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

Gestion de l'éspace alluvial des rivières dynamiques, enjeux et problèmes,cas de la Ntahangwa

Bizimana, Armel; Sous la direction du: Dr. Godefroid Ndayikengurukiye

2017-07
UB, FLSH
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2248

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES LETTRES ET SCIENCES HUMAINES

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE

OPTION : AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

GESTION DE L'ESPACE ALLUVIAL DES RIVIÈRES DYNAMIQUES, ENJEUX ET PROBLÈMES ; CAS DE LA NTAHANGWA

Par

BIZIMANA Armel



Sous la direction du:

Dr. Godefroid NDAYIKENGURUKIYE

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du grade de licence en Géographie

Option : Aménagement du Territoire

Bujumbura, juillet 2017

DEDICACE

A Dieu Tout Puissant ;

A ma regrettée mère ;

A mon père ;

A mes frères et sœur ;

A mes nièces ;

A mes cousins et cousines ;

A toute ma famille ;

A mes amis ;

Je dédie ce mémoire.

AVANT-PROPOS

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

Nous tenons à exprimer notre grande gratitude au Docteur NDAYIKENGURUKIYE Godefroid, notre Directeur de mémoire. Son appui scientifique, son suivi permanent, sa compréhension et ses qualités humaines nous ont fort marqués et nous lui en sommes infiniment reconnaissant. Il nous a fait bénéficier de sa grande expérience tout le long de la réalisation de notre travail. Nous nous excusons pour tous ces désagréments et lui disons merci de tout cœur pour les peines qu'il s'est données dans le seul souci de notre perfection.

Nous adressons nos sentiments de gratitudes et remerciements à tous les enseignants depuis l'Ecole Primaire jusqu'à l'Université du Burundi, précisément aux Professeurs de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines en particulier ceux du Département de Géographie.

Nos chers parents (notre mère qui nous a quitté mais qui reste un être cher pour nous), à travers leur volonté de nous voir grandir sur le plan scientifique et en sagesse ; il serait anormal dans ce cadre d'exposer toutes les peines et tous les sacrifices encourus depuis notre naissance jusqu' à ce jour dans le seul but de nous voir émerger.

Enfin, nous ne manquerons pas de témoigner notre grande joie à l'endroit de tous nos amis et camarades de classe que nous avons quotidiennement côtoyés et qui ont agrémenté ce parcours de formation, et ceux qui, de près ou de loin, moralement ou matériellement, ont contribué d'une manière ou d'une autre dans la réalisation de ce travail, c'est ici le moment de leur exprimer nos remerciements.

Telle est la façon d'exprimer notre profonde gratitude à votre générosité et, que Dieu vous bénisse.

BIZIMANA Armel

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES

CERAM : Centre d'Enseignement et de Recherche Appliqués au Management

DGVA : Direction Générale de la Vulgarisation Agricole

FAO : Food Agriculture Organization

FLSH : Faculté des Lettres et des Sciences Humaines

IGEBU : Institut Géographique du Burundi

INEAC : Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo

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

ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

ISTEEBU : Institut des Statistiques et des Etudes Economiques du Burundi

MINAGRI : Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage

MINATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

MININT : Ministère de l'Intérieur

ONG : Organisation Non Gouvernementale

ONU : Organisation des Nations Unis

Op. cit. : Opere citato (document déjà cité)

PUF : Presses Universitaires de France

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

RN : Route Nationale

S.A.U : Surface Agricole Utile

SETEMU : Services Techniques Municipaux

SNEB : Stratégie Nationale pour l'Environnement au Burundi

U.B : Université du Burundi

LISTE DES ILLUSTRATIONS

1. Les figures

Figure 1: Localisation du bassin versant de la rivière Ntahangwa.....5
Figure 2: Carte des sols du bassin versant de la rivière Ntahangwa 10
Figure 3: Carte géologique du bassin versant de la Ntahangwa.....14
Figure 4 : Profil topographique du bassin versant de la rivière Ntahangwa 18
Figure 5: Carte hydrographique du bassin versant de la Ntahangwa.....19
Figure 6: Dynamique des berges de la rivière Ntahangwa.....29
Figure 7: Croquis géomorphologique.....34
Figure 8: Amplification des ravins Nyamituku due à l'attribution anarchique des parcelles dans des zones à très haut risque de mouvement des terres 40
Figure 9: Tendance de l'expansion spatiale de la ville de Bujumbura.....43
Figure 10: Expansion de la ville de Bujumbura entre 1980 et 2015 45

2. Les tableaux

Tableau 1 : Vitesse moyenne des rafales et vitesse moyenne du vent (2008) 8
Tableau 2 : Humidité relative de l'air durant l'année 2011 8
Tableau 3 : Pluviométries mensuelles de la station de Bujumbura (2014).....35

3. Les photos

Photo 1: Etat des lieux en 1957 de la zone d'étude (partie aval du bassin versant 25
Photo 2: Photographie aérienne de la partie avale de la zone d'étude de 1994.....26
Photo 3: Quasi-absence du couvert végétal sur des pentes raides, ainsi que la culture dans le sens de la pente 38
Photo 4: Inondation du boulevard du 1er novembre au niveau de la BRARUDI par la rivière Ntahangwa 55
Photo 5: Coupure de l'avenue Sanzu qui mène au quartier périphérique de Mugoboka ainsi que les conduits d'eau potable.....57
Photo 6: Quartier Mugoboka en voie d'isolement, la route Sanzu est presque coupée 57
Photo 7: Destruction de l'école primaire de Mutanga Sud.....58
Photo 8: Menace de destruction de l'école primaire Mutanga-Sud sur la rive gauche de la Ntahangwa 58

Photo 9: Destruction de l'avenue Mukarakara qui mène dans le quartier Kigobe Sud sur la rive droite de la Ntahangwa 59

Photo 10: Menace en cours des Villas dans le Quartier Kigobe-Sud 60

Photo 11: Gigantesque talus sur lequel est perchée l'école primaire de Nyakabiga 61

RESUME DU MEMOIRE

L'objectif du travail de recherche intitulé **«Gestion de l'espace alluvial des rivières dynamiques, enjeux et problèmes ; cas de la Ntahangwa»** était, en premier lieu, d'analyser la dynamique fluviale afin de mieux intégrer les cycles naturels de destruction-régénération des milieux alluviaux (bancs, berges) et de prévenir les risques tels que déchaussement de pont, sape de plateformes routières ou d'infrastructures ou autres constructions associés à la mobilité du cours d'eau. Ensuite il s'agissait de tenter d'expliquer les facteurs de cette dynamique et de proposer des pistes de solution.

En effet, en s'appuyant sur différentes sources de documents (de la bibliothèque centrale du campus Mutanga, du Ministère de l'eau, de l'environnement et aménagement du territoire et de l'urbanisme, de l'ISTEEBU et de l'IGEBU), quelques visites de terrain et des outils de traitement de l'information géographique, nous avons pu mener à son aboutissement.

L'analyse et interprétation des données à notre disposition, ont permis de dégager les facteurs qui amplifient la dynamique de la rivière Ntahangwa. Ces facteurs étant la croissance démographique sans cesse galopante, ce qui explique le besoin non négligeable de nouveaux espaces pour les constructions qui se sont observées à la périphérie de la partie urbaine de la zone d'étude tandis que dans la partie amont du bassin versant de la Ntahangwa qui est généralement caractérisée par l'agriculture intense, la forêt naturelle disparaît progressivement au profit de nouvelles cultures. Les défaillances en matière d'aménagement ont eux aussi leur part de responsabilité, sans oublier la nature du sol et l'agressivité du climat qui expliquent cet état des lieux dans notre aire d'étude.

Enfin, nous avons émis quelques recommandations à l'endroit des décideurs politiques, des services ayant l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement dans leurs attributions pour se rendre compte des dangers que présente cette dynamique fluviale, afin de mieux y remédier.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE ..... **i**

AVANT-PROPOS ..... **ii**

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISES ..... **iii**

LISTE DES ILLUSTRATIONS ..... **iv**

RESUME DU MEMOIRE ..... **vi**

TABLE DES MATIERES ..... **vii**

0. INTRODUCTION GENERALE **1**

1. Intérêt du sujet 2

2. Problématique de recherche 2

3. Méthodologie et articulation du travail 4

4. Localisation du bassin versant de la rivière Ntahangwa 4

CHAPITRE I : LE MILIEU NATUREL DU BASSIN VERSANT DE LA NTAHANGWA **6**

I.1 ENVIRONNEMENT BIOCLIMATIQUE 6

I.1.1 Le climat 7

I.1.2 La pédologie 9

I.1.3 La végétation 11

I.2. LES DONNEES GEOLOGIQUES 11

I.2.1 Unités géologiques 11

I.2.2 La tectonique 15

I.3 LES TRAITS DU RELIEF 15

I.3.1 Les massifs montagneux 15

I.3.2 Les sites collinaires 16

I.3.3 Des piémonts formés de glacis et de cônes de déjections 16

I.3.4 Les vallées encaissées et zones surbaissées 17

I.4 HYDROGRAPHIE 18

CHAPITRE II : EVOLUTION DANS LE TEMPS DE L'ESPACE DE MOBILITE DE LA RIVIERE NTAHANGWA 20

II.1 CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NTAHANGWA ... 20

II.1.1 Les caractéristiques physiques du bassin versant de la Ntahangwa 20

II.1.2 Les caractéristiques géométriques du bassin versant de la Ntahangwa 21

1. Les caractéristiques de forme 21

2. Les caractéristiques de pente 22

3. Indice de drainage 22

II.2 UNE DYNAMIQUE FLUVIALE DE LA RIVIERE NTAHANGWA 22

II.2.1 Définition 23

II.2.2 Facteurs de variation du tracé du lit de la Ntahangwa 23

II.3 EVOLUTION DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE DE LA RIVIERE NTAHANGWA DE L'AMONT A L'AVAL 24

II.3.1 Section située à l'amont du captage d'eau 27

II.3.2 Section située entre le captage d'eau et le pont du boulevard du 28 novembre 27

II.3.3 Section comprise entre le pont du Boulevard du 28 novembre et la Chaussée du Peuple murundi 28

II.3.4 Section située en aval du pont de la chaussée du Peuple Murundi 30

CHAPITRE III : LES FACTEURS DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE 31

III.1 LA FORME DU BASSIN VERSANT 31

III.2 FACTEURS NATURELS 31

1. Facteurs topographiques 31

2. Facteurs géologiques 32

3. Facteurs géomorphologiques 33

4. Facteurs climatiques 35

III.3 FACTEURS ANTHROPIQUES 36

1. L'expansion spatiale incontrôlée de la population 36

2. L'impact des activités de la population sur la dynamique de la Ntahangwa 37

CHAPITRE IV : DEGRADATION DES SOLS ET RISQUES NATURELS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NTAHANGWA 47

IV.1 ETAT DE LA DEGRADATION DES SOLS PAR ZONE ECOLOGIQUE 47

1. Plaine occidentale 47

2. Escarpement occidental des Mirwa 47

3. Crête Congo-Nil 48

IV.2 FACTEURS DE DEGRADATION DES SOLS EN AMONT DU BASSIN VERSANT DE LA NTAHANGWA 48

IV.2.1 Déforestation 48

IV.2.2 Mauvaise utilisation des terres 49

IV.2.3 Exiguïté des terres 50

IV.2.4 Perturbations climatiques persistantes 50

IV.2.5 Pression démographique sans cesse croissante 51

IV.2.6 Mauvaise gouvernance dans la gestion des terres 51

IV.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DE LA NTAHANGWA 52

IV.3.1 Zones menacées par les inondations 53

IV.3.2 Zones menacées par les glissements de terrain 56

IV.4 QUELQUES AMENAGEMENTS 62

CONCLUSION GENERALE 66

BIBLIOGRAPHIE 69

ANNEXES 71

0. INTRODUCTION GENERALE

Pour se maintenir en vie, tous les êtres vivants ont besoin de l'eau en quantité et qualité variables, chacun selon son mode de vie.

L'homme utilise des quantités d'eau plus importantes à de fins multiples : boisson, cuisson des aliments, hygiène, loisirs, agriculture, énergie, etc.

Cependant, l'eau ne fait pas que du bien. Chaque année nous entendons ici et là d'importants dégâts humains et matériels causés par des inondations des rivières et des fleuves.

Les inondations qui font ravage dans le monde ne sont pas près de s'arrêter. De fortes averses causent la destruction des immeubles, ponts et autres ouvrages.

La principale cause des inondations est l'érosion due aux précipitations qui s'abattent sur les sols érodables. En effet, suite aux fortes précipitations, les hautes terres sont érodées tandis que les basses terres subissent de grandes inondations. Les matériaux arrachés en amont sont transportés jusque dans les régions basses par les rivières. Ils s'y déposent provoquant ainsi un rehaussement du lit, réduisant de cette façon la section d'écoulement des fleuves et rivières et pendant les hautes eaux il y a débordement et inondation.

Le Burundi n'est pas épargné de ces phénomènes. Son climat est caractérisé par de fortes précipitations. En outre, pour la majeure partie, le Burundi est un pays de montagnes accidentées et intensément cultivées. Cette situation le dispose à subir une érosion intense. Par ailleurs, il possède un réseau hydrographique très dense et les matériaux issus de l'érosion sont transportés vers les régions basses.

La rivière Ntahangwa fait partie des rivières qui traversent la ville de Bujumbura avant de se jeter dans le lac Tanganyika, entraînant avec elles une charge matérielle importante et causant des inondations de grande ampleur.

L'ambition de ce travail de recherche est de tenter d'expliquer et de donner des réponses sur les questions suscitées par le sujet telles que :

- Quels sont les facteurs de la dynamique fluviale de la rivière Ntahangwa ? ;
- La pression démographique en amont du bassin versant de la rivière Ntahangwa est l'une des causes majeures de la dynamique environnementale dans ce même bassin versant ? ;

- L'expansion urbaine mal planifiée n'a-t-elle pas une grande influence sur la dégradation des sols ?;
- Quels sont les impacts environnementaux de la dynamique de la rivière Ntahangwa ?;
- Quelles sont les solutions à prendre dans l'immédiat pour lutter contre les méfaits de l'érosion dans le bassin versant de la rivière Ntahangwa surtout dans la partie urbaine ?

1. Intérêt du sujet

Le but de notre travail est de définir le lit mineur et majeur de la rivière et d'analyser la dynamique fluviale afin de mieux intégrer les cycles naturels de destruction-régénération des milieux alluviaux (bancs, berges) et de prévenir les risques associés à la mobilité du cours d'eau (recapture de gravière, déchaussement de pont, sape de plateformes routières ou d'infrastructures ou autres constructions ...).

La comparaison chronologique des photographies aériennes (1957-1994) et des images Google Earth (2002-2017) de notre zone d'étude montre clairement la dynamique de la rivière Ntahangwa de l'amont jusqu'en aval. C'est dans cette optique que nous avons opté pour ce travail afin de faire une cartographie des zones menacées par divers dangers tels que les éboulements, l'élargissement des berges, les glissements de terrain d'une part (zone de forte pente) et les inondations d'autre part (zone basse). Ce travail est d'une grande utilité pour les décideurs politiques dans la prise de décision de certains aménagements urbains dans des secteurs similaires de notre zone d'étude.

2. Problématique de recherche

La gestion de l'espace alluvial d'une rivière dynamique pose de nombreux problèmes tel que l'érosion des berges, la recapture d'anciennes gravières, destruction d'infrastructures, l'affouillement de ponts, la déstabilisation des plateformes routières,.... C'est pourquoi l'homme a longtemps cherché à fixer les chenaux des rivières. Cependant ces tentatives sont vaines dans le cas de rivières dynamiques telles que la rivière Ntahangwa.

La majeure partie du bassin versant de la Ntahangwa se caractérise par une pente moyenne de 12,1%. L'exploitation agricole y est très intense même sur les montagnes à pente raide.

Cet état de forte pente et de surface semi-nue fait que pendant la saison des pluies, le ruissellement de surface devient plus important que l'infiltration.

Pendant les fortes précipitations, cette zone subit d'érosion sans cesse croissante suivie d'un transport des matériaux arrachés. Cette érosion continue jusqu'au niveau du pont du 28 novembre. La pente diminue de la région de Mirwa à la partie basse.

Du fait que la pente diminue, la force de charriage diminue et les matériaux transportés, issus de l'érosion s'y déposent. Suite à ces derniers, le lit de la rivière est rehaussé et la section d'écoulement s'en trouve réduite, d'où les inondations dans la zone basse pendant les crues.

Le tracé du lit de la Ntahangwa subit des modifications permanentes. Une des causes de ces modifications est le transport des matériaux solides par la rivière en provenance des régions montagneuses. Une grande partie de ces matériaux se décante dans le cours inférieur de la rivière et conduit en ces endroits au rehaussement du fond.

Face à tous ces problèmes causés par la rivière Ntahangwa dans la ville de Bujumbura, quelques solutions et mesures de prévention pour limiter les désastres seront développés dans le présent travail.

Les hypothèses sur lesquelles nous nous sommes basées pour répondre aux questions suscitées par le sujet, sont les suivantes :

- Dans le bassin versant de la rivière Ntahangwa, la disparition de la forêt naturelle au profil des cultures favorise une forte érosion dans la partie amont de notre zone d'étude, la démographie galopante dans cette dernière et l'agressivité du climat jouent un rôle non négligeable dans la dégradation de l'environnement.
- Même si le processus se déclenche en amont du bassin versant de la Ntahangwa, la partie urbaine de notre aire de travail subit de graves conséquences liées d'une part à la prédisposition naturelle des Mirwa (amont du bassin versant) face à la plaine (aval) et d'autres part liées à l'incompétence des services urbanistiques.

3. Méthodologie et articulation du travail

L'élaboration de ce travail a été possible grâce à la consultation des ouvrages tels que les mémoires, les thèses, les rapport et articles mentionnés dans la bibliographie.

- La carte topographique du Burundi au 1/50.000 ème (feuille Bujumbura et Feuille Muramvya) pour la délimitation de notre zone d'étude ;
- Les cartes géologique (au 1/100.000 ème) et pédologique (1/250.000ème) pour une étude de la constitution du sol sur tout le bassin versant de la Ntahangwa ;
- Les images Google Earth (de 2000 à 2017) pour suivre l'évolution dans le temps et dans l'espace de la rivière Ntahangwa et identifier les zones à très haut risque d'érosion et d'inondation.

Notre travail de recherche intitulé «Gestion de l'espace alluvial des rivières dynamiques, enjeux et problèmes ; cas de la Ntahangwa» comporte quatre chapitres à savoir :

Chapitre I : Le milieu naturel de la région de Bujumbura

Chapitre II : Evolution dans le temps de l'espace de mobilité de la rivière Ntahangwa

Chapitre III : Les facteurs de la dynamique fluviale

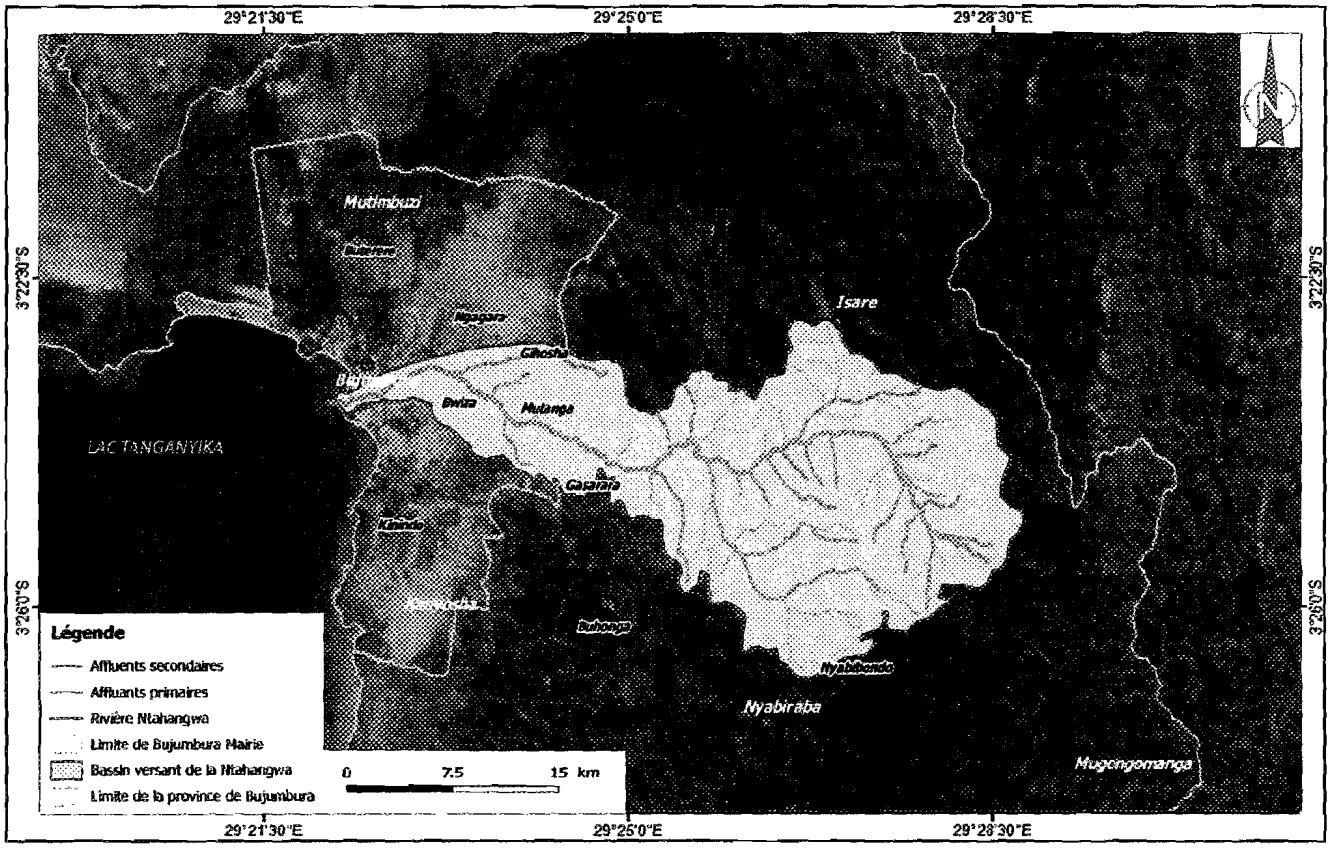
Chapitre IV : Dégradation des sols et risques naturels dans la région de Bujumbura.

4. Localisation du bassin versant de la rivière Ntahangwa

Le bassin versant de la Ntahangwa est situé sur le versant occidental de la crête Congo-Nil. Il se localise dans la partie centrale de deux régions naturelles à savoir la plaine de l'Imbo (aval) et les Mirwa (amont).

Géographiquement, la zone est limitée au nord par la ligne de partage des eaux bu bassin versant de la rivière Nyabagere et au sud, elle se limite aux confins du bassin versant de la rivière Muha. Administrativement parlant, elle est à cheval entre deux communes. Une partie couvre la frange nord-ouest de la commune Kanyosha tandis que l'autre constitue la zone sud-est d'Isare (voir figure 1).

Figure 1: Localisation du bassin versant de la rivière Ntahangwa



Source : Auteur sur fond d'image Google Earth

CHAPITRE I : LE MILIEU NATUREL DU BASSIN VERSANT DE LA NTAHANGWA

Selon DEMANGEOT J., «*le milieu est étymologiquement, ce qui se trouve au centre de l'espace. Puis le mot est venu à désigner la notion inverse, c'est-à-dire ce qui entoure, ce qui baigne le centre (...). C'est en ce sens que le géographe l'emploie, sous-entendant généralement que c'est l'homme qui le centre du 'milieu géographique'. Ce milieu est dit naturel lorsqu'y prédominent des éléments non ou peu transformés par l'homme : roches, arbres ou marais, etc.*[1]»

Les paysages géomorphologiques d'un milieu résultent généralement des formes internes (tectonique et soulèvement) et des forces externes (érosion). La nature pétrographique joue un grand rôle dans la mise en place du paysage.

Dans ce premier chapitre, nous allons analyser l'environnement bioclimatique, des données géologiques du milieu naturel c'est-à-dire les facteurs du milieu naturel (relief, géologie, climat, végétation et l'hydrologie) qui sont la base de tout aménagement.

I.1 ENVIRONNEMENT BIOCLIMATIQUE

Le climat est la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu dans leur succession habituelle.[2] Il fait partie des éléments du milieu naturel qui interviennent dans tous les aménagements.

Le climat qui règne dans notre zone d'étude est du type tropical avec l'alternance des saisons sèche et pluvieuse. La plaine connaît un climat chaud et les contreforts un climat chaud tempéré.

« La température moyenne annuelle est de 23,2°C (zone de plaine), ce qui reflète le caractère principal de toute la région subéquatoriale où les moyennes mensuelles varient peu au cours de l'année »[3]. Les températures à Bujumbura sont caractérisées par une constance remarquable tout au long de l'année.

---

[1] DEMANGEOT, J., *Les milieux «Naturels» du globe*, Paris, 10ème éd, Armand Colin, 2009, pl.
[2] NSABIMANA S., *Climat et sol au Burundi : Toposéquence Bugarama-Muzinda,* Thèse de doctorat, UER de Géographie et Science des sociétés de Paris VII, Paris, 1974, 212p.
[3] IGEBU, 2013 : Institut Géographique du Burundi. Département de l'Hydrométéorologie et de l'Agro météorologie, Gitega-Burundi.

I.1.1 Le climat

I.1.1.1 Les précipitations

Le climat qui règne dans notre zone d'étude est du type tropical humide avec une alternance des deux saisons (sèche et pluvieuse). *La plaine connaît un climat chaud (23°C) avec des précipitations annuelles de 900 mm*[4] et les contreforts un climat chaud tempéré (19°C) avec 1100 à 1600 mm des précipitations annuelles.

Le tableau 1 en annexe donne les enregistrements de la pluviométrie journalière maximale pour la période allant de 1980 jusqu'au 2014 pour la station de Bujumbura-Aéroport.
Les précipitations de la zone des contreforts ont une grande influence sur le régime des rivières qui prennent source dans les Mirwa. Les pluies les plus fortes s'observent pendant les mois de Mars et Avril.

I.1.1.2 Les facteurs du climat

I.1.1.2.1 Le relief

L'altitude influence considérablement les variations pluviométriques de notre site d'étude. La plaine peut être menacée par la sécheresse alors qu'il pleut dans les Mirwa.

Le bassin versant de la rivière Ntahangwa peut être divisé en deux parties :

- La zone des contreforts dont l'altitude est comprise entre 1000 et 2000m ;
- La zone basse qui a une altitude inférieure à 1000m.

Le climat étant fonction de l'altitude, ces deux zones diffèrent par la durée de la saison des pluies et celle de la saison sèche.

- **Zone des contreforts**
  Elle est une zone de transition entre la plaine de l'Imbo et la crête Congo-Nil. Elle présente une topographie très accidentée, aux pentes fortes et très longues et aux crêtes séparées par des vallées profondes. *Elle est caractérisée par un climat pluvieux et frais où la saison des pluies dure neuf mois (de Septembre à Juin). La saison sèche dure quant à elle deux à trois mois*[5].

---

[4] NDIKUMANA A., *La dynamique de la rivière Ntahangwa sur l'aménagement de la ville de Bujumbura* ; Bujumbura, UB, 2001, p. 6
[5] NDIKUMANA A., *Op.cit*, p. 8

➢ **Zone basse**

Elle s'étend à la limite occidentale du Burundi, formant une série de plaines de largeur variable depuis la Tanzanie, au Sud, jusqu'au Rwanda au Nord. Les basses terres sont formées par la plaine de la Rusizi et les plaines riveraines du lac Tanganyika.

L'altitude est comprise entre 774m, au niveau du lac Tanganyika et 1000 m au pied des escarpements. La température annuelle moyenne est de 24°C (voir annexe 1).

I.1.1.2.2 Les vents

La plaine de l'imbo subit l'influence des alizés, vents soufflant du Sud-Est et qui sont déterminants sur les précipitations. A côté de ces alizes, on distingue plusieurs vents locaux d'origine thermique: la brise du lac se faisant sentir le jour, surtout pendant la saison sèche; la brise de terre soufflant la nuit vers le lac; la brise de montagne descendant des dorsales pendant la nuit, et la brise de vallée soufflant vers la montagne pendant le jour.

Le vent souffle le plus fréquemment avec des vitesses faibles. Les vitesses moyennes instantanées du vent, enregistrées à la station de Bujumbura pour l'année 2008, sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Vitesse moyenne des rafales et vitesse moyenne du vent (2008)[6]

Année\Mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Moyenne
2008	0.7	0.3	0.4	1.0	1.2	1.1	1.0	1.3	1.1	0.9	0.9	1.0	0.9

L'humidité à Bujumbura est relativement élevée. Elle est stable toute au long de l'année et oscille entre 54 et 79 %. Le tableau n°2 donne l'humidité relative moyenne mensuelle ainsi que l'humidité maximale et minimale des observations journalières durant l'année 2011.

Tableau 2 : Humidité relative de l'air durant l'année 2011[7]

Année\Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	H_{Max}	H_{Min}	H_{Moy}
2011	75	74	75	73	74	69	69	67	68	75	79	79	79	67	73

[6] SINDAYIHEBURA B., Etude d'impact environnemental et social pour l'aménagement de la rivière Ntahangwa sur une longueur de 3,5 Km de la zone située entre le pont de la République et le pont du Peuple Murundi, 2017, p. 59

[7] SINDAYIHEBURA B., *Op. Cit.*, p. 59

I.1.1.2.3 Les températures

Dans la plaine, la température annuelle moyenne est d'environ 24° C. Les maxima moyens se situent entre 25 et 26 °C et les minima moyens se situent entre 22°C et 24°C.
Nous présentons dans le tableau 5 en annexe les températures moyennes, maximales et minimales, de la station de Bujumbura, pour l'année 2011.

I.1.2 La pédologie

La pédologie est l'un des domaines de la connaissance dont l'approche géographique est absolument nécessaire. *Le sol est un ensemble complexe dont beaucoup de propriétés dépendent de son environnement*[8]. En effet, les sols sont des objets naturels dont l'existence et l'état actuel résultent de la transformation au cours du temps d'un matériau minéral sous l'action combinée des facteurs climatiques (température, précipitations) et l'action biologique (végétaux, animaux, microorganismes)[9]. *La topographie du lieu joue aussi un rôle en favorisant soit les exportations, soit les apports d'eau*[10].

AUBERT G. définit le sol comme étant « *le produit de l'altération du remaniement et de l'organisation des couches supérieures de la croute terrestre sous l'action de la vie, de l'atmosphère et des échanges d'énergie qui s'y manifestent.*» [11]

Comme on peut l'observer sur la figure 2, de l'est à l'ouest, les sols se succèdent et diffèrent les uns des autres. Les collines de faible altitude des contreforts sont constituées de régosols et de sols d'altération récente. Ils sont développés sur des gneiss granitiques, des paragneiss, gneiss et micaschistes.

Dans le paysage, ils occupent des positions topographiques très diverses, telles que les sommets étroits, les versants accidentés, les ruptures de pente,.... Leur charge graveleuse, lorsqu' elle existe, dépend en grande partie du substrat. Sur les intrusions de roches basiques se développent des régosols eutrophes ou des sols bruns eutrophes. Leurs horizons humifères sont minces suite au décapage permanent des horizons superficiels

Plus à l'est, on rencontre des hydro-xéro-ferrisols dont la caractéristique principale est l'absence de l'horizon B ferralitique.

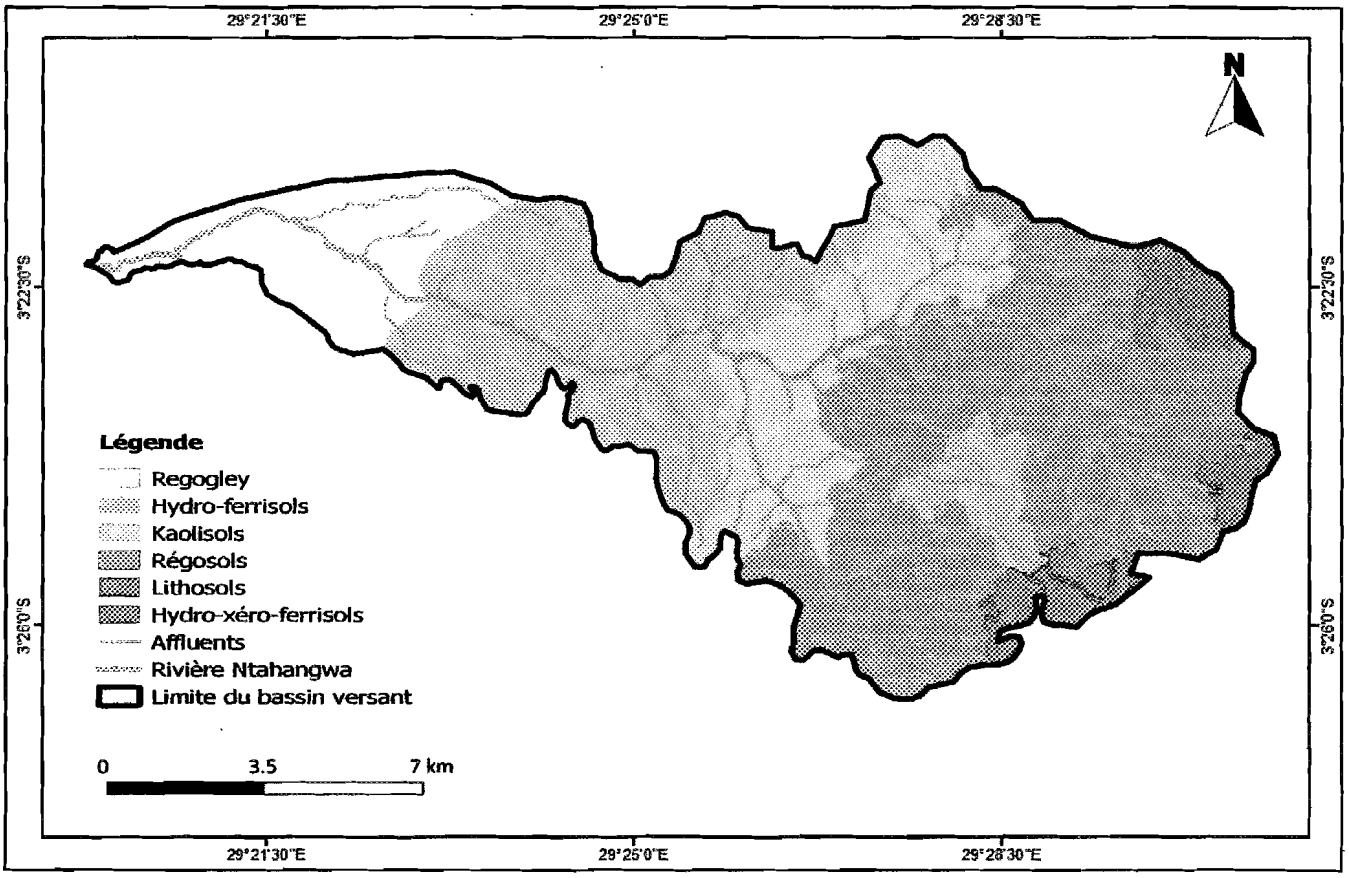
---

[8] NSABIMANA J., *Milieu naturel et potentialités d'aménagement en commune Buganda*, Bujumbura, U.B, 2012, pge.35
[9] BAISE D. et JABIOL B cité par NSABIMANA J., *Op.cit, pge 35*
[10] NSABIMANA J., *Op.cit, pge 35*
[11] AUBERT G, citée par Jean BOULAINE in *Géographie des sols*, Paris, P.U.F, 1975, p.10

Ils coiffent les versants d'inclinaison forte à très forte pente (supérieure à 35%) des zones accidentées, des glacis et des dépôts de piémont rajeunis par l'érosion. Leur charge, de nature et d'intensité variables, occupe surtout les versants convexes tandis que leur rapport limons fins/argile est élevé[12]. Les associations qui tapissent les versants abrupts de hautes altitudes en amont du bassin versant de la Ntahangwa sont hydro-ferrisols sous culture, de par l'érosion qu'ils subissent, les horizons humifères de ces sols sont faibles ou parfois même absents. On y rencontre aussi des kaolisols et les lithosols. Leurs positions topographiques sont variées. Ils s'observent sur les sommets et les versants. Leur charge graveleuse et hétérogène associe quartzites, débris de schistes aux concrétions ferrugineuses, suivant le recoupement des matériaux géologiques et les colluvionnements de pentes.

Les regogley quant à eux, recouvrent la partie aval du bassin versant de la Ntahangwa (plaine). Ils sont développés sur des alluvions lacustres et des formations de piémont.

Figure 2: Carte des sols du bassin versant de la rivière Ntahangwa



Source : Carte pédologique au 1/250.000ème selon G.SOTTIAUX

[12] NDAYIKENGURUKIYE G., *Les sites collinaires péri-urbains de la région des Mirwa (les bassins versants de la Ntahangwa et de la Nyabagere)* ; Bujumbura, UB, FLSH, 1993, 1993, p. 48.

I.1.3 La végétation

La végétation dans le bassin versant de la rivière Ntahangwa qui était constituée d'une forêt naturelle, comme pratiquement partout dans toute la région des versants des Mirwa a disparu, ou tout au moins régressé de façon significative. Elle est constituée de cultures de manioc, de haricot, de colocase, de maïs, de patate douce, quelques bananiers. Le reste de l'espace non encore envahi par les cultures est couvert de pâturages.

Dans la partie haute altitude de la zone d'étude, les têtes de versant et les sommets sont dominées par une prairie assez homogène d'hyparrhenia (umuyange) et d'eragrostis olivacea (ishinge). Les boisements sont assez clairsemés.

Les boisements anciens remontent à 1960 couvrant 150ha d'après l'inventaire du Département des eaux et forêts[13]. Ils occupent les crêtes dénudées, difficilement cultivables. Le grand intérêt de cette pratique d'utilisation de l'espace, c'est que ces cultures sont pérennes et protègent le sol toute l'année. Cela n'est pas le cas pour la plupart des cultures vivrières qui n'assurent qu'une couverture saisonnière.

La flore se développe au maximum grâce à l'humidité du sol et de l'air pendant la saison pluvieuse.

En plus, celle-ci correspond à la période de croissance de la plupart des cultures. Elle se répartit en deux saisons culturales, mais par contre elle se réduit aux cultures pérennes et aux cultures de marais pendant la saison sèche. Pendant cette période, la vie végétale est au ralenti tandis que le sol n'est plus protégé. S'il s'avère qu'en cette période l'érosion est nulle, la fragilité est maximale lorsque les pluies viendront avec toute leur agressivité.

I.2. LES DONNEES GEOLOGIQUES

Les données géologiques jouent un rôle déterminant dans la mise en place des formes du relief. Elles constituent les facteurs d'explication des modelés. La connaissance de ces données géologiques est la base même d'un meilleur aménagement d'une zone.

I.2.1 Unités géologiques

La géologie du Burundi est fortement dominée par des formations très anciennes remontant à ce que l'on appelle «l'orogenèse kibarienne».

---

[13] SINDAYIHEBURA, B. ; *De l'imbo au Mirwa : Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura (Burundi)* ; Thèse de Doctorat, Toulouse : Université de Toulouse le Mirail, UFR Sciences, Espaces, Sociétés, 2005, 336p

De cette orogenèse sont apparus quatre ensembles principaux qui, du plus récent au plus ancien, s'appellent le malagarazien, le burundien, le rusizien et le complexe de base (ou complexe Archéen)[14].

Le malagarazien et le complexe de base sont absents de notre zone d'étude tandis que les séries burundiennes et rusiziennes y sont traversées par un réseau important de failles. Dans le bassin versant de la Ntahangwa, nous avons deux zones géologiques de nature et d'âges différents.

D'une part, la zone montagneuse constituée par des roches précambriennes du système burundien et la plaine dans laquelle se retrouvent les formations meubles d'alluvionnement fluvio-lacustre du quaternaire d'autre part.

I.2.1.1 Le précambrien des Mirwa

Dans l'étude de l'érosion fluviale, le rôle de la géologie dans la dynamique d'un cours d'eau est considérable car il traverse des matériaux géologiques de nature différente.

Dans la partie des contreforts, les roches sont caractérisées par une altération intense et par la présence d'un grand réseau de faille. Elles présentent beaucoup de plans de faiblesse par le développement de diaclases, de fissuration, foliation et de schistosité imprimées par la tectonique et le métamorphisme.

Cette zone de montagne est la plus étendue en amont du bassin versant de la Ntahangwa, une quantité importante d'eau s'infiltre à partir de ces plans de faiblesse car nous sommes dans une région de forte pluviosité.

Apres l'altération, les différents processus d'érosion de surface transportent les matériaux dérivés vers la rivière Ntahangwa. Celle-ci devient très chargée et le débit augmente. En outre, à cause de fortes pentes des contreforts, ces matériaux confèrent à la rivière un écoulement torrentiel.

Ces formations précambriennes, correspondent aux séries les plus anciennes du socle de l'Afrique orientale. Le soubassement géologique de cette rivière, est composé pour partie de roches précambriennes et métamorphiques, qui sont inégalement réparties et très mélangées.

---

[14] NDIKUMANA, A., *Op.cit*, p.11.

Il s'agit surtout du gneiss granitique, gneiss magmatiques, des granitoïdes gneissiques, des gneiss amphiboliques, des micaschistes et des paragneiss[15].

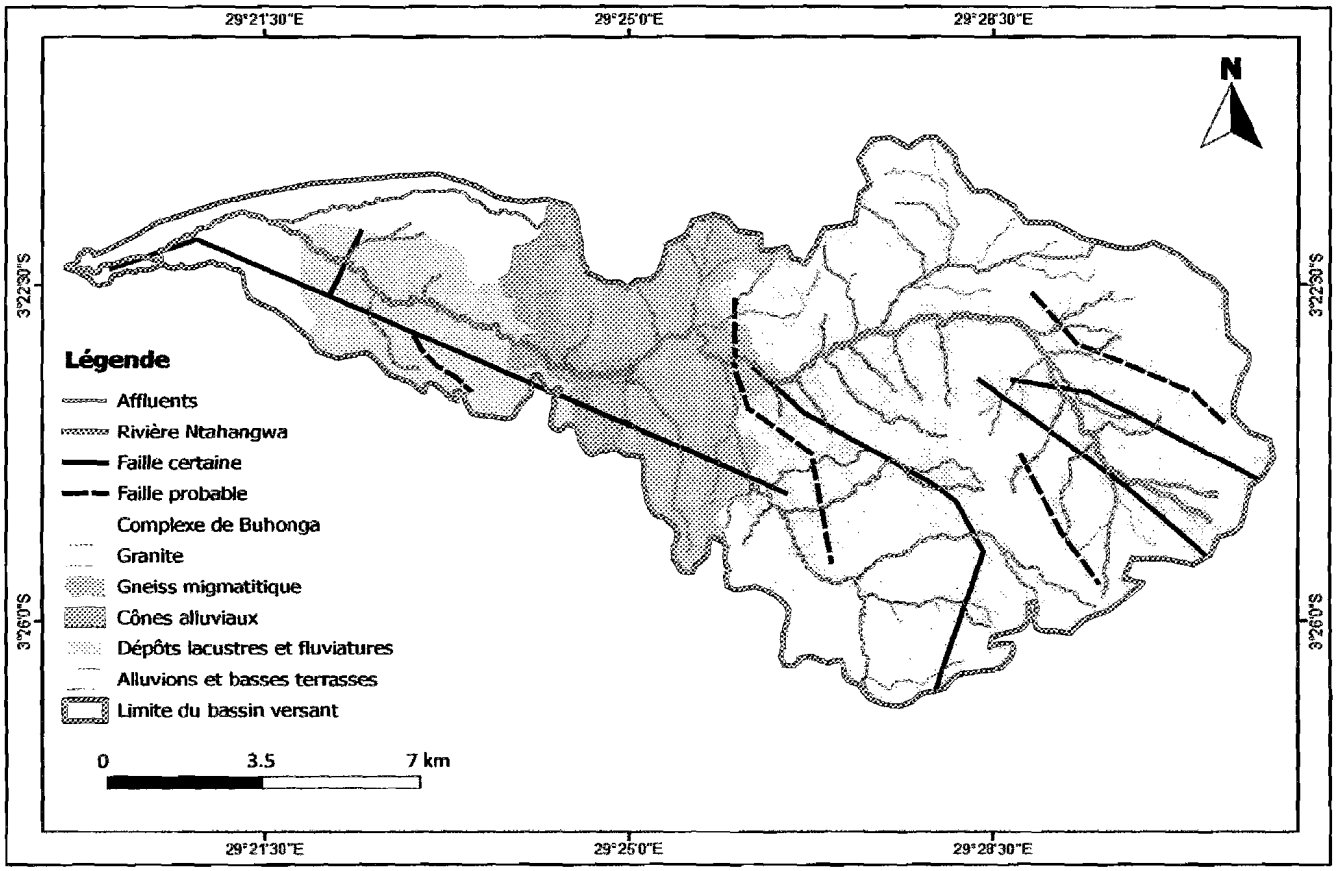
Il s'agit aussi des roches basiques à plagioclase anorthitique, des métaquartzites, des quartzophyllades zonaires, des quartzites conglomératiques, des gabbros et des dolérites. Ces roches occupent la grande étendue du bassin versant et se localisent essentiellement à Sororezo, Maninza et à Kirombwe.

Des dépôts alluvionnaires du quaternaire comblent les vallées, les plaines, les glacis et les piémonts. Ils ont été signalés dans la vallée de Nyanza et de Nyamigura, à Muyira et du pied du mont Goma. Au niveau de Kibuye, Nyakibanda, Rushubi, Mwisare et Kavumu, Nyambega et autour de l'affluent Mumenshi, la Ntahangwa traverse une zone de roches granitiques à texture d'origine magmatique. Ces roches sont également plus répandues dans la partie nord-est de la zone d'étude précisément au niveau de la côte occidentale de la crête Congo-Nil.

A cet endroit, il faut indiquer les métaquartzites gris clair à blanc, à séricite, se débitant souvent en plaquettes parallèles à la stratification et alternant avec des quartzites plus massifs et grisâtres. Nous les retrouvons à Manga et ses environs et surtout au niveau de la crête Congo-Nil et occupent plus de deux tiers de tout le bassin versant de la Ntahangwa. La couche des roches altérées ou des quartzites dénudés sur les versants des croupes granites et des granites ou des quartzites dénudés sur leurs sommets. Ces roches précambriennes présentent une fissuration régulière rapprochée comme le montre la figure n° 3.

[15] NDIKUMANA, A., *op.cit.*, p.54

Figure 3: Carte géologique du bassin versant de la Ntahangwa



Source : Carte géologique du Burundi au 1/100000ème (feuille Bujumbura)

I.2.1.2 Le quaternaire de la plaine de l'Imbo

A l'entrée de la plaine, la présence des alluvions fluviatiles anciennes et récentes garde leur importance qui est due en grande partie à la puissance du cours d'eau.

Les alluvions fluviatiles anciennes correspondent aux matériaux stratifiés hétérométriques et se retrouvent généralement au sud de la Ntahangwa et sur la marge du lac Tanganyika surtout dans la plaine septentrionale comme dans la plaine de la Rusizi. Quant aux alluvions fluviatiles récentes, elles correspondent aux sols sombres et argileux et sont au nord de la Ntahangwa.

Ainsi, dans ce secteur de la plaine, ces formations meubles sont favorables à l'érosion en nappes et au ruissellement des eaux pluviales.

I.2.2 La tectonique

Le bassin versant de la rivière Ntahangwa est marqué par la tectonique ancienne burundienne qui a été mise en évidence par la schistosité et la mylonésation des roches des versants : d'où l'orientation minérale des phyllites.

Il est aussi marqué par la tectonique récente, celle du tertiaire qui a mis en place un relief particulier matérialisé d'une part par un bloc soulevé qui est actuellement occupé partiellement par les contreforts et d'autre part par le graben dans lequel se loge le lac Tanganyika.

Dans cette zone, on voit que les failles constituent un élément important dans le paysage car le tracé de certains cours d'eau suit ces fractures (la Ntahangwa, Nyabagere,...). Certaines de ces failles sont probables et imperceptibles dans la nature. Nous avons constaté que la Ntahangwa, la Muha et la Kanyosha sont orientées NW-SE alors que la Nyabagere est orienté NE-SW et la Kinyankonge est à son tour orienté N-S.

I.3 LES TRAITS DU RELIEF

Entre les Mirwa s'interposent du Nord au Sud des vallées pour le moins encaissées. Les principales d'entre celles-ci ont une direction Est-Ouest. Cela donne au paysage géomorphologique. Un aspect de lanières disposées tantôt en bataille tantôt en épi, et cela de part et d'autre des cours d'eau. Ces lanières sont parfois interrompues par quelques sommets arrondis.

I.3.1 Les massifs montagneux

De la crête à la plaine, la Ntahangwa se faufile entre d'imposantes unités géomorphologiques en l'occurrence des massifs montagneux. *Perchées a plus ou moins près de 2000m d'altitude comme Gasarara, Sagara, Kibuye et Manga culminent respectivement à 1898m, 2181m, 2297m et 2523m. Plus près de la ville, du nord au sud, les reliefs de Nyambuye (1608m), Mboza (1808m) dominent la limite Est du périmètre urbain. Ces massifs sont les plus souvent occupés à leurs sommets par des crêtes rocheuses granitiques ou quartziques a pentes très raides. Celles-ci sont faiblement arénisées mais sont le siège d'une forte érosion*[16].

[16] NDAYIKENGURUKIYE G., *Op.cit*, p.11.

I.3.2 Les sites collinaires[17]

- En amont

Les collines du bassin versant de la Ntahangwa sont disposées en paliers successifs. Elles sont constituées d'un manteau d'altérites dérivées essentiellement des formations pélitiques. Elles sont de forme arrondie en demi-orange présentant des sommets convexes. Entre elles s'intercalent souvent des interfluves subhorizontaux.

- En aval

Dans la partie plus basse du bassin versant, on observe des collines aux versants irréguliers et abrupts constitués de gneiss granitique et de micaschistes indifférenciés plus ou moins altérés. Le rajeunissement des sols par l'érosion hydrique leur confère un caractère peu évolués (régosol, lithosols et sols d'altération récente). En plus de l'altération chimique des roches en présence, leurs flancs subissent une dynamique d'ablation par l'érosion mécanique, phénomène aggravé par l'occupation très intense des sols par les cultures.

I.3.3 Des piémonts formés de glacis et de cônes de déjections[18]

Entre l'édifice montagneux, qu'il soit du genre massif ou collinaire, s'interpose parfois une sorte de transition a pente modéré. Celle-ci est absente dans le cas très fréquent des vallées en gorge. Lorsqu'elle existe, cette transition est un glacis constitué par un ou plusieurs cônes de déjections soudés les uns aux autres par coalescence. Il s'agit le plus souvent des retombées d'une surface pentue au départ sur laquelle l'érosion a exercé un travail d'arrachement de transport et de dépôt à l'aval. Les matériaux se sont déposés et, à force de s'accumuler, ils ont fini par diminuer la pente, s'étaler et constituer des glacis.

Dans notre zone, les glacis et les cônes de déjection ne sont pas de grande étendue, exception faite de rares vallées peu encaissées et les espaces surbaissés. Ils revêtent une importance plutôt locale.

---

[17] NDIKUMANA A., *Op. Cit*, p.64
[18] NDAYIKENGURUKIYE G., *Op. Cit*, p. 13

I.3.4 Les vallées encaissées et zones surbaissées[19]

L'allure générale de la topographie des Mirwa est une succession des unités géomorphologiques en marché d'escalier descendant de la crête à la plaine. Des vallées s'enfoncées dans lesquelles la Ntahangwa et ses affluents respectifs coulent, tantôt avec des rapides au fond de vallées en gorge entaillées dans un substratum de roches dures, tantôt plus lentement dans quelques larges vallées surbaissées.

Comme toutes les rivières des Mirwa, la Ntahangwa n'a pas beaucoup de vallées larges. Elle coule au fond de gorges dont la profondeur n'a d'égale que leur étroitesse. La plupart sont des vallées en V, rares sont les vallées en berceau de Rushubi et de Kirombwe tandis que les plaines alluviales sont pratiquement inexistantes. Lorsqu' on regarde le profil en long de la Ntahangwa (figure n°4), l'on est frappé à la fois par son irrégularité et par son allure en forme de paliers.

Deux de ceux-ci s'individualisent occupant deux entités dépressionnaires dont la position est pour le moins inattendue. Il s'agit d'une part, de la zone déprimée entre le massif de Sagara et la localité de Rushubi. L'altitude de cette zone avoisine l'isohypse 1600. La Ntahangwa y traverse un marécage que l'on peut distinguer sur le croquis géomorphologique.

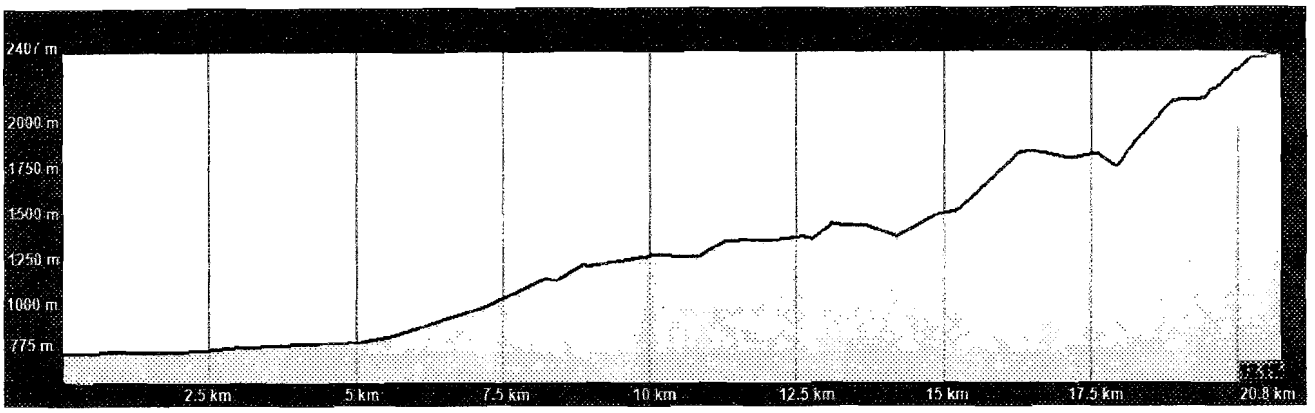
D'autres part aux alentours d'isohypse 1400, le lit de la rivière parcourt une autre dépression, celle de Kirombwe. Ces deux zones surbaissées correspondent dans le paysage à des synclinaux.

En réalité, il s'agit pour le cas de Rushubi, d'un processus d'érosion différentielle qui a atteint plus sévèrement les roches tendres dans les dépressions (les séries pélitiques ou schistes micacés d'Isale), mais de loin beaucoup moins les roches résistantes sur les collines avoisinantes.

---

[19] GAKWAYA A., *Etude géomorphologique du bassin versant de la Ntahangwa*, Bujumbura, UB, 1975, p.59

Figure 4 : Profil topographique du bassin versant de la rivière Ntahangwa



Source : réalisée par l'auteur sous Google Earth

I.4 HYDROGRAPHIE

La rivière Ntahangwa est tributaire du fleuve Congo et se jette dans le lac Tanganyika, qui se déverse lui-même dans le fleuve Congo par l'intermédiaire de la Lukuga. *Le bassin versant de la Ntahangwa a une superficie de 117,24 km²*.[20] Comme la figure n°5 l'illustre bien la rivière Ntahangwa est alimenté par beaucoup d'affluents.

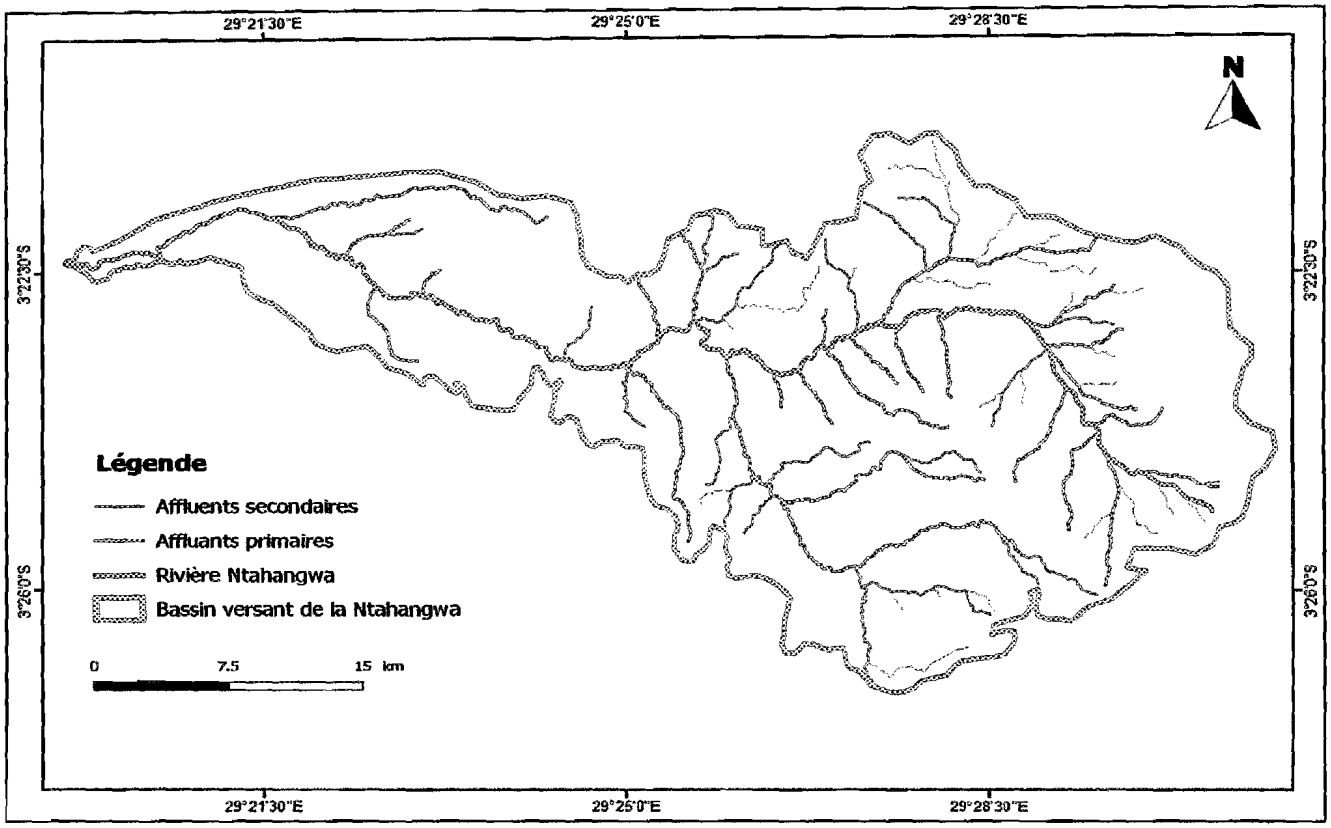
En saison pluvieuse, le débit de la rivière Ntahangwa et de ces affluents atteint son pic (123m³/sec). [21]Le volume croissant, le charriage et la capacité de prise en charge suivent le mouvement, des lors que la vitesse d'écoulement devient importante. Tous ces phénomènes démontrent le caractère tourmenté de l'écoulement des eaux de cette rivière.

Ce comportement torrentiel caractéristique des rivières de montagne fait que la violence de ces cours d'eau augmente leur capacité de charriage de matériaux et la taille des éléments charriés.

Ceci provoque ainsi à l'aval, des zones de dépôts limoneux obstruant le lit avec débordement (aval du pont du boulevard du Peuple Murundi) et partant des inondations. Tandis que dans les zones en amont se déclenche un processus d'érosion régressive.

[20] CERAM, 1998; NDIKUMANA A., *Op. Cit*, p.73
[21] NDAYIKENGURUKIYE G., *Op. Cit.*, p. 35

Figure 5: Carte hydrographique du bassin versant de la Ntahangwa



Source : Auteur sur fond de carte topographique du Burundi

Les éléments constituants d'un milieu naturel cités ci-haut dans ce chapitre entre autres le relief, le climat, la pédologie, l'hydrologie et l'homme contribuent dans le façonnement du paysage. Le bassin versant de la rivière Ntahangwa s'étend d'une part dans la région des Mirwa et d'autre part dans la plaine de l'Imbo ; deux aires très distinctes du point de vue topographique, géologique et géomorphologique.

Ce raccord brutal entre les paysages montagneux des Mirwa et les plaines de l'Imbo explique le caractère torrentiel de la rivière Ntahangwa et l'évolution de ses berges dans le temps et dans l'espace.

CHAPITRE II : EVOLUTION DANS LE TEMPS DE L'ESPACE DE MOBILITE DE LA RIVIERE NTAHANGWA

Le tracé du lit de la rivière Ntahangwa subit sans cesse des changements chaque année. De ce fait, l'environnent urbain auquel la Ntahangwa traverse, se retrouve détruit par la dynamique de cette dernière. A travers ce deuxième chapitre, nous allons exposer les différentes caractéristiques du bassin versant de la Ntahangwa qui nous aideront à mieux comprendre la dynamique proprement dite de la rivière Ntahangwa et ces conséquences sur l'environnement.

L'espace de mobilité se définit comme étant l'espace du lit majeur à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales pour permettre une mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et terrestres[22]. Dans cet espace, le chenal du lit mineur n'est pas fixe dans le temps. Les écosystèmes associés sont régulièrement renouvelés.

II.1 CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NTAHANGWA

Un bassin versant est une surface drainée par le cours d'eau et ses affluents situés à l'amont de l'exutoire considéré.[23]

Le bassin versant de la rivière Ntahangwa collecte les eaux de ruissellement et des sources, qui, le long des pentes s'écoulent et convergent vers le lac Tanganyika, la Ntahangwa étant un affluent direct du lac Tanganyika[24].

II.1.1 Les caractéristiques physiques du bassin versant de la Ntahangwa

Les caractéristiques physiques permettent de faire la délimitation, la localisation et la détermination de l'état du bassin versant.

Le relief influence les précipitations et la végétation. La grande partie du bassin versant de la Ntahangwa se situe sur les altitudes dépassant 1500m. La pente du terrain détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire. Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle ils s'écoulent. Au contraire, en plaine, les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

---

[22] Piegay, H.et al, 1996
[23] CERAM, 1998, cité par NDIKUMANA A., *Op. Cit.*, p.67
[24] NDAYIKENGURUKIYE G., *Op. Cit*, p. 232.

La collecte des eaux de ruissellement se fait de manière rapide et agressive car la végétation est quasi absente dans la partie située sur les hautes altitudes du bassin versant de la Ntahangwa. La couverture végétale d'un bassin versant joue un rôle primordial dans le déroulement du cycle de l'eau, souvent complexe et contradictoire.

La notion fondamentale est ici celle de couverture, plus ou moins continue, plus ou moins épaisse, plus ou moins efficace hydrologiquement. *La couverture végétale agit sur le cycle de l'eau par sa biomasse aérienne qui intercepte une plus ou moins grande partie des précipitations, et toute pluie faible en général; capte plus ou moins brouillard et rosée et protège plus ou moins efficacement le sol contre l'érosion pluviale. Ainsi, sous un climat et une végétation donnés, les quantités d'eau qui alimentent les eaux superficielles et souterraines, sont largement déterminées par les caractéristiques des sols sur lesquels elles ruissellent ou dans lesquels elles s'infiltrent.* [25]

II.1.2 Les caractéristiques géométriques du bassin versant de la Ntahangwa

Le bassin versant de la Ntahangwa a un périmètre de 53,60 km et une superficie de 117,24 km^2*.*[26]

1. Les caractéristiques de forme

La forme d'un bassin versant est un élément indispensable dans l'étude de l'écoulement et la constitution des eaux. Ainsi le bassin versant de la rivière Ntahangwa présente deux formes à savoir une forme ramassée en amont et allongée dans son aval. Ces différentes formes dans des endroits différents favorisent le rassemblement et le conditionnement de l'écoulement des eaux pluviales.

De même, son allongement de plus de 20 km de longueur fait que l'amont où se situe la majorité des affluents de la Ntahangwa se localise dans la partie la plus pluvieuse de la zone d'étude. Cette situation favorise la présence des crues et des inondations en aval du bassin versant de la rivière Ntahangwa après de fortes averses tombées en amont du même bassin.

---

[25] http://medhycos.mpl.ird.fr/en/data/hyd/Drobot/1C.htm,
[26] CERAM, 1998 cité par NDIKUMANA A., *Op. Cit.*, p. 56

2. Les caractéristiques de pente

La pente influence beaucoup les vitesses de ruissellement et par conséquent les débits. Notre zone d'étude est caractérisée par de pentes très abruptes sur presque le tiers de tout le bassin versant de la rivière Ntahangwa (partie amont) qui tombent à pic dans la plaine.

Cette configuration des Mirwa à pentes raides face à la partie basse (plaine) de la zone d'étude explique la torrentialité de la rivière Ntahangwa.

3. Indice de drainage[27]

C'est une caractéristique géométrique qui traduit l'intensité du réseau hydrographique du bassin versant. L'indice de drainage est un facteur important dans l'étude des crues.

Dans un bassin versant quelconque, les cours d'eau forment un réseau hydrographique hiérarchisé. On les classe selon les ordres. Le cours d'eau le plus petit n'a aucun tributaire : il a l'ordre 1 ; la rivière principale aura l'ordre le plus élevé. Pour le cas de la rivière Ntahangwa, elle est drainée par beaucoup d'affluents principaux et secondaires (voir la figure n°5).

Dans le bassin versant de la rivière Ntahangwa, la longueur de ses cours d'eau principaux Li=164,136km ; Id=164,136/117,24= 1,40 (Li : longueur des affluents principaux, Id : indice de drainage). L'indice de drainage de la rivière Ntahangwa Id=1,40

Si Id<1, cela signifie que Li est petit et que la superficie le bassin versant (S) est grand. Cela traduit que l'eau coule sur une grande étendue, ce qui diminue le risque des crues. Mais, si Id est grand, cela traduit que le bassin versant draine beaucoup de cours d'eau sur une petite surface et que le risque des crues est imminent. Pour la rivière Ntahangwa on a l'indice de drainage qui est très élevé.

II.2 UNE DYNAMIQUE FLUVIALE DE LA RIVIERE NTAHANGWA

Dans la zone de plaine du bassin versant, la rivière Ntahangwa cherche son équilibre entre le taux de charge alluviale (sédiments érodés et transportés) et le débit liquide capable d'évacuer cette charge sédimentaire. Cette recherche d'équilibre se traduit par une dynamique fluviale qui correspond à un ajustement permanent, par la rivière, de sa géométrie en plan, en long et en travers.

---

[27] NDIKUMANA, A., *op.cit.*, p.63, 2001

II.2.1 Définition[28]

La dynamique fluviale est un mouvement de l'eau sur les différents matériaux géologiques. L'eau agit de deux manières différentes :

- Directement par ruissellement ;
- Indirectement par changement des propriétés des matériaux en contact.

La rivière Ntahangwa charrie beaucoup de matériaux en provenance des montagnes. Elle subit des changements au niveau de l'état du lit et des berges.

La dynamique de la rivière est donc :

- L'érosion fluviale verticale par surcreusement du lit ou encombrement du fond par la rivière ;
- L'érosion fluviale latérale par élargissement des berges. Au niveau de la topographie, il y a rupture d'équilibre naturel, ce qui constitue un problème permanent car la rivière cherchera toujours à rétablir cet équilibre.
- L'exploitation souvent incontrôlée et exagérée des carrières, de sable, moellon, gravier et de pierres.

II.2.2 Facteurs de variation du tracé du lit de la Ntahangwa

Les facteurs de balancement du lit de la Ntahangwa sont la pente du cours d'eau et la granulométrie des sédiments. Ainsi, la rivière va ajuster son cours par méandrage pour atteindre l'équilibre entre sa capacité de transport des sédiments et le débit d'écoulement de l'eau induit par sa pente. Si son espace latéral de mobilité est suffisant, un équilibre peut être atteint. Il s'agit toutefois d'un équilibre dynamique qui peut correspondre à des chenaux divaguant et des méandres avançant vers l'aval au cours du temps.[29]

L'érosion latérale et la migration des méandres vers l'aval provoquent un dépôt de sédiments sur la rive convexe du cours d'eau. Ces bancs de convexité constituent autant de « terres vierges » sur lesquels les plantes pionnières viendront s'implanter. Ces plantes pionnières vont favoriser un développement du sol qui permettra ensuite l'établissement d'une forêt alluviale.

---

[28] GAKWAYA, A., *Op. Cit.*, 49p.

[29] Piegay H. et al. (1996) *Comment délimiter l'espace de liberté des rivières,* SHF, 24e Journées de l'Hydraulique, septembre 1996.

La dynamique fluviale engendre ainsi un mécanisme de destruction-régénération des écosystèmes terrestres dont la diversité et la richesse écologique dépend de la fréquence de régénération, et de la possibilité d'assemblage des milieux sous forme de mosaïque, sur une surface relativement restreinte[30].

En général, l'espace de mobilité varie d'amont en aval. Les problèmes de gestion d'un espace alluvial de rivière mobile ne se posent donc pas seulement localement au niveau de l'aménagement mais à l'échelle de l'ensemble du cours d'eau (amont-aval de l'aménagement) et sur l'ensemble de l'espace de mobilité de la rivière.

L'espace de mobilité de la rivière Ntahangwa varie ainsi significativement de l'amont, où il est contraint par la topographie, à l'aval, où il est défini par plusieurs chenaux divagants.

Par le passé, l'espace de mobilité de la rivière Ntahangwa a été réduit par l'homme qui cherchait à figer son cours pour y construire des habitations ou des infrastructures.

Des gravières y ont été creusées pour récupérer les granulats nécessaires à la construction. La dynamique de la rivière Ntahangwa est ainsi une dynamique naturelle et humaine.

En effet, les différents facteurs naturels et anthropiques, comme l'agriculture et l'exploitation des matériaux de construction, contribuent dans la rupture de l'équilibre naturel par encombrement de la rivière avec des matériaux charriés, ou par surcreusement du lit de la rivière suite à l'enlèvement des divers matériaux.

II.3 EVOLUTION DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE DE LA RIVIERE NTAHANGWA DE L'AMONT A L'AVAL[31]

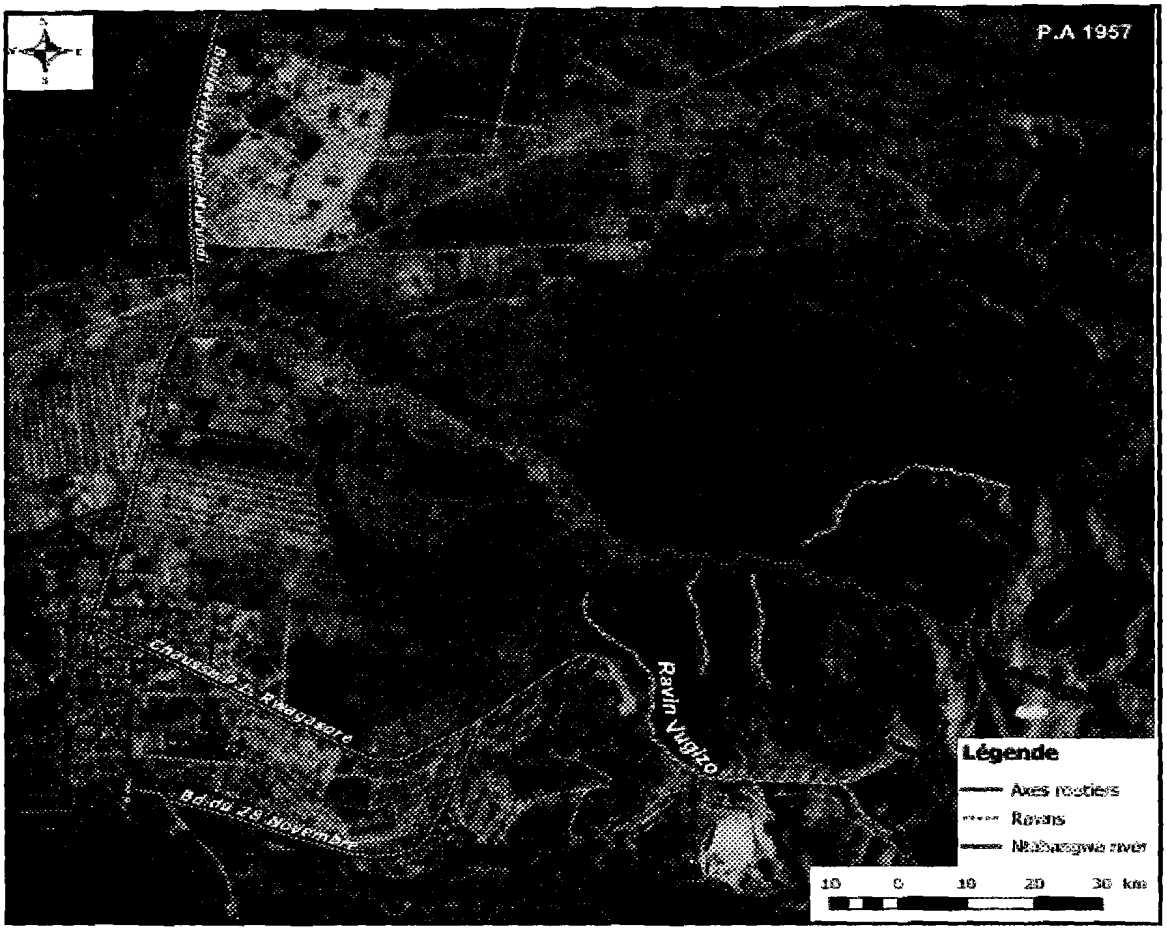
En 1957 les limites des quartiers avec celles de la rivière n'étaient pas encore individualisées. On a des terrasses climatiques qui sont colonisées par la végétation naturelle. Le ravinement des berges n'avait pas encore commencé dans la section supérieure. Aucun ravin ne se raccorde encore à la rivière. Les rebords des quartiers étaient peu marqués. Au niveau des quartiers Jabe et Mutanga-Sud, on remarque que les terrasses climatiques étaient assez larges, ce qui montre une vallée évasée. L'érosion progressive commence à être très sévère et on observe un raccordement doux des ravins de Vugizo et Sororezo, et un raccordement brutal des ravins de Nyambuye (Photo n°1).

---

[30] CEN Auvergne et Véodis-3D, 2011. *Etude des protections de berge et zones d'érosion de l'Allier alluvial.* 105p.

[31] Les mémoires de NDIKUMANA, A., et NDAYISABA, D. ont servi d'ouvrages de base pour la réalisation de cette partie.

Photo 1: Etat des lieux en 1957 de la zone d'étude (partie aval du bassin versant de la Ntahangwa)



Source : SINDAYIHEBURA Bernard (Photographie aérienne de 1957)

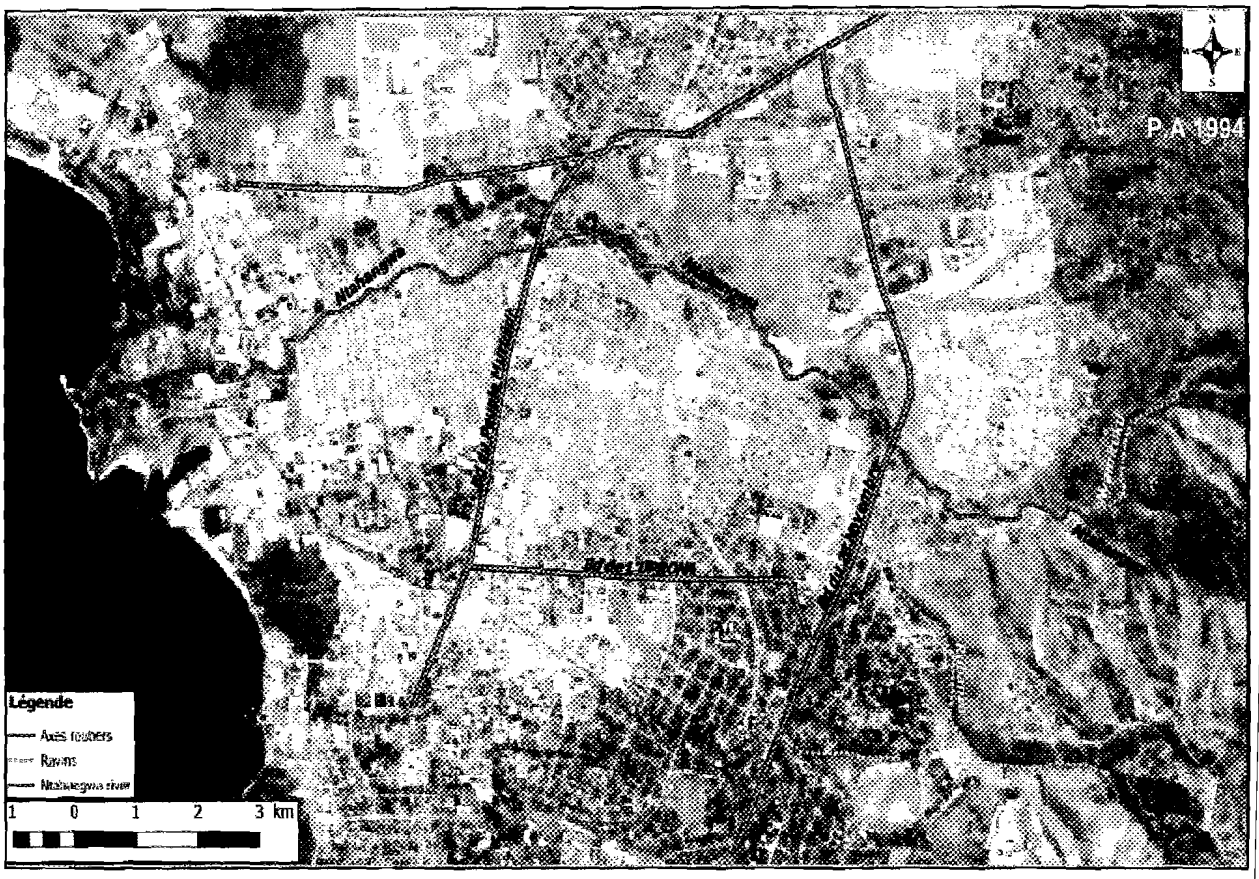
Ce n'est qu'à partir de 1974 que les ravins de Kigobe et de Gihosha se raccordaient à la rivière. La quantité des matériaux transportés par ces ravins est grande car le taux d'occupation du sol est aussi élevé. A certains endroits les talus sont abrupts. Le raccordement des ravins de Sororezo devient brutal alors que celui de Vugizo est encore doux.

En 1984, la dynamique de la rivière Ntahangwa était surtout influencée par l'extraction des matériaux au point que les pouvoirs publics interviennent pour interdire cette pratique. Les talus vifs et frais s'amplifient le long de Jabe, Nyakabiga, Mutanga-Sud et Gikungu.

Les photographies aériennes confirment la poursuite d'une dynamique spectaculaire de la Ntahangwa. D'immenses glissements se produisent aux bords des quartiers de Mutanga-Nord, Mutanga-sud, Nyakabiga et Jabe.

A partir de 1994 à nos jours, l'extraction des matériaux est redevenue un agent important de la dynamique de la Ntahangwa entre le pont de la chaussée du Peuple Murundi et celle du pont de la République.

Photo 2: Photographie aérienne de la partie avale de la zone d'étude de 1994



Source : SINDAYIHEBURA Bernard (Photographie aérienne de 1994)

Les images Google Earth et les photos matérialisent le recul des berges avec d'énormes conséquences.

En effet, depuis 1994, les mouvements de terrain se sont amplifiés. Les observations sur terrain montrent que le sapement du pied de talus est un phénomène généralisé.

Nous décrivons plus loin les conséquences de cette dynamique de la Ntahangwa sur l'aménagement des quartiers que le cours d'eau traverse.

La dynamique des affluents de la Ntahangwa s'est particulièrement accélérée après leur accordement à l'axe principal de drainage. Ces affluents sont responsables de l'augmentation de la violente torrentialité pendant la saison des pluies.

II.3.1 Section située à l'amont du captage d'eau

Dans cette localité du cours supérieur de la rivière, la vallée est encaissée en « V », la rivière à un caractère torrentiel. Des débris rocheux non arrondis et des galets caractérisent ce torrent.

Cette section se trouve dans la partie la plus accidentée de notre aire d'étude, mais le lit de la rivière est plus ou moins stable. En effet, l'érosion verticale enlève les fines particules et les matériaux légers entre les débris rocheux non arrondis et les galets.

Le courant apporte d'autres matériaux qui viennent combler le vide. Ainsi, la stabilité sera créée au moment où le courant ne pourra plus transporter de matériau.

II.3.2 Section située entre le captage d'eau et le pont du boulevard du 28 novembre

Dans ce secteur, on a des matériaux très sensibles à l'érosion : sable mélangé au gravier légèrement argileux ou latéritique. L'érosion tant verticale que latérale est très accentuée dans cette section. Par érosion verticale, le lit se creuse sur une profondeur importante.

Les formations étant mal consolidées, quand l'eau atteint une couche meuble, elle crée des éboulements par affouillement. L'érosion latérale provoque des départs des flancs de coteaux (partie du talus). Ce départ se passe sous forme de glissement de terrain en planche, rotationnel ou quelconque. Quand ces phénomènes se produisent, il apparaît des plans de cisaillement qui seront le début d'une prochaine rupture aussitôt qu'il y a un autre facteur qui agit à cet endroit. La masse des matériaux en mouvement peut obstruer le passage de la rivière et des déviations du lit apparaissent.

En guise de protection, des murs pour gabionnage peuvent empêcher l'obstruction du passage de la rivière, mais ils n'empêchent pas les mouvements de masse de la terre. Ces mouvements de masse (éboulements et glissements) laissent de grands talus abrupts dont les matériaux constitutifs sont de nature différente et de taille variable. Ce phénomène d'érosion latérale est fréquent dans cette section.

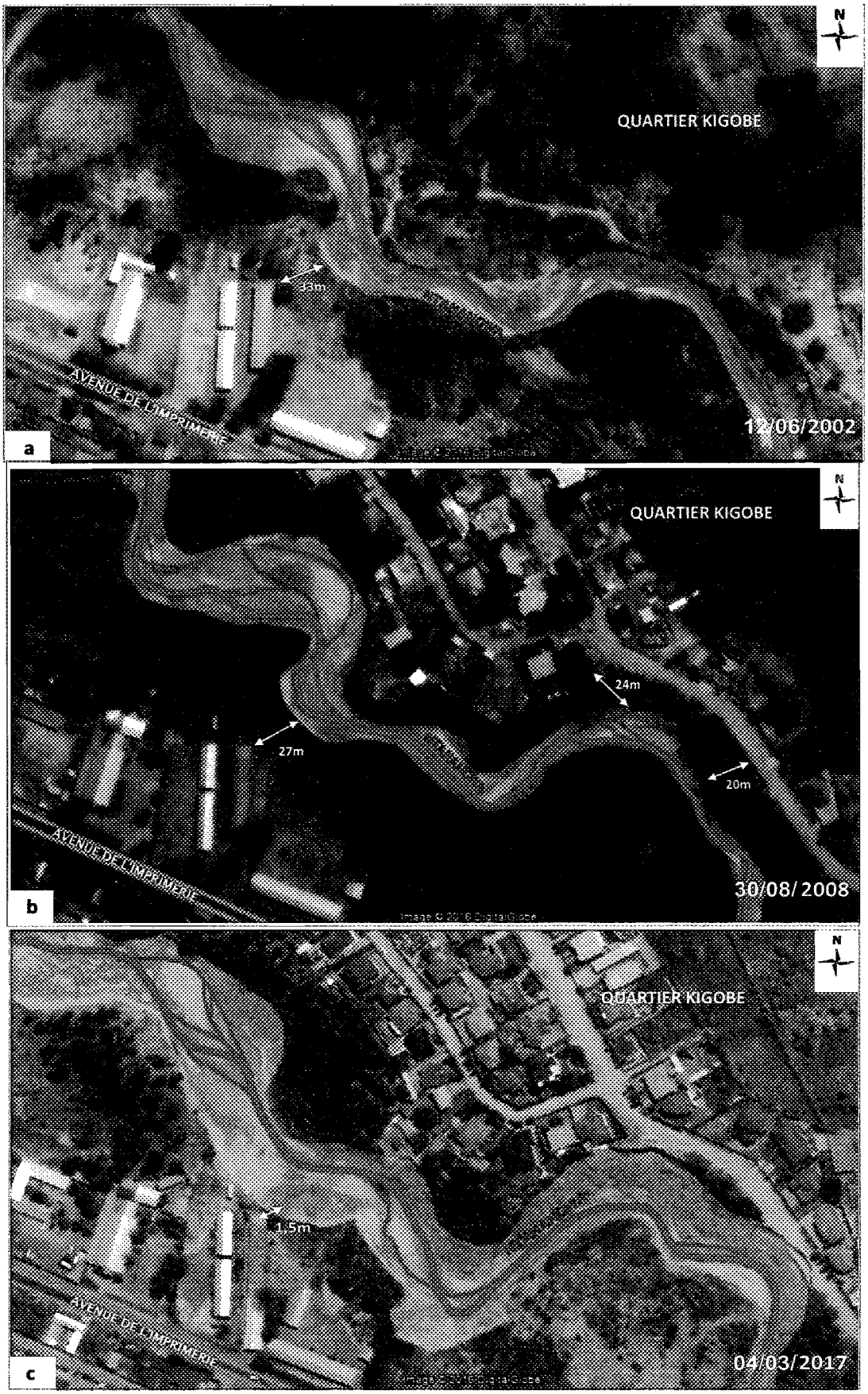
Sur la rive gauche, on observe une terrasse climatique bien étagée avec trois niveaux. Les matériaux constitutifs sont du sable argileux et du gravier de granulométrie variable. Cette terrasse serait celle observée sur la photographie aérienne de 1957 (voir photo 1), mais aurait été modifiée et stratifiée par les activités humaines et les effets de la dynamique du cours de la rivière Ntahangwa. En effet, la terrasse est apparemment stable.

II.3.3 Section comprise entre le pont du Boulevard du 28 novembre et la Chaussée du Peuple murundi

La rivière coule dans un lit large en décrivant des sinuosités qui sont gênantes là où ils rasent un flanc facilement érodable. Sur la rive droite, le ravin de Kigobe se raccorde à la rivière Ntahangwa. A partir de là, on observe une terrasse climatique continue et stable jusqu'au Pont de la Chaussée du Peuple Murundi. Cette terrasse présente deux niveaux aux talus en pente douce. Ces terrasses qu'on observe à partir de Mutanga-Sud jusqu'au Pont de la Chaussée du Peuple Murundi, sont celles observées sur la photographie aérienne de 1957 (voir photo 1). Celles-ci ont changé de morphologie suite à la dynamique de la rivière Ntahangwa.

Sur la rive gauche, parallèlement à l'Ecole Primaire de Nyakabiga, l'érosion latérale a provoqué un grand glissement de terrain rotationnel, laissant un grand talus abrupt de plus de 20 mètres. A ce niveau, on constate que la rivière a suivi un autre tracé. A partir de là, apparaît une terrasse à trois niveaux, ou à deux niveaux selon les endroits, présentant des pentes bien perceptibles. Les terrasses apparaissent stables, elles portent des cultures vivrières et sont colonisées par des plantes fourragères. Le talus supérieur des terrasses montre l'ancien passage de la rivière par le fait qu'il présente la même nature lithologique et stratigraphique que celui d'avant tracé. Le talus supérieur montre parfois des instabilités jusqu'au pont de la Chaussée du Peuple Murundi. Entre les quartiers de Jabe et Nyakabiga, le ravin de l'avenue Nyabitsinda se raccorde à la rivière. Le ravin ne cause aucun dégât à son raccordement car ses talus sont protégés. Mais il est brutal par le fait que pendant la saison des pluies, il collecte toutes les eaux de ruissellement à partir du Mausolée du Prince Louis Rwagasore via le drain dit Vugizo à travers les quartiers Kiriri, INSS, Rohero II, Nyakabiga et Jabe, ce qui augmente le débit et la charge de la Ntahangwa après ce raccordement.

Figure 6: Dynamique des berges de la rivière Ntahangwa



Source : Images Google Earth

Sur ces images Google Earth (figure 6), on remarque une dynamique spectaculaire des berges de la rivière Ntahangwa. Sur l'image a, les locaux de l'Ecole primaire de Nyakabiga se trouvaient à 33 mètres de la rive gauche de la Ntahangwa en l'an 2002 et sur la deuxième image b qui date de 2008, on observe un grand glissement de terrain rotationnel qui commence à se former à une vingtaine de mètres de l'école. Cette même école est maintenant menacée de destruction car le talus se trouve à moins 2 mètres seulement. Aussi sur la rive droite de la rivière, une partie de la route est déjà emportée comme on peut le voir sur l'image c.

II.3.4 Section située en aval du pont de la chaussée du Peuple Murundi

Sur l'ensemble de la section inférieure vers l'embouchure, la rivière décrit beaucoup de méandres. Sur la rive droite, les limites des berges ne sont pas très nettes. Le lit majeur est très vaste surtout sur le côté droit où il est limité par l'Avenue de l'OUA et les infrastructures industrielles. Cette section est menacée par les crues surtout pendant la période des hautes eaux en saison des pluies. Près du pont du Boulevard du 1er Novembre, le lit de la rivière est très étroit, alors que la densité des constructions au bord de la Ntahangwa devient très élevée. Vers l'embouchure, le sable charrié s'y dépose pendant les périodes de faible débit. Ce sable obstrue une partie de la section d'écoulement. De l'embouchure jusqu'au pont de la Chaussée du Peuple Murundi, la sédimentation et les méandres constituent les éléments importants de la dynamique de la Ntahangwa. La cause principale de ces deux phénomènes est la faible capacité de transport. *Celle-ci est associée à trois facteurs :*

- *La diminution de la pente, qui passe de 0.59 à 0.34%. Elle reste faible et presque constante jusqu'à l'embouchure.*
- *Cette section apparaît pratiquement horizontale sur une grande distance et l'ensablement se poursuit. La pente moyenne de la rivière diminue progressivement et le delta augmente de plus en plus vers l'embouchure, ce qui diminue la capacité de transport.*
- *A certains niveaux comme près du pont du Boulevard du 1er Novembre, le lit est étroit. Le passage étroit de la rivière entraîne une élévation du niveau des eaux en amont, la diminution de la vitesse d'écoulement et la sédimentation. La rivière crée des méandres qui vont provoquer une érosion continue des berges et constitue une menace pour les infrastructures en place*[32].

[32] SETEMU, 1991

CHAPITRE III : LES FACTEURS DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE

Le comportement de la rivière Ntahangwa commence en amont dans les contreforts qui surplombent la ville de Bujumbura. Ces montagnes influencent la dynamique fluviale. Les pentes longues et raides de ces dernières influencent considérablement le ruissellement des eaux pluviales. En effet, le coefficient de ruissellement devient plus important que celui d'infiltration par l'absence du couvert végétal. Comme aucune chose n'arrête la force de l'eau, on a toujours des inondations qui détruisent tout ce qui est sur leur passage. Un autre facteur c'est la dynamique des paysages qui est à l'origine des glissements de terrains ainsi que l'instabilité du sol. Dans ce cas, la plaine encaisse des inondations. Aussi, la forme de son bassin versant favorise son caractère torrentiel. Nous allons ensuite insister sur l'action de l'homme qui a une énorme influence sur la dynamique fluviale.

III.1 LA FORME DU BASSIN VERSANT

Elle a une importante influence sur l'écoulement des eaux pluviales. Le bassin versant qui nous intéresse dans notre étude présente des pentes subverticales dans certains endroits des contreforts.

Ainsi, l'observation des figures n° 1 et n° 2 prouve que ce bassin versant présente deux formes :

- Forme ramassée en amont ;
- Forme allongée en aval.

Ces deux différentes formes favorisent le rassemblement et le conditionnement de l'écoulement des eaux de pluie. A part ce facteur de forme, dans la partie amont où se localisent la plupart des affluents de la rivière Ntahangwa, est la partie la plus pluvieuse de la zone d'étude. Cette situation favorise également la présence de crues et inondations en aval du bassin versant après les fortes précipitations en amont du bassin versant.

III.2 FACTEURS NATURELS

1. Facteurs topographiques

Dans l'étude des facteurs majeurs de l'érosion dans une zone escarpée comme la nôtre, la longueur de la pente a une grande influence. *Elle se définit comme étant la distance depuis le point de départ du ruissellement de la surface jusqu'à l'endroit de sédimentation et le*

ruissellement pénètre dans un chenal bien définit qui peut être un réseau de drainage ou un ouvrage hydrographique[33].

La longueur de la pente influence l'érosion pluviale car plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend une grande vitesse et l'énergie cinétique devient importante. Comme on peut l'on observe sur la figure n°4, la partie amont du bassin versant de la Ntahangwa est caractérisée de pentes longues et fortes d'où l'érosion qui devient plus massive et la dynamique d'abrasion qui s'amplifie. L'inclinaison de la pente est aussi un facteur influent dans l'érosion fluviale. Plus la pente est très inclinée, plus le ruissellement est rapide et va emporter du matériau sur son passage.

2. Facteurs géologiques

Le tracé de nombreux cours d'eau semble emprunter le réseau de failles d'orientation Est-Ouest. Leurs affluents ont suivi une direction plus ou moins inclinée Nord-est et Sud-ouest. Les failles d'orientation Nord-sud marquent sans doute de successives phases d'effondrement[34]. Toutefois, nous devons retenir que plusieurs failles sont difficilement perceptibles dans la nature. Pourtant, elles continuent à commander l'écoulement des eaux suivi d'une intense érosion fluviale.

La dynamique de la rivière Ntahangwa varie avec les phénomènes d'érosion qui modifient les formes des berges et du lit, parallèlement, par transport et par accumulation des matériaux qui avaient été créés par des phénomènes endogènes[35].

Ces phénomènes sont causés par le caractère torrentiel de la rivière Ntahangwa qui est particulièrement important dans les parties moyennes et supérieures. Cette torrentialité est due à des causes géomorphologiques, géologiques, anthropiques et climatiques.

Dans la zone d'étude, nous avons deux parties dans lesquelles la dynamique est différente :

- Dans la partie montagneuse, les roches sont caractérisées par une grande altération. Ces roches présentent des plans de faiblesse par développement de diaclases, de fissurations, de foliation et schistosités imprimées par la tectonique et le métamorphisme. Une quantité importante d'eau s'infiltre à partir de ces plans de faiblesse.

---

[33] MUHINDU, S. ; *Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu/RDC)* ; Thèse de Doctorat, Liège, Université de Liège, FS, 2011, 275p.
[34] NDIKUMANA, A.,*op.cit.*,p.64
[35] GEORGE.P., 1974

Apres altération, les différents processus d'érosion de surface transforment les matériaux dérivés vers les cours d'eau et dans la rivière Ntahangwa. Cette dernière est très chargée et le débit augmente. A cause des contreforts, ces matériaux confèrent à la rivière un écoulement torrentiel.

- A l'entrée de la plaine, la rivière conserve le caractère d'agressivité à cause des matériaux qu'elle charrie. Dans cette zone de plaine, nous avons des formations meubles qui sont susceptibles à l'érosion en nappe et au ruissellement concentré ou fluvial.

En effet, l'existence des matériaux hétérogènes et hétérométriques qui facilitent l'infiltration des eaux et la présence des hydroxydes et oxydes dans les latérites susceptibles à l'altération, provoquent des phénomènes d'éboulement, des talus et des glissements de terrain. Sur la rive droite, on observe beaucoup d'argile. Leur comportement face à l'eau (gonflement-rétraction) et l'infiltration des eaux usées en provenance des puits perdus, occasionnent des transports en masse suite aux phénomènes de solufluxion et de défloculation[36].

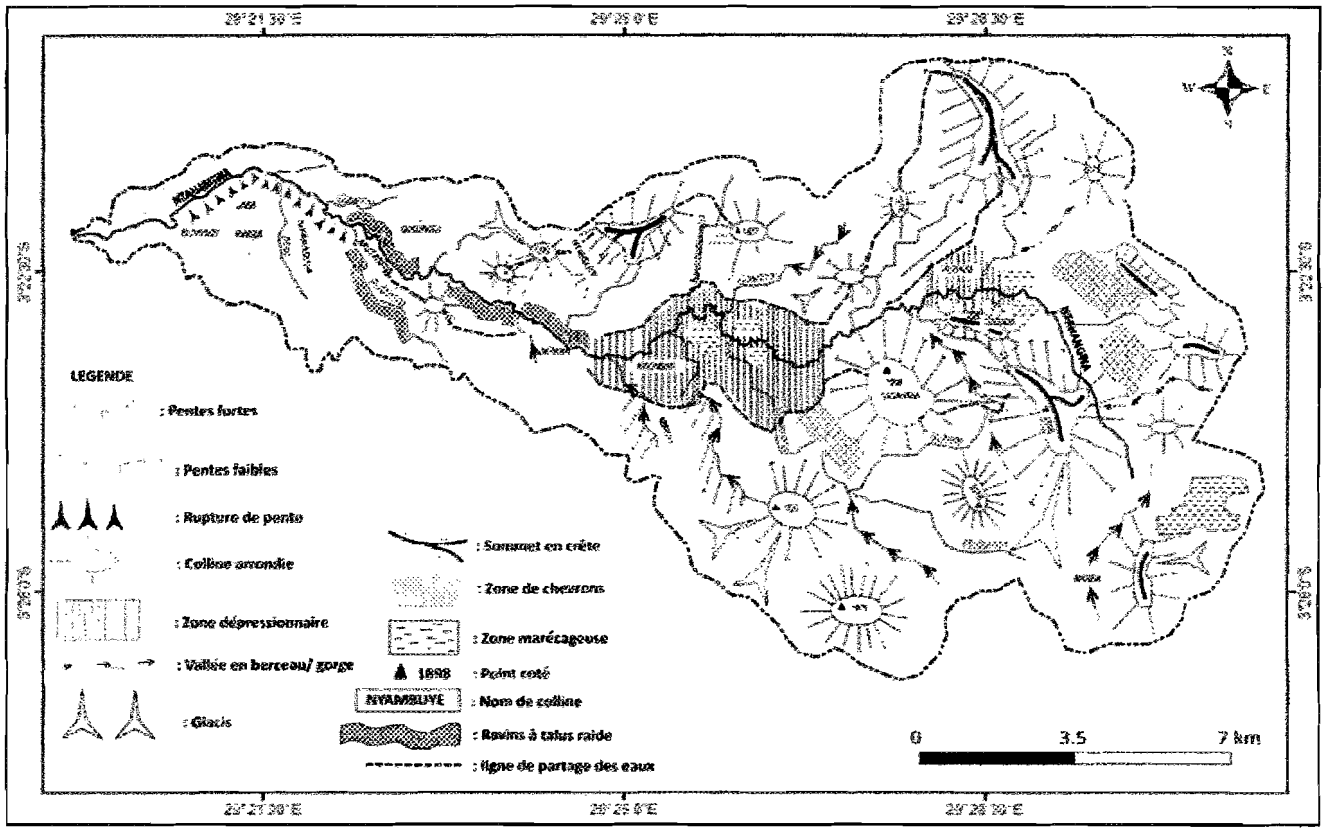
L'écoulement des eaux usées et le ruissellement des eaux de pluie accélèrent ce phénomène. La partie en aval devient le secteur de précipitation et de sédimentation des matières en suspension et des particules fines.

3. Facteurs géomorphologiques

La configuration morphostructurale explique le régime torrentiel des écoulements de surface à savoir la partie des basses terres de l'imbo à pentes faibles et les Mirwa qui sont caractérisées par de puissants escarpements à pentes longues et fortes, souvent avec un sol très érodable.

[36] NDAYISHIMIYE, J.; *La dynamique de la rivière Ntahangwa sur l'environnement de la ville de Bujumbura;* Bujumbura, UB, FLSH, 2008.

Figure 7: Croquis géomorphologique



Source : Auteur sur fond de carte topographique du Burundi

En effet, la charge transportée par les cours d'eau provient des masses de matériaux érodées sur la partie haute du bassin versant qui occupe les trois quarts du bassin versant de la rivière Ntahangwa. Sur l'ensemble des interfluves, c'est l'action mécanique qui prédomine. Les interfluves sont marqués par une érosion de surface dite aréolaire.

Dans la partie amont, les Mirwa ont un sol profond constitué de ferrisol limoneux, rouge. Ces sols sont fertiles mais ne doivent être cultivés qu'avec de très grandes précautions car l'érosion y est intense et leur pouvoir de rétention de l'eau très élevée provoque souvent des glissements de terrains. De plus le niveau de dégradation de ces sols est accentué par la forme convexe du profil en long. [37]

Plus proche de la zone urbanisée, deux phénomènes se combinent : d'une part, la mise en valeur excessive associée aux pentes fortes conduit à une érosion intense, avec une perte d'épaisseur et de fertilité des sols ; d'autre part à l'approche de la plaine dans l'Imbo, les bas-fonds ont des sols constitués par des vertisols. Ils se développent naturellement dans les zones mal drainées, et renforcent l'imperméabilité.

[37] NDIKUMANA, A.,*op.cit.*,p.72

En saison des pluies, l'eau apportée par les averses s'infiltre lentement et s'évapore en grande partie au lieu de rejoindre les réserves du sol et de la nappe phréatique. Le drainage est très suffisant et le potentiel d'infiltration très faible d'où un risque d'inondation important. Dans les creux topographiques, les bas-fonds et les talwegs ; c'est l'érosion linéaire qui prédomine. Cette érosion creuse verticalement et/ou latéralement en élargissant les berges.

4. Facteurs climatiques

Les limites pluviométriques et topographiques ont été le critère principal de délimitation en deux parties du bassin versant de la rivière Ntahangwa. D'une part une zone inférieure à 1000 mètres d'altitude et d'autre part celle comprise entre 1000 et 2500 mètres d'altitude. Ces deux secteurs climatiques se distinguent essentiellement par la durée de la saison humide et de la saison sèche.

La zone dont l'altitude est supérieure à 1000 mètres est caractérisée par un climat pluvieux et frais. La saison de pluie commence brusquement au mois de septembre et se termine lentement au mois de juin. Les données pluviométriques montrent qu'il pleut fortement dès le mois de septembre jusqu'au mois de mai et qu'en juin, les précipitations diminuent sensiblement et parallèlement, le nombre de jours de pluies augmente au fur et à mesure depuis septembre jusqu'en Mai. La durée de la saison sèche est de deux à trois mois.

Elle commence vers la fin du mois de Juin ou début Juillet. Toutefois, on peut remarquer qu'il y a des années où il pleut pendant la saison sèche. La zone inférieure à 1000 mètres d'altitude connait une saison pluvieuse qui dure en principe sept à huit mois successifs depuis le mois d'octobre jusqu'en mai avec cependant un léger fléchissement des pluies vers le mois de décembre-février. La saison humide débute timidement au mois d'octobre et se termine brusquement au mois de mai suivant les années. Quant à la saison sèche, elle dure normalement quatre à cinq mois consécutif avec une sécheresse relative qui commence dès la fin du mois de mai et ne s'achève qu'au mois de septembre à octobre. Elle se remarque par la rareté des pluies, qui tombent avec une intensité très faible et sont de courte durée.

Tableau 3 : Pluviométries mensuelles de la station de Bujumbura (2014)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	T Annuel
Pmm	113.1	160.4	80.6	55.6	11.4	18.5	0	22.5	-	76.4	45.2	196.3	780

Source : IGEBU, 2014

Notre zone d'étude est soumise à deux climats différents. Le climat frais d'altitude dans la partie élevée située au-dessus de 1000 mètres et le climat tropical sec dans celle inférieure à 1000 mètres d'altitude.

La température joue aussi un rôle très considérable dans les processus d'altération des roches en milieu tropical et humide. La température moyenne dans notre zone étude est de 23°C au niveau de la plaine et de 14°C dans les Mirwa. Cette température élevée facilite la libération des ions du réseau cristallin favorisant ainsi les réactions et l'altération de la roche. Cela accélère la pédogenèse en général et la présence des mouvements de masse en particulier dans les régions des contreforts.

Au cours de la saison sèche, la sécheresse exerce une intense évaporation au niveau du sol et une forte évapotranspiration au niveau des végétaux durant quatre mois et les éléments peu cohérents du sol se fendirent jusqu'à une certaine profondeur.

Ainsi, dans les régions chaudes et humides, l'eau en abondance et la constance des températures élevées déterminent en général une altération profonde des roches, sauf sur des roches très dures comme les quartzites. La partie d'une altitude de 1500 mètres connaît un régime thermique moins chaud que celui des stations de l'aéroport et ses environs. La thermométrie de cette station est à une altitude de 785m et est assez régulière au cours de l'année.

III.3 FACTEURS ANTHROPIQUES

1. L'expansion spatiale incontrôlée de la population

L'explosion démographique dans la capitale Bujumbura est l'une des causes de l'occupation du sol mal planifiée. Elle a contribué à la disparition progressive de la végétation naturelle sur les versants par la naissance de nouveaux quartiers.

Estimée à 60.000 habitants en 1962, la ville de Bujumbura compte en 2014 une population de 598.962 habitants. Mais cette population est inégalement répartie. Elle se regroupe surtout dans les quartiers périphériques du noyau de la capitale où la densité atteint parfois plus de 2.000 habitants au km². En raison de l'explosion démographique, de l'exode rural et de ses constructions essentiellement horizontales, la ville s'étend très rapidement et les zones d'habitat s'intensifient. Le manque de planification et d'organisation dans services d'aménagement et d'urbanisme fait que le lotissement, l'installation de réseau

d'assainissement, l'adduction d'eau potable et la fourniture de l'électricité ne suivent pas la croissance démographique urbaine.

Le décalage croît sans cesse entre l'offre et la demande des parcelles viabilisées. Les conséquences à cette situation sont essentiellement les problèmes de pression démographique, d'hygiène publique et d'insécurité.

Sur les versants, la population rurale pratique, d'intenses activités agricoles souvent incontrôlées, accélérant par la suite les mouvements en masse de terre.

Il se développe ainsi aux alentours des vallées, des petites loupes de glissements dues à une érosion régressive.

Elle crée des ravins qui s'allongent par endroits et se creusent d'avantage chaque année. Le sol glisse sur le pied du versant et laisse apparaitre de formes de détail très ravinés surtout en période pluvieuse.

Autrefois, la présence de la couverture végétale étant assez dense pendant la période de pluie, protégeait le sol contre l'agressivité des gouttes de pluies. Cette végétation réduisait les pertes de sol par ruissellement qui sont fortes lors des moments de labour.

Ainsi, les pentes raides des contreforts étant déjà instables par nature, ajoutées à des activités culturales qui s'y exercent, perdent une certaine quantité de sol et qui sera emportée par de grands torrents exposant par conséquent la plaine aux divers catastrophes naturels.

Dans la partie des contreforts, la forte inclinaison des pentes oblige les gens à construire de petites maisons mais concentrées. A l'instar de ce phénomène d'occupation anarchique, on observe des cultures vivrières non pérennes qui ne couvrent pas le sol toute l'année.

D'où l'accroissement des surfaces de ruissellement et l'augmentation des débits des cours d'eau. Selon l'intensité de battance, les particules du sol se désagrègent puis sont transportées par l'érosion vers les cours d'eau. L'eau s'infiltre facilement pour alimenter les nappes, ce qui accroît les débits. Le sol est aussi exposé à l'érosion pendant une certaine période de l'année, quand les récoltes sont finies.

2. L'impact des activités de la population sur la dynamique de la Ntahangwa

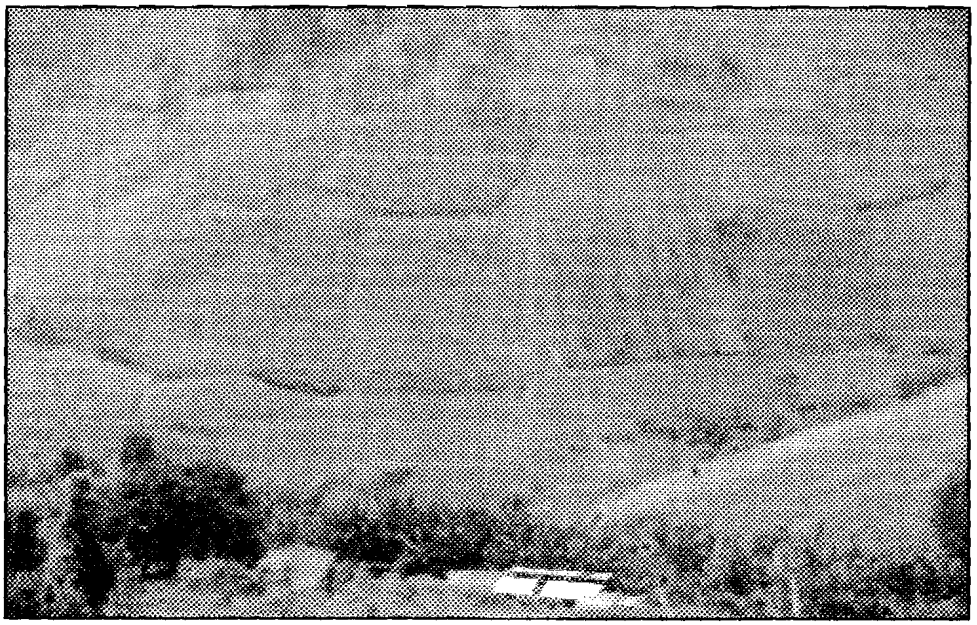
2.1 Dégradation du couvert végétal

Le couvert végétal a presque disparu dans une grande partie du bassin versant de la rivière Ntahangwa. Sa disparition s'explique par une forte densité de la population rurale, l'association agropastorale et les feux de brousse périodiques. Néanmoins, quelques boisements s'observent dans les abords immédiats en amont du pont de la République sur la rive droite de la rivière Ntahangwa.

En aval de ce même pont, sur la rive gauche, on trouve une importante plantation d'arbres fruitiers naguère station d'expérimentation de l'ISABU. Quelques anciennes plantations d'eucalyptus restent aussi visibles au Nord-est de la zone Gihosha. Dans notre zone d'étude, la végétation a complètement disparu à cause de l'occupation du sol, des aménagements inadaptés, à la recherche du bois de chauffage et de construction. Toutefois, le rôle de la végétation reste primordiale, elle sert à stabiliser les terrains, à freiner le ruissellement sur les fortes pentes, à embellir la ville, à nettoyer l'atmosphère des gaz nuisibles à la santé, à préserver l'équilibre biologique, à apporter de l'ombre, de la fraicheur et de l'humidité.

En amont de notre zone d'étude, la pression démographique pousse à la déforestation qui met à nu le sol et l'expose à l'érosion fluviale ; plus la population s'accroît, plus les surfaces cultivables deviennent petites. Ainsi, pour cultiver, l'homme va agrandir son aire exploitable par suppression de la végétation naturelle. Faute d'un couvert végétal adéquat dans le bassin versant, les écoulements des eaux pluviales pendant la saison de fortes précipitations entrainent des glissements de terrain et des éboulements. L'érosion est aussi reconnue comme une menace de pollution des rivières et du lac Tanganyika qui a des conséquences néfastes sur la qualité de l'eau et les écosystèmes aquatiques. L'agriculture se fait sans tenir compte des pentes, avec souvent un labour dans le sens de la pente qui favorise énormément l'érosion.

Photo 3: Quasi-absence du couvert végétal sur des pentes raides, ainsi que la culture dans le sens de la pente[38]



[38] Analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura

La période qui suit immédiatement le labour est de ce fait une période critique pour la simple raison que le sol remué par le labour devient instable et sensible à toutes les formes d'érosion, ce qui augmente les pertes en terre. Les zones non irriguées en amont de la ville de Bujumbura sont cultivées sur deux saisons pluvieuses sur les mêmes sols, sans jachère. La surexploitation des terres et l'exposition des sols sans couvert végétal pendant une longue période de l'année, l'expose à l'érosion et à la dégradation.

Les pertes en terres excessives des Mirwa s'expliquent ainsi essentiellement par l'absence, parfois totale d'un système agraire se souciant très peu de la protection des sols, par exemple l'ignorance des fossés antiérosifs pour réduire l'intensité de l'érosion. Or, dans sa pauvreté chronique rurale, le paysan des Mirwa cultive presque partout sur les pentes longues et raides favorisant l'érosion par le ruissellement aréolaire et le ravinement facile des versants. Les forêts naturelles et les boisements artificiels sont presque inexistants, de même l'agroforesterie n'est pas développée. On trouve quelques plantes agroforestières (manguiers, avocatiers) avec une très faible densité. Le développement de l'agroforesterie pourrait répondre aux besoins non seulement en bois de chauffage, mais aussi aider la culture des haricots volubiles qui nécessitent des tuteurs pour se développer. Le maintien d'un maximum de couverture boisée et/ou cultures

2.2 Attribution anarchique des parcelles

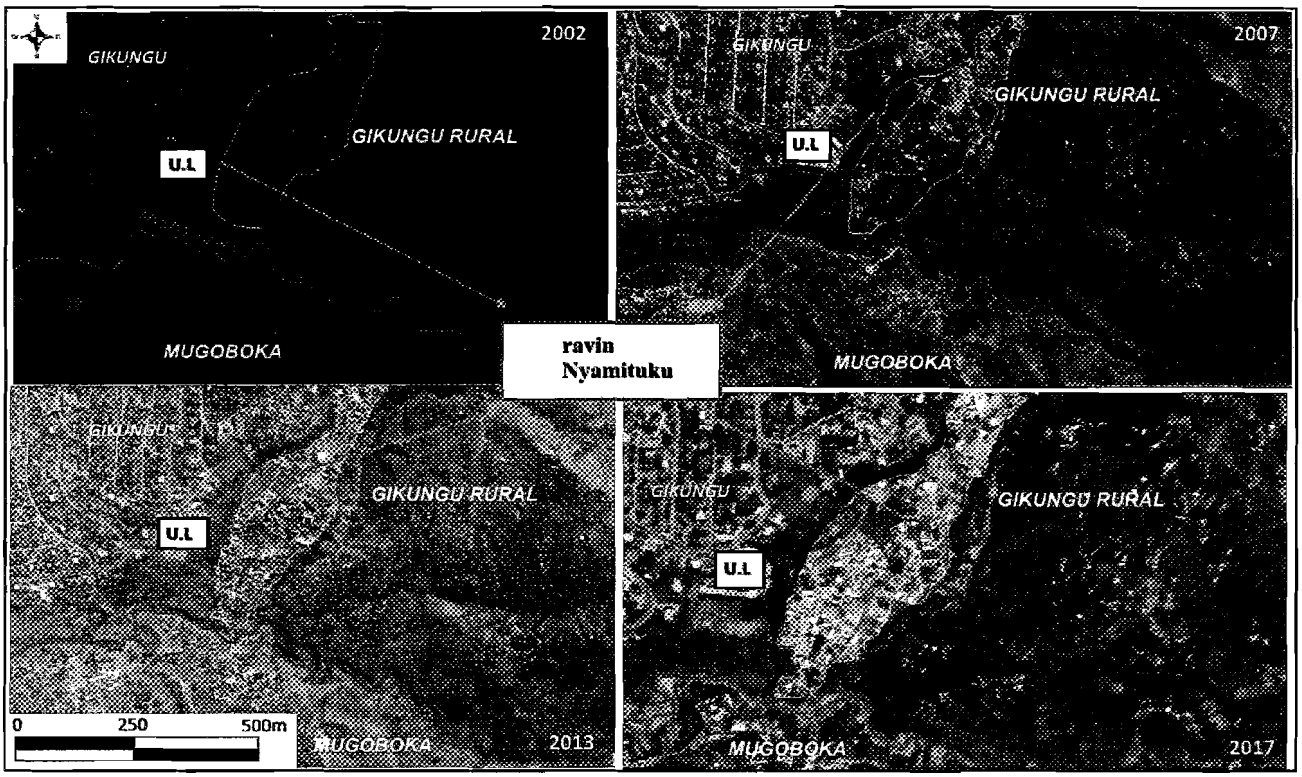
Dans la ville de Bujumbura, on observe des cas d'attribution des parcelles qui ne se conforment pas aux normes urbanistiques. D'une part les maisons sont perchées sur des talus abrupts d'autre part elles sont érigées dans les lits majeurs des rivières.

Certaines installations des maisons le long de la rivière Ntahangwa, expliquent l'instabilité des ravins qui s'observent dans notre zone d'étude. La conséquence a été que quarte de maisons ont été déjà abandonnées, et d'autres le seront dans un proche avenir, par peur qu'elles s'écroulent emportant ainsi les vies humaines. Ce phénomène se remarque également le long de l'avenue de l'imprimerie, localité où les parcelles ont été octroyées par la Mairie de Bujumbura sans l'accord préalable des services de l'urbanisme. C'est aussi le cas du sud du quartier Gikungu où plusieurs habitants ont été contraints d'abandonner leurs maisons en cours de destruction. Le quartier kigobe sud est aussi concerné ; de part et d'autre du ravin Gishora près de son embouchure avec la rivière Ntahangwa. En aval du quartier Buyenzi, la situation est très alarmante surtout après le passage d'une grosse averse.

Les maisons construites dans le lit majeur de la rivière sont à chaque fois inondées, car à cet endroit la rivière coule à fleur de surface, par conséquent, l'inondation s'accélère car leur aménagement a atteint le lit majeur du même cours d'eau.

Les observations de terrain nous ont amené à constater que tous les quartiers qui longent la rivière Ntahangwa sont concernés par les inondations (à l'ouest du pont situé au niveau du boulevard du peuple murundi) et les phénomènes d'érosion et mouvements de terrain (à l'est du pont situé au niveau du boulevard du peuple murundi jusqu'en amont de la rivière Ntahangwa), mais le pire a été signalé dans les quartiers de Gihosha rural et Gikungu rural. Erigées sur les hauteurs de la ville de Bujumbura, ils regroupent des villas qui partagent les parcelles avec des maisonnettes construites en matériaux non durables. De telles maisons contribuent à l'amplification du ravin Nyamituku qui longe l'Est du quartier Gikungu rural et l'Université lumière de Bujumbura comme la figure n°9 ci-dessous le montre. La partie rurale de notre zone d'étude connait aussi les mêmes types de construction. Les maisons sont dispersées au milieu des bananerais sur les pentes raides des Mirwa. L'eau pluviale a des difficultés pour pouvoir franchir les lits des cours d'eau et partout sur son passage, elle laisse des marques inquiétantes qui aboutissent aux glissements de terrain.

Figure 8: Amplification des ravins Nyamituku due à l'attribution anarchique des parcelles dans des zones à très haut risque de mouvement des terres



Source: Images Google Earth de 2002, 2007, 2013 et 2017

Sur ces images (figure 9), on remarque que l'amplification des ravins Nyamituku est due en grande partie par les constructions anarchiques des quartiers périphériques de Gikungu rural. Sur l'image de 2002 on constate le ravin était stable mais après 2007, avec le début des constructions de la zone entourée en jaune sur ces images, le ravin Nyamituku a entamé son évolution comme on peut l'observer sur les images de 2013 et 2017. Les édifices de l'Université Lumière (U.L) sont menacées de destruction ainsi que les maisons de Gikungu rural qui se trouvent le long de ces ravins.

2.3 L'inadéquation de l'assainissement des eaux pluviales dans les zones urbanisées

L'assainissement des eaux pluviales de beaucoup d'avenues des quartiers de notre aire d'étude présentent des lacunes. Le sous dimensionnement des certains collecteurs d'évacuation des eaux de pluie est dû à l'expansion urbaine ; c'est le cas du quartier Sororezo. Dans les secteurs où les caniveaux ont été construits, ils sont soit bouchés, soit détruits par des dépôts de moellons graviers, et sables qui sont entassés tout le long des avenues pendant la période des travaux de construction.

Plus en amont des quartiers ruraux de Gihosha qui surplombent toute la partie urbaine, les systèmes d'évacuation des eaux pluviales mal entretenus restent le facteur non négligeable qui influence la formation et l'évolution des ravins qui longent la partie urbaine du bassin versant et se raccordent assez rapidement à la rivière Ntahangwa. Il s'agit des ravins Gishora qui a été amplifié par les constructions des quartiers de Gihosha, Gikungu et Kigobe.

Egalement les ravins Rubanza et Vugizo ont subi le même sort. Certains caniveaux d'évacuation des eaux pluviales sont en haut sur les talus qui longent la rivière et n'arrivent pas jusqu'au fonds du lit de la rivière ce qui explique l'augmentation des ravins qui se raccordent directement à la rivière Ntahangwa.

L'augmentation de la surface urbanisée conduit à surcharger parfois catastrophiquement les réseaux situés à l'aval (quand ils existent) ou directement à noyer les zones qui n'étaient pas prévues pour recevoir ces débits. De nombreux ouvrages de collecte des eaux pluviales ont été dimensionnés par rapport aux conditions d'il y a vingt ans à trente ans, et ne sont pas adaptés aux ruissellements actuels.

Néanmoins, certains collecteurs fonctionnent convenablement dans certains quartiers comme Mutanga-nord, Gihosha et Kigobe nord et ne présentent pas de danger sur les constructions et l'environnement.

2.4 Expansion urbaine mal planifiée

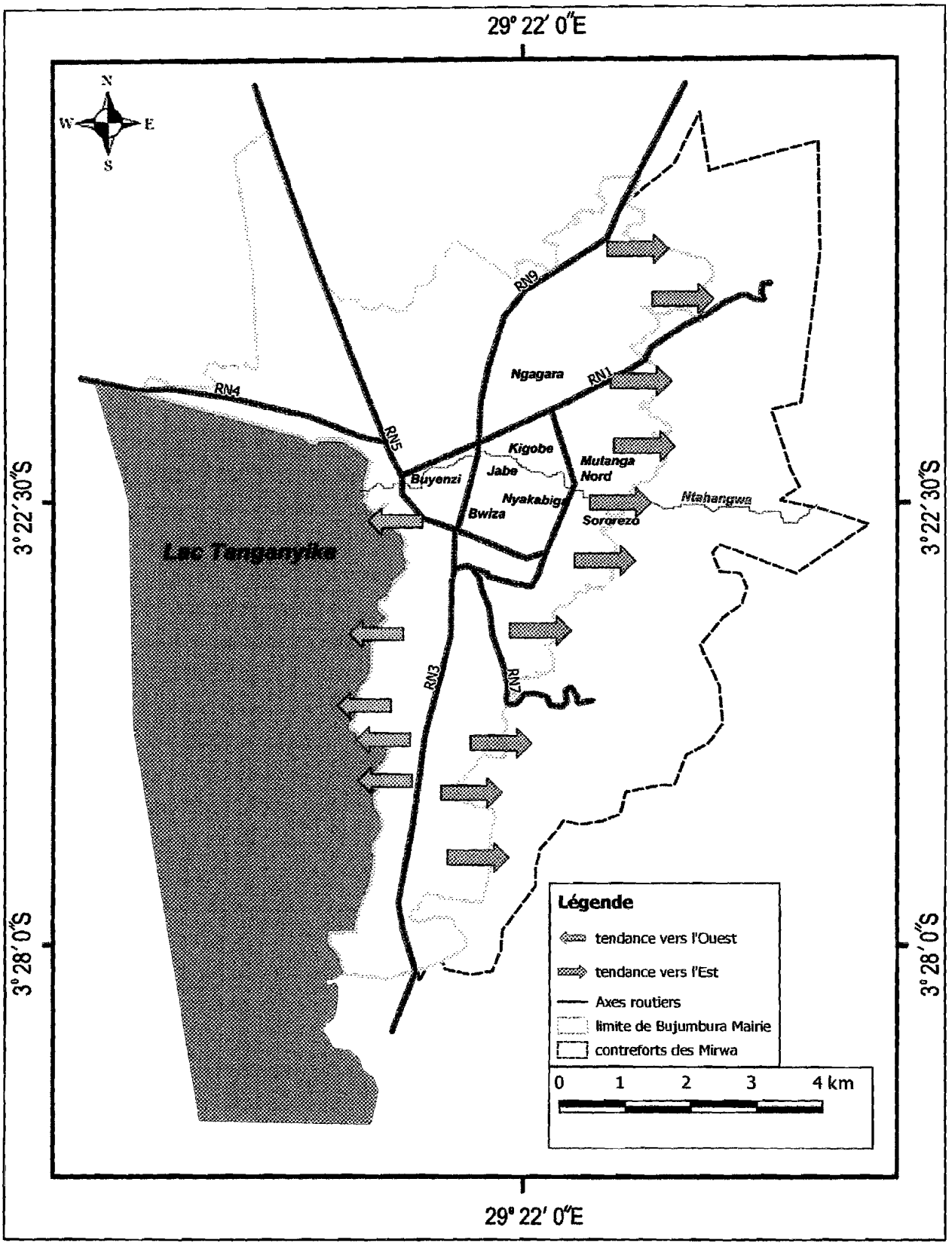
La vulnérabilité des bassins versants des Mirwa est aggravée par le manque de mise en exécution du schéma d'aménagement du territoire approprié aussi bien sur le plan local que régional. Le schéma directeur d'aménagement urbain de Bujumbura d'origine prévoyait l'expansion de la ville suivant l'orientation nord-sud non pas celle d'est-ouest comme c'est le cas aujourd'hui notamment pour les quartiers haut standing de Sororezo, Gikungu rural, Gasenyi rural et Gasekebuye.

L'expansion de la ville dans cette orientation (est-ouest), fait partie des principaux facteurs qui accentuent l'instabilité des versants qui surplombent la ville de Bujumbura. Ces lotissements rendent les sols imperméables, diminuant ainsi les surfaces d'infiltration des eaux pluviales. Cette situation déverse d'importants débits sur les habitations en aval causant de graves inondations.

La plupart de ces constructions sont des villas, donc plus imposants et lourds qui favorisent le risque de mouvement de masses.

L'indice de ruissellement augmente également sur des surfaces quelques fois dépourvues de tout système d'assainissement des eaux pluviales et/ou s'il existe, n'est pas proportionnel au débit à évacuer. D'où on observe la multiplication spectaculaire des ravins dans cette localité.

Figure 9: Tendance de l'expansion spatiale de la ville de Bujumbura



Source : Réalisée par l'auteur sur fond d'images Google Earth à l'aide de Qgis inspiré du Schéma directeur d'aménagement urbain de la ville de Bujumbura

2.5 L'intensification du ruissellement superficiel dans l'agglomération de Bujumbura

Le milieu urbain est, par définition, un domaine favorable au ruissellement : celui-ci est largement dépendant de l'imperméabilisation du sol par le bâti, les revêtements divers, les modes d'aménagements et le piétinement incessant des surfaces. Ce phénomène est de tant plus sensible que les pluies sont intenses et que les capacités d'évacuation sont limitées ou déficientes comme c'est le cas dans les pays tropicaux[39].

La configuration naturelle du site de Bujumbura, petite plaine adossée à un relief énergétique, prédispose incontestablement l'agglomération à un ruissellement régulièrement alimenté par les contreforts des Mirwa. Sur ces derniers, les versants ont connu une dégradation croissante depuis un quart de siècle qui n'a pas manqué d'amplifier la lame ruisselée des Mirwa.

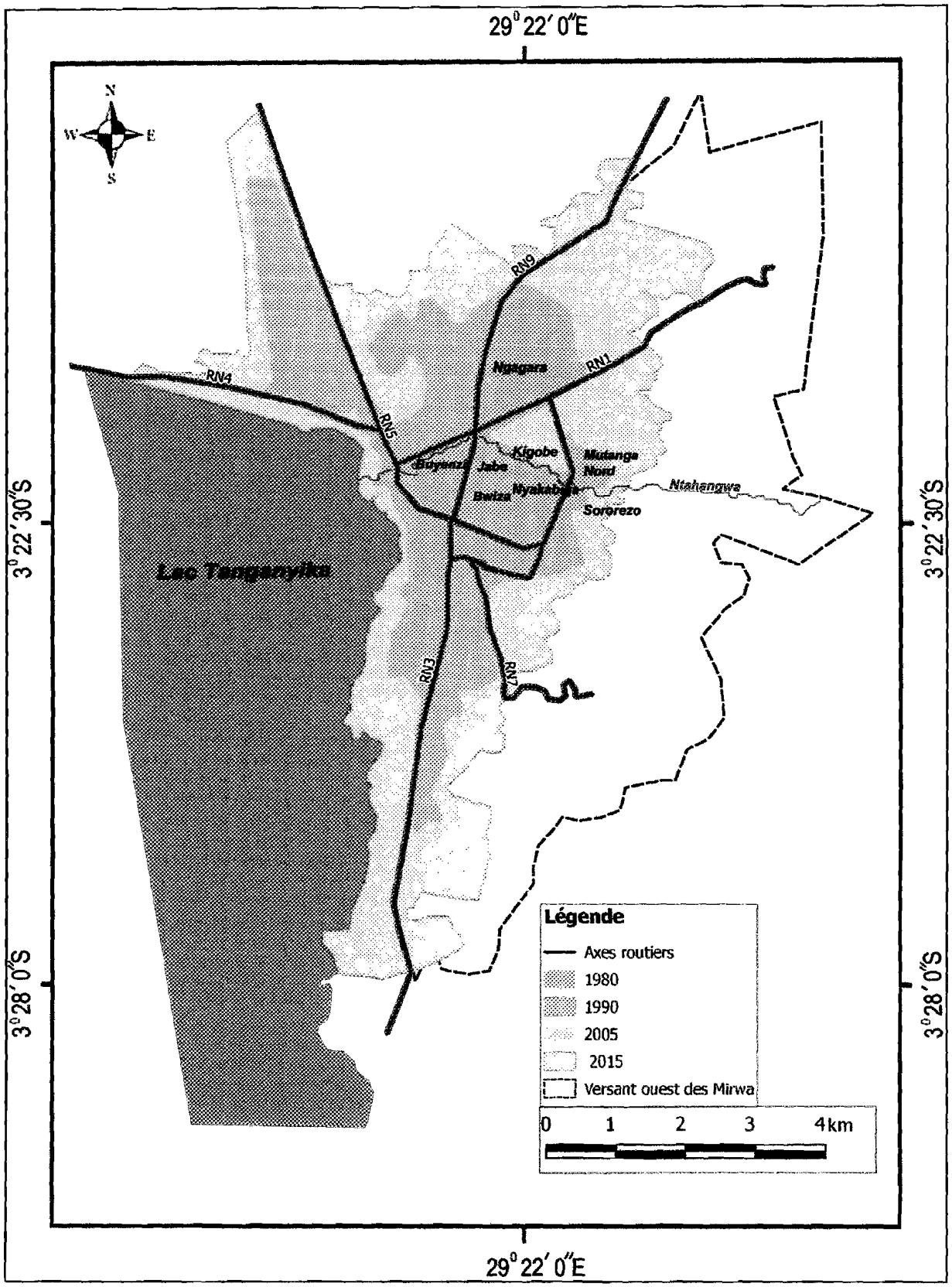
Il reste que les submersions par ruissellement affectent la plupart des secteurs dépressifs des quartiers situés en aval des zones urbanisées, ou en cours d'urbanisation dans lesquelles le ruissellement intense joue un rôle prépondérant. La situation en 2002, validées par l'observation sur terrain, les informations des images Google Earth permettent d'apprécier le degré d'imperméabilisation des surfaces, notamment à partir de la densité des quartiers et de leur caractère plus ou moins végétalisé.

Le sapement et le foirage généralisés des berges au niveau du pont à Mugoboka ont déclenché une importante érosion latérale et un élargissement du lit. A certains endroits, les maisons situées à proximité sont menacées d'être emportées. La route desservant les parties Est et Ouest est coupée, comme les canalisations qui alimentent en eau le quartier de Mutanga sud ; non réparées depuis 2001.

Comme le montrent les figures 11 ci-dessous et 12 en annexe, plus la ville s'accroît spatialement plus l'indice de ruissellement devient très important. C'est ce phénomène, qui est parmi d'autres causes citées haut de la dynamique fluviale.

[39] MUHINDU, S., *Op., Cit.*, 143p.

Figure 10: Expansion de la ville de Bujumbura entre 1980 et 2015



Source : Réalisée par l'auteur sur fond d'images Google Earth à l'aide de Qgis inspiré du Schéma directeur d'aménagement urbain de la ville de Bujumbura

Il est généralement reconnu que la raison principale de l'augmentation en nombre et en intensité des catastrophes liées aux inondations et mouvement des terres est l'augmentation du ruissellement et surtout les débits de pics (facteurs climatiques). Cette augmentation est occasionnée par deux facteurs à savoir :

- L'augmentation du coefficient de ruissellement ;
- L'augmentation des intensités de la pluie.

En fait, l'augmentation des intensités de la pluie n'a pas pu être prouvée statistiquement jusqu'ici. Il faudrait, en effet, pouvoir disposer de pluviogrammes étalés sur une dizaine d'années au moins, pour pouvoir prouver cette hypothèse.

Au contraire, il n'y a pas de doute que le coefficient d'écoulement va en augmentant dans toute la zone d'étude. Une première raison est la déforestation; après laquelle il y'a un tarissement des sources jusqu'à un cinquième du débit annuel initial. Mais aussi la mise en jachère, la mise en culture et l'intensification des cultures occasionnent une deuxième augmentation du ruissellement, surtout pendant les périodes où les cultures ne constituent pas une couverture adéquat du sol. Finalement, les interventions de l'homme mènent à la création de grandes surfaces peu ou pas perméables, comme des routes, des maisons, des bâtiments.

Ainsi, dans les villes à haute densité de population, le coefficient d'écoulement qui était proche de zéro dans l'état naturel avant urbanisation ou anthropisation de l'espace, a évolué vers un taux de 16%-18% au Burundi.[40]

Il est à craindre que l'augmentation du coefficient d'écoulement croîtra davantage dans l'avenir à cause de l'intensification des activités humaines, surtout urbanisation et agglomération et si une pluie de 70mm est, à l'heure actuelle, une pluie critique, on peut s'attendre à une pluie de 50mm de devenir critique dans un avenir pas trop lointain[41].

L'augmentation du coefficient d'écoulement des eaux pluviales est aussi le résultat de la dégradation des sols dans la région des contreforts des Mirwa causant ainsi des risques naturels. C'est ce point que nous allons aborder dans le dernier chapitre qui suit.

---

[40] Bodeux., 1972
[41] MUHINDU, S, *op.cit.*, 2011, 275p

CHAPITRE IV : DEGRADATION DES SOLS ET RISQUES NATURELS DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NTAHANGWA

La pression démographique sans cesse galopante de la ville de Bujumbura favorise son accroissement spatial. Divers phénomènes d'érosion sont aujourd'hui en proie de cette dernière, leur origine est souvent déterminée par les types des dégradations de l'environnement causées par des pressions démographiques rurales accompagnées par des aménagements ruraux non respectueux de l'environnement en général. Les pertes en terre excessives des Mirwa s'expliquent essentiellement par l'absence, parfois totale, d'un système agraire se souciant très peu de la protection des sols, par exemple l'absence des fossés antiérosifs pour réduire l'intensité de l'érosion dans la partie amont du bassin versant de la Ntahangwa. Par manque des terres cultivables, la population cultive sur des pentes raides favorisant l'érosion par le ruissellement aréolaire et le ravinement facile des versants.

IV.1 ETAT DE LA DEGRADATION DES SOLS PAR ZONE ECOLOGIQUE

1. Plaine occidentale

Les sols de la plaine de l'Imbo reposent sur une pente faible, les effets combinés du climat et la pratique d'un minimum de deux cultures annuelles sur un même champ, induisent inévitablement une dégradation des sols. La formation d'une couche de battance diminue fortement la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol. Sur les sols de pente faible, on observe à plusieurs endroits les effets de l'érosion en nappe qui élimine la mince couche superficielle et met à nu les éléments grossiers.

2. Escarpement occidental des Mirwa

Dans la région naturelle des Mirwa les sols sont jeunes, fertiles mais soumis à une érosion très sévère avec ravinements et glissements de terrain. L'érosion provoque également des crues de cours d'eau, la modification de leurs berges, les inondations dans la plaine de l'Imbo. Les parcelles de culture ne connaissent pas de repos (jachère). Sur certaines collines, presque tout ce qui peut être cultivé est occupé.

L'agriculteur dispose d'une marge de manœuvre très étroite l'obligeant à exploiter sa terre au maximum en essayant d'avoir plusieurs récoltes par an et souvent plusieurs cultures sur la même parcelle la même année. Signalons que les sols de cette zone sont humifères relativement fertiles mais très sensibles à l'érosion.

3. Crête Congo-Nil

La crête Congo Nil est marquée par la disparition de forêt ombrophile de montagne sur une vaste partie du territoire national. Avec la densité de la population qui varie de 280 hab./km² à 160 hab./km², les sols se sont rapidement dégradés. L'horizon humifère a disparu, il ne reste que des sols particulièrement appauvris, très acides et à forte toxicité aluminique. Les terres ayant gardé une certaine fertilité sont surexploitées, le système de mise en jachère n'existe pas car les champs portent chaque année deux récoltes successives. L'exiguïté des terres agricoles et la faible fertilité des terres de collines imposent une logique d'accaparement de nouvelles terres pour l'agriculture et le pâture.

IV.2 FACTEURS DE DEGRADATION DES SOLS EN AMONT DU BASSIN VERSANT DE LA NTAHANGWA

Les grands facteurs liés à la dégradation des sols sont la déforestation, la mauvaise utilisation des terres, l'exiguïté des terres, le surpâturage et les perturbations climatiques.

IV.2.1 Déforestation

Les causes directes de la déforestation sont notamment la forte pression sur les ressources forestières, le défrichement cultural, les feux de brousse et la mauvaise gestion des boisements.

IV.2.1.1 Forte pression sur les ressources forestières

La principale cause de la déforestation est la forte dépendance de la population vis-à-vis du bois comme source d'énergie. Le déficit en bois de chauffage atteint 80 % des besoins (0,085 m3/hab./an pour bois de service et 1,75 stères/hab./an pour bois de feu et charbon de bois) contre 20 % pour les besoins en bois d'œuvre (0,02 m^3/hab./an).

Les apports sont de l'ordre de 55 % par les essences agroforestières et micro-boisements familiaux, 42 % par les boisements communaux et domaniaux et 3 % par les forêts naturelles. A l'heure actuelle, le taux du déboisement est supérieur au taux de reforestation. La carbonisation avec une meule traditionnelle a un rendement de 10 %. Donc, pour avoir 10 kg de charbon de bois, il faut brûler 100 kg de bois ce qui est une perte énorme.[42]

[42] MINAGRI, 2008

IV.2.1.2 Défrichement à des fins agricoles

Un autre facteur non moins important qui entraîne la déforestation est le défrichement des espaces boisés dans le but d'étendre les exploitations agricoles. La taille moyenne d'une exploitation d'un ménage ayant 6 enfants s'élève aujourd'hui à 0,5 ha. Suite à la diminution progressive d'une taille d'exploitation d'un ménage due à l'atomisation des propriétés ainsi qu'à la perte de sa fertilité, la population a tendance à recourir aux espaces boisés en vue de la recherche de nouvelles terres agricoles.

IV.2.1.3 Feux de brousse

Les feux de brousse font des ravages et aucune année ne passe sans que des superficies importantes de boisements et de chaîne de montagnes soient brûlées soit par des éleveurs voulant renouveler leurs pâturages ou par des pyromanes. Le passage répété de ces feux aggrave la susceptibilité à l'érosion entraînant ainsi une destruction progressive du sol.

IV.2.2 Mauvaise utilisation des terres

Les principales causes d'une mauvaise utilisation des terres sont notamment une mauvaise affectation des terres, la persistance des pratiques agricoles inappropriées ainsi que la surexploitation des terres.

IV.2.2.1 Mauvaise affectation des terres

L'affectation des terres au Burundi ne tient pas compte de leur aptitude et de leur fragilité. Ainsi, suite à la pression démographique sur les terres en amont de la zone d'étude, la population cultive même sur des terres marginales, à des pentes trop élevées et impropres à l'agriculture alors qu'elles devaient être réservées au reboisement en vue de limiter leur dégradation suite à l'érosion. Le manque d'exécution d'un plan d'aménagement du territoire et d'une politique nationale d'utilisation durable des terres sont à la base de cette mauvaise affectation des terres.

IV.2.2.2 Pratiques culturales inappropriées

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. La persistance des pratiques culturales traditionnelles découle de la faible maîtrise des méthodes conservatoires des eaux et sols par les populations. La majorité de la population se trouvant sur les Mirwa (haute altitude) de notre aire d'étude

cultive dans leurs exploitations parallèlement à la pente ce qui favorise l'érosion. Les dispositifs antiérosifs ne sont pas régulièrement mis en place.

A côté de cela, le faible niveau de formation des exploitants agricoles et la faible capacité des structures d'encadrement agricole et de recherche en sont les éléments moteurs de la méconnaissance des techniques agricoles améliorées.

IV.2.3 Exiguïté des terres

Le manque d'activités alternatives, la pression démographique couplée au système successoral sont à la base de l'insuffisance des terres. Cette population, par manque d'autres activités alternatives, cherche à survivre de l'agriculture et de l'élevage accélérant ainsi la dégradation des sols agricoles.

Le morcellement des exploitations agricoles suite au système de succession provoque l'atomisation et la surexploitation des propriétés familiales et limite les possibilités pour les agri-éleveurs, d'accroître la production agricole par l'extension des terres cultivées. *Dans les conditions normales, un seuil minimal d'exploitation exigé pour un ménage est de 2 ha. Cependant, dans le pays, la taille moyenne de l'exploitation agricole pour un ménage tourne autour de 0,5 ha.*[43]

L'élevage se fait sur des pâturages pauvres et en perpétuelle régression. Le système d'élevage est dominé par un modèle extensif avec des animaux incapables de valoriser les efforts de l'agri-éleveur. Cet élevage est faiblement intégré à l'agriculture et à l'élevage. Du fait de l'exiguïté des pâturages naturels, de grands troupeaux d'animaux sont parfois parqués sur un même espace trop longtemps provoquant ainsi du surpâturage. Ce système d'élevage entraîne à la longue la mise à nu des sols et l'érosion.

IV.2.4 Perturbations climatiques persistantes

Le phénomène de perturbations climatiques se manifeste soit par une pluviométrie exceptionnelle soit par une sécheresse. Dans le cas d'une pluviométrie exceptionnelle, l'érosion s'accentue. La rivière Ntahangwa charrie les alluvions fertiles, élevant de quelques centimètres les lits de ces rivières qui dès lors inondent les plaines et détruisent les cultures des marais. Le problème d'érosion prend de plus une ampleur inquiétante faute de mesures de conservation des eaux et des sols. C'est dans le Mirwa où les pertes en terres sont très fortes.

---

[43] MINAGRI, 2008

On estime ces pertes à 100 tonnes /ha/an. Pendant les périodes de sécheresse, les cas de feux de brousse se multiplient, les bas-fonds non irrigués se dessèchent et se dégradent.

IV.2.5 Pression démographique sans cesse croissante

L'amplification des actions négatives de l'homme sur son environnement est sous-tendue par des facteurs d'ordre démographique et culturel. La population et la pression qu'elle exerce sur le milieu sont responsables de la dégradation des sols. Le Burundi est actuellement un des pays au monde les plus densément peuplés. *Sa population est en pleine croissance avec près de 50 % de moins de quinze ans (49 % en 1998). Cela signifie que la population totale va continuer à s'accroître quelque soient les effets des mesures qui pourraient être prises. Compte tenu de ces réalités, on admet maintenant que la population totale du Burundi sera comprise entre 11 et 14 millions d'habitants entre 2015 et 2025.*[44]

IV.2.5.1 Pauvreté chronique en milieu rural

Au Burundi, les pauvres se définissent comme ceux qui sont sans bétail, sans emploi rémunéré et qui n'ont pas suffisamment des terres à cultiver. En amont du bassin versant de la Ntahangwa, il s'agit d'une bonne partie de la population qui est concernée par la pauvreté. La population se trouve dans une situation de pauvreté et de vulnérabilité extrême et cela constitue 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.

Cette pauvreté est alors constamment entretenue par l'inadéquation entre ressources disponibles et la croissance démographique. La pauvreté et la précarité des conditions de vie des populations, en particulier, les plus démunies les empêchent de dégager des moyens pour acquérir de nouvelles technologies afin d'augmenter leurs productions agricoles et pastorales.

IV.2.6 Mauvaise gouvernance dans la gestion des terres

Pour bien gérer les terres, il faut créer un environnement porteur en renforçant la législation pertinente et en garantissant un accès équitable des populations locales aux ressources et à l'information. Au Burundi, en général, la législation est en place mais elle est connue par les seuls fonctionnaires et ne comporte généralement pas de texte d'application. Cette application

[44] ISTEEBU,2014

fragmentaire de la réglementation relative à la gestion des terres et de l'environnement ouvre donc la voie à un grand nombre de conflits d'intérêts entre les différents utilisateurs.

La spéculation qui entoure la recherche effrénée des terres agricoles a pratiquement fait disparaître des milliers d'hectares de boisement. Elle est très fortement entretenue par l'inexistence d'un cadre institutionnel de coordination et d'harmonisation des actions et diverses interventions entreprises ou prévues par les différentes stratégies sectorielles de développement. Il n'est pas rare au Burundi que deux acteurs se croisent sur un même terrain l'un pour sa protection intégrale et l'autre pour son aménagement agricole.

On citerait également l'insuffisante des études d'impacts environnementaux en termes de consistance et de suivi même pour des projets de grande envergure.

Cette spéculation est également entretenue par la défaillance de certains décideurs ou autorités attirés par la valeur économique des ressources naturelles. On constatera à titre d'exemple que certaines autorités s'approprient des terres des aires protégées pour leurs projets agricoles. Cette situation ouvre la voie au reste de la population de s'attaquer à l'exploitation irrationnelle des ressources des aires protégées, et elle fragilise les gestionnaires des aires protégées qui ne peuvent plus agir. Des fois, ces exploitations clandestines se font en complicité avec certains

Les autorités peuvent aussi promouvoir des activités de développement avec le seul souci d'en tirer des avantages. Certaines de ces activités sont notamment l'extraction du sable, des moellons, de l'argile, des carrières.

Après ces activités, les sites d'extraction restent abandonnés et personne ne s'en charge la réhabilitation. Cela est également le cas du traçage des routes sans études d'impact environnemental, la promotion des projets agricoles pour exploiter les 50 m de zone tampons des rivières, l'agrandissement des villes et l'aménagement irrationnel des marais.

IV.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA DYNAMIQUE DE LA NTAHANGWA

La situation de l'environnement est particulièrement préoccupante pour la ville de Bujumbura. Cette dernière est située dans une plaine surplombée par des collines à relief très accidenté soumises à des pratiques culturales inappropriées et d'où coulent des rivières torrentielles qui la traversent d'Est à l'Ouest. Ces rivières sont à leur tour soumises à une exploitation incontrôlée des matériaux de construction. Il en découle que certains quartiers de

la ville sont régulièrement inondés, des infrastructures sont détruites et d'autres sont menacées de subir le même sort.

La solution requiert la collaboration de plusieurs intervenants du secteur public et privé notamment la Mairie de Bujumbura, les services en charge de l'urbanisme, de l'environnement, des mines et carrières, de l'agriculture ; la société civile ; les entreprises de construction.

IV.3.1 Zones menacées par les inondations

Les 7 et 8 avril 1986, plus de 200 mm de pluie ont été enregistrés en moins de 36 heures. Les inondations ont été particulièrement prononcées le long du cours inférieur de la Ntahangwa. Deux facteurs semblent avoir aggravés la magnitude de la crue et de ses effets.

- *D'une part, la déviation déjà ancienne de la rivière Ntahangwa, qui alors coulait vers le Nord-Ouest en suivant la ligne de plus grande pente du terrain ;*
- *D'autre part, l'arrêt dès 1962 des travaux de curage régulièrement effectués chaque année dans la rivière, permettaient d'évacuer les dépôts sableux apportés par la rivière. Avec l'ensablement croissant depuis l'embouchure jusqu'à 750m vers l'aval, la rivière a eu tendance à regagner son ancien passage et a causé des dégâts très importants, en particulier dans le quartier Industriel situé à l'Ouest du boulevard du 28 novembre et en rive droite de la Ntahangwa. Toutes les rues situées à l'ouest de ce boulevard étaient inondées, le boulevard lui-même était recouvert par 1m d'eau, interrompant le trafic en direction d'Uvira en RDC et vers l'Aéroport International de Bujumbura.*

L'eau a atteint 2,20m de hauteur à la société SEP (société d'entreposage pétrolier) située à 2,6 Km du centre-ville de Bujumbura. Des milliers de fûts d'huile de 200litres et les bouteilles de gaz du dépôts-relais et d'entreposage de la Société FINA (actuellement ENGEN) ont été emportés par le courant dans le lac Tanganyika.

En janvier 1997, dans des conditions météorologiques assez proches des précédentes, la Ntahangwa sort de son lit.

Cette fois-là, la rive gauche est touchée à l'égal de la rive droite alors que l'eau a atteint 2,1m à la société RAFINA située nettement plus en amont en rive gauche. Les moulins de la société situés sur la partie droite de la Ntahangwa ont été détruits. La digue construite en 1990 pour protéger les espaces riverains n'a pas apporté une garantie totale puisque la crue

de 1997 l'a submergée et endommagée. Les parapets existants sont aussi instables et de surcroit, la digue n'est pas entretenue. Le fait que la Ntahangwa ait de nouveau inondé une grande partie de cette zone en 2001, tient sans doute à cet état[45].

Dans le quartier BUYENZI, les visites sur terrain montrent que ce dernier s'étend en désordre jusque même dans le lit majeur de la rivière Ntahangwa et connaît des inondations répétitives après de fortes averses.

La pluie de 1986 a laissé beaucoup de séquelles dans ce quartier, beaucoup des familles se sont retrouvées sans abri. Les pertes enregistrées chaque année dans ce quartier à cause des inondations sont considérables. Du fait de sa situation dans le lit moyen de la rivière Ntahangwa, cette partie continue à subir des inondations à chaque forte averse. Il faut indiquer qu'à cet endroit l'eau coule à fleur de surface et les premières maisons sont édifiées juste dans le lit moyen. Sur la rive droite, les aménagements les plus récents s'installent dans le lit moyen avec beaucoup de risque d'inondation. Le croisement du boulevard du 1er novembre et de l'avenue de Ruvumera reste toujours menacé par les eaux de pluie. Le curage régulier semble ne pas être suffisant pour résoudre le problème. C'est pour cette raison que certaines gens pensent qu'il faudra encore envisager des solutions supplémentaires, comme par exemple l'élargissement du collecteur et en évitant que les déchets de curage ne soient pas stockés dans les abords du collecteur. Quand il pleut, le grand collecteur de Ruvumera situé dans la zone urbaine de Buyenzi est débordé par les eaux des pluies même s'il ne cesse d'être régulièrement curé.

Ce débordement fait que la partie où se croisent le boulevard du 1er Novembre et l'avenue Ruvumera soit inondée. C'est ainsi que les véhicules, les motos et les vélos éprouvent des difficultés à circuler à la hauteur de la Brasserie du Burundi (BRARUDI). Il n'y a pas longtemps que cette partie avait été surélevée lors des travaux de réhabilitation du boulevard du 1er Novembre. La question qu'on se pose est de savoir s'il faudra encore l'élever davantage. Mais le second élevage de la dite partie présente un danger certain. Les constructions qui se trouvent aux abords du collecteur risquent de s'écrouler à la suite des inondations. Il serait mieux d'élargir le collecteur de façon à permettre aux eaux de pluie de ruisseler en grande quantité vers le lac Tanganyika. Mais encore faut-il que la population du quartier Ruvumera soit plus sensibilisée pour qu'elle évite de jeter n'importe comment et n'importe où les ordures. Elle doit notamment se garder de les jeter tout près du collecteur pour qu'elles ne s'y déversent pas, entrainées par les eaux de pluie.

---

[45] SINDAYIHEBURA, B. ; *op.cit.*, 2005

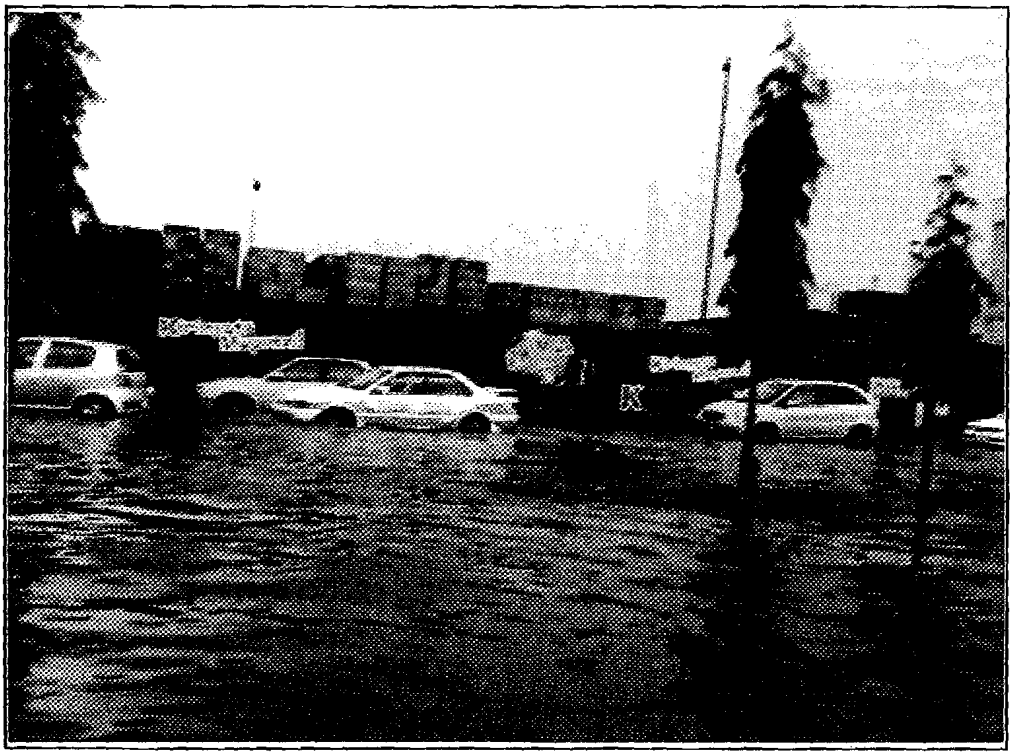
En outre, les déchets retirés du collecteur doivent être jetés loin des abords de celui-ci en attendant qu'ils soient évacués. De cette manière, il y a lieu d'éviter les inondations dans cette partie de la capitale Bujumbura.

Les 18 et 19 Février 2016, les fortes pluies dues au phénomène El Nino qui se sont abattues sur la ville de Bujumbura ont provoqué des inondations. Certaines routes ont été temporellement bloquées. C'est le cas de la Route Nationale N° 5 reliant la Mairie de Bujumbura à la province Cibitoke.

La rivière Ntahangwa a encore dévié de son lit inondant le boulevard du 1er novembre au niveau de la Société de Brasserie (BRARUDI), dans le quartier industriel. Les débris emportés par les fortes vagues d'eaux ont par la suite bouché les caniveaux.

Dans leurs activités de réponse aux effets El Nino, les volontaires de la Croix-Rouge du Burundi (CRB) de la Zone Buyenzi, en synergie avec le CICR (Comité International de la Croix-Rouge) se sont mobilisés pour débloquer cette route. A partir du 22 Février 2016, ils se sont mis à refouler ces eaux et faire le curage des caniveaux bouchés. Le CICR a donné un appui technique en apportant ses techniciens et une motopompe appropriée pour l'évacuation des eaux.

Photo 4: Inondation du boulevard du 1er novembre au niveau de la BRARUDI par la rivière Ntahangwa



Source : Photo prise par l'auteur le 22/2/2017

IV.3.2 Zones menacées par les glissements de terrain

Dans les Mirwa, les mouvements de masse comme les glissements sont chose commune. Ils surviennent surtout sur les versants recouverts d'altérites épaisses qui sont très altérables sous l'effet combiné de la variation thermique et des précipitations, de couvertures de colluvions très érodables, ou de cônes alluviaux comme c'est souvent le cas dans les Mirwa. Depuis 1964 à nos jours les routes coupées par ces inondations ont été monnaie courante et nombre de quartiers riverains de la Ntahangwa se sont trouvées en grande difficulté, incapables d'assumer leur remise en état.

Les témoins racontent que le sol était tellement gorgé d'eau que les talus et même les gros eucalyptus plantés en bordure des routes étaient tombés, constituant ainsi un danger immédiat pour les passants.

Plus en amont, le site de Mutanga Nord est un bon exemple de dynamique érosive des berges de la Ntahangwa. Cette dynamique associe sapement, éboulement et recul des berges à des petits glissements qui affectent les terrains antérieurement mis à nus par le cours d'eau.

L'un des secteurs concernés par ces processus est situé sur la rive droite de la Ntahangwa à l'est du pont du boulevard du 28 novembre, dont les images Google Earth permettent de saisir l'évolution de ce tronçon de la rivière. On peut aussi se baser sur les photographies aériennes pour prendre connaissance de l'état antérieur (voir figures 1,2 et3).

A l'Est du boulevard du 28 novembre et à proximité du quartier de Sororezo, le site de Vugizo se situe à 925m d'altitude sur un versant des premiers contreforts des Mirwa appartenant au bassin versant de la Ntahangwa. Le versant est taillé dans un matériel complexe ; substrat schisteux profondément altéré, cône alluvial de piémont et manteau superficiel colluvionné d'épaisseur variable. Sur la carte pédologique, la couverture superficielle des sols est assimilés à un régosol tropical relativement humifère. Tous ces matériaux offrent une texture variable mais généralement fine, à nette tendance argileuse.

D'immenses glissements de terrain qui se produisent au bord des quartiers Mutanga Nord, Mutanga Sud, Nyakabiga et Jabe, prouvent avec pertinence la poursuite de la dynamique de la rivière Ntahangwa.

La réactivation des glissements de terrains catastrophiques sur le site de Sororezo, Mugoboka et Vugizo et le long des rives de la rivière Ntahangwa confirme la vulnérabilité des paysages qui sont directement concernés par la dynamique fluviale de la Ntahangwa et ses affluents.

Sur la rive gauche de la Ntahangwa au niveau du quartier Mugoboka, les glissements de terrain successifs ont formé un ravin immense.

Nombre de maisons sont menacées, et la rue Sanzu est presque déjà coupée en deux alors que c'est la seule qui relie ce quartier au reste de la ville de Bujumbura. De même on voit sur cette illustration qui suit, des conduits d'eau qui servent d'alimentation en eau potable, qui sont coupées et emportées.

Photo 5: Coupure de l'avenue Sanzu qui mène au quartier périphérique de Mugoboka ainsi que les conduits d'eau potable



Source : Photos prise par l'auteur (11avril 2016)

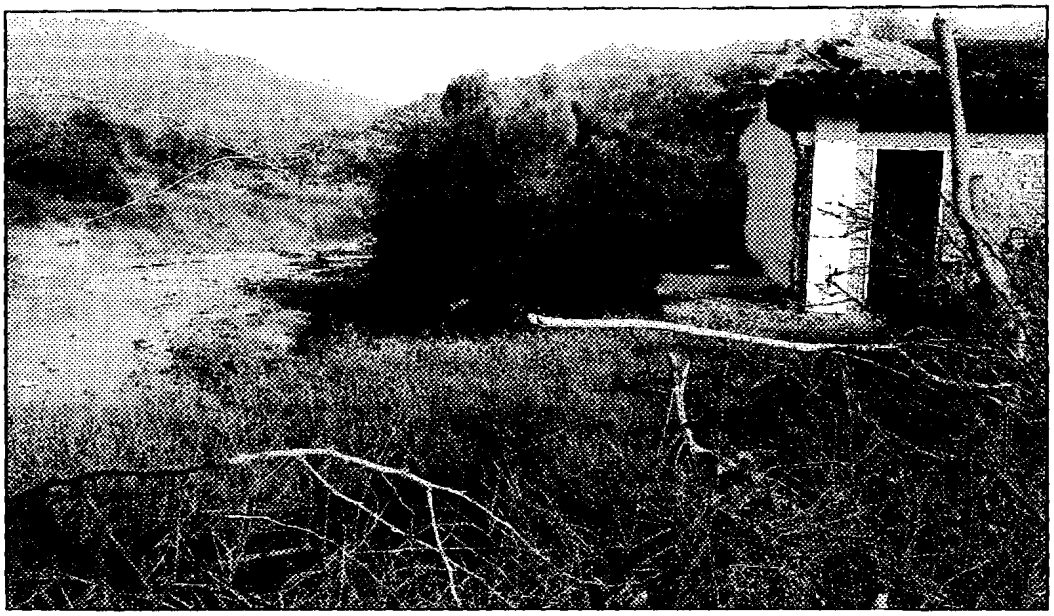
Photo 6: Quartier Mugoboka en voie d'isolement, la route Sanzu est presque coupée



Source : Photos prise par l'auteur (11avril 2016)

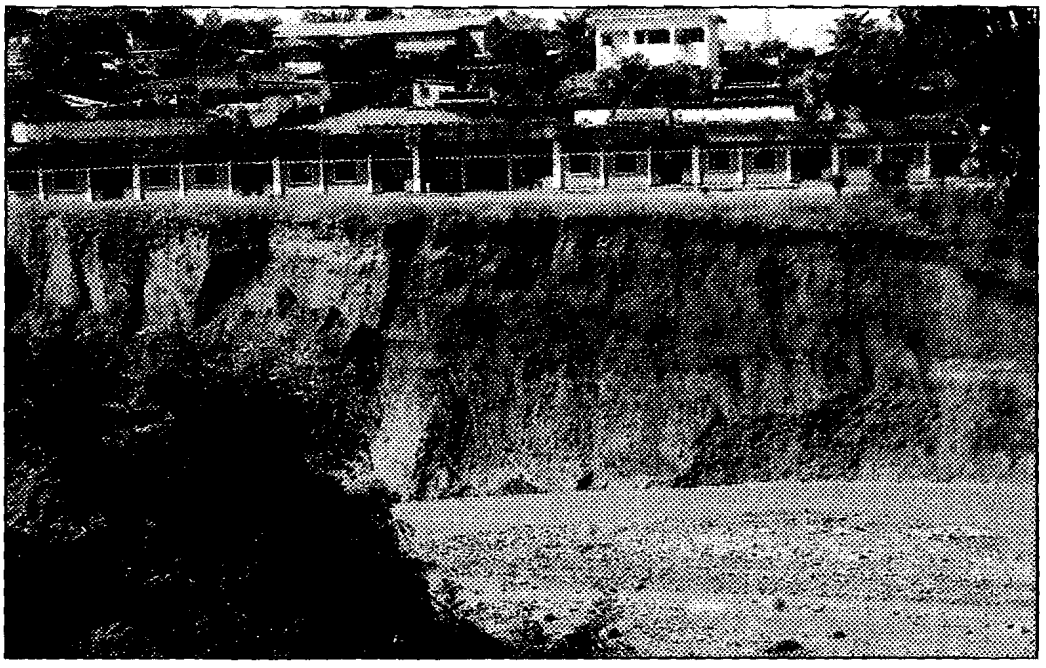
A quelques mètres de ce quartier Mugoboka sur la même rive gauche de la Ntahangwa, les blocs sanitaires l'école primaire de Mutanga sud sont détruits comme on le remarque sur cette photo 5. Sur la photo 6 on observe un talus de plus de sept mètres de hauteur qui menace la cour de jeu de cette même école.

Photo 7: Destruction de l'école primaire de Mutanga Sud



Source : Photos prise par l'auteur (11avril 2016)

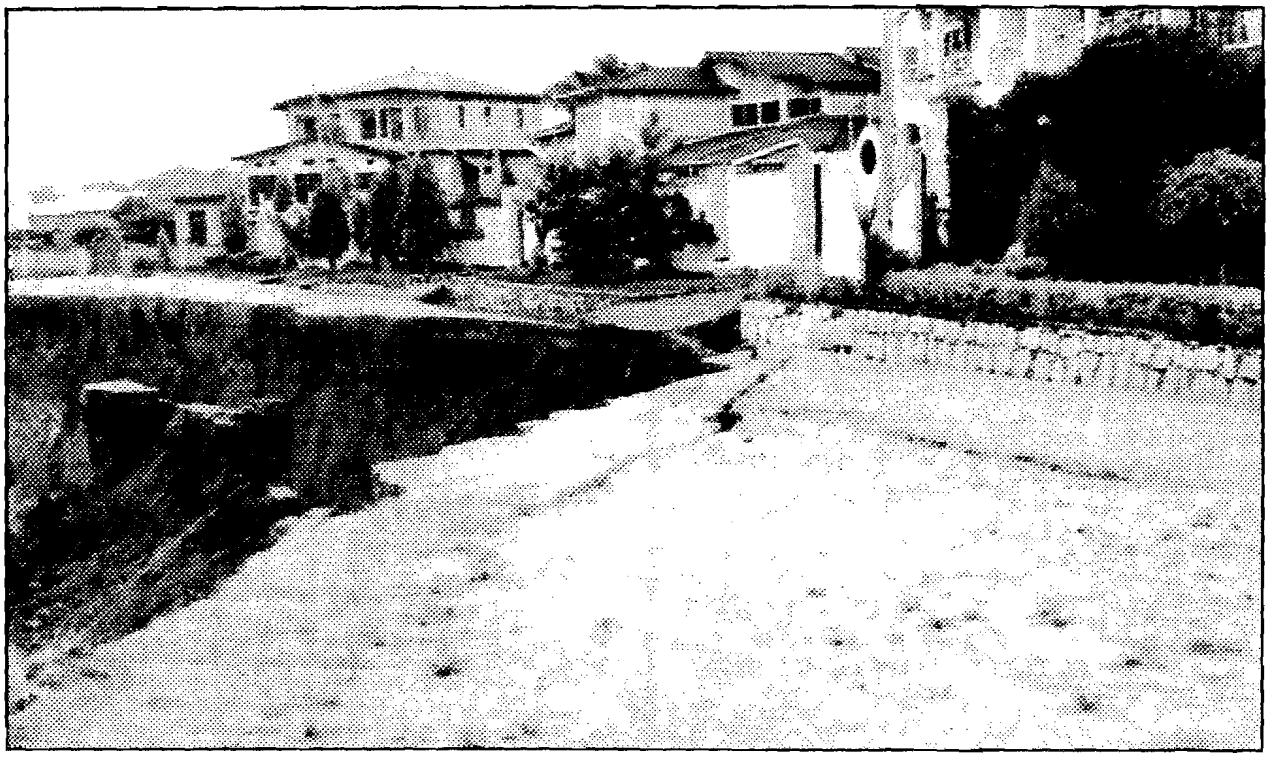
Photo 8: Menace de destruction de l'école primaire Mutanga-Sud sur la rive gauche de la Ntahangwa



Source : Photo prise par l'auteur (11 avril 2016)

En aval du pont du Boulevard du 28 novembre, sur la rive droite de la rivière, la route qui mène dans le quartier de Kigobe Sud est elle aussi en train d'être emportée par la Ntahangwa. La rivière continue à saper la rive droite et il s'est formé un grand talus de plus de 10 mètres.

Photo 9: Destruction de l'avenue Mukarakara qui mène dans le quartier Kigobe Sud sur la rive droite de la Ntahangwa



Source : Cliché de l'auteur (14 juin 2017).

Sur cette illustration de la photo 6 prise le 14 juin 2017, on remarque que la moitié de cette route est déjà partie et malheureusement si rien n'est fait dans un proche avenir les maisons qui se trouvent à quelques dix mètres de ce talus, subiront elles aussi le même sort que cette route.

Le long de cette même rive de la Ntahangwa, les constructions haut standing sont menacées par les glissements de terrain sur les berges de la rivière qui s'observent dans ce secteur.

Ces habitations ont été implantées à moins de vingt-cinq mètres de la rivière ; donc il n'y a pas existence de la zone tempos. Les occupants de deux ménages ont déjà déménagé de peur d'être emportés avec leurs maisons ce qui est tout à fait logique à voir la gravite de la situation.

Dans la plus part des cas, sur le long de la rivière Ntahangwa, on observe des constructions sur les berges instables qui subissent des glissements de grande ampleur.

Les habitants rencontrés sur place affirment avoir reçus les parcelles dans la légalité. Les services de l'urbanisme devraient être les premiers à mettre en application et faire respecter les normes d'urbanisation.

Photo 10: Menace en cours des Villas dans le Quartier Kigobe-Sud



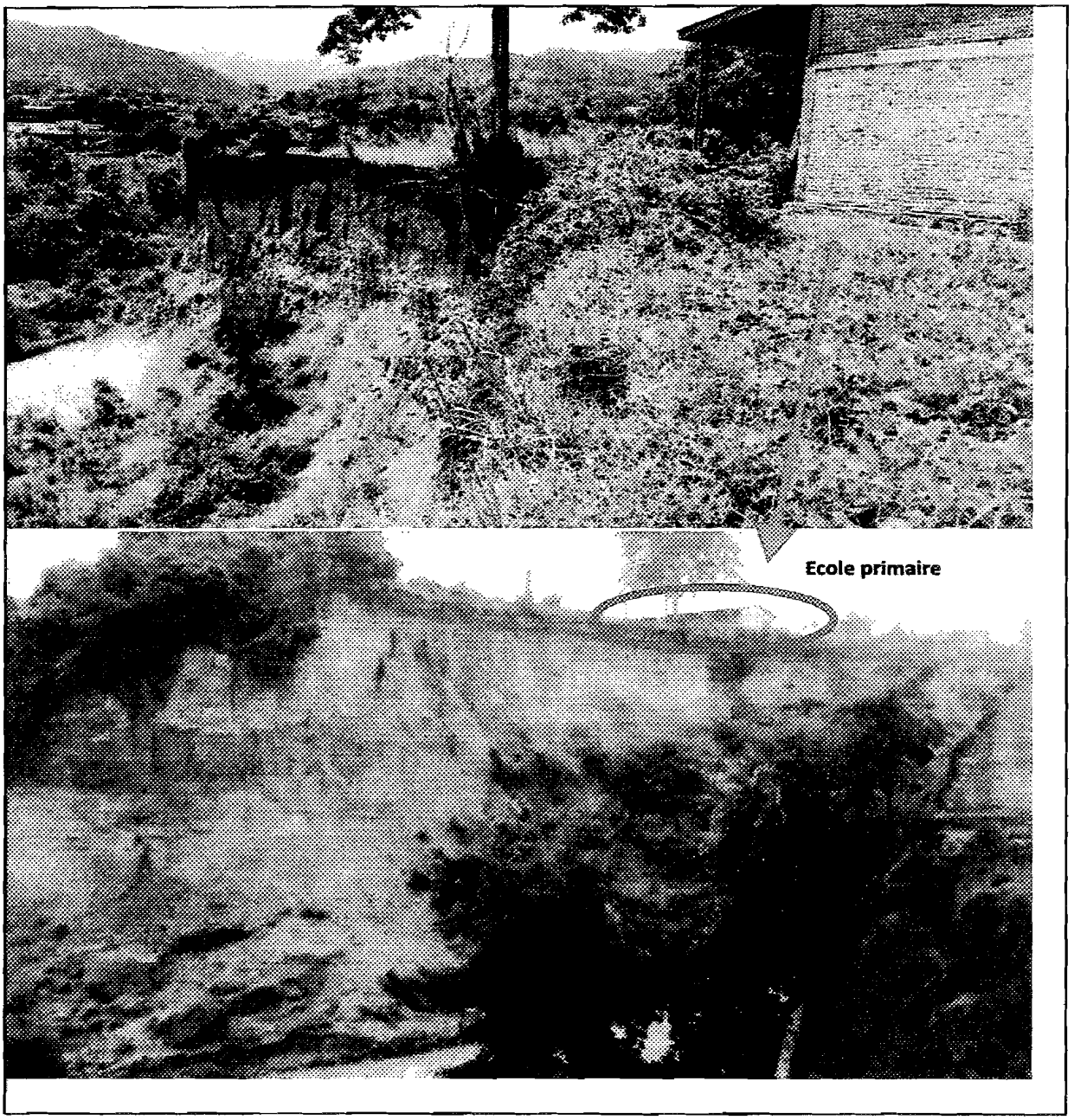
Source : Cliché de l'auteur (16 mars 2016)

Au fond de cette photo7, on voit que la clôture de la parcelle est déjà emportée par l'effondrement des berges de la Ntahangwa qui atteignent une hauteur de plus de dix mètres et que le mur de cette maison sous la flèche en annexe est atteint aussi.

A cet état des lieux de glissement de terrain des berges, ces constructions font partie des facteurs qui accélèrent l'effondrement de blocs de terre à cause de leur poids qui est non négligeable.

L'école primaire de Nyakabiga est menacée par un grand talus abrupt d'une hauteur de plus de 20 mètres. Ces infrastructures sont dangereusement menacées de s'effondrer d'un moment à l'autre.

Photo 11: Gigantesque talus sur lequel est perchée l'école primaire de Nyakabiga



Source : Photos prises par l'auteur (27 mars 2015)

Ce grand talus continue son évolution chaque année, en l'an de 2002 l'école primaire se trouvait à 30 mètres des berges de la Ntahangwa. On observe même des cultures entre les bâtiments de l'école et les berges de la rivière (voir figure 6).

IV.4 QUELQUES AMENAGEMENTS

Quand on observe les images Google Earth, on remarque que la rivière Ntahangwa subit des changements permanents du tracé de son lit en plan et en élévation. L'arrachement des matériaux dans des contreforts est un processus sans fin. C'est pour cette raison qu'il est plus que nécessaire de faire la surveillance de la rivière Ntahangwa et faire des aménagements en permanence.

Un aménagement durable s'impose pour la protection des berges de la Ntahangwa contre l'érosion, la correction et la réorganisation de certains passages pour que l'évacuation des crues soit facile ce qui éviterait les inondations. L'amélioration des profils de l'écoulement des lits pourrait éviter l'arrachement des matériaux en l'amont et leur dépôt vers l'aval. Les endroits sensibles doivent être protégés contre l'affouillement par revêtement du fond et du talus de la rivière ou par la pose des matériaux de colmatage. Les berges de la rivière et les bords des ravins qui longent toute notre zone d'étude doivent être reboisés au même titre que d'autres secteurs très sensibles à l'érosion.

Les services de l'urbanisme doivent contrôler si les parcelles octroyées ont été correctement construites. Dans ce domaine, on devra éviter les constructions anarchiques qui causent des problèmes au niveau de l'évacuation des eaux de pluie et des eaux usées.

Pendant nos visites sur terrain, nous avons constaté que le dimensionnement de certains caniveaux n'est pas proportionnel au débit des eaux à évacuer. Cela est visible à Mutanga Sud où le dimensionnement des caniveaux n'a pas été adapté aux eaux pluviales en provenance du quartier de Sororezo.

Une autre solution non négligeable en matière de l'augmentation de l'indice d'écoulement dans notre zone d'étude, est liée à l'aménagement interne au sein des parcelles. D'une part, les parcelles des quartiers hauts standing sont totalement imperméabilisées.

Cette procédure empêche l'infiltration des eaux pluviales mais plutôt favorise le ruissellement ; d'autre part dans le quartier de Mutanga Sud on observe dans beaucoup de parcelles, de nouvelles constructions ce qui constitue un facteur d'accroissement de l'indice d'écoulement et qui crée aussi un défis dans l'évacuation des eaux pluies pluviales car le débit devient plus important.

Comme au Rwanda, il est strictement interdit de mettre de nouvelles constructions au sein des parcelles sans l'accord des services de l'urbanisme. Et en plus, l'intérieur des parcelles ne doit pas être revêtu mais réaménagé par quelques végétaux.[46]

Aussi les collecteurs d'eau sont en certains endroits mal construits (quartier Sororezo et Mugoboka); ils restent suspendus en amont sans aboutir au fond du lit de la rivière. En ce moment, il commence la formation des ravinements qui deviendront plus tard des grands ravins. Ces canalisations doivent être prévues en fonction de la pente du terrain et en fonction du débit de l'eau. Elles doivent être bien surveillées et bien entretenues pour éviter le bouchage dû à l'encombrement des débits et des matériaux de construction qu'on dépose souvent le long des avenues et des chaussées.

L'exploitation des matériaux de construction qui s'opère par beaucoup de gens dans plusieurs endroits de la rivière Ntahangwa doit être interdite dans l'immédiat, car elle se fait de manière illégale. Pour le maintien en équilibre du profil d'écoulement par une exploitation rationnelle et suivie de la rivière, toute forme de modification artificielle de son lit qui entrainerait le déséquilibre naturel de la topographie doit être interdite.

La police de l'environnement, les services de l'urbanisme et les SETEMU doivent travailler en synergie pour mieux surveiller les exploitations de matériaux de construction dans la rivière Ntahangwa.

Les différents acteurs intervenant dans l'aménagement devraient collaborer ensemble pour lutter contre tout phénomène qui amplifie l'érosion fluvial en milieu rural. Il faudra reboiser les versants Ouest des Mirwa afin de limiter le ruissellement sur les collines.

Les méthodes de lutte contre les mouvements de masse sont généralement coûteuses et délicates. Contrairement à la lutte contre l'érosion en nappe ou l'érosion linéaire, il s'agit bien souvent d'éviter que les eaux de pluie ne s'infiltrent dans le sol, n'alourdissent la couverture pédologique et n'atteignent rapidement le plan de glissement. Pour ce faire, on draine le sol en surface pour évacuer le ruissellement vers des zones non dangereuses, généralement les zones convexes d'un versant. On peut drainer en profondeur la zone située au niveau du plan de glissement pour éviter que la pression interstitielle ne décolle la couverture pédologique de la zone stable située en-dessous du plan de glissement[47].

[46] Département de l'urbanisme du Rwanda
[47] Prof. SABUSHIMIKE J.Marie, exposé sur la vulnérabilité de la région des Mirwa, 2015

Une autre méthode consiste à assécher le terrain en augmentant l'évapotranspiration des plantes; par exemple, en plantant des eucalyptus ou d'autres plantes qui ont un pouvoir évaporant important. Il faut cependant éviter que ce végétal n'atteigne des poids trop considérables.

Il faut donc maintenir à la fois des arbustes sur le bord des champs et d'autre part, si l'on a introduit des plantations arborées, il faut les gérer en taillis, c'est-à-dire garder le matériel végétal très jeune dans un état où il évapotranspire beaucoup et produit le maximum de biomasse. Il ne faut pas conserver des arbres de très haute taille sur des versants où les risques de glissement sont élevés. Lorsque le plan de glissement est situé proche de la surface du sol, on peut admettre que les racines des arbres exercent une forte résistance mécanique au cisaillement de la couverture pédologique. Par contre, si la surface de glissement potentiel est trop profonde et hors de portée des racines, cette résistance des racines ne joue plus et on peut même penser que la surcharge des versants par la masse boisée risque de faciliter le glissement. De plus, les vents, en transmettant des vibrations au sol par les arbres, joueraient un rôle néfaste qui risque de former des fissurations du sol et donc de favoriser localement l'infiltration des eaux ruisselantes jusqu'au plan de glissement. Il faut favoriser des essences à croissance rapide et à enracinement pivotant et éviter les coupes à blanc qui détruisent toute l'armature de racines dans la couverture pédologique au même moment. Le boisement pourrait agir non seulement par l'action mécanique de son enracinement qui augmente la résistance au cisaillement, mais aussi en modifiant la teneur en eau du sol. Une forêt a une très forte évapotranspiration qui réduit donc la pression interstitielle de l'eau dans la couverture pédologique. En effet, dès que l'on effectue une coupe à blanc, on constate une forte augmentation de l'humidité du sol.

Les méthodes préventives sont les plus importantes. Il faut donc éviter d'installer des infrastructures sur les versants instables, mais si on ne peut faire autrement, il convient de limiter les déblais et remblais qui déséquilibrent les versants. Si l'on est obligé de creuser le versant pour un passage routier par exemple, il faut conforter le talus en augmentant la butée par un masque en enrochement ou un mur de soutènement qui s'oppose au couple de rotation du glissement et améliore le drainage du versant.

Un fossé, à l'amont des routes, doit intercepter les eaux de ruissellement du versant pour les empêcher de s'infiltrer dans les fissures de traction dans la couverture pédologique en amont des déblais. Des drains au niveau de l'altérite de la zone menacée, réduiront la pression hydrostatique.

Au cas où l'on observe des fissures à la surface du sol, le travail de la surface du sol peut aider les eaux d'infiltration à se répartir sur l'ensemble de la couverture pédologique et par conséquent, retardent l'avancement du front d' humectation vers le plan de glissement et améliorent l'évaporation de la masse d'eau.

Le gouvernement devrait sauver le plus rapidement possible les maisons menacées d'écroulement, en mettant en place le gabionnage, la construction des murs de soutènement ainsi que la plantation des arbres en amont et en aval. Pour une solution durable, le gouvernement devrait commander une étude pluridisciplinaire où se retrouveraient les ingénieurs, les géographes, etc. Ils auront la tâche d'étudier tout ce qui est nécessaire pour la durabilité du projet surtout que la section inférieure, moyenne et supérieure n'ont pas les mêmes problèmes ni les mêmes besoins. Il doit enfin mener toujours des études d'aménagement quand il s'agit de faire des travaux de grande envergure comme la viabilisation des terrains ou la construction d'autres infrastructures.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de ce travail de recherche, nous avons montré le danger que connaissent les quartiers riverains de la rivière Ntahangwa. Nous avons dégagé différents facteurs qui expliquent la dynamique de la Ntahangwa et son impact sur l'environnement. Les raccords brutaux entre les paysages montagneux des Mirwa et les plaines de l'Imbo ainsi que les escarpements de faille tombant à pic dans le lac Tanganyika vers le sud-ouest annoncent déjà les contraintes d'aménagement de leurs bassins versants aussi bien en amont qu'en aval.

La lithologie du bassin versant de la région d'étude est très favorable à des crises morphogénétiques à cause de leur vulnérabilité. Rappelons au passage que les escarpements des Mirwa sont constitués de roches marquées parfois par une puissante altération tandis que les plaines de l'Imbo sont tapissées par des formations du quaternaire meuble et facilement incisables. La nature des roches des Mirwa, classées généralement dans la catégorie des roches tendres en milieu tropical chaud et humide favorise la généralisation des mouvements de terrain, comme les glissements de terrain, les éboulements, les effondrements, les affaissements, les solifluctions, etc.

Les bassins versants des Mirwa, parmi lesquels celui de la rivière Ntahangwa fait partie, présentent des caractéristiques physiques homogènes du point de vue hydrologique plus particulièrement pour ce qui concerne la géologie, la géomorphologie et le climat. Ces trois facteurs déterminent le fonctionnement essentiel des écosystèmes fluviaux. Il s'agit notamment du caractère puissant des escarpements de faille, le volume annuel des précipitations, le profil en long des cours d'eau et ravins.

En effet, l'amplification de l'érosion fluviale est de plus en plus catastrophique dans les paysages traversés par les cours d'eau depuis les sections amont des Mirwa jusqu'au lac Tanganyika en aval via les plaines de l'Imbo.

Le caractère torrentiel est le résultat de la morphodynamique de cette zone. Dévalant les fortes pentes, ces derniers acquièrent une énergie cinétique leur permettant de charrier tout ce qu'ils rencontrent. Pendant la saison pluvieuse, ces cours d'eau deviennent agressifs et causent parfois des inondations dévastatrices dans la partie aval, tandis qu'ils provoquent beaucoup de mouvements de terrain dans leurs sections moyennes et en amont.

L'expansion spatiale sans cesse croissante et incontrôlée due à l'explosion démographique dans notre zone d'étude, est l'un des facteurs majeurs qui explique la dynamique de la rivière Ntahangwa, la multiplication de ravins et leur réactivation ainsi que l'augmentation des débits de pic du ruissellement.

La caractérisation des événements pluviométriques prouve qu'on ne peut pas attribuer cette amplification des phénomènes environnementaux aux seuls perturbations climatiques éventuels comme laisseraient croire les perceptions de beaucoup de personnes.

Par contre, les analyses des images Google Earth montrent que l'urbanisation conduit à la création de surfaces durcies, peu perméables, et donc que l'urbanisation d'un espace naguère agro-sylvicole mène nécessairement à une augmentation sensible du coefficient d'écoulement avec des débits de pic du ruissellement suivant le développement de la tache urbanisée.

L'analyse diachronique de l'extension de la zone urbanisée et de la zone d'occurrence des trois risques hydrologiques révèle que ces risques restent, dans le temps et dans l'espace, à l'intérieur de la zone urbanisée. Il s'avère clairement que l'urbanisation précède le développement de ravines dans le temps et dans l'espace, et que, de toute évidence, les incisions des ravins sont limitées à des endroits où on peut s'attendre à l'augmentation du coefficient de ruissellement en raison de l'urbanisation.

Les installations observées le long de la rivière Ntahangwa, rendent plus instables les berges, provoquant ainsi des glissements de terrain et leur effondrement. De même, en aval de notre zone d'étude, on remarque des maisons dans le lit majeur de la rivière, ce qui explique les inondations répétitives après de grosses averses. Il est à déplorer qu'actuellement, les outils de planification et de gestion tels que les Schémas Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU), les Plans Locaux d'Aménagement (PLA), les Plans Particuliers d'Aménagement (PPA), des SPAT (Schémas Provinciaux d'Aménagement du Territoire) et autres règlements d'occupation des sols n'existent pas.

La production de parcelles se fait au coup par coup sans aucune planification préalable. Les acquéreurs de terrains doivent payer eux-mêmes tous les coûts afférents à la viabilisation des terrains. Le rythme de production reste faible et les réserves foncières pour mener les opérations de viabilisation s'amenuisent surtout dans la ville de Bujumbura.

RECOMMANDATIONS

La grande responsabilité revient aux différents services de l'urbanisme qui doivent produire des outils de planification et de gestion urbaine (SDAU, POS, PLA, SPAT et PPA).

Pour remédier aux risques de catastrophes dans le bassin versant de la rivière Ntahangwa, une série de mesures doivent être prises:

- Etablissement des Plans de Prévention de Risques de Catastrophes(PPRC) en milieux urbains et ruraux;
- Développement d'une cartographie nationale à grande échelle des zones des Mirwa à risques;
- Mise en place et équipement des comités de riverains pour le suivi des points critiques des axes de drainage exposés aux risques de catastrophes comme les inondations et les glissements.

Il existe aussi des solutions disponibles, éprouvées sur le terrain autour de trois grands principes suivant:

- Laisser plus d'espace à la rivière :
  - Décloisonner la rivière en prenant en compte les enjeux à proximité
  - Accroître les champs d'expansion des crues pour stocker l'eau
  - Rationaliser l'implantation des ouvrages de protection contre les crues

- Ralentir les écoulements de la rivière :
  - Restaurer le caractère naturel de la rivière pour dissiper son énergie
  - Laisser les sédiments circuler
  - Replanter la végétation des berges pour freiner l'eau

- Gérer l'eau par bassin versant :
  - Mobiliser les capacités de rétention de l'eau sur l'ensemble du bassin versant
  - Etudier plusieurs scénarios d'action pour adopter le meilleur
  - Consolider la solidarité entre l'amont et l'aval du bassin versant

BIBLIOGRAPHIE

I. Ouvrages généraux

1. VENNETIER, P., *Les villes d'Afrique tropicale.* ; Atlas du Burundi planche 1 et 2, Masson, Paris, 1976. 192 p
2. Bodeux A., *Hydrologie et bilan de l'eau du bassin versant de la Karuzi au Burundi (Archives de la Mission de la Karuzi-Volume IV)*, Tome XVII, 1972
3. BOULAINE, J., *Géographie des sols*, Paris, P.U.F, 1975, 200p.
4. Chaplot et al, *Définition et quantification du ruissellement de l'eau de pluie et des pertes et terres dans un petit bassin versant occupé par des agricultures à petite échelle*, 2005
5. DEMANGEOT, J., *Les milieux «Naturels» du globe*, Paris, 10ème éd, Armand Colin, 2009, 364p.
6. Descroix et al, *Durabilité, agriculture et territoire : quels questionnements pour les ruralistes d'universités de l'Ouest*, Vol. 83/3, 2008
7. GEORGE, P.et V., *Dictionnaire de la géographie*, Paris, 6ème éd, P.U.F, 1996, 501p.
8. Moeyersons J., *La nature de l'érosion des versants au Rwanda*, Tervuren : Musée royal de l'Afrique centrale, 1989, 396 p.
9. Piegay. H et al, *L'embâcle de bois en rivière : un bienfait écologique ? un facteur de risques naturels*, la Houille Blanche, N° 5,1996, pp.32-37
10. Poesen et al, *Déterminisme de l'expansion des aulnaies vertes sur les pelouses subalpines : Vers une modélisation spatialement explicite de l'évolution de la diversité végétale*, 2003
11. Vandekerckhove et al, *Seuils pour l'initiation des ravines et la sédimentation en Europe méditerranéenne. Processus de surface de la Terre et relief*, Volume 25, p. 1201-1220, 2000

II. Mémoires et Thèses

1. GAKWAYA A., *Etude géomorphologique du bassin versant de la Ntahangwa*, Bujumbura, UB, 1975, p.99
2. NDAYIKENGURUKIYE, G. ; *Les sites collinaires péri-urbains de la région des Mirwa (les bassins versants de la Ntahangwa et de la Nyabagere)* ; Bujumbura, UB, FLSH, 1993, 232p.

3. NDAYISABA, D.; *La dynamique environnementale du bassin versant de la Ntahangwa* ; Bujumbura, UB, FLSH, 2008

4. NDAYISHIMIYE, J.; *La dynamique de la rivière Ntahangwa sur l'environnement de la ville de Bujumbura;* Bujumbura, UB, FLSH, 2008.
5. NDIKUMANA, A., *La dynamique de la rivière Ntahangwa sur l'environnement de la ville de Bujumbura* ; Bujumbura, UB, FS, DST, 2001.
6. NSABIMANA, L. ; *Avant-Etude sur le régime de la Ntahangwa* ; Bujumbura, UB, FSA, 2000.
7. NSABIMANA J., *Milieu naturel et potentialités d'aménagement en commune Buganda,* Bujumbura, U.B, 2012
8. NSABIMANA, S., *Climat et sol au Burundi : Toposéquence Bugarama-Muzinda,* Thèse de doctorat, UER de Géographie et Science des sociétés de Paris VII, Paris, 1974, 212p.

9. SINDAYIHEBURA, B. ; *De l'imbo au Mirwa : Dynamique de l'occupation du sol, croissance urbaine et risques naturels dans la région de Bujumbura (Burundi)* ; Thèse de Doctorat, Toulouse : Université de Toulouse le Mirail, UFR Sciences, Espaces, Sociétés, 2005, 336p

III. Rapports et Publications

1. Prof. SABUSHIMIKE J-M., Exposé sur la vulnérabilité des bassins versants de la région des Mirwa : « IMPACTS SOCIAUX ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX», 2015.
2. Ministère de l'eau, de l'environnement et aménagement du territoire et de l'urbanisme : Rapport définitif de SINDAYIHEBURA B., Etude d'impact environnemental et social pour l'aménagement de la rivière Ntahangwa sur une longueur de 3,5 Km de la zone située entre le pont de la République et le pont du Peuple Murundi, 2017,
3. J.M SABUSHIMIKE, Cours de géomorphologie appliquée, 2eme Licence, A.T
4. Analyse des facteurs de risques, évaluation des dommages et propositions pour un relèvement et une reconstruction durables. Evaluation rapide conjointe suite à la catastrophe des 9-10 février 2014 aux alentours de Bujumbura

IV. Webographie

1. Googleearth.fr

ANNEXES

Annexe 1 : Série pluviométrique journalière maximale de 1980 à 2014

Mois / Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tot. annuel
1980	39.3	6.2	18.1	27.7	37.2	2.2	0	0	21.7	12.6	29	68.6	68.6
1981	30.7	48.4	20.6	17.1	26.4	0	0.3	25.6	10.3	14	28	20.3	48.4
1982	9	31	27.2	33.5	29.8	9.1	0	1.3	10.7	14	23.7	94.6	94.6
1983	23.5	45.5	34.3	31.8	5.9	1.7	0	16.9	33.7	36.4	9.6	21.4	45.5
1984	33.6	17.6	21.7	23.6	20	0	5.4	1	3.7	16.3	27.7	60.4	60.4
1985	31.5	38.8	55.6	49.5	10.6	3.7	0	0	10.2	3.2	42.4	21.2	55.6
1986	42.1	40	29.7	88.1	18.4	21.7	0	0.4	14.4	18	16.6	18	88.1
1987	30.8	27.2	19.1	20	30.7	0.3	0.2	0	26.7	5.6	39.5	6.5	39.5
1988	22.3	18.3	23.1	45.1	2.7	0	0.1	47.8	17.6	35.1	44.1	25.3	47.8
1989	25.2	32	34	60.6	59	6.8	6.4	13.4	11.7	27.2	14.4	25.9	60.6
1990	21.9	77.8	16.8	54.3	42.1	0	0	0.4	11.6	25.7	10.6	7.4	77.8
1991	10.7	20.5	24.7	24.8	12.2	5.2	8	3.6	6.2	23.4	27	61.7	61.7
1992	21.6	20.6	20.8	8.4	46.7	6.7	0	0	7.6	6.7	15.7	14.1	46.7
1993	44.4	50.7	17.1	18.3	26.7	0.5	0	0	1	13.2	8.6	10.6	50.7
1994	59.5	2.6	16.8	25.2	10.8	0.6	0	7.5	5.7	7.1	28.7	29.4	59.5
1995	14.7	43.4	6.4	26.4	13	8	0	0	7.2	15.7	12.4	12.5	43.4
1996	34.2	14.7	42.5	28.5	2.3	18	0	1.2	15	40.3	9.9	26.7	42.5
1997	7.5	10.8	47.4	18	8.1	3.7	0	32.1	7.5	32.1	39.3	28.5	47.4
1998	44.8	27.7	60.7	38.7	31.7	19.9	3.8	2	13	28	11.8	22	60.7
1999	13.5	8.4	36	31.6	10.6	0.3	4.5	5.5	19.4	23.7	22.3	71.2	71.2
2000	43.4	7.3	30.9	12.2	0	0	0	0	1.5	12.6	77	29	77
2001	35.5	22.4	22.3	37.4	5.5	49.8	4	0	26.7	16.2	39.7	45.8	49.8
2002	39.4	31.5	30.9	11.4	17.2	0	0	0	2	20.5	11.6	31.5	39.4
2003	18.5	17.3	20.7	17.2	10.6	1.4	0.5	2.5	19.5	29.4	19.8	8	29.4
2004	28.5	8.2	64.8	26.5	0.7	0	1.5	1.5	38.4	15.3	9.6	35.4	64.8
2005	45.3	20.5	58.4	37.6	42.6	0.5	0	2.1	2.1	11.2	24.3	13	58.4
2006	19.9	30.5	25.2	16.8	17.6	1.3	0.9	31.3	21.5	28.7	28.7	24	31.3
2007	63	27.6	27.2	41.4	14	7.6	43.5	3.7	9.5	28.8	16.4	21.5	63
2008	26.6	75.2	16.5	14	11.5	79.8	5.7	1.6	11.4	24.5	14.3	8	79.8
2009	40.7	60.7	41.3	71.5	54.1	1.6	0	3.2	1.6	29.7	142	121.5	142
2010	37.8	27.8	52.9	16.4	22.6	3.2	3.7	0	17.5	26.2	34.7	13.7	52.9
2011	29.5	19.6	56.3	28.2	54.5	28.9	17.4	4.3	14.6	19.7	30.5	45.7	56.3

2012	27.2	38.3	16.4	23.5	21.6	46.8	0	26.3	8.8	29.5	9.5	55.5	55.5
2013	27.8	40	19	60.2	9.7	0	0	6.5	31.1	5.7	14.1	18.3	60.2
2014	29	80	11.9	14.2	5.5	13.8	0	13.5		22	8.8	70	80
Moyenne (n=35ans)													**90,5**

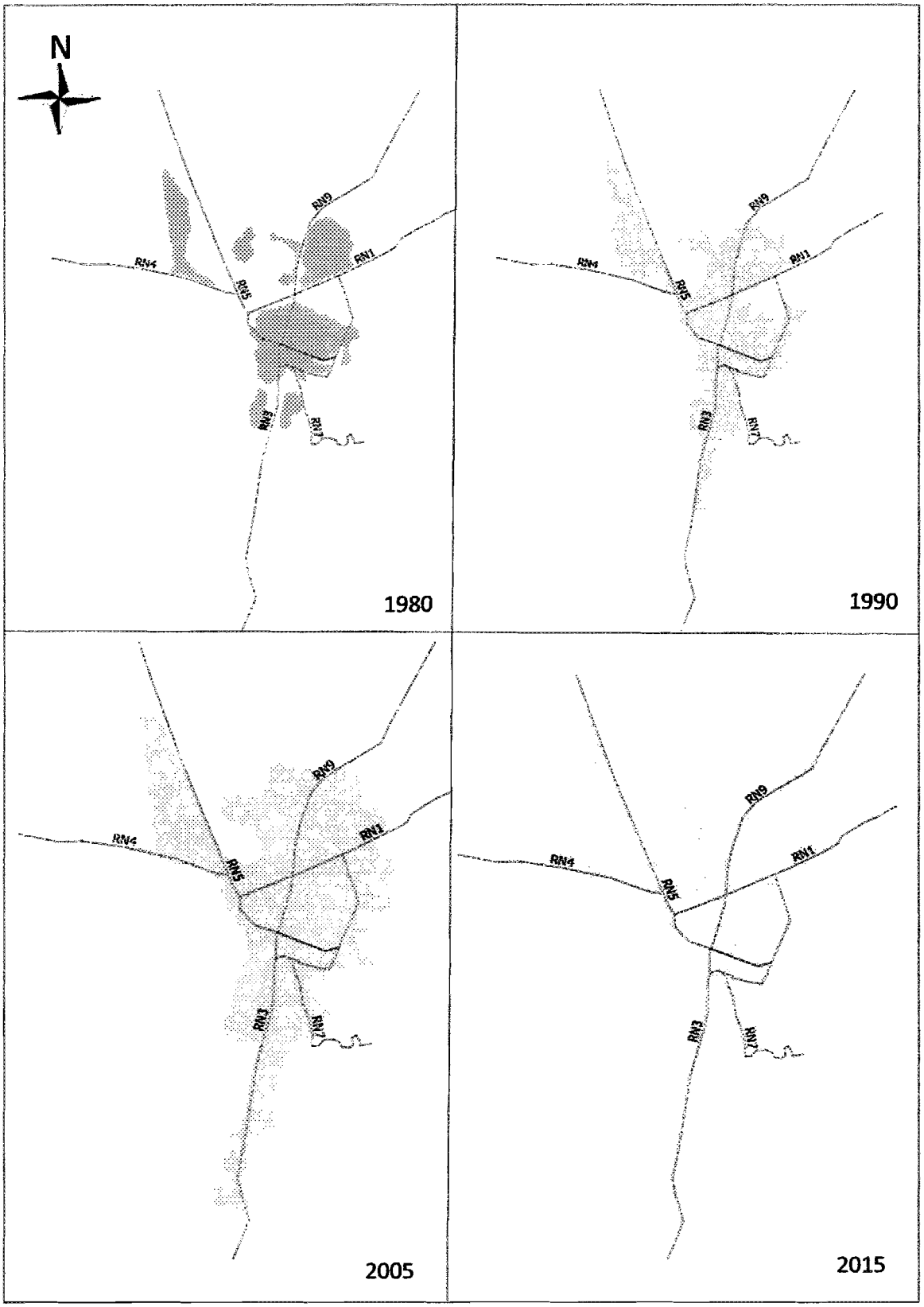
Source : IGEBU, **Service météorologique** ,2016

Annexe 2 : Températures moyennes et absolues de la station de Bujumbura (1980-2014)

Années	Température (en °C)		
	T_x	T_n	T_m
1980	29,5	18,6	24,1
1981	29,6	18,6	24,2
1982	29,6	18,7	24,2
1983	29,9	19	24,5
1984	29,6	18,3	24
1985	29,5	18,8	24,2
1986	29,1	18,5	23,8
1987	29,9	19,1	24,5
1988	29,4	18,6	24,1
1989	29,7	18,4	24,5
1990	31,4	17,8	24,6
1991	29,8	18,3	24,7
1992	32,1	14,5	23,3
1993	31,6	16,4	24
1994	30,4	15	22,7
1995	32,3	16,6	24,4
1996	33,6	11,6	22,6
1997	34,5	12,6	23,6
1998	32,6	13,6	23,1
1999	32,1	14,2	23,2
2000	32,6	10,2	21,4
2001	28,4	18,1	23,3
2002	32,3	14	23,2
2003	34	13,1	23,6
2004	29,5	17,7	23,6
2005	33,5	13	23,3
2006	34,5	13,4	24
2007	33,5	13,5	23,5
2008	33,5	12,1	22,8
2009	34,2	13,1	23,7
2010	33,1	13,2	23,15
2011	32,6	15,2	23,8
2012	34,1	13,9	24
2013	31,2	18,7	24 ,9
2014	29,8	17,6	23,7
Moyenne (n=35ans)			23,6

Source : IGEBU, Service météorologique, 2016

Annexe 3 : Evolution spatiale de la ville de Bujumbura (1980 - 2015)



Source : Réalisée par l'auteur sur fond d'images Google Earth à l'aide de Qgis inspiré du Schéma directeur d'aménagement urbain de la ville de Bujumbura