.8. Synthèse de la méthodologie de la recherche

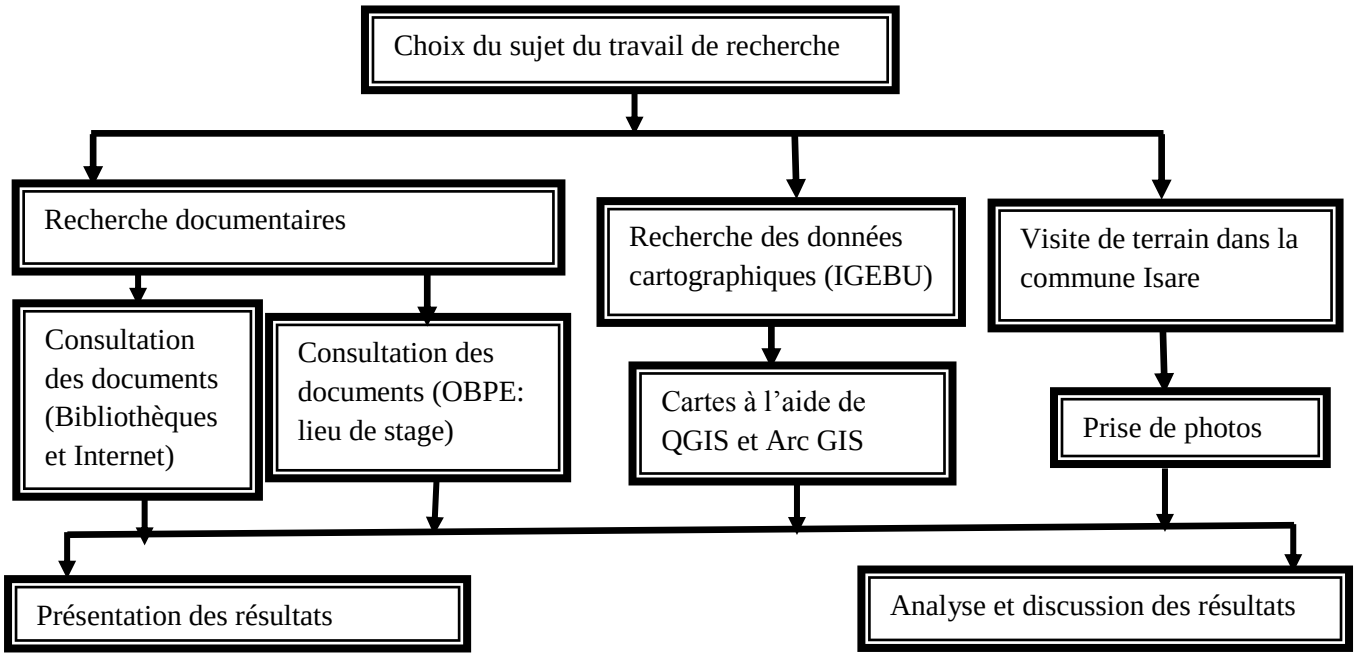


Figure 2.5 : Synthèse de la méthodologie de la recherche

Source : Auteur

Après le choix du sujet, une recherche documentaire a été faite. Il s'agit de la consultation des documents soit des documents physiques (en papiers) soit des documents électroniques. Grâce à la visite de terrain, des photos montrant la dégradation de l'environnement ont été prises.

Egalement, suite à l'obtention des données cartographiques, certaines cartes ont été réalisées. Tout cet ensemble a abouti à l'interprétation des résultats ainsi qu'à l'analyse et la discussion des résultats.

CHAPITRE III : PRESENTATION, ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

Le dernier chapitre de ce travail de recherche est fondamental. Il développe la présentation, l'analyse et la discussion des résultats.

III.1. Présentation des résultats

La région des Mirwa est très vulnérable aux changements climatiques et surtout en cas des précipitations excessives. Ces dernières occasionnent la perte de terres, la destruction des cultures et des infrastructures socioéconomiques. Pire, même les vies humaines ne sont pas épargnées.

Aujourd'hui, chacun peut constater l'aggravation des phénomènes d'érosion des sols associés particulièrement aux changements climatiques. Il s'agit par exemple du cas des glissements de terrains dans la commune Isare (Sagara, Cirisha et autres). Cela est en relation avec la pression environnementale exercée par l'homme notamment l'extension démesurée des surfaces imperméables, la disparition des éléments du paysage qui jouaient un rôle antiérosif comme le couvert végétal, la fossilisation des fossés antiérosifs, l'atomisation du parcellaire et des pratiques agricoles non respectueuses de l'environnement. Les conséquences sont lourdes : perte du capital «sol» par l'érosion dans ses diverses formes, le risque d'insécurité alimentaire ainsi que la dégradation de la qualité des eaux des rivières.



Photo 3.1 : Destruction des champs en zone Benga (Mars, 2020)

Source : Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (2021)

Sur toutes les collines, les terres sont en majorité sous exploitation agricole et d'autres, celles qui ne sont pas à vocation agricoles sont sous exploitation de carrières. L'érosion menace ainsi non seulement le sol mais aussi les champs et cela occasionne la pauvreté de la population de la zone Benga dont l'activité principale est l'agriculture.

III.1.1. Vulnérabilité des paysages physiques

Les prédispositions morpho-structurales expliquent déjà la vulnérabilité de l'ensemble des paysages du Burundi face à des événements météorologiques extrêmes liés au changement climatique en cours (INECN, 2014). Ce sont essentiellement des zones à forte pente comme les escarpements des Mirwa en général et la commune Isare en particulier qui sont plus vulnérables.

Les pluies exceptionnelles sont à l'origine de la généralisation des mouvements de terrain qui prennent fréquemment des allures de catastrophes naturelles traumatisant la population rurale des Mirwa mais aussi menaçant les plaines de l'Imbo traversées par les rivières qui dévalent les montagnes pour se jeter dans le lac Tanganyika.



Photo 3.2 : Effondrement d'une partie du remblai et de l'accotement de la plateforme routière sur la RN1 à Muberure en 2014

Source : Edouard NIBIGIRA E et all (2014)

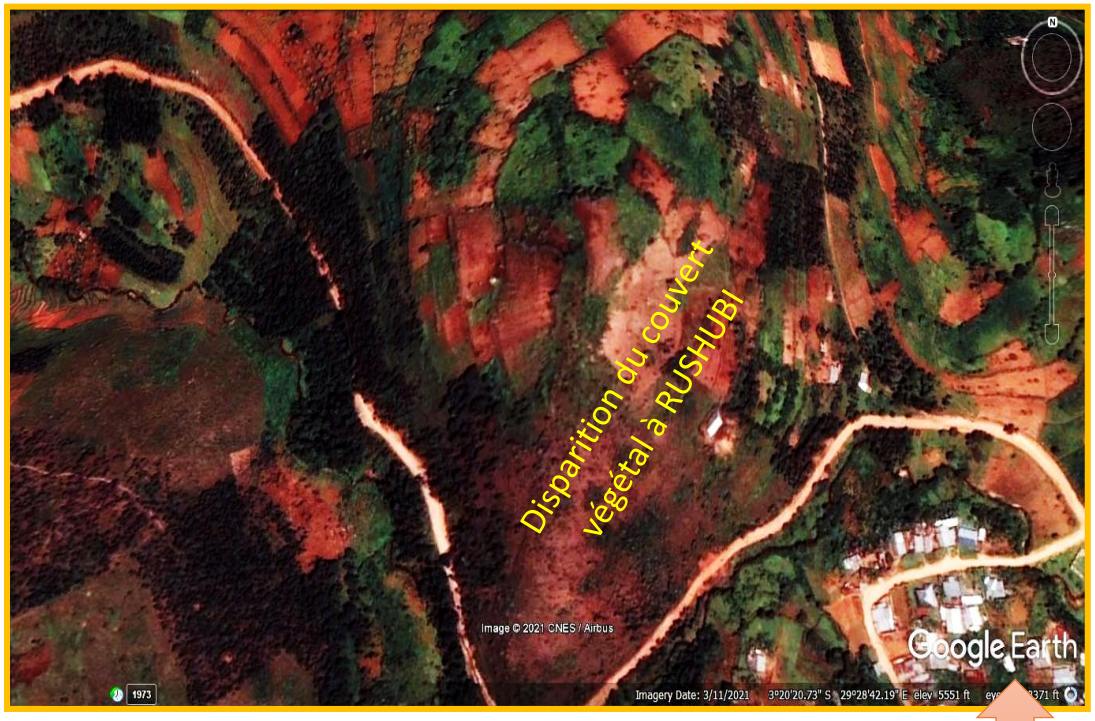
Les pluies exceptionnelles de 2014 ont provoqué la destruction de la RN1. Une partie de la route s'est effondrée et cela a perturbé les activités de transport des biens et des personnes.

III.1.1.1. Perte en terres (sols)

Dans le cas d'une pluviométrie exceptionnelle, l'érosion s'accentue, les rivières charrient des alluvions fertiles, élevant de quelques centimètres les lits de ces rivières qui dès lors inondent les plaines en aval et polluent les eaux. C'est dans la région des Mirwa où les pertes en terres sont très fortes et sont à l'origine de la pollution du lac Tanganyika (INECN, 2014).

Pour la seule région des Mirwa qui représente 12% de la superficie du pays, avec une pente moyenne supérieure à 70% et une densité moyenne de la population de plus ou moins 300 habitants au km², les pertes en terres sont estimées à 150 tonnes de terres à l'hectare, soit un décapage du sol arable d'un cm/an (DUPILET, 2003).

L'érosion hydrique transporte les terres de l'amont vers l'aval car l'eau circule par gravité. Le ruissellement profite des facteurs naturels tels que la topographie et la géologie pour dégrader le sol.



Rushubi, chef- lieu de la commune

Photo 3.3 : Insuffisance du couvert végétal à Rushubi

Source: Image Google Earth (le 11/3/2021)

Le manque ou l'insuffisance du couvert végétal favorise le travail de l'érosion sur une zone à forte pente. Il en résulte une perte énorme des terres arables et la destruction des champs. Cela peut provoquer la réduction des récoltes dans le milieu rural où l'agriculture est l'activité dominante.

La Commune Isare est l'une des cinq communes de la province de Bujumbura les plus vulnérables aux effets des changements climatiques. Elle se trouve en amont des communes urbaines qui ont été gravement touchées par les catastrophes de la nuit du 9 au 10 Février 2014. La colline Nyambuye étant la plus touchée parmi les seize collines (ABUTIP, 2020).



Photo 3.4 : Eboulement des talus de déblai ayant provoqué l'effondrement de la chaussée sur la RN1 (Muberure)

Source : NIBIGIRA E et all (2014)

Les catastrophes de la nuit du 9 au 10 Février 2014, ont détruit plusieurs infrastructures socio-économiques dont les routes comme c'est le cas de la RN 1 qui s'est effondrée à Muberure. Cet effondrement menace à son tour les cultures et surtout le palmier à l'huile.

Les impacts des changements climatiques attendus sont particulièrement liés à la fréquence de fortes pluies qui causent de nombreux glissements de terrain entraînant notamment la destruction des habitations, des infrastructures sociales et économiques (cas de la RN1en 2014) ainsi que des cultures surtout le long des axes de drainage, la perte de fertilité des terres à la suite de l'érosion des sols non protégés et la persistance de l'insécurité alimentaire.

En effet, la population de la commune Isare vit depuis quelques années beaucoup d'événements liés aux variabilités climatiques. Historiquement, les événements climatiques extrêmes et autres relevés au cours de ces vingt dernières années sont les suivants :

Tableau 3.1 : Evénements liés aux variabilités climatiques

Année	Evénements
2014	Longue période de sécheresse, la pluie a cessé de tomber depuis le mois d'avril
2014	Fortes pluies torrentielles ayant entraîné la destruction de maisons et des cultures y compris les palmiers à huile surtout à Nyambuye
2013	Apparition d'une maladie qui attaque l'eucalyptus, non encore identifiée
2012	Prolifération d'une maladie qui attaque le bananier
2000	Grêle qui a duré 2 jours avant de fondre.

Source : BOLLIN (2014)

III.1.1.2. Glissements de terrain

Les glissements de terrain en 2014 sont à l'origine de nombreuses destructions comme ça a été le cas dans la colline de Kibuye (environ 6000 habitats). Cette colline aurait connu à elle seule 3 glissements de terrain d'une importante ampleur. La population a déménagé après le premier glissement de terrain et a ainsi limité des pertes des vies humaines lors des 2 glissements suivants (NIBIGIRA E & all, 2014).

De même, selon le Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (2021), les informations récoltées auprès de la population locale font état de la destruction de 76 maisons à cause du glissement suite aux pluies de mars-avril 2020 dans les zones de Rushubi (collines Caranka et Rutegama) et de Benga (collines Karunga, Benga et Kwigere).





Photo 3.5 : Destruction des maisons dans les zone Rushubi et Benga, Mars 2020

Source : Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (2021)

Certaines maisons ont été détruites suite aux glissements de terrain. A gauche, la maison a été menacée par les fissures tandis que la photo qui se trouve à droite indique le déplacement d'une maison dans un caniveau à cause du glissement de terrain.



Photo 3.6 : Glissement de terrain à Sagara en Zone Kibuye (Décembre, 2018)

Source : ABUTIP (2020)

Une masse de terre importante a connu un glissement dont l'aménagement demande des techniques spécialisées. La population ne sachant quoi faire a fini par cultiver dans le glissement.



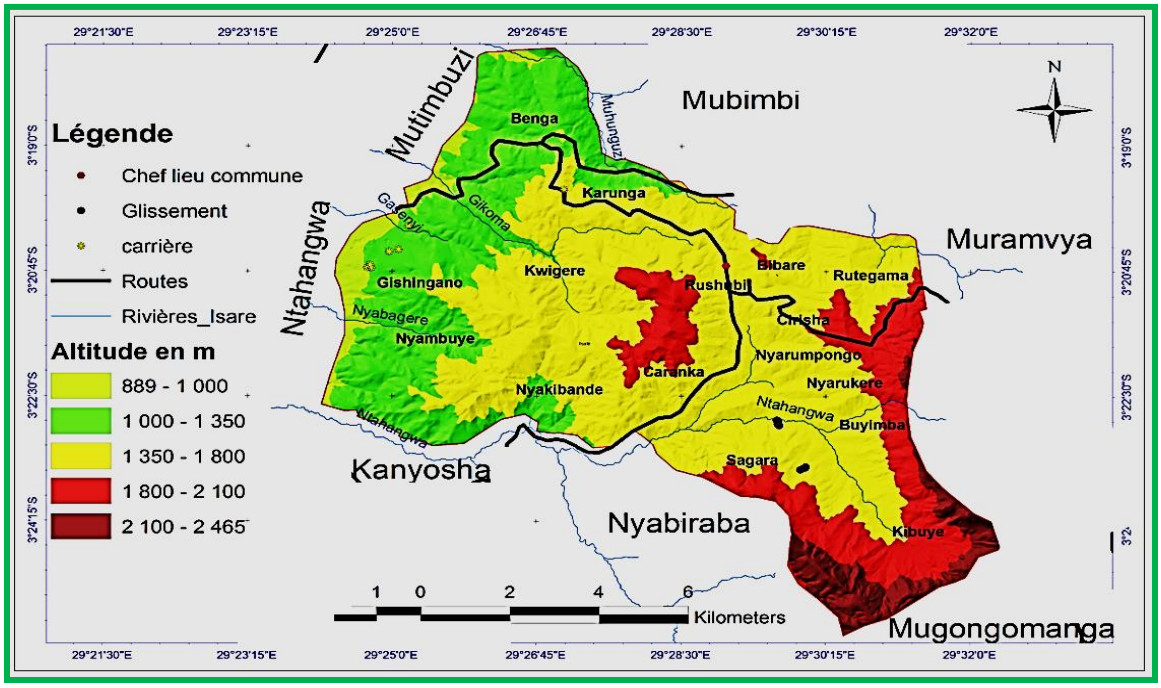
Photo 3.7 : Glissement de terrain à Cirisha, zone Rushubi (Cliché, auteur, le 12/5/2021)
Périmètre du glissement : 67m.

Les pluies abondantes profitent des facteurs physiques et humains favorisant l'érosion et menacent les paysages. Il en résulte des glissements de masse de terres avec toutes les cultures qui s'y trouvent. Comme la surface affectée par le glissement n'est plus cultivable, cela provoque la diminution de la propriété foncière et par conséquent la diminution des récoltes.



Photo 3.8 : Glissement de terrain à Sagara, Zone Kibuye (cliché, auteur, le 12/5/2021)
Périmètre du glissement : 98,18m

Une surface destinée à l'agriculture a été complètement abandonnée par la population à cause du glissement de terrain qui a emporté le sol et qui malheureusement continue à se réactiver. Bientôt, certaines populations en amont seront obligées de déménager car le glissement progresse vers les maisons d'habitation.



Carte 3.1: Carte des principaux glissements de terrain dans la commune Isare

Source : ABUTIP (2019)

La commune Isare est menacée par des glissements de terrains. La zone Kibuye et spécialement la colline Sagara est la plus menacée comme les photos des glissements de terrains ci-haut mentionnées le montrent. Deux principaux glissements de terrains sont bien visibles sur cette carte et tous se trouvent dans la zone Kibuye.

III.1.1.3. Effondrement des berges

La région naturelle des Mirwa, où certaines rivières prennent source est caractérisée par un paysage très accidenté, formé de zones de haute altitude à sommets étroits et à versants fortement disséqués à pente très forte, entrecoupés par de profondes vallées à profil transversal en V.

En effet, suite à des glissements de terrain et à l'érosion verticale et latérale provoquée par la Ntahangwa et ses petits affluents sous forme active, beaucoup d'infrastructures socio-économiques sont menacées de destruction dans les endroits vers lesquels la ville de Bujumbura s'étale comme c'est le cas de Mugoboka.



Photo 3. 9 : Effondrement des berges de la rivière Nyabagere dans la zone Nyambuye

Source : Charlote & Prudence (2016)

La torrentialité des ravins de la commune Isare est à l'origine de la destruction continue des talus. Malheureusement, la population inconsciente continue à cultiver ou à occuper les zones marginales proches des cours d'eau. En cas de pluies extrêmes, pendant la saison pluvieuse, les cultures plantées le long des cours d'eau et sans aucune protection sont plus vulnérables que les autres.



Photo 3.10 : Effondrement des berges de la Ntahangwa à Nyarukere, zone Kibuye **(Cliché,** auteur, le 12/5/2021)

Nyarukere est très vulnérable pas seulement aux glissements de terrain mais aussi à l'effondrement des berges.

En effet, la rivière Ntahangwa traverse cette zone à forte pente avec des roches qui ne résistent pas à l'érosion. Il en résulte des effondrements énormes des berges.

Ntahangwa est l'une des rivières les plus torrentielles qui traversent la ville de Bujumbura et qui a depuis longtemps détruit plusieurs infrastructures. Si sa torrentialité se fait remarquer en amont, cela signifie qu'en aval la situation se complique davantage.

Continuer à occuper les zones marginales proches de cette rivière, c'est se constituer soi-même son propre obstacle qui finira par perturber le développement et le bien être car tôt ou tard les dégâts que causera la torrentialité n'épargneront pas les mauvais aménagements mis en place.

III.1.2. Vulnérabilité des paysages humains

Les paysages mis en place par les activités anthropiques ne sont pas non plus épargnés de la vulnérabilité liée aux changements climatiques. Il s'agit des aménagements mis en place par l'homme dont les infrastructures socio-économiques.

Egalement, la destruction des champs est très fréquente en cas des excès ou des déficits pluviométriques. Le résultat est la réduction considérable des récoltes.

III.1.2.1. Destruction des infrastructures et la perte des vies humaines

Les écoles de la commune Isare sont vulnérables face aux risques naturels (surtout climatiques et géologiques) comme les vents violents et les glissements de terrain.

Tableau 3.2 : Destruction des infrastructures scolaires

INFRASTRUCTURE SCOLAIRE	NOMBRE DE SALLES DETRUITES
ECOFO Buhayira	2
ECOFO MUBERURE	3
ECOFO Rwamvura	2
Lycée communal Nyambuye	3
ECOFO Ndagano	2
ECOFO Nyarumpongo	1(cantine)
ECOFO Nkuri	1(cantine)

Source : ABUTIP (2020)

Selon SABUSHIMIKE (2014), les glissements de terrain et les inondations provoqués par les ravins de Gikoma, Gasenyi, Kijejete, Rutunga et Nyaruhongoka pendant deux années successives de 2014 et 2015 ont coûté la vie de plus de 100 personnes, sans parler des milliers de déplacés. Les infrastructures routières, les marchés, les réseaux d'adduction d'eau et d'électricité, les écoles et les églises ont été détruits.

En 2015, les inondations et les glissements de Rutunga et Nyaruhongoka furent de véritables catastrophes naturelles nationales qui ont occasionné des pertes économiques de plus de 3 milliards de FBU et plus de 1400 personnes sans-abris (SABUSHIMIKE, 2014).



Photo 3.11 : Destruction de la route Rushubi- Kibuye, colline Nyarukere (cliché, auteur 12/5/2021)

Pendant la saison pluvieuse, cette route est souvent menacée par les glissements et devient impraticable. La population locale s'organise pour atténuer la situation mais comme elle n'a pas des moyens et des techniques modernes, leur intervention n'est pas durable.

Chaque fois après les précipitations excessives, un groupe de gens doit s'organiser pour créer un passage afin qu'au moins les piétons puissent se déplacer.

Cette population se lamente du fait que les routes goudronnées n'existent pas à l'intérieur de la commune et que cela constitue un autre obstacle non négligeable au développement.

En 2014, des glissements de terrains dus à une forte pluie ont eu lieu sur 45% de la commune Isare sur les collines à pente longue et raide dont Kibuye, Sagara, Karunga, Kwigere, Gishingano, Benga et Caranka, occasionnant 70 morts, 150 blessés graves, 200 blessés légers, 200 maisons détruites, 6000 sans-abris, 3 ponts détruits, tué 150 animaux domestiques (vaches, moutons, chèvres, porcs et poules. Les glissements ont déraciné des arbres, emportés 400 ha de cultures et coupé les pistes et routes (ABUTIP, 2020).



Photo 3.12 : Destruction des champs à Sagara (2016)

Source : OAP (2016)

Le glissement de terrain a détruit des champs à Sagara et cela constitue un frein au développement économique de la population rurale dont la majorité ne vit que de l'agriculture.

La présence des brousses autour des ménages, des flaques d'eau et la non utilisation des MIILDA ont causé une épidémie de paludisme dans les Zones Benga, Rushubi, Kibuye et Nyambuye. 20000 personnes sont frappées par cette épidémie dans les 4 zones que compte la commune Isare; 40 décès ont été enregistrés (ABUTIP, 2020).

III.1.2.2. Diminution accrue des récoltes

Les impacts de la dégradation des sols sur le secteur agricole sont caractérisés notamment par une perte de productivité entraînant par conséquent l'insécurité alimentaire et la pauvreté dans la région.

La baisse de la fertilité des sols résultant d'une perte par érosion de leur couche superficielle entraîne une diminution des récoltes. Le phénomène est particulièrement perceptible sur des zones d'altitude notamment dans la région des Mirwa.

C'est précisément l'érosion en nappe qui surtout, occasionne le décapage des couches arables et provoque la chute progressive de la fertilité des sols et des rendements agricoles (GIHIMBARE A & al 2011).

Signalons que la commune Isare a été frappée durement par le conflit armé que le Burundi a connu depuis 1993 et la crise socio-économique qui s'en est suivi. Pendant la même période de crise, l'environnement a été fortement dégradé, l'agriculture rationnelle délaissée et les habitations, qui étaient déjà précaires, détruites (BOLLIN & al, 2014).

Les faiblesses dans ce secteur sont liées aux pluies torrentielles accompagnées de grêles sur une topographie escarpée qui s'abattent souvent sur la commune entraînent la destruction des cultures.

A cela il est important d'ajouter les différents insectes-rongeurs et parasites ainsi que les maladies phytosanitaires qui ravagent les cultures. Ces facteurs environnementaux renforcent le risque d'insécurité alimentaire.

En effet, des maladies de plantes (Mosaïque du Manioc et autres) et des rongeurs dus aux changements climatiques ont attaqué les cultures sur toutes les zones de la commune (Benga, Nyambuye, Rushubi et Kibuye) détruisant plus de 5000 ha des champs de maïs, de haricots, du manioc et des bananiers appartenant à plus de 5500 ménages (ABUTIP,2020).

De ce fait, on assiste à une chute de 75% de production agricole causant une insécurité alimentaire généralisée plus particulièrement chez les couches les plus vulnérables composées des femmes (65%) et des enfants (70%). 80 cas d'abandon scolaires et un taux de malnutrition de plus de 15% (ABUTIP, 2020).

La diminution des récoltes affecte les autres domaines de la vie comme la santé, l'éducation et l'économie en général.

En effet, la diminution des récoltes dans le milieu rural est synonyme de la pauvreté car à part que l'économie burundaise est essentiellement agropastorale, certaines personnes ne vivent que de l'agriculture.

Une moindre perturbation du secteur agricole complique les autres domaines de la vie car pour payer la scolarisation des enfants, il faut avoir des moyens financiers mais aussi pour se faire soigner. Si les sources de revenus proviennent exclusivement de l'agriculture, il est fort compréhensible que la diminution des récoltes provoquera impérativement la baisse du revenu et par conséquent le bien être sera touché.

C'est ainsi que certains jeunes abandonnent l'école et effectuent l'exode rural pour chercher le milieu dans lequel les conditions de vie peuvent être tolérables. Les autres enfants surtout moins de cinq ans sont vulnérables aux maladies liées à la malnutrition sont affectés par ces dernières.

Finalement, la vulnérabilité n'affecte pas seulement les paysages physiques mais surtout la vie des êtres humains dans tous ses aspects. Elle ne touche que l'environnement physique car elle peut atteindre la santé, l'économie et autres.

III.2. Analyse et discussion des résultats

Les changements climatiques existent et provoquent la dégradation de l'environnement de la commune Isare. Mais, ces changements climatiques sont favorisés par d'autres facteurs soit humains soit naturels.

III.2.1. Facteurs naturels ou physiques

La vulnérabilité de la région des Mirwa est due à son substrat géologique qui est dans sa majeure partie constituée de roches très susceptibles à l'altération, mais également à la permanence de longues et raides pentes, accentuée par l'abondance du réseau hydrographique constitué de cours d'eau à régime torrentiel. Cela se traduit par un surcreusement des vallées et une intense dissection des versants avec des pertes annuelles en terres très élevées (BISORE, 2005-2006).

III.2.1.1. La tectonique

Le soulèvement des montagnes jeunes des Mirwa d'un côté et le fossé d'effondrement qui loge les plaines de l'Imbo et le lac Tanganyika de l'autre, trouvent leur explication dans ce que l'on appelle la révolution tectonique du rift occidental africain avec les conséquences majeures suivantes :

- La fréquence des mouvements sismiques dans la zone du rift et spécialement autour de Bujumbura ;
- La fracturation des roches de l'échelle des terrains jusqu' à l'échelle des minéraux ;
- La forte intensité des zones de faiblesse exploitées par l'altération différentielle qui à son tour amplifie le rôle de l'érosion différentielle ;
- L'encaissement des vallées et des ravins de fracture avec des pentes longues et raides (SABUSHIMIKE, 2014).



Photo 3.13 : Forte pente dans la commune Isare, zone Nyambuye

Source : Charlote et Prudence (2016)

La pente joue un rôle important sur la vitesse du ruissellement. La combinaison « longueur-pente » d'une parcelle est donc un paramètre incontournable du problème érosif : une parcelle longue mais de pente moyenne peut être globalement aussi sensible à l'érosion qu'une parcelle plus courte sur pente forte.

La pente est alors un facteur important de l'érosion hydrique à la surface de la terre. Dans la nature, plus la pente est longue, plus le ruissellement est fréquent et s'accompagne du délabrement des versants.

Le versant Occidental de la crête Congo-Nil constitue une zone très fragile où la tectonique serait encore en activité. Les différents mouvements verticaux et horizontaux qui s'exercent sur la roche tantôt tendre tantôt résistante ont occasionné beaucoup de failles.

La tectonique est responsable de la fracturation et de la diaclase de la roche en place principalement le gneiss qui affleure sur les versants. Les glissements de terrain se produisent dans des zones de fracture et de diaclase occasionnées par les mouvements tectoniques (LASSERRE, 1979).

La tectonique, le degré et la longueur de pente ainsi que l'absence du couvert végétal sont des facteurs favorables à l'érosion hydrique intense qui aboutit souvent à la dégradation de l'environnement physique et humain.

III.2.1.2. Altération des roches

L'altération rapide des roches des Mirwa est un fait conjugué des précipitations et de la température. La température moyenne dans les Mirwa s'élève à plus de 20°C. La plupart des minéraux qui constituent les roches des Mirwa s'altèrent facilement suite à ces deux facteurs climatiques (SABUSHIMIKE, 2005).

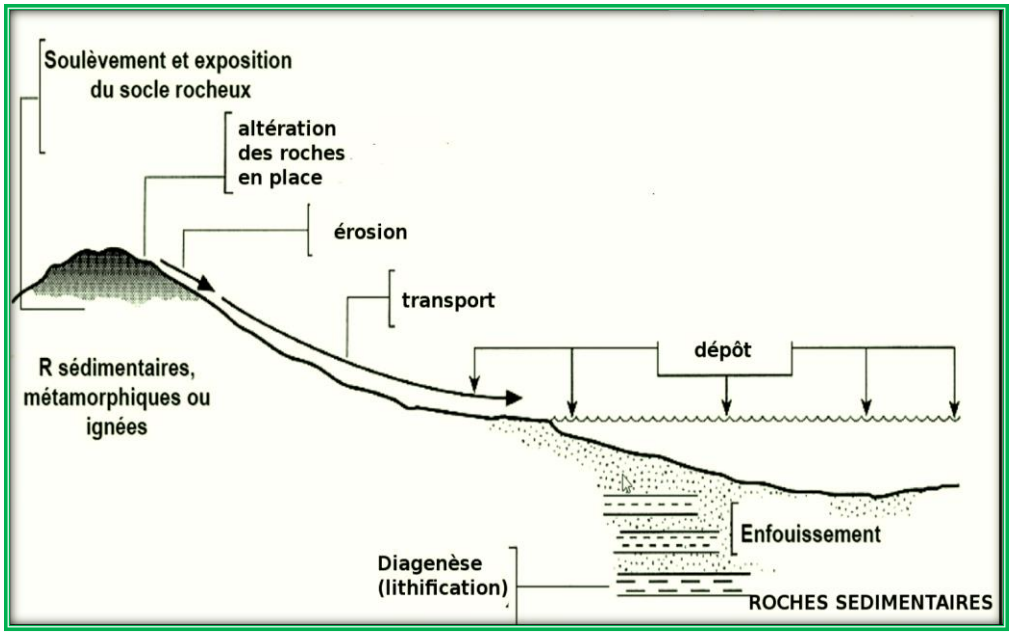


Figure 3.1 : Processus de l'altération, érosion et sédimentation

Source : BRIL (s.d)

Dès qu'une roche est amenée à la surface de la Terre, elle s'altère. L'altération est le premier des processus qui conduisent à la formation des roches sédimentaires.

L'altération résulte de l'action des agents climatiques sur les roches ou sur tout autre objet présent à la surface de la Terre.

Elle est donc fonction du climat, de la nature de la roche, de la structure géologique et du relief. L'érosion est maximale sur les zones déjà altérées, lors d'événements exceptionnels et lorsque ses principaux agents sont favorisés.

Autrement dit, les roches sédimentaires et métamorphiques subissent un soulèvement et deviennent exposées aux agents de l'altération tels que la température et l'eau. Une fois altérées, l'érosion transporte les produits de l'altération vers l'aval dans la zone de dépôt. Les dépôts sont enfouis et deviennent progressivement des roches sédimentaires.



Photo 3.14 : Roches meubles et très altérables à Gasekebuye

Source : SINDAYIHEBURA (le 15/7/2011) dans NKUNZIMANA, (2012)

La roche est complètement nue et est donc exposée. Les agents de l'altération tels que l'eau et la température profite de cette exposition de la roche pour l'altérer considérablement.

III.2.1.3. Erosion hydrique

La région des Mirwa a des sols argileux dérivés des schistes micacés, fragiles, ayant une forte tendance à s'éroder en rigoles et ravines. Certains sols sont humifères et jeunes, fertiles mais sont soumis à une érosion très sévère qui cause des ravinements (rigoles et ravines) dans les zones Benga, Rushubi et Nyambuye et des glissements de terrains, provoquant ainsi des crues des cours d'eau, une modification des berges et des inondations dans la plaine occidentale.

Les glissements de terrain sont dus à des facteurs variés entre autres la topographie très accidentée, les pluies torrentielles, le manque de couvert végétal accélérant ainsi l'augmentation du coefficient de ruissellement au détriment du coefficient d'infiltration, le manque de dispositifs antiérosifs, de la nature de la roche en place, etc.

L'érosion hydrique est le facteur le plus important de la dégradation de l'environnement dans la région des Mirwa en général et dans la commune Isare en particulier.

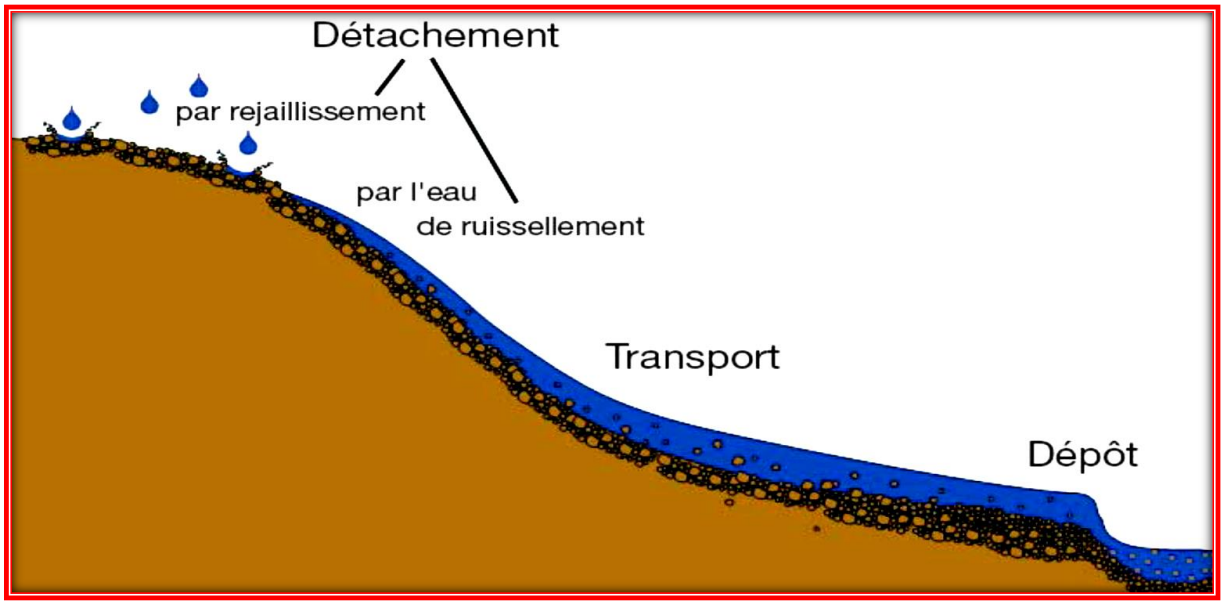


Figure 3.2 : Processus de l'érosion hydrique (pluviale)

Source : DAUTREBANDE & al. (s.d.)

Avant de pouvoir être transportées, les particules doivent être détachées du sol. Ce détachement se produit principalement par :

- L'impact des gouttes de pluie sur le sol (rejaillissement),
- Le frottement qu'exerce l'eau de ruissellement à la surface du sol.

Une fois détachées, les particules sont transportées principalement par l'eau de ruissellement

III.2.2. Facteurs humains

L'homme est quelques fois l'obstacle de son propre développement. A travers des aménagements inappropriés mis en place et la gestion irrationnelle des ressources, les êtres humains contribuent énormément à la dégradation de l'environnement et rendent ainsi impossible le développement durable.



Photo 3.15 : Destruction d'une maison construite dans une zone de glissement de terrain à Benga, 2020

Source : Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'élevage **(2021)**

Une maison construite dans un glissement de terrain ne peut pas durer longtemps. Il est alors strictement interdit de construite ou de cultiver dans une zone marginale car c'est un endroit à risque.

III.2.2.1. Destruction du couvert végétal

A l'état naturel, quand l'homme n'intervient pas, le sol est normalement couvert de végétation. Les feuilles et les branches le protègent contre l'impact de la pluie et l'effet desséchant du soleil et du vent. Les feuilles mortes et les brindilles cassées forment une litière superficielle qui le protège ultérieurement, favorisent et abritent une importante population de macro et de micro-organismes (MEATU, 2011).



Photo.3.16 : Dégradation du couvert végétal à sous colline Sheshaka, zone Nyambuye

Source : Charlotte et Prudence (2016)

Le couvert végétal de la sous colline Sheshaka a été complètement défriché. Maintenant, ce terrain sans protection appartient aux Batwa. Ces derniers n'étant pas habitués aux techniques de la protection des sols, l'érosion en profite pour dégrader fortement le sol.

Un sol nu est plus exposé à l'érosion qu'un sol couvert de végétation.

Il convient de privilégier l'agroforesterie qui est une technique qui permet de protéger le sol contre l'érosion sans toutefois perturber l'activité agricole.

III.2.2.2. Pression humaine sur les ressources naturelles

Dans la région des Mirwa, les terres sont très exploitées au maximum avec de mauvaises pratiques culturales sur des pentes fortes (paysage accidenté de manière générale) et une forte densité de la population qui entraîne un morcellement poussé des exploitations agricoles.

La population rurale se trouve dans une situation de pauvreté et de vulnérabilité extrême et cela constitue en lui-même un handicap à toute initiative de développement durable.

La taille de l'exploitation agricole n'est plus économiquement viable en plus du fait que les sols sont généralement pauvres et nécessitent une amélioration.

Signalons que ce problème d'insuffisance des terres cultivables est généralisé au Burundi car la taille moyenne d'une exploitation agricole est très petite (Bollin C & all, 2014). La cause de cette situation est la poussée démographique qui mène souvent à la dégradation des versants. On remarque ainsi la disparition du couvert végétal qui favorise la vulnérabilité des versants aux pluies extrêmes.

Déjà aujourd'hui, confrontée aux problèmes d'atomisation des exploitations et aux problèmes de fertilité des sols, la population, à la recherche des emplois non agricoles, se retourne vers les marais pour exploiter l'argile, vers les rivières pour exploiter les matériaux de construction comme le sable et le moellon et vers les collines pour exploiter les pavés. Or, toutes ces activités débouchent inexorablement sur la dégradation des terres.

En fait, la mise en valeur agricole du territoire national se fait depuis toujours dans un cadre purement traditionnel, les paysans mettant en valeur les sols qu'ils occupent sans que l'Administration intervienne réellement.

Etant donnée la poussée démographique, il s'ensuit une occupation de plus en plus dense des sols en dehors de toute règle moderne de gestion et de protection de la ressource nationale qu'est le sol et eau.

L'agriculture se fait alors sans tenir compte des pentes. Cela a comme conséquences une forte érosion et un charriage important de matériaux solides par les rivières qui causent de nombreux dégâts en aval.



Photo 3.17: Extraction des matériaux de construction dans la Ntahangwa à Nyarukere (cliché, auteur, le 12/5/2021).

Les moellons et le sable sont anarchiquement extraits dans la rivière Ntahangwa et cela contribue à la fragilisation des berges du cours d'eau et provoque à long terme l'effondrement des berges.



Photo 3.18 : Extraction des matériaux de construction à Nyarusagamba en 2018, Zone Benga

Source : ABUTIP (2020)

Une main d'œuvre abondante s'occupe de l'extraction des matériaux de construction dans cette localité.

Les fournisseurs viennent avec des véhicules pour acheter les matériaux extraits et les acheminent vers les chantiers mais une grande partie est emportée vers la Mairie de Bujumbura.

Comme c'est une activité à but lucratif, ceux qui extraient ces matériaux font leur mieux pour extraire le plus de matériaux possible afin de gagner beaucoup d'argent. Malheureusement, ils ne se soucient pas de l'environnement et cela ne fait qu'aggraver la vulnérabilité.

Normalement, après l'extraction des matériaux, la remise en état devrait suivre le plus tôt possible pour ne pas favoriser les autres facteurs de la dégradation de l'environnement.



Photo 3.19 : Etalement urbain vers les escarpements des Mirwa (Zone Gihosha)

Source : Auteur (Cliché, le 3/7/2021)

La ville de Bujumbura s'étale anarchiquement car ledit étalement ne suit aucune planification urbaine connue. Il s'agit des quartiers spontanés caractérisés quelques fois par des aménagements précaires.

Déjà dans la commune Isare, diverses formes topographiques se dessinent dans le paysage. Il s'agit principalement des vallées encaissées sur une grande partie de la commune et surtout à l'Est, au Nord et au sud.

Les pentes sont variées : environ, 39% de la superficie de la commune ont des pentes comprises entre 25 et 45% et 28% de la commune ont des pentes allant de 45 à 65%, ce qui témoigne le caractère escarpé de la commune (ABUTIP, 2020).

Cependant, le plus souvent, on construit dans des zones marginales en violant ainsi les normes de l'environnement et d'aménagement.

De ce fait, il est remarquable que malgré la vulnérabilité des Mirwa, l'étalement urbain continue à attaquer de plus en plus les escarpements d'une façon incontrôlée et cela ne fait qu'aggraver le degré de vulnérabilité.

La forme morphologique des versants (à pente forte) et le climat très pluvieux témoignent alors la vulnérabilité des zones d'étalement urbain aux risques de glissement de terrain et de ravinement.

Les zones menacées par l'étalement urbain doivent être protégées par des techniques appropriées afin de réduire la vulnérabilité.

Tableau 3.3 : Techniques de protection des sols adaptées à chaque type de terrain

▪ **Pente de 0 – 2%**	**: Haies vives et billons**
▪ **Pente de 2 – 6%**	: Haies vives + fossés anti érosifs
▪ **Pente de 6 – 25%**	: Terrasses radicales
▪ **Pente de 25 – 55%**	: Terrasses radicales avec des moyens consistants
▪ **Pente Supérieures à 55%**	: Reboisement

Le choix des techniques antiérosives se base sur les principes généraux suivants :

- Progressivité des aménagements (il est préférable d'aménager un secteur progressivement pour pouvoir corriger des erreurs éventuelles par la suite)
- Traiter en priorité les parcelles agricoles (seuls ces secteurs présentent un intérêt économique immédiat pour le monde rural et peuvent les motiver à entretenir les investissements).

Le traitement des parcelles agricoles une fois achevé, rend plus aisée la lutte contre l`érosion à l`aval en diminuant considérablement les volumes d`eau ruisselés (Ministère de l`Agriculture et de l`Elevage, 2010).

III.2.3. Analyse de l'équation universelle de Wischmeier

Rappelons la formule : $A=R \times K \times LS \times P$

A : perte de sol

R : Facteur pluie ou indice d'érosivité

K : Facteur sol

LS : Longueur de la pente (L) et son inclinaison (S)

P : Pratique de conservation ou de soutien

Tableau 3.4 : Vulnérabilité des régions à très forte pente

Région naturelle	R	K	LS	C/végétation naturelle	C/culture	A végétation Naturelle(T/ha)	A culture (T/ha)
Imbo	350	0,070-0,14	0,6-1	0,01	0,1-0,7	0,15-0,5	1,5-34,3
Mirwa	**475**	**0,070-0,14**	**1,1-21**	**0,001**	**0,1-0,7**	**0,04-1,4**	**3,7-977,6**
Crête Congo-Nil	550	0,070-0,14	1,1-21	0,001	0,1-0,7	0,04-1,6	4,2-1131,9
Plateau central	475	0,070-0,14	1,1-8,3	0,01	0,1-0,7	0,4-5,5	3,7-386,4
Dépressions du Nord	350	0,070-0,14	0,6-2,5	0,01	0,1-0,7	0,15-1,93	1,5-85,8
Dépression de l`Est	550	0,070-0,14	0,6-2,5	0,01	0,1-0,7	0,24-1,93	2,3-134,8

Source : RISHIRUMIRWA, T., 1997 dans MEEATU (2016)

Les données du tableau montrent que le Burundi est soumis à une érosion hydrique liée essentiellement au climat pluvieux et à l'importance des pentes (déclivité et longueur). Les régions les plus exposées sont celles qui accusent le facteur pente le plus élevé.

Les problèmes majeurs qui peuvent être identifiés sont : les pertes de terres agricoles dues à l'érosion et au ravinement suite à de mauvaises pratiques agricoles sur fortes pentes, la charge solide des cours d'eau très élevée, le sol devenu progressivement acide suite à l'érosion.

Les pratiques de protection ou de conservation sont inexistantes ou insuffisantes et la végétation naturelle est en continuelle dégradation.

En effet, d'une part, l'eau circulant par gravite, sur une zone à forte pente et sans couvert végétal, le ruissellement s'accentue et dégrade considérablement le sol en transportant les particules du sol de l'amont vers l'aval.

De l'autre part, la végétation intercepte une partie de la pluie, limitant l'effet splash. L'eau qui atteint le sol a moins d'énergie cinétique et peut s'infiltrer dans le sol. Il en résulte une érosion limitée.

III.2.4. Points de vue de la population vulnérable

Pour connaître les différents points de vue de la population vulnérable sur les facteurs de leur vulnérabilité, l'OAP (2016) a effectué une enquête sur 1090 personnes dans sa zone d'intervention située dans la région des Mirwa. Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant.

Tableau 3.5 : Causes de la dégradation du sol dans la région des Mirwa

Cause de la dégradation du sol	Effectif de la population	%
Inondation	116	10,64
Glissement de terrain	192	17,61
Erosion hydrique	397	36,42
Surexploitation	353	32,39
Autres	32	2,94
Total	**1090**	**100**

36,42% des enquêtés montrent que la région des Mirwa est soumise à une érosion hydrique. A côté de l'érosion, 17,61% notent la présence de l'érosion en masse dont les glissements de terrain. La surexploitation est aussi relevée comme cause non négligeable de la dégradation du sol soit 32,39%.

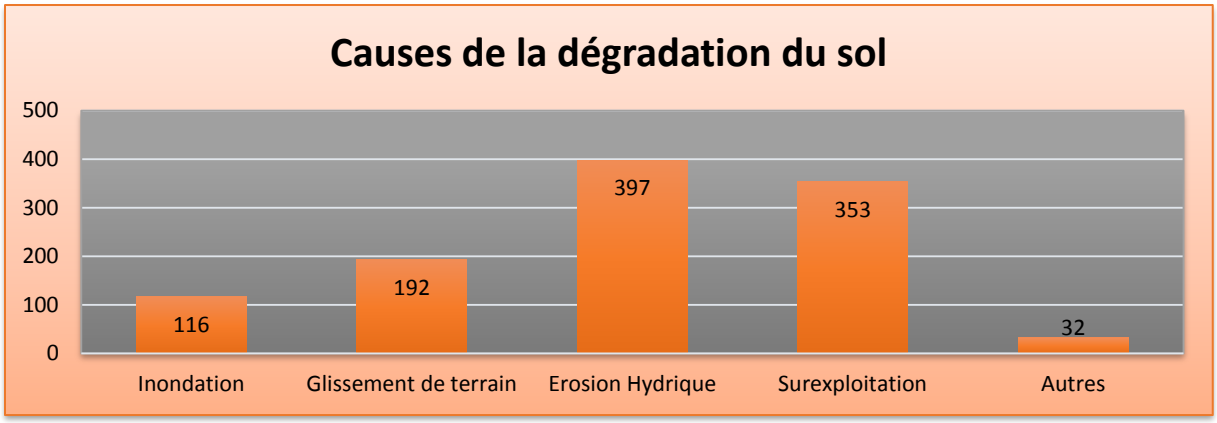


Figure 3.3 : Causes de la dégradation du sol

Source : Auteur sur base du tableau 3.3

Sur 1090 enquêtés, la majorité a affirmé que les principales causes de la dégradation du sol sont l'érosion hydrique (397) et la surexploitation (353).

L'érosion hydrique résulte des facteurs comme le climat, la topographie, le couvert végétal et la nature géologique. La surexploitation agricole est la conséquence de l'explosion démographique qui entraîne l'atomisation des exploitations agricoles.

III.2.5. Hiérarchisation des risques majeurs en commune Isare

Les risques majeurs identifiés dans la commune Isare sont les suivants : glissements de terrain et ravinements. Ces risques majeurs ont été hiérarchisés. La méthode utilisée consiste à estimer la probabilité de survenu d'un risque et son impact et leur attribuer une note de 5 (=le plus haut) à 1 (=le plus bas).

Tableau 3.6: Hiérarchisation des risques majeurs en commune Isare

Risques	Probabilité de survenue	Impacts	Sévérité	Rang
1.Inondations	1	1	1	7ème
2.Glissements de terrain	3	5	15	2ème
3.Insécurité alimentaire	4	5	20	1er
4. Conflits sociaux	1	2	2	6ème
5. Accidents routiers	1	1	1	7ème
6. Incendies	1	1	1	7ème
7. Ravinements	2	3	6	4ème
8. Eboulements	2	2	4	5ème
9. Epidémie de paludisme	3	3	9	3ème

Source : RUZIMA S et all (2017)

Le produit de la note attribuée pour la probabilité et celle attribuée pour l'impact donne la sévérité. L'impact est une estimation des pertes potentielles parmi la population, les biens, les services, les moyens de subsistance et l'environnement exposés ainsi que leurs impacts potentiels. Une note de 5 est attribuée pour un impact le plus fort.

Isare est confronté à deux groupes de risques : les risques de catastrophes naturelles et les risques liés aux catastrophes naturelles. Le premier groupe contient des glissements de terrains, ravinements, éboulements et inondations. Le deuxième groupe de risques contient les risques de l'insécurité alimentaire, d'épidémies et conflits sociaux.

Les chiffres du tableau ci-dessus montrent que l'insécurité alimentaire a plus d'impacts que les glissements de terrains parce qu'elle occasionne plus de de pertes en vies humaines. Cela a des effets néfastes sur la vie des ménages dans la mesure où ces derniers doivent se mobiliser pour venir en aide à leurs membres dont la santé est fragilisée par une alimentation déficitaire, ce qui a un impact sur leurs activités quotidiennes et leurs moyens financiers.

Dans le contexte de la mise en place d'une alerte précoce, les risques de catastrophes naturelles (glissements de terrains, ravinements, éboulements) doivent être considérés en premier lieu et comme créant des risques en cascade, qui sont l'insécurité alimentaire, les conflits sociaux ainsi que les épidémies (RUZIMA S et all, 2017).

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

Les bassins versants à forte pente sont très vulnérables aux changements climatiques. L'exemple typique est celui des Mirwa. Plusieurs facteurs favorisent la vulnérabilité des Mirwa. Il s'agit des facteurs physiques et humains. L'érosion hydrique profite de ces facteurs et dégrade l'environnement. Il en résulte des mouvements de terrain ou pertes en terres (estimée à 150 tonnes à l'hectare/an) et des effondrements des berges des rivières traversant la région des Mirwa.

La commune Isare est l'une des communes de la province de Bujumbura très vulnérable aux changements climatiques. Plusieurs domaines sont touchés par cette vulnérabilité tels que les domaines de santé, infrastructures, agriculture et autres.

Les paysages physiques sont surtout menacés par des glissements de terrains (glissement de terrain à Sagara : zone Kibuye, glissement de terrain à Cirisha : zone Rushubi et autres)) ainsi que par des effondrements des berges (effondrement des berges de la riviere Nyabagere, effondrement des berges de la Ntahangwa et autres).

Quant aux paysages humains, on remarque la destruction des infrastructures socioéconomiques (maisons d'habitation, écoles, routes et autres), la destruction des récoltes et la perte des vies humaines.

A titre d'exemple, à cause de la catastrophe de 2014, sur toute la commune Isare, des glissements de terrains ont eu lieu sur 45% de la commune occasionnant 70 morts, 150 blessées graves, 200 blessés légers, 200 maisons détruites, 6000 sans-abris, 3 ponts détruits, 150 animaux domestiques tués et 400ha de cultures emportées.

Pour régler durablement et efficacement un problème d'érosion, il est préférable de privilégier les actions préventives. Les techniques de protection des sols adaptées à chaque type de terrain sont à privilégier et surtout en amont.

Il est alors très raisonnable de concentrer beaucoup d'efforts sur la protection des bassins versants des Mirwa car ils constituent un danger pour la ville de Bujumbura qui est menacée par les inondations et les glissements de terrains provoqués par les dégâts provenant des Mirwa.

Au lieu de faire des aménagements précaires dans la Mairie de Bujumbura, il convient d'aménager efficacement la région des Mirwa d'où provient le danger et Bujumbura sera protégée durablement car « Vaut mieux prévenir que guérir ».

Recommandations

Nos suggestions sont adressées au gouvernement, aux organisations internationales et surtout œuvrant dans le domaine de l'environnement et d'aménagement, aux experts en environnement et en aménagement et aux populations habitant les zones vulnérables ou d'intervention des projets d'adaptation.

Au gouvernement : élaborer et surtout appliquer de bonnes politiques pour aménager les zones à forte pente de la commune Isare mais aussi la politique démographique pour éviter la pression foncière dans le monde rural détruisant la végétation.

- Aux organisations internationales : intervenir sérieusement dans l'aménagement des Mirwa en réalisant des projets d'aménagement de grande envergure et surtout faire le suivi du début jusqu'à la fin ;
- Aux experts : bien faire les études et exécuter efficacement les tâches qui leur sont assignées afin de pérenniser les projets d'aménagement ;
- Aux populations des Mirwa en général et de la commune Isare en particulier : respecter les normes de l'environnement, faire la planification démographique et veiller à sauvegarder les aménagements mis en place.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

I. Ouvrages

1. BISORE, S (2005-2006), *la problématique climatique au Burundi*, Université Libre de Bruxelles, 88p.
2. BOUREIMA M & al (2012), *Analyse participative de la vulnérabilité et de l'adaptation aux changements climatiques : une guide méthodologique*, Bamako, Mali, 67p.
3. BRIL, H (s.d), *la Terre, ses composants, son évolution*, Université de Limoges, 50p.
4. CAMIRAND J & GINGRAS C (2009), *des pratiques agricoles ciblées pour la lutte aux changements climatiques*, Québec, 52p.
5. CAMPAGNA, M (1996) *le cycle du carbone et la forêt: de la photosynthèse aux produits forestiers*, Québec, 56p.
6. DEHOUCK, E (2012), *Caractérisation des processus d'altération à la surface de Mars primitive par approche expérimentale et télédétection, Nantes,* 354p.
7. LASSERRE, G (1979), *Atlas du Burundi*, planche 1, cité dans Antoine Marie NDAYISENGA (2015), *les mouvements gravitaires et leurs impacts dans la région autour de Bujumbura. cas des glissements de terrain du bassin versant de la rivière Gasenyi*, Bujumbura, 96p
8. NKUNZIMANA, A (2012), *Etude de l'influence des changements climatiques sur la torrentialité des rivières des montagnes de l'ouest du Burundi et leur impact sur l'aménagement du territoire : Cas des bassins versants de la Nyabage, de la Mugoyi et de la Mutimbuzi*, Bujumbura, 193p.
9. TISSOT, A (2011), *Changement climatique en Bourgogne : analyse des impacts et des pistes d'adaptation***,** Bourgogne, 50p.

II. Rapports et publications

1. ABUTIP (2016), *Etude d'impact environnemental et social des travaux de canalisation de la rivière Gasenyi*, 141 p.
2. ABUTIP (2020), *Plan de contingence de la commune Isare*, 42p.
3. ABUTI/ASBL (2019), *étude d'impact environnemental et social des travaux de construction des centres de santé de Shurugumya en commune Gahombo et Gitezi-Gishingano en commune Isare*, s.d, 163p

4. APRN/BEPB (2012), *Etude de référence environnementale et socio-économique en colline Rabiro, sous-colline Taba, en commune Mutumba, province de Karuzi*, Bujumbura, 28p.
5. BOLLIN C & al (2014), *Analyse intégrée de la Vulnérabilité au Burundi*, Bujumbura, 58p.
6. CHARLOTTE & PRUDENCE (2016), *Actions participatives et étatiques à mener pour lutter contre l'érosion en commune isare* : cas de la colline Nyambuye, Bujumbura, 34p
7. DAUTREBANDE S & al (s.d), *Lutter contre l'érosion des terres*, s.l. 45p.
8. DIDIER, A (2012), *Les principes du développement Durable*, s.l. 23p.
9. DUPILET, D (2003)*, guide technique de la lutte contre l'érosion du sol*, s.l. 44p.
10. GIHIMBARE A & al (2011), *Etude sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi Rapport final,* Bujumbura, 91P
11. INECN (2014), *Cinquième rapport du Burundi à la convention sur la diversité biologique* Bujumbura, p70p.
12. ISTEEBU (2020), *Projection démographique au niveau communa*,Bujumbura, 422p.
13. LATELTIN, O (1997), *Dangers naturels*, Berne, 42p.
14. MEEATU (2011), *Etude sur les coûts de l'inaction contre la dégradation des sols au Burundi,* Bujumbura, 95p.
15. MEEATU (2013), *politique nationale sur le changement climatique*, Bujumbura, 32p.
16. MEEATU (2016), Directives et bonnes pratiques de gestion durable des terres au Burundi, p 208
17. Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage (2021), Etude d'impact environnemental et social, Bujumbura, 127p
18. NDUWIMANA O & al **(**2013), *Cartographie de la fertilité des sols du Burundi et des besoins des principales cultures vivrières en éléments nutritifs*, Bujumbura, 77p.
19. NIBIGIRA E & al (2011), *Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura*, Washington,106p
20. OAP (2016), *Etude de référence sur la restauration et la protection de l'environnement*
21. PAUTROT, C (2012), *Érosion et dégradation des sols***,** *Metz*, 221p.
22. PNPRGC
23. Quatrième congrès d'agroforesterie (2019), *arbres et climat*, Montpellier, 28p.
24. RUZIMA S (2017), Plan de contingence de la commune Isare, Bujumbura,57p

25. SABUSHIMIKE, J-M (2005) *vulnérabilité des bassins versants de la région des Mirwa : impacts socioéconomiques et environnementaux*, Bujumbura, 51p.
26. SABUSHIMIKE, J-M (2014), *Circonstances Nationales liées aux changements climatiques au Burundi*, Bujumbura, 50p.
27. STONE R-P & HILBORN D (2000), *Equation universelle des pertes en terre, Ontario*, s.l. 8p.

III. Notes de cours

1. BOUKLI HACENE C & RABAH FISSA A (s.d.), *Système d'Information Géographique, cours et travaux pratiques*, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –Faculté de technologie, 79p
2. Bureau d'Etude des Programmes de l'Enseignement Fondamental (2017), *Sciences Humaines, manuel de l'élève,* Bujumbura, 191p.
3. SABUSHIMIKE, J-M (2018), *cours de gestion des catastrophes*, U.B, Master 1 GIE.
4. SABUSHIMIKE, J-M (2019), cours *des changements climatiques*, U.B, Mastère I, SPTD.
5. TOYI, A (2018), Cours d'enquête et systèmes d'information sociodémographique, U.B, SPTD, première année.

IV. Sites web

1. https://echo2.epfl.ch, *le bassin versant et son complexe*, page consultée le 5/9/2020 à 11 :00´.
2. https://horizon.documentation.ird.frs, *Atlas de la Nouvelle-Calédonie - planche 13*, page consultée le 3/9/2020.
3. https://laviedesidees/le concept de vulnérabilité, page consultée le 25/6/2021
4. https://www.3-0.fr/doc-ddles, *Piliers du développement durable*, page consultée le 5/5/2021
5. https://www.adequations.org/spip.php, *Notions essentielles du développement durable, page consultée* le 10/5/2021