

#UNIVERSITÉSENGHOR

université internationale de langue française
au service du développement africain

**ANALYSE DES DETERMINANTS DE L'EROSION DIFFERENTIELLE
DANS LES HAUTES TERRES DU BURUNDI ET PROPOSITION DU PLAN
DE GESTION DURABLE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE
NDURUMU**

Présenté par

NIYONGABO Jean Baptiste

Pour l'obtention du diplôme de Master en développement de l'Université Senghor

Département Environnement

Spécialité « Gestion de l'Environnement »

Le 6 Avril 2017

Devant le jury composé de :

Dr Martin Yelkouni : Président

Directeur du Département Environnement à l'Université Senghor, Alexandrie, Egypte

Pr Souleymane Konaté : Examineur

Maître de Conférences en Ecologie à l'Université Nagui Abrogoua, Cote d'Ivoire

Dr Oumar Cissé : Examineur

Docteur en Aménagement urbain à l'Institut Africain de Gestion Urbaine, Dakar
Sénégal

Université Senghor-Opérateur direct de la francophonie
1 Place Ahmed Orabi, BP 21111, 415 El Mancheya, Alexandrie, Egypte
www.usenghor-francophonie.org

DEDICACE

A mes parents,

A mon épouse et mes enfants,

A tous ceux qui viennent de loin...

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Le présent travail est le résultat de plusieurs volontés, sans lesquelles il ne serait pas disponible aujourd'hui.

Qu'il nous soit permis de traduire ici notre reconnaissance à la coopération entre l'Université Senghor et la Fédération Wallonie-Bruxelles pour avoir financé notre formation.

Nous adressons nos sincères remerciements au Docteur Martin Yelkouni Directeur, du Département Environnement à l'Université Senghor d'Alexandrie, Madame Catherine Edward Gurguenian Chef Service Administratif du même département et l'ensemble du corps professoral pour leurs efforts à dispenser un enseignement de qualité au service du développement africain,

Au Docteur François de Charles Ouédraogo et Dr Jacques Nkengurutse qui ont accepté, malgré leurs multiples charges et occupations de lire notre travail et de nous orienter pour un bon aboutissement de notre recherche,

Nous remercions également la Famille Kinyomvi Antoine, Président de l'Organisation pour la Défense de l'Environnement au Burundi pour son soutien indéfectible pendant la formation. Qu'elle veuille bien trouver en ces quelques mots l'expression de notre profonde gratitude.

Notre conscience nous recommande d'adresser aussi nos vifs remerciements au chargé de projets à l'ONG Welthungerhilfe M. Christopher Meier et tout le personnel pour nous avoir accueillis durant la période de stage. Une reconnaissance est adressée à notre encadreur Christian Ngendakumana pour la disponibilité permanente. Vous nous avez accueilli, nourri, hébergé et sacrifié votre temps de jour comme de nuit. Infiniment merci.

Nous témoignons plus particulièrement toute notre affection à notre épouse Vivine Ndayisenga, à qui nous ne remercierions jamais assez, pour ses encouragements, sa patience et ses sacrifices durant notre formation. Elle a toujours été là dans les bons et les mauvais moments.

Nous tenons à dire merci à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire, avec une mention particulière aux familles Ndimurigwo Juvénal , Ntezimana Willy et Nibogora Viola.

SIGLES ET ACRONYMES

°C	: Degré Celsius
ABV	: Aménagement des bassins versants
BAD	: Banque africaine de développement
BVRN	: Bassin versant de la rivière Ndurumu
CP	: Crédit photo
CSLPII	: Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté deuxième génération
DPAE	: Direction provinciale de l'agriculture et de l'élevage
EIE	: Etude d'impact environnemental
GGRN	: Groupement de gouvernance des ressources naturelles
SIG	: Système d'information géographique
IFPRI	: International Food Policy Research Institute
IGEBU	: Institute géographique du Burundi
Km ²	: Kilomètre carré
LAE	: Lutte antiérosive
MEEATU	: Ministère de l'eau, environnement, aménagement du territoire et de l'urbanisme.
MINAGRI	: Ministère de l'agriculture
mm	: millimètre
MNT	: Model numérique de terrain
ODEB	: Organisation pour la défense de l'environnement au Burundi
ONG	: Organisation non-gouvernemental
RCP	: Representative Concentration Pathways
PABVARC	: Projet d'Aménagement des Bassins Versants et de l'Amélioration de la Résilience Climatique
PAM	: Programme alimentaire mondial
PAN/LCD	: Plan d'Action Nationale de Lutte Contre la Dégradation des sols
Pmm	: Précipitations
PNIA	: Programme national d'investissement agricole
SAN	: Stratégie agricole national
WHH	: Welthungerhilfe
GPS	: Global Positioning System

RESUME

Au Burundi, le problème de l'érosion différentielle des sols s'amplifie d'année en année. Le Bassin Versant de la Rivière Ndurumu (BVRN) constitue un cas typique de ce phénomène. Face à la pression sur les ressources naturelles qui entraîne l'érosion des sols, la dégradation de son environnement a entraîné plusieurs dommages tant écologiques que socioéconomiques.

L'étude sur les déterminants de l'érosion a été conduite dans le Bassin Versant de la Rivière Ndurumu. Elle avait pour objectif d'étudier les paramètres biogéographiques et socioéconomiques qui militent en faveur de l'érosion dans le bassin versant de la rivière Ndurumu afin de proposer les orientations pour une gestion durable du bassin versant.

Les données ont été collectées à l'aide d'une recherche documentaire, enquête ménage, des entretiens et interviews. L'échantillon (44 exploitants agricoles) a été choisi de façon raisonnée. La collecte des informations sur le terrain a été faite sur une superficie de 116 km² suivant un transect altitudinal de 12 km. Les résultats obtenus révèlent que le bassin versant présente un relief très accidenté avec des pentes allant de 5% à 55%. Cette zone jouit d'un climat tropical humide avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1124.8 mm/an et son indice pluviométrique est bimodal. On y retrouve trois (3) types de formations géologiques (les affleurements quartzitiques, schisteuses et granitiques). Plus de 53.34% de la population du bassin versant cultivent une superficie inférieure à un demi hectare avec un revenu inférieur à 100 dollars par an (150 000 BIF¹/an) ce qui limite leur capacité à intégrer les vastes programmes de lutte antiérosive.

Pour une gestion durable et efficace des bassins versants, il serait souhaitable que les programmes adoptent une approche intégrée qui prend en compte la participation communautaire depuis la phase de conception du projet jusqu'à la mise en œuvre proprement dite. Cela passerait par la mise sur pied des institutions de gouvernance du bassin versant, l'éducation environnementale, le relèvement du niveau d'instruction des chefs de ménages et l'amélioration des moyens d'existence.

Mots clés : Erosion différentielle, Plan d'aménagement, Gestion durable du bassin versant, Burundi.

¹ BIF : Acronyme du franc burundais (1USD=1692,88BIF)

ABSTRACT

In Burundi, problem of soil erosion is increasing year by year. Ndurumu River Watershed is a typical case of this phenomenon of degradation. Due to pressure on natural resources that causes soil erosion, the environmental degradation engendered several ecological and socio-economic damage.

This research on erosion determinants was conducted in the Ndurumu River Watershed. It aims to study the biogeographic and socioeconomic parameters that cause erosion in that area in order to propose orientations for a sustainable management of the watershed.

Data were collected by literature search, household survey, interviews and interviews. The sample (44 farmers) was selected on a reasoned basis. Field information was gathered in an area of 116 km² along 12 km altitudinal transect. Results show that the watershed has a very rugged topography with slopes ranging from 5% to 55%. This zone has a tropical humid climate with an annual average rainfall of 1124.8 mm / year and its rainfall index is bimodal. There are three (3) types of geological formations (the quartzitic, schistose and granitic). More than 53.34% of the catchment population has less than a half of a hectare with an income of less than \$ 100 per year (150,000 BIF / year), which limits their ability to integrate anti-erosion programs.

For sustainable and effective management of watersheds, it would be better for programs to adopt an integrated approach that consider community participation from the project design to its implementation. This would involve setting up watershed governance institutions, environmental education, awareness of household heads and improving livelihoods.

Key words: Differential erosion, Management plan, Sustainable watershed management, Burundi

LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET PHOTOS

1. Liste des tableaux

Tableau 1: Nombre de ménages impliqués dans les focus group et entretien	14
Tableau 2. Répartition des chefs de ménage selon le niveau d'instruction	32
Tableau 3: Adoption des innovations en matière de lutte antiérosive	33
Tableau 4 : Superficies des exploitations agricoles.....	33
Tableau 5 : Taux d'adoption des techniques de lutte antiérosives	37
Tableau 6: Evaluation des capacités de conservation du sol	38

2. Liste des figures

Figure 1: Délimitation du bassin versant	10
Figure 2: Transect altitudinal Muramba-Makaba	16
Figure 3: Carte du relief en 3 dimensions	20
Figure 4. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Muyinga (1982-2015).....	21
Figure 5: Nombre de jours de pluie par mois et par an	23
Figure 6: Variation des températures mensuelles à Muyinga (1961-2015)	25
Figure 7 : Evolution des températures (1950 à 2100)	25
Figure 8: Simulations pluviométriques (1950-2100)	26
Figure 9: Pédologie de la zone d'étude.....	27
Figure 10: Carte des pentes.....	30
Figure 11: Erosion en rigole dans le secteur Rwindonyi	35
Figure 12: Griffes d'érosion dans une exploitation agricole.....	36
Figure 13: Encadrement des exploitants agricoles.....	39
Figure 14: Perception des exploitants sur leur implication dans les programmes d'aménagement	40

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	iv
REMERCIEMENTS.....	v
SIGLES ET ACRONYMES	vi
RESUME.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET PHOTOS.....	ix
1. Liste des tableaux	ix
2. Liste des figures	ix
TABLE DES MATIERES	x
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : CONTEXTE GENERALE DE L'EROSION DIFFERENTIELLE ET L'APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	3
1.1. Contexte et justification de l'étude.....	3
1.2. Revue de la littérature	4
1.2.1. Etat de la connaissance	4
1.2.2. Erosion différentielle et dégradation des sols.....	4
1.2.3. Gestion des bassins versants	5
1.2.4. Participation communautaire à la gestion des bassins versants	5
1.2.5. Intégration des activités d'aménagement des bassins versants.....	6
1.2.6. Cadre réglementaire d'aménagement des bassins versants.....	7
1.3. Problématique de la dégradation du bassin versant de la Ndurumu	7
1.3.1. Objectifs de l'étude et l'hypothèse de recherche	8
1.3.2. Hypothèses de recherche	8
1.4. Approche méthodologique	9
1.4.1. Recherche documentaire	11
1.4.2. Collecte des données sur terrain.....	11
1.4.2.1. Observation directe	12
1.4.2.2. Echantillonnage.....	12
1.4.2.3. Focus group et entretiens semi structurées	13
1.4.2.4. Enquête de terrain.....	14
1.4.3. Méthodes de collecte de données.....	14
1.4.3.1. Profil historique	14

1.4.3.2. Transect altitudinal et profil topographique.....	15
1.4.3.3. Données socioéconomiques	17
1.4.3.4. Données géographiques et climatologiques.....	17
CHAPITRE II. DETERMINANTS BIOPHYSIQUES ET ANTHROPIQUES DE L'EROSION DU BASSIN	
VERSANT DE LA RIVIERE NDURUMU	19
2.1. Déterminants biophysiques	21
2.1.1. Climat.....	21
2.1.1.1. Pluviométrie	21
2.1.1.2. Température.....	24
2.1.1.3. Projections de températures et des précipitations de 1950 à 2100	25
2.1.2. Sols	27
2.1.3. Toposéquence	29
2.1.4. Végétation.....	31
2.2. Déterminants anthropologiques de l'érosion	31
2.2.1. Caractéristiques socio démographiques	31
2.2.1.1. Taille du ménage.....	32
2.2.1.2. Niveau d'éducation du chef de ménage	32
2.2.2. Domaine foncier	33
2.2.2.1. Taille des exploitations	33
2.2.2.2. Utilisation des terres et la tenure foncière	34
2.2.3. Impact des facteurs anthropiques sur la dégradation des bassins versants	35
CHAPITRE III. ANALYSE DU MODE DE GESTION ET PROPOSITION D'UN MODELE DURABLE DU	
BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NDURUMU	37
3.1. Réponses de conservation et de gestion des terres	37
3.1.1 Pratiques de conservation des sols et de l'eau	37
3.1.2. Adoption des pratiques de conservation des sols et de l'eau	37
3.1.3. Participation communautaire dans la conservation de l'eau et du sol.	39
3.1.3.1. Participation à la mise en œuvre.....	39
3.1.3.2. Participation à la maintenance	40
3.2. Propositions d'un mode de gestion durable du bassin versant	41
3.2.1. Suggestion pour un aménagement intégré de l'espace	41
3.2.1.1. Zone agricole	42
3.2.1.2. Espace pastoral	42
3.2.1.3. Zone extra agricole	42

3.2.2. Plan de réhabilitation des espaces dégradés du bassin versant.....	43
3.2.2.1. Mesures techniques de réhabilitation du bassin versant de la rivière Ndurumu	43
3.2.2.1.1. Plan de réhabilitation des secteurs avec une pente inférieure à 5%	43
3.2.2.1.2. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes entre 5 et 15%	43
3.2.2.1.3. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes entre 15 et 30%	44
3.2.2.1.4. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes entre 30 et 50%	44
3.2.2.1.5. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes supérieures à 50%.....	44
3.2.2.1.6. Plan de Réhabilitation des Ravins.....	44
3.2.2.2. Mise en place d'une zone tampon.....	45
3.2.3. Mesures de consolidation et de la gouvernance du bassin versant	45
3.2.3.1. Approche participative, communication et gestion des ressources naturelles.....	45
3.2.3.2. Appui à la mise en place de groupements de gestion communautaire des ressources naturelles..	45
CONCLUSION GENERALE.....	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49
ANNEXES.....	52

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, plusieurs problèmes environnementaux affectent notre planète. Parmi ces problèmes figure la dégradation des sols qui est un processus hydro-morpho-dynamique qui affecte les habitations et les infrastructures socioéconomiques, les terres agricoles et les écosystèmes. La dégradation des terres a inhibé la capacité de production agricole du Burundi en raison du déclin des services écosystémiques fournis par les bassins versants, ce qui a été reconnu comme principal obstacle à la réalisation de la vision 2025 (PNIA, 2011).

Le bassin versant de la Ndurumu situé dans la province de Ngozi, au Nord du Burundi est fortement menacé par la dégradation des sols. Cette dégradation implique l'érosion des sols, l'épuisement des nutriments, la dégradation de la couverture végétale et la sédimentation dans les bas-fonds de vallées. Les causes majeures de la dégradation des sols sont les mauvaises pratiques de gestion de ce bassin versant conjuguées aux facteurs biotiques et abiotiques.

Malgré son importance écosystémique, la forte pression démographique soumet le bassin versant de la rivière Ndurumu à une dégradation continue et réduit la fertilité des sols. Cela a comme conséquence la vulnérabilité des ménages ainsi que la précarité des conditions de vie des populations vivant de l'exploitation des ressources naturelles.

Qui plus est, la surexploitation des ligneux sans soucis de renouvellement par les communautés locales est accentué par l'abandon de la caféiculture, longtemps considérées comme le principal support au maintien de la couverture végétale. A cela s'ajoutent les pratiques culturales sans mesure de défense et de restauration des sols, le surpâturage et les faibles moyens d'existence des paysans sont autant de facteurs à la base de la dégradation des sols du bassin versant.

Eu égard à cette dégradation des sols, la restauration de l'environnement constitue un défi majeur auquel la compréhension et l'échange d'information doit constituer des moyens privilégiés pour soutenir des actions positives dans la perspective d'établir un modèle de gestion durable des ressources naturelles. Cela permettrait d'assurer une bonne gouvernance de l'écosystème afin de maintenir une production plus abondante en impliquant la participation populaire au processus de développement et à la prise de décisions.

Une expérience avec les agriculteurs nous a permis de réaliser l'ampleur de l'érosion différentielle dans le bassin versant de la rivière Ndurumu et les problèmes associés tel que la difficulté d'avoir une production efficace pour nourrir les nombreuses familles. Ceci nous a conduits à nous interroger sur les interactions et les facteurs organisationnels qui expliquent l'érosion dans le bassin versant de la Rivière Ndurumu.

Pour y répondre nous avons mené une étude sur l'analyse des déterminants de l'érosion dans les hautes terres du Burundi et proposition d'un plan de gestion durable du bassin versant de la rivière Ndurumu. L'objectif de notre étude étant d'analyser les facteurs de l'érosion dans le bassin versant de la rivière Ndurumu, il s'agissait en effet d'identifier les paramètres biogéographiques et sociodémographiques responsables de l'érosion des sols et ainsi formuler des propositions pour une gestion durable du bassin versant.

Le traitement et l'analyse ainsi que le souci de lisibilité nous ont conduits à subdiviser notre mémoire en trois chapitres. Le premier chapitre présente le contexte général de l'érosion différentielle dans le bassin versant de la rivière Ndurumu ainsi que l'approche méthodologique entrepris pour arriver aux résultats sur les déterminants biophysiques et démographiques de l'érosion différentielle analysées dans le chapitre deux alors que le chapitre trois propose un mode de gestion durable du bassin versant.

CHAPITRE I : CONTEXTE GENERALE DE L'EROSION DIFFERENTIELLE ET L'APPROCHE METHODOLOGIQUE

L'étude des déterminants de l'érosion nécessite une analyse approfondie de la problématique autour de la dégradation des terres afin de dégager la question principale ainsi que les questions spécifiques y relatives. Aussi, ce chapitre met en exergue une synthèse critique des lectures exploratoires en rapport avec la gestion du bassin versant² ainsi que leur dégradation suite à l'érosion différentielle. Enfin, elle énonce la démarche méthodologique, les outils utilisés pour la collecte et le traitement des données dans le but de comprendre la problématique de l'érosion des sols dans le bassin versant.

1.1. Contexte et justification de l'étude

Les hautes terres africaines fournissent des biens et services indispensables pour les communautés locales mais aussi pour les divers utilisateurs en aval. Réservoirs d'eau, de biomasse et de biodiversité, ces zones de hautes montagnes sont vitales pour les populations paysannes habitant les pentes et les piémonts (Bart, 2006)

Cependant, la pression croissante des activités humaines et les perturbations climatiques conduisent à la perte de la biodiversité montagnarde, la dégradation des terres et des catastrophes naturelles mettant en péril l'équilibre entre les besoins vitaux et les ressources naturelles.

Depuis 2011, le Burundi a mis en place la Stratégie Nationale et Plan d'Action pour la lutte contre la dégradation des sols au Burundi 2011-2016 avec comme vision : « Toutes les couches de la population renforcées et engagées à mener des actions concrètes de protection et d'utilisation rationnelle des terres pour le bien-être des générations actuelles et futures » (PAN/LCD, 2011).

A la fin de sa mise en œuvre, il importe de mener une évaluation de la dégradation afin de mesurer l'impact des mesures entreprises.

² Selon la FAO (2000), la gestion des bassins versants, définie comme toute action humaine visant à assurer l'utilisation durable des ressources naturelles du bassin, tente d'atténuer les menaces de ce dernier.

1.2. Revue de la littérature

1.2.1. Etat de la connaissance

L'état des connaissances sur la thématique d'étude se rapporte sur les résultats des chercheurs qui se sont penchés sur la dégradation des milieux naturels à travers une analyse holistique. Selon Sirieux (2003), «l'analyse de la dégradation du paysage fait recours à deux concepts de nature profondément différent: le territoire, support du paysage et la perception des populations concernées».

La zone de notre étude a fait l'objet de quelques études monographiques³ qui se sont intéressées sur les aspects fonciers et/ou sociaux. Les études qui s'intéressent sur les facteurs à l'origine de la dégradation des sols et des écosystèmes sont quasi inexistantes.

1.2.2. Erosion différentielle et dégradation des sols

A la lumière de Martin (1972), l'érosion différentielle est décrite comme étant un processus de l'altération chimique (par les phénomènes de l'oxydation, la réduction et l'hydrolyse) et mécanique (déplacement, transport des minéraux constitutifs) des roches ; la résistance de roche à l'altération dépendant des matériaux qui la composent et la possibilité offerte au principal agent agresseur (l'eau) de pénétrer à l'intérieur de la roche.

Il existe de nombreuses définitions de la dégradation des terres, mais la plupart ne font essentiellement référence qu'à une perte de productivité de la terre (Blaikie et Brookfield, 1987). Selon Roose (1994), la dégradation des sols peut aussi avoir diverses origines : compaction par le paillage du bétail, minéralisation des matières organiques et squelettisation par érosion sélective. En zone tropicale humide, alors que l'érosion comprend trois phases (arrachement, transport et sédimentation), la dégradation des terres cultivées ne concerne que la déstabilisation de la structure et de la macroporosité du sol sans transport de particules à longue distance.

Dans un contexte de pression démographique, au Burundi la dégradation des sols est une réalité. Cette dernière est accélérée par les facteurs naturels et anthropiques notamment la déforestation, la mauvaise utilisation des terres et le surpâturage, tous liés à la recherche de la satisfaction des besoins d'existence des populations (MEEATU, 2011).

³ PNUD, Monographies Communales, 2005 ainsi que le diagnostic socio foncier de la commune Marangara.

1.2.3. Gestion des bassins versants

La gestion des bassins versants est une approche de la planification pour une gouvernance des ressources naturelles de la zone pour répondre aux besoins socio-économiques de la communauté concernée (FAO, 1976). L'approche bassin versant est considérée comme un moyen de mise à l'échelle des technologies, surtout celles de conservation de l'eau et des sols ou de manière générale, la protection de l'environnement (Hinchcliffe et al. 1995).

La gestion des bassins versants est également le processus d'organisation de l'utilisation des terres, l'eau et autres ressources naturelles pour fournir des biens et services nécessaires à la population, et atténuer les sécheresses (Sheng, 1986; Khan, 2002). Cette approche plus globale est obtenue en reconnaissant les effets positifs et négatifs sur les personnes. Ces effets sont causés par des interactions planifiées ou non sur les bassins versants. Il est également nécessaire de comprendre que la nature et la gravité de ces interactions sont influencées par la façon dont les acteurs utilisent les ressources et les quantités de ressources consommées.

1.2.4. Participation communautaire à la gestion des bassins versants

Il est d'ordinaire admis que la gestion des bassins versants s'intéresse à l'usage et la conservation des ressources en eau et de la terre, mais étant donné que les pays en voie de développement sont très peuplés, les acteurs ainsi que leurs conditions de mise en valeurs doivent être aussi considérées.

Au Burundi toutes les familles ne s'investissent pas de la même manière dans la lutte contre la dégradation des terres. Les grands projets d'aménagement des bassins versants ne permettent le maintien du système de lutte antiérosive que pendant la période du projet et ne favorisent pas leur appropriation par la plupart de paysans (Niyonkuru et al. 2013).

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 2008), la participation des populations à l'aménagement intégré des bassins versants est une approche particulièrement intéressante pour assurer la conservation de l'eau, des terres et de la biodiversité et renforcer les moyens d'existence locaux.

La tendance de la dégradation de l'environnement peut mieux être inversée en améliorant le partenariat entre les acteurs (populations et organisations locales, les partenaires techniques et financiers avec l'Etat), transformant ainsi les éventuels conflits en coopération (Dube et Swatuk, 2002).

C'est ainsi que les différents intervenants (gouvernement et les ONG) reconnaissent que la protection des bassins versants ne peut être atteinte sans la participation volontaire des populations locales (Pretty et Ward, 2001).

Selon Kerr *et al.* (1996), en l'absence de consentement et l'appropriation des bénéficiaires, la réalisation des travaux d'aménagement des bassins versants peut causer plus d'érosion que les pratiques autochtones. Cela s'explique par l'absence de maîtrise technique pour entretenir les nouvelles structures ou la non-adéquation des nouvelles pratiques avec celles préexistantes.

La gestion d'un bassin versant implique non seulement des parcelles individuelles, mais aussi les ressources communes comme les terres domaniales, les forêts, les sources de captage d'eau, les ravins, les routes et les sentiers ainsi que la végétation le long des cours d'eau (Swaran, 2001). Par conséquent, la gestion participative des bassins versants implique tous les acteurs pour discuter conjointement leurs intérêts, hiérarchiser leurs besoins, évaluer les alternatives potentielles à mettre en œuvre, suivre et évaluer les résultats des actions (Azene et Gathriu, 2006).

Le défi consiste à identifier des approches qui peuvent atteindre une ligne de convergence efficace entre la communauté, les organismes locaux et l'Etat (Carney et Farrington, 1998). Cela implique que les parties prenantes travaillent ensemble pour définir des critères communes pour une gestion durable, identifier les priorités, les contraintes, établir le diagnostic opérationnel dans l'optique d'évaluer les solutions possibles, recommander des technologies innovantes et élucider les impacts potentiels qui auraient subsisté.

1.2.5. Intégration des activités d'aménagement des bassins versants

La persistance de lacunes dans les modes d'intervention ponctuelles a démontré la nécessité de recourir à des nouvelles méthodologies permettant de prendre en charge la dimension plurielle, d'où l'approche de gestion intégrée (Carlo *et al.*, 2004). Cela se rapproche à la conception de la FAO selon laquelle l'aménagement intégré des bassins versants s'intéresse aux conséquences des changements introduits sur le site et hors du site, et partage la conviction qu'une gestion sociale appropriée peut optimiser le fonctionnement des écosystèmes (FAO, 2008).

La gestion intégrée des bassins versants est un processus de formulation et de la mise en œuvre d'un plan d'action dans une zone définie par leurs limites. Elle permet la protection et la remise en état des terres, de l'eau et des écosystèmes associés, tout en reconnaissant les avantages de la croissance et le développement ordonné. C'est une approche intégrée et holistique du développement d'une zone avec l'objectif ultime d'améliorer la qualité du vivant qui habitent en son sein (FAO, 2000).

1.2.6. Cadre réglementaire d'aménagement des bassins versants

La présente étude cadre avec la vision Burundi 2025 qui à travers son Cadre Stratégique de Relance et de la Croissance Economique et de Lutte contre la Pauvreté (CSLP II), trace la stratégie environnementale du Gouvernement pour consolider le lien nécessaire entre la sauvegarde de l'environnement et le développement durable.

Elle s'inscrit dans la Stratégie Agricole Nationale (SAN), dont l'objectif global est de contribuer de manière durable à la réduction de la pauvreté et de soutenir la croissance économique du Burundi à travers l'augmentation de la productivité des facteurs de production, la valorisation maximale des productions, la diversification des opportunités de revenus, la préservation et le maintien des ressources naturelles et environnementales (MINAGRI, 2011).

1.3. Problématique de la dégradation du bassin versant de la Ndurumu

La réduction de la productivité des terres en Afrique varie entre 0,5 et 1 % par an (Scherer, 1999). Cela implique que la dégradation des terres durant les cinquante dernières années serait de 25 à 50 %.

En effet, l'observation du paysage présente un aspect des bassins versants dégradés qui se développent sur un relief accidenté et exposés à l'érosion hydrique. La raideur et la longueur des pentes conjuguées à l'action anthropique accélèrent le système de ruissellement et la dégradation des écosystèmes des bassins versants. Les pertes en terres dues à l'agressivité des pluies sont estimées à 18 tonnes/ha/an (PNIA, 2013).

Le Burundi a depuis la période coloniale investi beaucoup de moyens dans la lutte antiérosive pour atténuer la dégradation des terres. Cependant, malgré ces efforts, le pays reste loin de l'atteinte des résultats escomptés. Les efforts de ces initiatives ont été jugés insuffisants pour faire face au rapide taux de croissance démographique dans le pays, à la dégradation généralisée des terres et aux perturbations climatiques. Par ailleurs, au terme de l'exécution de ces projets, très peu de ménages ont pérennisé les systèmes antiérosifs mis en place (Nahimana et al., 2013).

Selon Mathieu (1984), les projets d'aménagement des bassins versants au Burundi n'ont ni impliqué les producteurs et ne les ont ni organisé pour résoudre leurs problèmes de façon participative. Seules des approches technologiques ont été vulgarisées et les arrangements institutionnels ont été négligés. L'auteur ajoute que lorsque la participation locale a été tentée, elle n'a pas été effective car elle se résumait en une ou deux personnes clés comme les chefs de colline. Ces projets ont échoué en raison de leur structure centralisée et de leur manque d'attention aux dispositions institutionnelles et structurelles. Bref la faible intégration des acteurs annihile les efforts de lutte contre la dégradation des terres (Nahimana et al., 2013).

C'est en définitif un ensemble de problèmes auxquels sont confrontés les communautés de la zone d'étude qui occasionne en amont et en aval des externalités négatives majeures sur un milieu fragile et vulnérable. Cette vulnérabilité est souvent aggravée par l'activité économique de l'homme suite aux pratiques de gestion non durables.

1.3.1. Objectifs de l'étude et l'hypothèse de recherche

L'objectif global visé par le présent travail de recherche est d'analyser le processus de l'érosion des sols dans le bassin versant de la rivière Ndurumu afin de faire une proposition de son plan d'aménagement.

Il s'agit spécifiquement d'étudier les paramètres biogéographiques et socioéconomiques qui militent en faveur de l'érosion dans le bassin versant de la rivière Ndurumu mais aussi de proposer les orientations pour une gestion durable du bassin versant de la rivière Ndurumu.

1.3.2. Hypothèses de recherche

Pour bien mener notre étude, nous partons des deux hypothèses:

Hypothèse 1 : Les facteurs biophysiques amplifiés par les activités anthropologiques expliquent l'érosion dans le bassin versant

Hypothèse 2 : L'approche de gestion du bassin versant ne favorise pas une appropriation durable des bénéficiaires

Eu égard à nos deux hypothèses et devant la complexité d'un sujet comme celui de la dégradation des sols par l'érosion différentielle, le choix de l'approche méthodologique porte sur l'analyse systémique⁴.

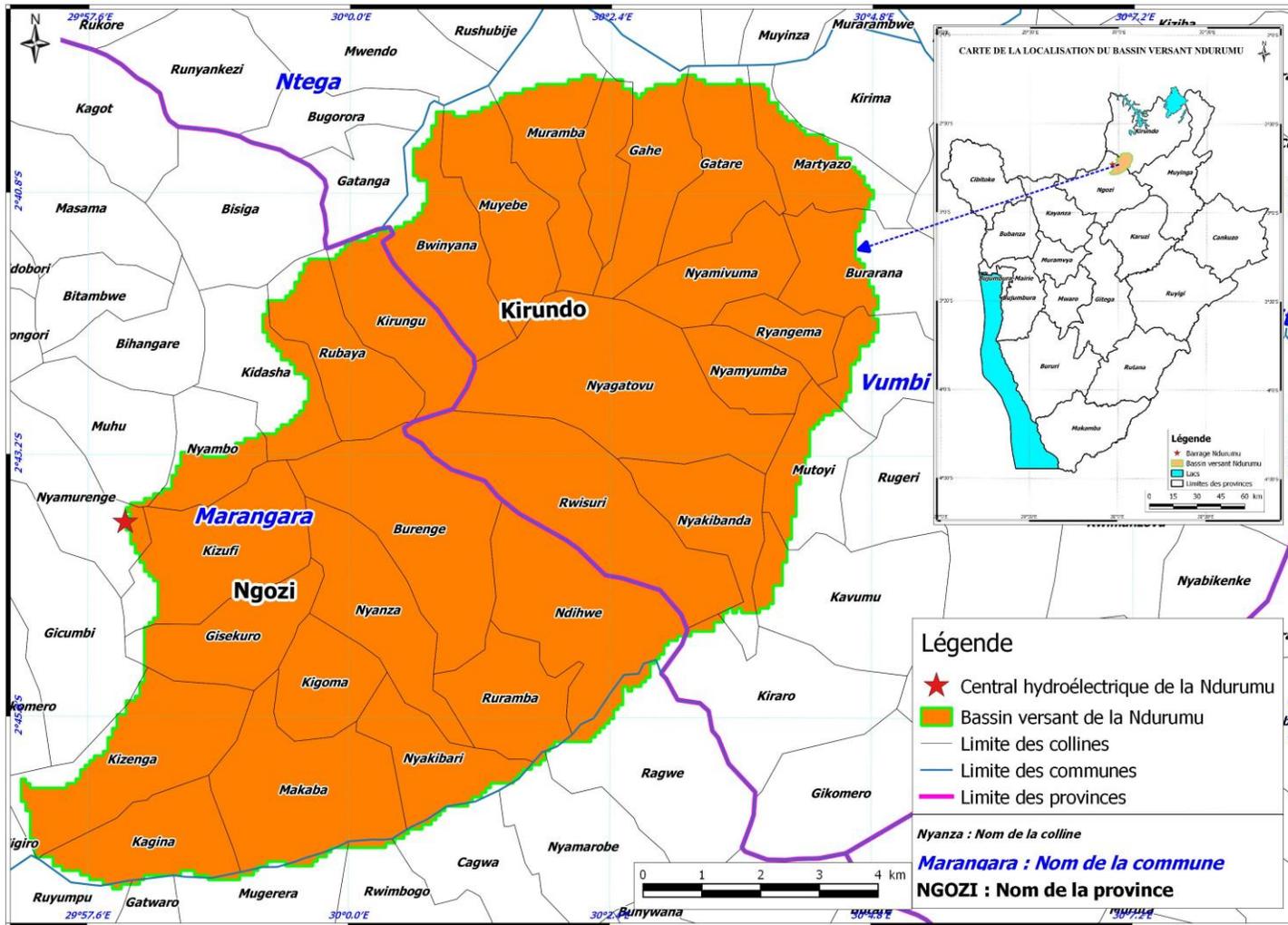
⁴Selon Jean TRICART, l'approche systémique, en géographie, permet d'une part de déceler certains détails des milieux par une appréhension d'ensemble et d'autre part de comprendre les ensembles sans nécessairement en percevoir tous les composants

1.4. Approche méthodologique

Le choix de l'approche métrologique a été motivé par la conception selon laquelle la compréhension du processus de dégradation implique l'intervention de différents phénomènes qui mêlent le climat, la pédologie, les actions anthropologiques, leur interaction au sein de l'écosystème ainsi que sa gouvernance.

La présente étude a été réalisée dans deux (2) communes (Marangara et Vumbi) du nord du Burundi avec une superficie de 116 km². Il s'agit d'une zone qui forme le bassin versant de la rivière Ndurumu. Elle est située dans l'extrémité nord des plateaux centraux au du Burundi entre 2°38' et 2°47' de latitude Sud et 29°30' et 30°5' de longitude Est, selon la tranche altitudinale allant de 1500 m à 1860 m. La figure 1 de la page suivante présente les frontières politiques et administratives de la zone d'étude.

Un ensemble d'étapes méthodologiques a été mis en œuvre. Des données de sources différentes ont été collectées afin de mieux appréhender le problème à travers une analyse systémique. Cela a permis la compréhension holistique la dynamique des paysages dans la zone d'étude, ce qui nous a facilité l'analyse des interactions spatio-temporelles entre les contraintes physiques et les contraintes humaines (Tricart, 1974). La méthodologie entrepris porte sur la collecte, l'organisation, le traitement et l'analyse des données.



Source : Modèle numérique de terrain (Burundi, 2013) modifié par Niyongabo

Figure 1: Délimitation du bassin versant

1.4.1. Recherche documentaire

Pour une bonne compréhension de la thématique, et pour une meilleure connaissance sur la zone d'étude, il a été nécessaire d'effectuer une revue bibliographique. Cette étude bibliographique a permis de cerner les concepts clés relatifs à la thématique et à zone de notre étude. De manière particulière, la recherche documentaire a consisté en une collecte et regroupement ainsi qu'une analyse des données documentaires en rapport avec le sujet de notre étude.

Les données démographiques ont été collectées au département de la population du Ministère de l'intérieur (Burundi) ainsi que les services d'état civil des communes Marangara et Vumbi correspondant aux entités administratives du bassin versant de la Ndurumu.

Quant aux données agricoles, pédologiques et climatologiques, la documentation a été récoltée auprès de l'institut géographique du Burundi (IGEBU), de la Direction provinciale de l'agriculture et de l'élevage (DPAE) de Ngozi, du Bureau central du recensement, du département de la population, de l'organisation pour la défense de l'environnement au Burundi (ODEB) ainsi que l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Dans toutes ces structures, des données spatialisées (cartes topographiques et photographies aériennes) et d'autres cartes thématiques fournissant les informations sur l'occupation du sol, les formations végétales et les températures ont été rassemblées. Par ailleurs, les données sur les statistiques agricoles ont été recueillies à la DPAE Ngozi, les données statistiques sur la démographie ont été recueillies au bureau central du recensement et au département de la population du Ministère de l'Intérieur. Des données complémentaires ont également été collectées à travers les ouvrages, les thèses, les mémoires, les revues et les articles que nous avons consultés.

1.4.2. Collecte des données sur terrain

Avec un début laborieux suite au vaste étendu de la zone d'étude, il nous a fallu l'établissement du transect altitudinal du bassin versant d'une superficie de 6 km² dans le sens transversal que nous avons sillonnée entre Juillet 2016 et Septembre 2016 et selon la toposéquence de la zone d'étude. Les méthodes utilisées dans la collecte des données sur terrain ont été l'observation directe, le questionnaire au niveau des ménages, les entretiens semi- structurées avec les communautés, les discussions avec les responsables techniques et administratifs au niveau de la province ou des communes.

Afin d'évaluer les facteurs qui déterminent les attitudes des exploitants par rapport à la conservation de leur terroir, l'étude s'est focalisée sur les variables suivantes : sexe, âge, état civil, niveau d'éducation, caractéristiques des bassins versants, activités de conservation entreprises, types de mise en valeur, superficie exploitable, revenu du ménage, topographie et encadrement hydro-sylvo-zootéchnique.

L'animation de groupe a été mise à contribution lors des séances de travail collectif. L'intérêt de ces entretiens de groupe était d'obtenir le maximum d'informations et d'apprécier les contradictions par rapport aux différents aspects abordés dans ce travail.

Cette phase a porté sur un échantillon de 44 ménages répartis sur les deux communes et selon le transect altitudinal établi (24 ménages pour la commune Marangara et 20 ménages pour la commune Vumbi commune), avec 12 autres intervenants qui ont participé à nos différents entretiens semi structurés. Pour cette phase, les techniques utilisées sont l'observation directe, l'enquête ménage et les entretiens semi structurés avec les acteurs.

1.4.2.1. Observation directe

Les observations sur terrain ont porté sur l'analyse morphologique du paysage et l'état des mesures de conservation mis en œuvre au sein des bassins versants. Les données collectées ont été comparées aux normes et spécifications techniques définies dans la Stratégie Sous-sectorielle d'Aménagement des Marais et de Protection des Bassins Versants (MINAGRI, 2010). Cela a permis de constater l'action de l'homme sur les écosystèmes, le mode de préparation ou d'exploitation des champs et les impacts sur la dégradation des terres. Pour illustrer certains phénomènes, des photographies ont été prises.

1.4.2.2. Echantillonnage

Pour bien conduire l'enquête auprès des ménages, il a été combiné la technique d'échantillonnage stratifié et la technique d'échantillonnage aléatoire. La première étape a été la sélection des collines à enquêter dans les deux communes qui forment le bassin versant de la Ndurumu à savoir la commune Vumbi et la commune Marangara. La deuxième étape a consisté en l'échantillonnage aléatoire simple des ménages de la liste des collines. Pour faciliter cette étape finale, la liste des noms des ménages dans chaque colline choisie a été obtenue auprès du chef de colline, les agents vulgarisateurs sur le terrain et les représentants des organisations communautaires opérant dans les zones d'étude notamment les présidents des unités collinaires de la croix rouge du Burundi.

Au total 697 ménages se trouvent dans la trajectoire du transect de référence. La taille de l'échantillon de notre étude était de 44 ménages en utilisant la formule de Cochran (Cochran, 1977) tel que calculé ci-dessous.

$$n' = z^2 pq / d^2 \quad (1)$$

$$n = n' / 1 + n' - 1 / N \quad (2)$$

Sachant que :

n' = taille de l'échantillon désiré lorsque la population mère est supérieure à 10.000

n = Taille de l'échantillon lorsque la population mère est inférieure à 10.000

Z = Intervalle de confiance de 95% (z-valeur à 0,05 est 1,96)

P = 0,05 (proportion de la population à inclure dans l'échantillon donc 5%)

q = 1 - 0,05 donc (0,95)

N = la population total (697) et d = marge d'erreur ou le degré de précision (0,07).

Puisque la population mère dans les deux communes de la zone d'étude est moins de 10.000 ménages; les deux équations (1) et (2) ont été utilisées pour déterminer la taille de l'échantillon nécessaire dans cette étude comme suit:

$$n' = z^2 pq / d^2 = (1,96)^2 \times (0,05) \times (0,95) / (0,07)^2 = 37,24 = 37$$

Alors :

$$n = n' / 1 + n' - 1 / N = 37 / (1 + (37 - 1) / 697) = 35$$

Il en résulte donc que la taille de l'échantillon (n) nécessaire pour notre étude est de 35 ménages, mais dans l'hypothèse que 25% de l'échantillon soient constitué de non répondant, la taille de notre échantillon (n') utilisé dans cette étude a été corrigée, ce qui a donné $35 + 9 = 44$ ménages.

1.4.2.3. Focus group et entretiens semi structurés

Les Focus group et entretiens semi structurés ont permis de rencontrer et d'échanger avec les membres des communautés de base et leurs leaders, les membres des comités collinaires de suivi des activités de développement, le personnel technique communal ainsi que les administratifs pour recueillir des informations (qualitatives et quantitatives) en rapport avec la thématique de recherche

Le tableau 1 fournit les détails sur les ménages impliqués dans les discussions de groupes et les entretiens.

Tableau 1: Nombre de ménages impliqués dans les focus group et entretien

Nom de la commune	Focus group			Interview			Total
	Homme	Femme	Total	Homme	Femme	Total	
Marangara	7	1	8	6	3	9	17
Vumbi	6	2	8	5	3	8	16
Total	13	3	16	11	6	17	33

Source: Données de l'enquête

1.4.2.4. Enquête de terrain

Après examen des activités exercées dans le bassin versant de la rivière Ndurumu, il a été retenu comme unité statistique l'exploitant agricole car il l'agriculture constitue l'activité de base au sein du bassin versant de la Ndurumu. En effet, le diagnostic par sondage révélé que 90% des exploitants sont des agriculteurs.

Ainsi, le questionnaire d'enquête a été conçu avec le souci d'intégrer toutes les variables susceptibles d'influencer ou d'expliquer les modes d'aménagement des bassins versants. Les données ont été collectées chez les exploitants agricoles rencontrés dans leurs champs ou à leur domicile. Cela a permis de recueillir des données complémentaires sur le niveau socioéconomiques des agriculteurs et des moyens dont ils disposent pour assurer une agriculture de conservation⁵.

1.4.3. Méthodes de collecte de données

1.4.3.1. Profil historique

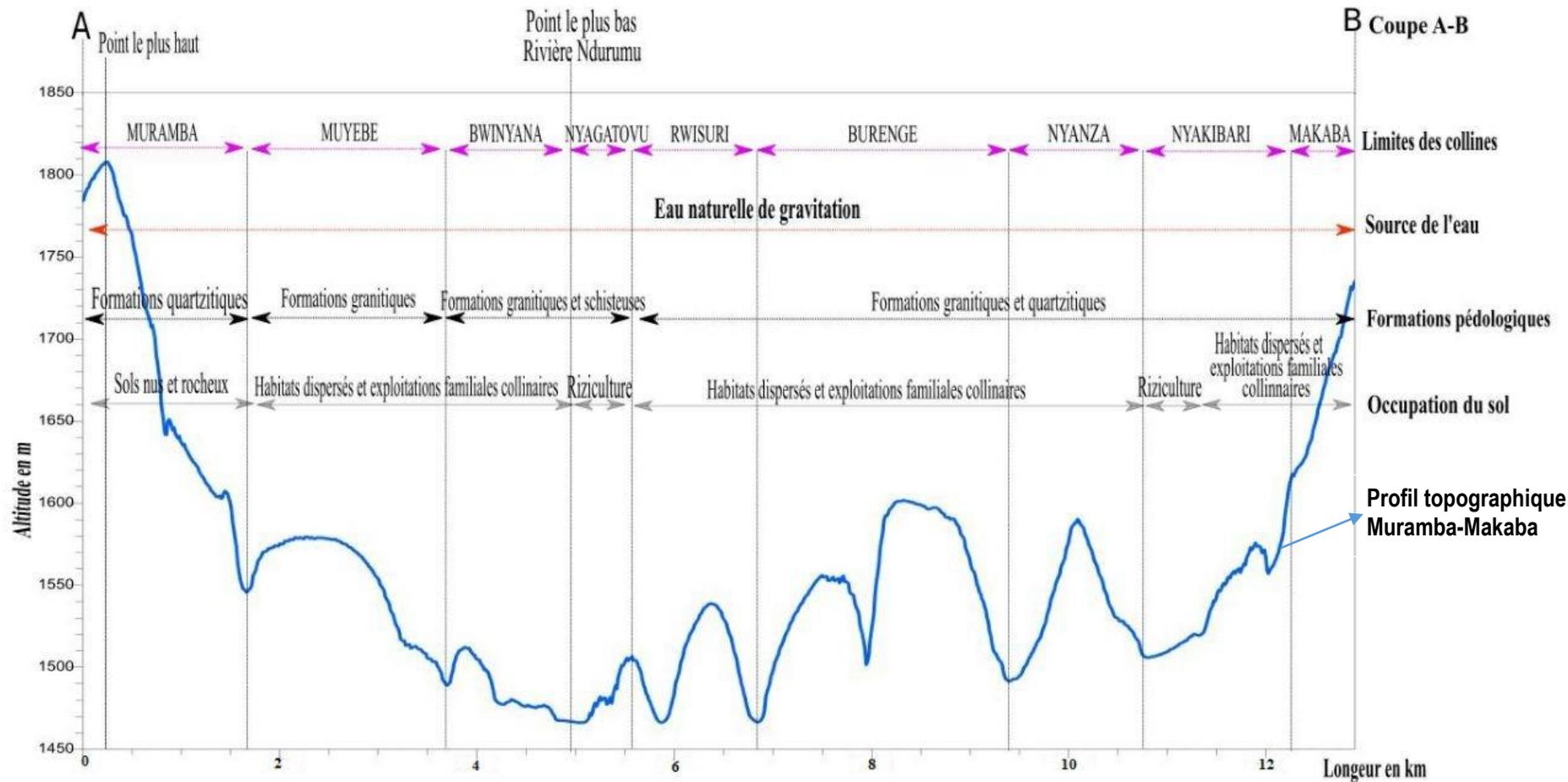
Dans le but de se faire une idée sur le processus de dégradation du bassin versant, un brainstorming des conditions de la dégradation des terres dans le bassin versant a été réalisé afin de confronter les résultats biogéographiques avec le vécu antérieur de la population locale. Les techniques utilisées comprennent l'analyse diachronique entre la stéréoscopie d'une série de photographies aériennes prises en 1983 et la situation actuelle afin de constater la progression des ravins. Les entrevues avec les aînés de la communauté ainsi que l'inventaire des dates importantes coïncidaient avec les évènements majeurs.

⁵L'agriculture de conservation (AC) est un système d'exploitation agricole qui conserve, améliore et rend plus efficace l'utilisation des ressources naturelles par le biais d'une gestion intégrée des sols, de l'eau et des ressources biologiques.

1.4.3.2. Transect altitudinal et profil topographique

Sur base de la carte topographique du Burundi au cinquante millièmes, il a été réalisé un transect de 12 km de longueur sur 500 m de largeur et de direction Sud-Ouest vers le Nord-Est. La trajectoire du transect a été établis altitudinalement de manière à traverser les différentes toposéquences observées

sur la Figure 2.



Source : Conception de l'auteur sur base de la carte topographique du Burundi au 1/50000

Figure 2: Transect altitudinal Muramba-Makaba

1.4.3.3. Données socioéconomiques

Les données socioéconomiques ont été analysées à la fois grâce aux méthodes d'analyse de données qualitatives et quantitatives. L'analyse des données qualitatives et quantitative est issue des transcriptions des entretiens semis structurés et des focus groups. A travers une analyse thématique, il s'agissait d'identifier les thèmes et sous thèmes développés à travers le guide d'entretien et la grille d'observation en a été déduite. De même que les données issus des enquêtes ménages, les données ont été saisi sous CSPro puis prétraités et apurés avant d'être exportés sur le logiciel SPSS 12.0 pour des analyses statistiques univariées pour le calcul des fréquences et bivariées afin de mesurer l'association entre certaines variables. Ces derniers ont été par la suite présentés en figures, tableaux et pourcentages.

L'ensemble des informations collectées ont été groupées en catégories puis en thèmes généraux. Cela nous a permis d'amorcer une synthèse sous forme d'informations qualitatives clés pour expliquer certains facteurs de dégradation du bassin versant de la Ndurumu.

1.4.3.4. Données géographiques et climatologiques

Pour une bonne analyse de la dégradation de bassin versant, il a été analysé les données climatologiques sur une période allant de 1982 à 2015, soit une période de 33 ans. Aussi, en nous basant sur les nouveaux scénarii du GIEC (pour le tout dernier Rapport AR5), nous avons fait la modélisation du risque érosif des sols à l'aide d'un outil en ligne de diagnostic rapide (climate Explorer⁶). Les variables analysées sont les températures moyennes annuelles et les précipitations moyennes annuelles sur une période allant 1950 à 2100 et selon les scénarios de référence RCP 4.5 et RCP 8.5⁷.

⁶ <https://climexp.knmi.nl/start.cgi?>

⁷ https://climexp.knmi.nl/publications/the_climate_explorer.pdf

Afin de délimiter le bassin versant, les coordonnées géographiques du point exutoire ont été levées à l'aide du GPS Garmin 64. Les données ont été ensuite importées sous un logiciel SIG Quantum GIS et son interface GRASS a été utilisée pour la délimitation du bassin versant et de son allure topographique. L'opération a consisté en une importation du Modèle Numérique de Terrain sous GRASS. Il a été ensuite imposé au GRASS les dimensions et la taille de la maille du MNT en format raster correspondant aux sous bassins versants surplombant le point exutoire. Cela a permis de corriger le modèle d'élévation des cuvettes ainsi d'établir la carte du relief, la carte hypsométrique ainsi que la carte de vulnérabilité vis à vis de l'érosion différentielle.

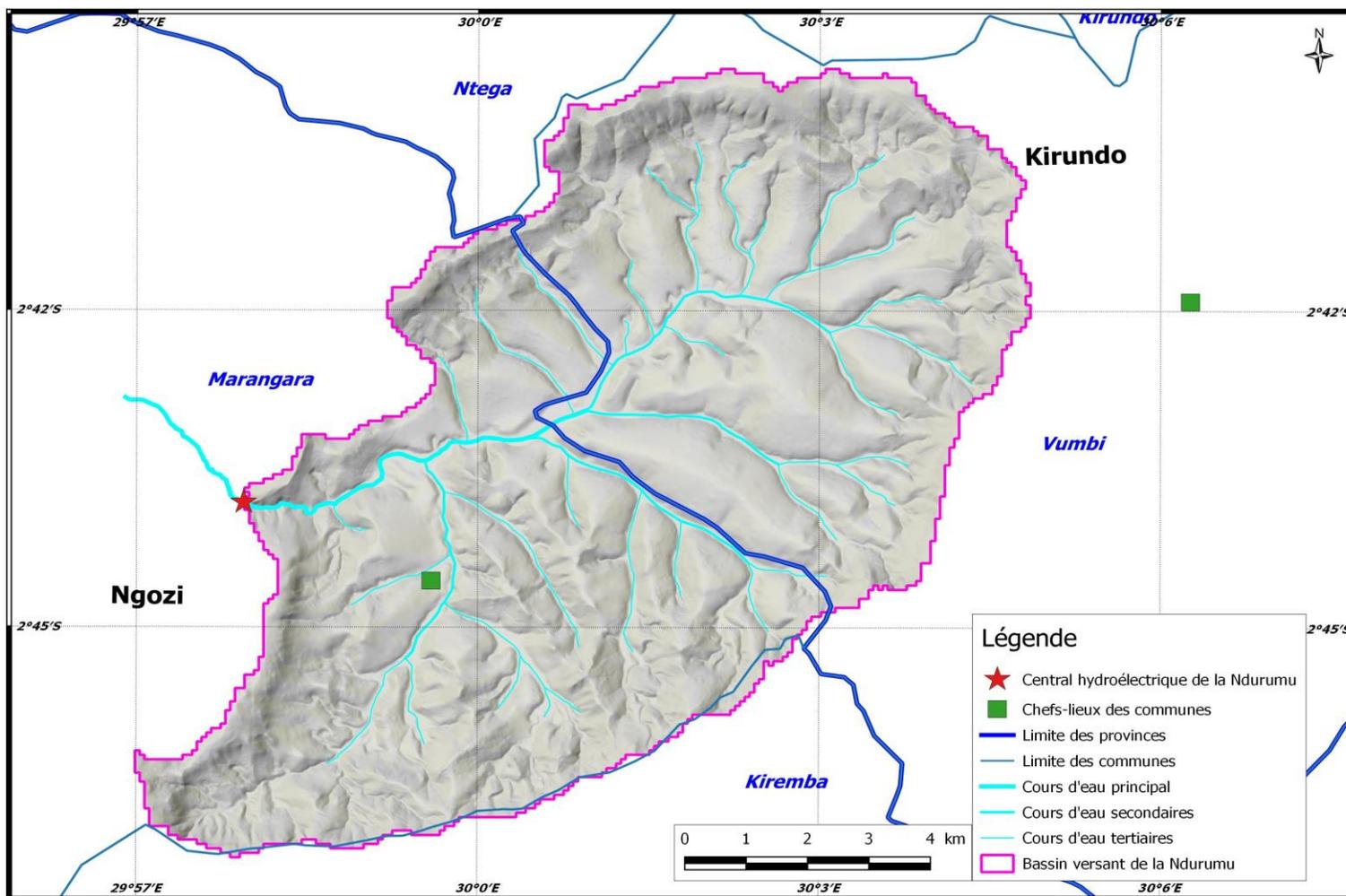
Notons que les données quantitatives et qualitatives collectées ont été traitées et catégorisées. L'interprétation et la comparaison des données spatialisées a permis de réaliser les différents croquis de la zone. Les informations de synthèse produites ont été traduites sous forme de données tabulaires, histogrammes ou cartes thématiques. Jointes aux différentes observations effectuées et à la documentation déjà existante, ces résultats ont aidés à répondre aux objectifs du travail tel que présentés dans le chapitre suivant.

CHAPITRE II. DETERMINANTS BIOPHYSIQUES ET ANTHROPIQUES DE L'EROSION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NDURUMU

Afin d'analyser l'érosion dans le bassin versant de la rivière Ndurumu, il convient souvent de relever les composantes du milieu naturel avant de déceler l'action de l'homme sur ce milieu comme cause profonde de cette dégradation. Ce chapitre rend compte des principaux résultats issus de l'analyse des données climatiques, édaphiques, hydro morphologiques ainsi la végétation. Les discussions sont faites au regard des conclusions des études similaires menées dans la zone et/ou sur la thématique.

Dans l'ensemble, on distingue ainsi la zone de hauts reliefs entre autres les chaînons et massifs montagneux, ainsi que la zone des plateaux et collines multiconvexes et concaves dont les altitudes diminuent du Nord vers le Sud de la zone d'étude. Ce moutonnement⁸ de collines est en grande partie de forme convexe et concave aux versants doux et courts et leur succession sensible dans le paysage confirme la théorie de "mille collines" caractérisant le Burundi.

⁸ D'altitude comprise entre 1500 et 1900m, le relief de la zone d'étude présente des formes arrondi séparés par des vallées à fond plat.



Source : Conception de l'auteur sur base du modèle numérique de terrain (Burundi, 2013)

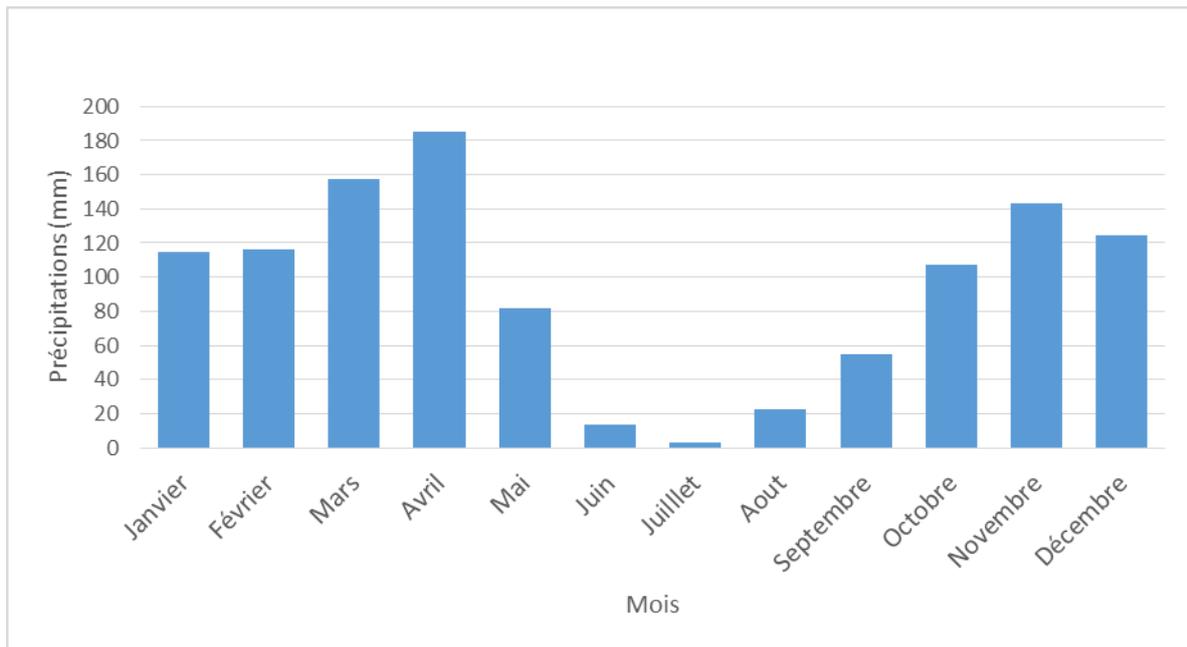
Figure 3: Carte du relief en 3 dimensions

2.1. Déterminants biophysiques

2.1.1. Climat

2.1.1.1. Pluviométrie

Etant donné que le secteur d'étude ne dispose pas de stations météorologiques, pour décrire sa situation climatique, on s'est appuyé sur les données climatiques de la station météorologique Muyinga, située à 50 km du site d'étude et à une altitude 1812 m d'altitude.



Source : Construction de l'auteur, 2017

Figure 4. Précipitations moyennes mensuelles à la station de Muyinga (1982-2015)

A travers les résultats de cette figure, le secteur est arrosé toute l'année. Les faibles précipitations s'observent depuis le mois de juin jusqu'au mois de septembre. L'histogramme montre que le régime pluviométrique est caractérisé par un passage biannuel du front tropical qui s'accompagne par de fortes précipitations.

On remarque que le maximum de la pluie est observé au mois d'avril tandis que le minimum des précipitations est observé au mois de juillet. Signalons qu'entre le mois de décembre et février les pluies diminuent.

Ainsi, les phénomènes d'érosion peuvent être accentués par l'alternance d'une période de très faibles précipitations qui est de courte durée mais très marquée et d'une période de fortes précipitations. Tout commence avec les mois de juin ; juillet et août. Cette période est marquée par un déséquilibre hydrique dans l'air ambiant. Cela provoque l'évaporation qui tend à pomper le peu d'humidité qui reste au sol et celui-ci commence à se cisailer. Suite au manque des précipitations pendant une période de 4 mois, la végétation herbacée des secteurs surélevés disparaît, les plantes vivaces ne subsistent que grâce à leur enracinement profond. Les arbres perdent leurs feuilles, le degré de couverture du sol est réduit presque à néant. Les premières pluies de la saison pluvieuse vont s'abattre sur un sol fendillé et poussiéreux, un sol sans protection. C'est le point de départ alors de multiples phénomènes d'érosion (le splash⁹ et l'érosion verticale).

La saison pluvieuse peut être subdivisée en deux tranches selon l'impact des précipitations sur les collectivités: La première période, c'est la période qui va de septembre à décembre. A cette période, le degré d'absorption d'eau du sol est très élevé car presque toutes les eaux de pluie s'infiltrent très rapidement à travers les fentes causées par les plus faibles précipitations. Si les phénomènes de ruissellement ou de glissement ne sont pas encore observables, l'érosion verticale et le splash ont déjà commencé respectivement avec l'entraînement en profondeur des éléments nutritifs (sels minéraux) dont les plantes ont besoin et avec l'éclatement et le déplacement des agrégats du sol.

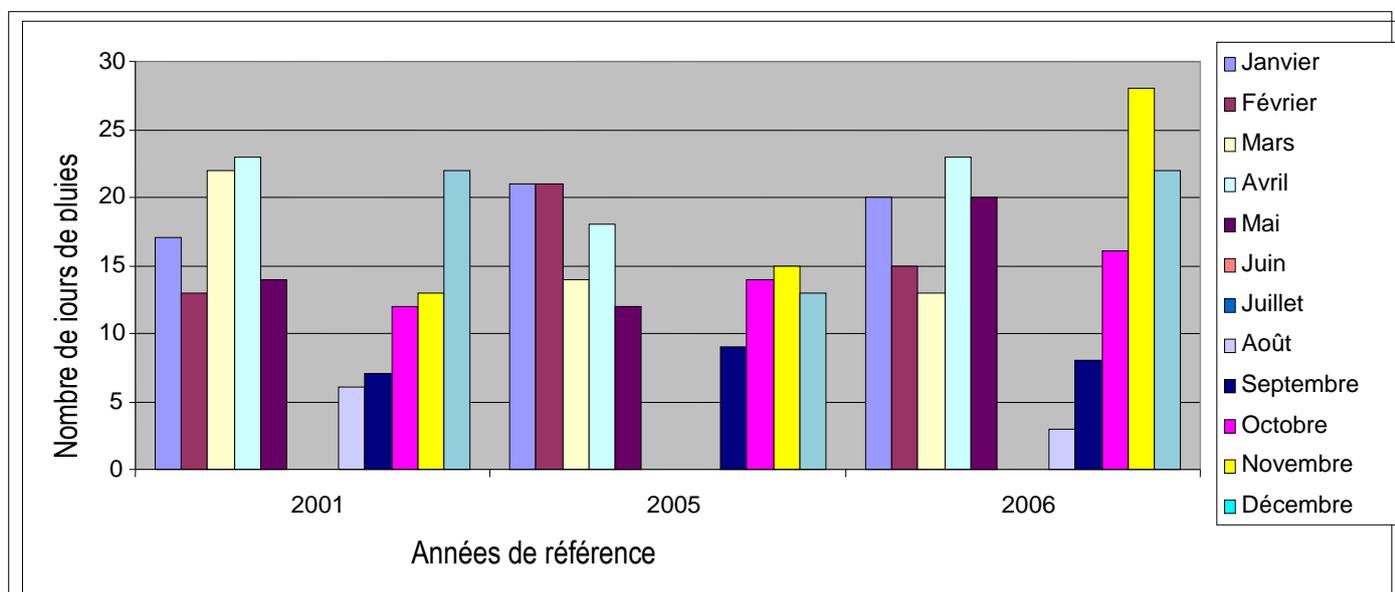
C'est vers la fin de cette période que le sol commence à se saturer d'eau. Durant le mois de décembre les phénomènes d'érosion à faible intensité commencent déjà à se déclencher ici et là dans le bassin versant. Des glissements ponctuels et des coulées boueuses se font déjà remarquer.

La deuxième période va du mois de Janvier à Avril et se produit après la saturation des sols. Dans la zone d'étude, en particulier dans sa partie amont, après le mois de décembre la terre n'a plus la capacité d'absorber toutes les eaux de pluies qui tombent. Alors, une grande partie de l'eau commence à ruisseler sur les versants des collines et c'est bientôt les phénomènes de ravinement qui s'annoncent. Les phénomènes extrêmes commencent avec le mois d'Avril, (période de très forte averse, où les terrains sont profondément imbibés d'eau).

En plus d'érosion en nappe (plus fréquente à Rwisuri), des phénomènes de ravinement s'ajoutent. Les phénomènes de glissement de terrain, surtout dans les zones très pentues (Matyazo, Nyakibari) qui atteignent très facilement des pentes allant de 50% et plus sont observés.

⁹ L'effet splash est un terme désignant l'érosion d'un sol nu provoquée par l'impact des gouttes d'eau

Le nombre de jours de pluie et leur répartition sur l'année sont également importants pour les écosystèmes des bassins versants. Les irrégularités ne manquent pas comme on peut le remarquer à travers la figure de la répartition du nombre de jour de pluies en 2001,2005 et 2006.



Source : Construction de l'auteur, 2017

Figure 5: Nombre de jours de pluie par mois et par an

L'analyse des données permet de mettre en évidence les faits suivants :

En 2001, le mois d'avril a enregistré 120,3 mm de pluie en 23 jours traduisant le plus grand nombre de jours de pluie. Comparativement au mois de décembre qui a enregistré le plus de précipitations 151,8 mm en 22 jours.

En 2005, les mois de janvier et de février ont connu le nombre de jours de pluies plus élevé : 21 jours alors qu'ils ont respectivement enregistré 181,0 mm et 77,5 mm. Quant au mois de novembre 2006, le nombre de jours de pluies s'élevait à 28 avec un total pluviométrique de 268,9 mm. Par contre décembre a enregistré 193,5 mm pendant 22 jours.

De ce qui précède, on peut conclure qu'il y a des jours très pluvieux et d'autres qui n'enregistrent pas de pluies. Ces dernières tombent sous forme d'averses violentes ce qui s'accompagne des impacts parfois négatifs au point de vue environnemental engendrant ainsi des répercussions graves sur les activités humaines et sur la vie des espèces végétales et animales.

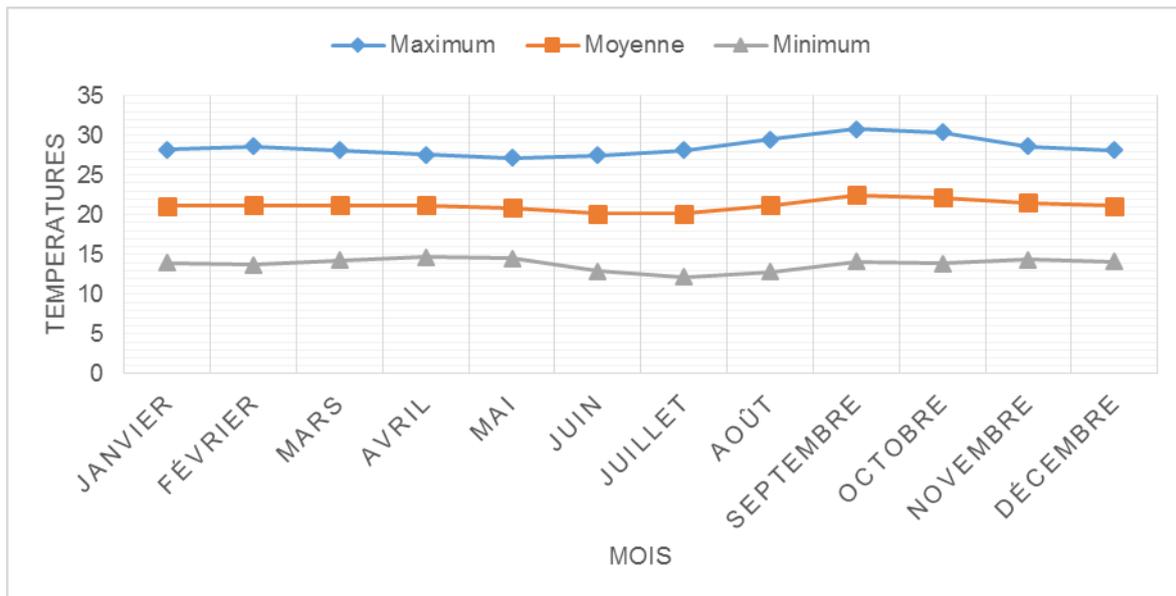
Comme l'inondation engendre l'asphyxie des végétaux, une faible précipitation (inférieure à 2mm de pluies par jour) entraîne le stress hydrique. Aussi un régime pluviométrique très variable ne manque pas de perturber les écosystèmes. Parfois, une sécheresse anormale se produit en pleine période de croissance des végétaux, ou encore, les pluies tombent avec une violence et une abondance telles qu'elles provoquent leur anéantissement. Pour résumer cette situation, comme l'a déjà remarqué Chretien cité par Nkurunziza, « les quantités tombées, le nombre de jours de pluies, la violence des averses, la durée et les dates de chaque saison, tout cela change énormément d'une année à l'autre. Ces irrégularités et cette multiplication de microclimats influencent sérieusement la vie agricole» (Nkurunziza, 1982) par la susceptibilité à de phénomènes d'érosion.

2.1.1.2. Température

Les moyennes normales mensuelles des températures et les moyennes maxima et minima sont analysées sur une période allant de 1961 à 2015 à la station de Muyinga représentative de la zone d'étude. Sur cette station de Muyinga les données disponibles et cohérentes coïncident avec cette période de sept ans.

Les résultats de l'analyse des températures montrent que les mois les plus chauds sont les mois de septembre et d'octobre avec un maximum au mois de septembre soit 30,8 °C. Sur les sept années d'observations, la température moyenne des années est de 21,2°C dans la zone d'étude.

Les amplitudes de températures maxima et minima sont assez marquées allant jusqu'à 12,7°C au mois d'avril et à plus de 16,7 °C pour les mois d'août et septembre. L'amplitude moyenne des années s'élève à 14.8 °C. Ces amplitudes thermiques marquées sont caractéristiques des régions à tendance continentale. La figure ci-dessous témoigne la distribution des températures extrêmes et moyennes à la station Muyinga.



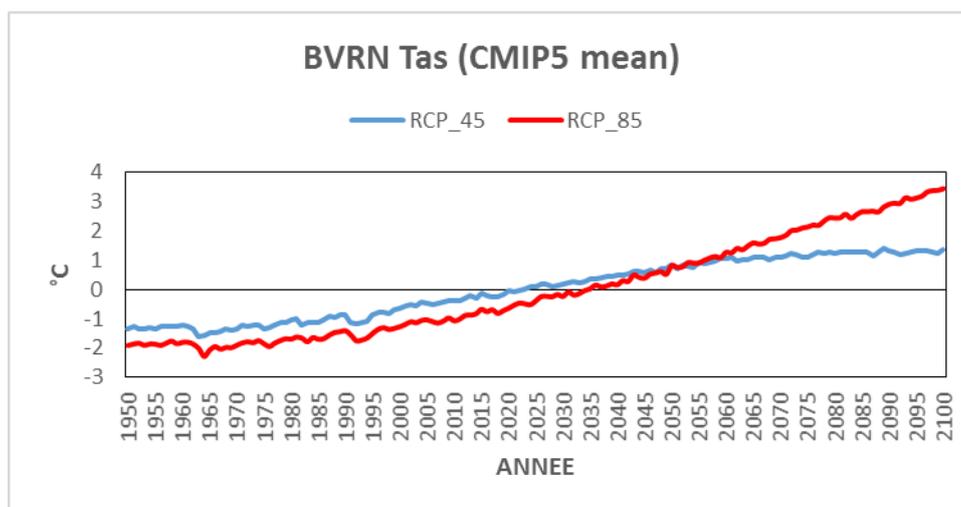
Source : Construction de l'auteur, 2017

Figure 6: Variation des températures mensuelles à Muyinga (1961-2015)

A partir de ces trois courbes représentant les différentes températures mensuelles à la station climatologique de Muyinga, il est à constater que les variations mensuelles restent faibles ce qui traduit la constance de la température.

2.1.1.3. Projections de températures et des précipitations de 1950 à 2100

Sur base des trajectoires de concentrations représentatives RCP_8.5 et RCP_4.5, nous considérons les températures moyennes (Tas) depuis 1950 jusqu'en 2100.

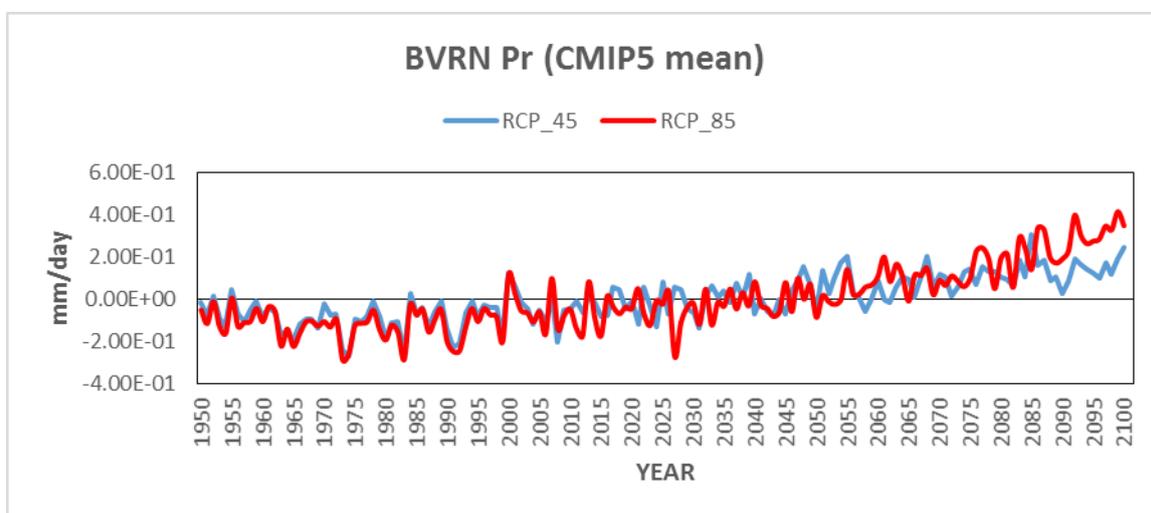


Source : Construction de de l'auteur
Figure 7 : Evolution des températures (1950 à 2100)

Selon les deux modèles de projection, les températures accusent une tendance à la hausse de l'ordre de 1°C à 3°C, ce qui renforce la certitude de la vulnérabilité du BVRN. Beaucoup d'auteurs ont signalé que l'altération des roches est rapide dans les régions tropicales (Neboit, 1979 ; Nsabimana, 1986 ; Terminier, 1960). Cette zone présente des conditions favorables à l'altération suite à la température élevée (pouvant atteindre 30°C) en combiné à des fortes précipitations qui catalysent les phénomènes d'altération (Nahimana, 1978).

Plus la température est élevée plus les réactions chimiques sont activées selon la loi de Van't Hoff qui indique qu'en moyenne, un accroissement de 10°C de température multiplie la vitesse des réactions par 2,5 (Tricart, 1977). Dans la zone d'étude, la température moyenne oscille autour de 21,2°C. Si on applique la loi de Van'Hoff en donnant une valeur de 1 aux réactions qui se produisent à une température très voisine de 0°C, on aboutit à une valeur d'environ 6,25. La vitesse de réaction chimique sera multipliée par 6,25.

Si l'eau est l'élément moteur dans l'altération des roches, elle l'est davantage lorsqu'elle est accompagnée d'une température élevée du milieu concerné. Les projections sur le comportement futur de la pluviométrie ont été analysées à travers la variable précipitations moyennes (Pr) selon les deux trajectoires de concentration représentatives (RCP8.5 et RCP4.5)



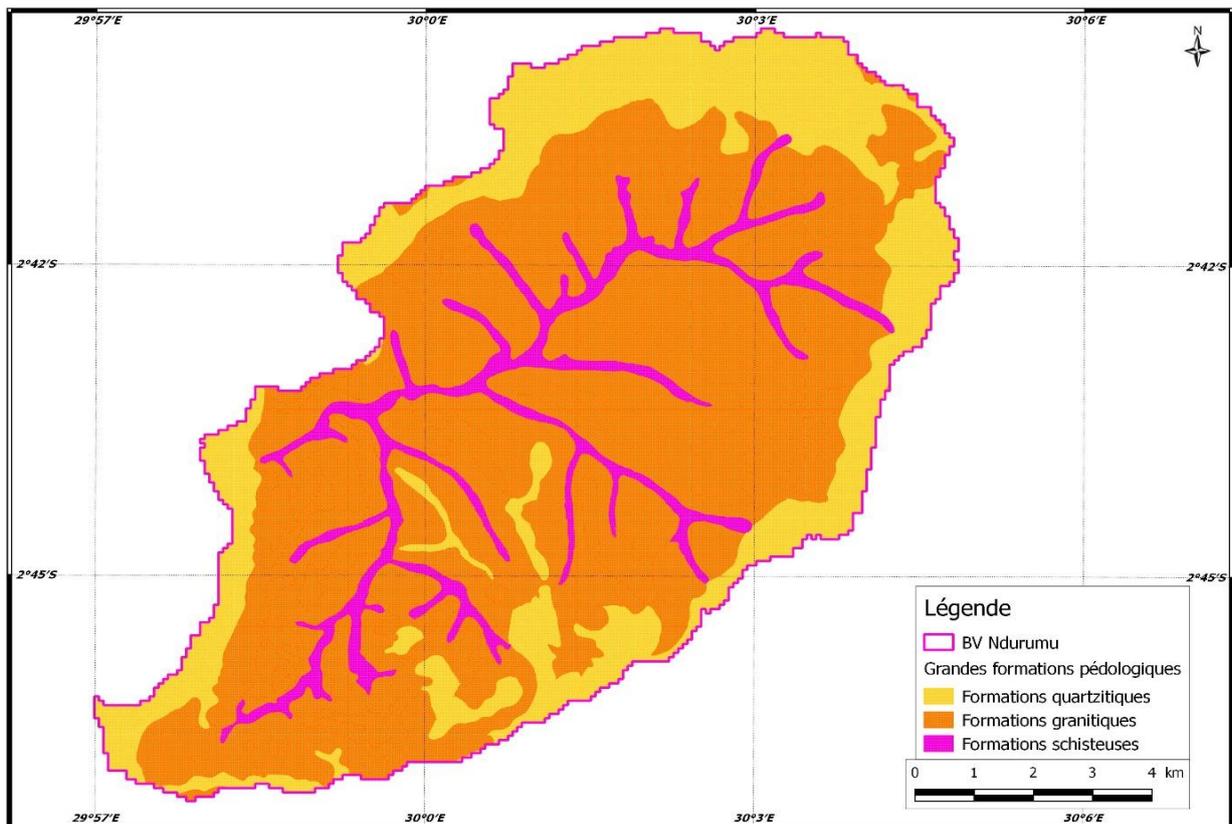
Source : Réalisation de l'auteur

Figure 8: Simulations pluviométriques (1950-2100)

Notons ainsi que les températures élevées du bassin versant de la rivière Ndurumu en corrélation avec les fortes précipitations de la zone (1124,8mm/an) favorisent le développement des microorganismes des sols (bactéries, moisissures, champignons, ...) qui jouent un rôle non moins négligeable dans l'altération des roches, ce qui favorise le travail de l'érosion différentielle en cas de fortes précipitations. La tendance à la hausse pour les deux scénarii et dans deux paramètres est une preuve irréfutable de la vulnérabilité de la zone.

2.1.2. Sols

Les différentes formes du relief sont d'une part liées à la structure et d'autre part à la lithologie.¹⁰Lorsqu'on observe les cartes géologiques de base, on constate que le milieu étudié renferme des roches anciennes.



Source : Réalisation de l'auteur à partir des planches pédologiques de l'ISABU, 2013

Figure 9: Pédologie de la zone d'étude

L'analyse de cette carte géologique montre que plus de 80% des sols de la zone sont taillés dans des roches granitiques, formations meubles et vulnérables vis-à-vis de l'érosion différentielle.

¹⁰ Composition des roches au sein d'un ensemble géologique

Les formations quartzitiques s'observent sur les flancs du bassin versant. Ce sont de modelés structuraux résiduels, ce qui laisse penser à une possible érosion régressive. Avec les pertes en terres suite à l'érosion estimés à 18 tonnes / ha / an (Roose, 1994), la susceptibilité à la dégradation complète de la couche superficielle du sol est grande dans le cas d'un scénario d'absence de mesures de conservation des sols.

Se référant à l'échelle d'altération des minéraux établie par Goldich (1938) cité par Rugema (1990) On peut expliquer la forte susceptibilité d'altération de quelques roches présentes dans la zone d'étude qui appartient au domaine tropicale chaude et humide. Ces roches dégagent d'épaisses couches d'altérités qui sont facilement altérables.

L'analyse minutieuse de la carte pédologique de la zone d'étude montre une prédominance des phyllithes¹¹. D'après Nahimana (1998), les phyllithes sont constituées à plus de 60% par la biotite et la muscovite et à moins de 40% de quartz associé à du plagioclase¹².

Pour cette roche, la facilité de l'altération est due à l'effet combiné de la biotite et du plagioclase. Car ces minéraux s'altèrent facilement par rapport au quartz et à la muscovite.

Pour les granites, la composition minéralogique comporte principalement des feldspaths potassiques (30%), des plagioclases (30%) du quartz (30%) des micas blancs (5%) et la biotite (5%) (Nahimana, 1998). C'est cette présence des plagioclases et de la biotite qui rendent cette roche très altérable. Comme les produits d'altération du granite libèrent généralement des grains (arènes), ceci favorise le balayage par ruissellement diffus dans les secteurs fortement déboisés de Burenge, Nyanza et Kigina.

Néanmoins, quelques endroits de reliefs ont résistés à l'érosion suite à la structure de la roche en place. Le cas concret est celui de Kizenga qui est taillé en quartzites et qui perche à 1900m d'altitude. A Nyunzwe aussi, les chaînons quartzitiques en lame de couteau qui se démarquent dans la morphologie de la région sont une preuve de plus.

Les formations schisteuses témoignent la présence de nombreuses vallées alluvionnaires souvent de grande ampleur. Il s'agit des zones humides avec une importance capitale sur la vie des écosystèmes aquatiques.

¹¹ Les phyllithes sont des roches tendres et très altérables

¹² Le quartz et la muscovite sont des roches à teinture blanchâtre. Elles sont dures et résistants vis-à-vis de l'érosion différentielle.

Néanmoins, les différents intervenants dans les entretiens affirment assister à un assèchement des secteurs considérables des marais. C'est le cas de la vallée de la Ndurumu et ses vallées connexes, des vallées organisées autour de la Kanyaru et ses affluents.

L'eau étant le principal facteur d'érosion. « Aucune roche, si dure soit-elle ne lui résiste, car elle agit de diverses manières : force mécanique, dissolution, abrasion par les matériaux transportés. » (Terminier et Terminier, 1960).

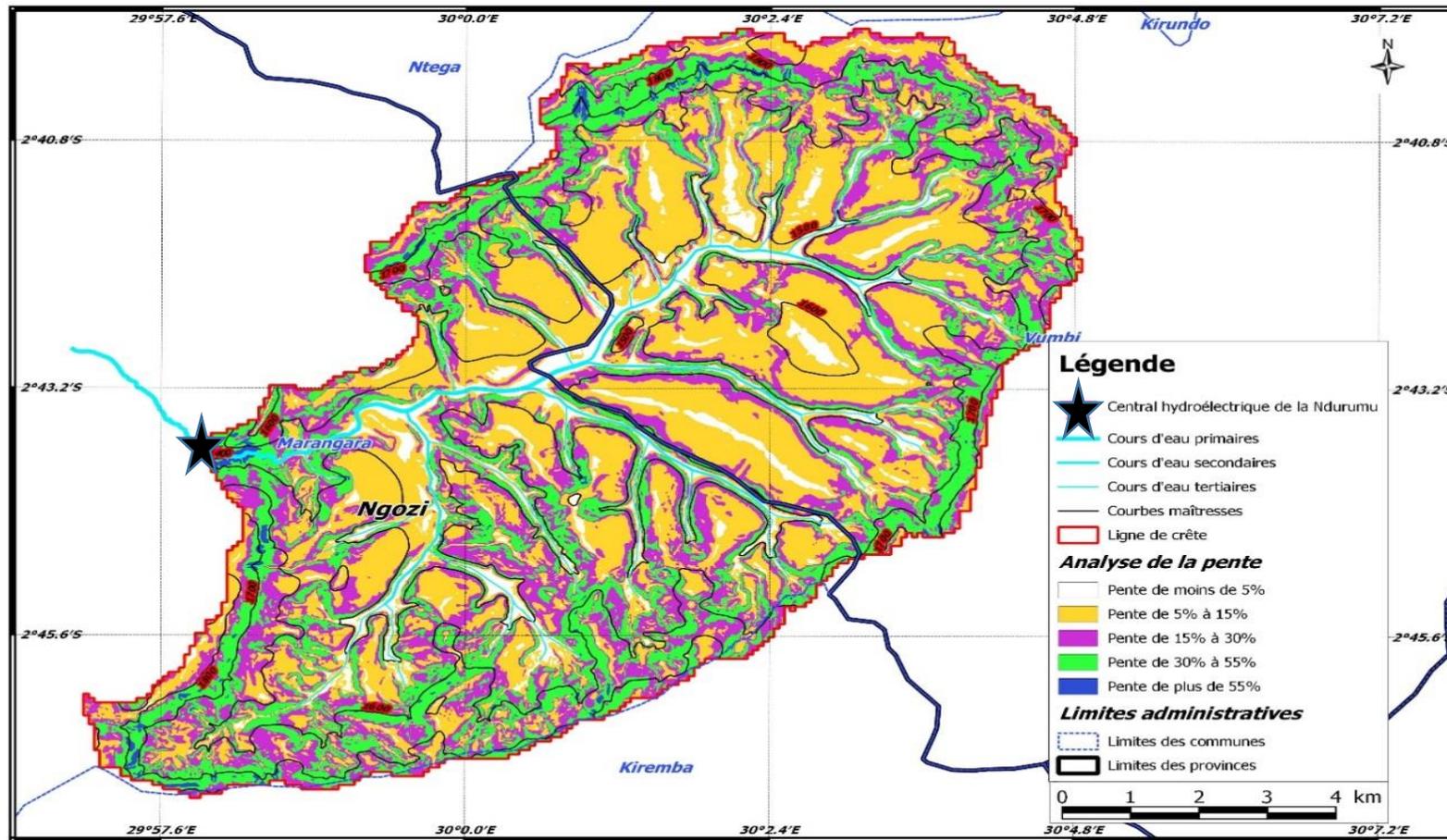
Le caractère tendre des roches en place rend aussi facile l'érosion des berges des cours d'eau et des ravins pendant la saison pluvieuse ; les eaux charrient tout ce qu'elles rencontrent à leur passage. Elles se servent de ces objets transportés pour creuser et saper les lits et les berges des cours d'eaux.

2.1.3. Toposéquence

Comme la vitesse de ruissellement croît avec la déclivité de la pente et que l'érosion augmente avec la vitesse de ruissellement, il va sans dire que l'érosion devient plus importante lorsque la déclivité de la pente croît. Selon FAO (1994), l'influence de la pente sur l'érosion est importante mais il existe aussi l'érosion et le ruissellement intense sur des pentes douces. Il n'est donc pas besoin de forte pente pour déclencher le phénomène d'érosion.

Dans ce bassin versant où on enregistre beaucoup d'endroits très pentus (la zone de contact entre la crête et l'escarpement où les pentes dépassent facilement 50%) le critère inclinaison joue beaucoup, presque toutes les formes de glissements de terrains trouvent l'explication dans ce critère (déclivité). Bien entendu, il agit en connivence avec d'autres agents (détrempage, roches, couverture végétale, ...).

Plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie (c'est le même jeu que la conduite forcée en hydro-électricité), ce qui occasionne des déplacements énormes de terres et des dégâts dans les zones basses (inondation, destruction des infrastructures, ...). Compte tenu de la pente, la majeure partie du bassin versant peut être considérée comme marginale et fragile malgré son caractère historiquement plus fertile. Ainsi, suite à son fort potentiel agronomique, ces terres agricoles ont été les premiers à être occupés ce qui a engendré leur utilisation excessive dans une anarchie sans précédent suite à l'absence d'un mode de gestion et d'aménagement approprié.



Source : Auteur à partir du MNT, Burundi 2013

Figure 10: Carte des pentes

L'analyse de la pente nous donne quatre (4) niveaux de dissection à savoir le fond de vallée avec une pente inférieure à 5%, le piémont constitué de terrain de pente comprise entre 5 et 15%, les secteurs de pente comprise entre 15 et 30%, les zones à profil convexe et concave avec une pente comprise entre 30 et 55% ainsi que la topographie à pente raide (supérieure à 55%)

2.1.4. Végétation

Au sein des écosystèmes des bassins versants, la végétation a pour fonction d'effet de battance. Elle ne se borne pas à protéger passivement le sol elle contribue à renforcer sa capacité propre de résistance (Neboit, 1979).

La région de Ngozi en générale et la zone d'étude en particulier a été peuplée depuis longtemps. Cela fait que la végétation naturelle sur les collines a pratiquement disparu sous l'action de l'homme par l'exploitation intensive du sol et les feux de brousse malgré les mesures de protection mises en œuvre par les décideurs politiques (Ndimira, 1991). Les rares vestiges de la végétation s'observent sur les clôtures et à la limite des parcelles. On y rencontre trois espèces d'euphorbiacées : *Synadenium*, *Euphorbia grantii* et *Euphorbia tirucalli* (Nkurunziza, 2000).

Selon le même auteur, sur les collines, le genre prédominant est l'*Eragrostis* qui occupe presque la totalité de l'espace non cultivé. Les autres graminées qu'on y rencontre sont l'*Hypanthia* et l'*Eriosema mirabile*. A ces différentes espèces d'herbes sont mêlés de multiples arbustes tels que l'*Acanthus arboreus* et le *Salanum acaleastrum*. On remarque également quelques grands arbres isolés tels que le *Dracaena Steudneri*, l'érhythrine, l'*Accacia abyssinica*.

Selon les enquêtés, depuis quelques années, l'on assiste à un recul net de cette végétation. Il ne reste que les rares vestiges et cette situation est plus alarmante surtout dans les marais. La densité de la population de plus en plus forte et l'extension des cultures ont détruit ces végétations.

2.2. Déterminants anthropologiques de l'érosion

2.2.1. Caractéristiques socio démographiques

De manière générale, la zone d'étude n'échappe pas à la pression démographique caractéristique des plateaux centraux du Burundi. Sa population qui est essentiellement rurale accuse une densité moyenne de 462, 22 habitants/ km² (PAM, 2014) avec un taux d'accroissement annuel de 3,6%.

2.2.1.1. Taille du ménage

L'analyse démographique de la zone d'étude a permis de constater qu'elle fait face à une démographie galopante majoritairement juvénile. Selon les données du recensement confirmées par l'étude, la composition moyenne du ménage est 6 personnes.

Selon Niyonkuru et al (2013) la pression démographique constitue un frein majeur à une lutte efficace contre l'érosion, car à cause de la non-disponibilité des espaces cultivables, le paysan exploite tout l'espace qui lui est disponible sans tenir compte des conséquences néfastes qui s'en suivent.

2.2.1.2. Niveau d'éducation du chef de ménage

Généralement, le bon niveau d'instruction du chef de ménage contribue efficacement au transfert de l'information pertinente car l'éducation est un outil nécessaire d'émancipation du peuple. Les sujets instruits sont capables d'analyser des situations pour en définir des stratégies, établir une feuille de route et ainsi choisir les meilleures options de leur destin.

L'éducation permet donc aux agriculteurs de résoudre les problèmes des bassins versants, d'en identifier les causes dans l'optique d'utiliser les divers moyens pratiques d'aménagement des bassins versants tels que les technologies traditionnelles ou introduites en matière de gestion conservatoire de l'eau et du sol. Le tableau 2 détaille la répartition des ménages selon le niveau d'éducation.

Tableau 2. Répartition des chefs de ménage selon le niveau d'instruction

Niveau	Analphabètes		Niveau primaire		1 ^{er} cycle humanité		2 nd cycle humanité	
	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
Commune								
Vumbi	10	50	9	45	1	5	0	0
Marangara	15	63	6	25	1	4,2	2	5

Source : Auteur, 2016

Pour les ménages de l'échantillon des deux communes du bassin versant de la Ndurumu, il a été constaté que 56,8% sont analphabètes, 34% sont capables de lire et d'écrire, 4,6% ont fait la septième année jusqu'à la 10^{ème} année, 4,6% ont terminé le cycle des lycées.

Cela indique que la zone d'étude est plus dominée par les ménages analphabètes ce qui est un handicap pour l'adoption des innovations en matière de la lutte antiérosives comme le montre le tableau 3.

Tableau 3: Adoption des innovations en matière de lutte antiérosive

Type de ménages	Taux d'adoption des techniques de CES
Ménage dirigé par le chef de ménage instruit	82
Ménage dirigé par le chef de ménage non instruit	18
Total	100

Source: Enquêtes de l'auteur, 2016

Les résultats du sondage indiquent que la plupart des dispositifs antiérosifs ont été mis en place par les ménages dirigés par le chef de ménage instruit. 82% des ménages dont le chef est instruit pratiquent la lutte antiérosive alors que le taux d'adoption chez les non instruit est de 18%.

2.2.2. Domaine foncier

2.2.2.1. Taille des exploitations

Le Burundi dont la technique agricole est encore traditionnelle se caractérise par une faible dimension des exploitations agricoles. Ainsi, comme l'écrit Leurquin (1960), « tous les pays où l'exploitation conserve un caractère de culture maraîchère, où règne la civilisation de la houe et du feu, sont caractérisés par la faible dimension des exploitations, même là où le sol n'est pas rare». Loin d'être d'abord un indice de la pression sur le sol, la taille réduite des exploitations agricoles exprime avant tout l'incapacité de la population à maîtriser les ressources de l'environnement.

La zone d'étude n'échappe pas à la règle des exploitations agricoles réduites caractéristiques des économies traditionnelles. La taille s'amenuise au rythme de la poussée démographique. Le tableau 4 résume les superficies des exploitations agricoles.

Tableau 4 : Superficies des exploitations agricoles

Taille des exploitations	% d'exploitants
0-0.5 ha	56
0.5-1 ha	29
Plus de 1 ha	15
Total	100

Source : Enquête 2016

L'interprétation du tableau 4, élaboré à partir des données estimatives de superficies des exploitations des ménages, montre que la superficie agricole pour la majorité de la population de la zone d'intérêt est située entre 0 et 0.5 ha. Cette tranche représente 56% de toutes les exploitations. Par contre, les exploitations dont la superficie dépasse 1ha sont représentées par 15% et 29% des exploitants vivent d'une superficie agricole comprise entre 0.5 - 1 ha.

Cela nous amène à distinguer trois (3) catégories d'exploitants aux moyens de subsistance différents :

Un groupe de très petites exploitations (0 à 0,5 ha par exploitant) leur toute petite surface ne leur permet pas de vivre sans faire appel à d'autres activités complémentaires (artisanat, vente de la main d'œuvre). La valeur ajoutée ne dépasse pas 120000 à 150000 Fbu par an (moins de 100 dollars par an);

Un deuxième groupe des agriculteurs disposant d'une superficie un peu plus grand par rapport aux précédents (0,5 à 1 ha par exploitant) : La valeur ajoutée par actif oscille entre 400000 Fbu et 450000 Fbu par an.

Un autre groupe des agriculteurs constitué de propriétaires d'exploitations plus vastes de plus de 1 ha par travailleur avec un revenu annuel estimé à 1000000Fbu par an.

Compte tenu de la lourdeur des travaux d'aménagement des bassins versants, seul le troisième groupe peut participer à la gestion durable de l'eau et des sols. Ceci nous amène à affirmer que seuls 15% des exploitants agricoles sont capables de contribuer dans les travaux de lutte antiérosive.

2.2.2.2. Utilisation des terres et la tenure foncière

Dans la zone d'étude, on distingue les plantations forestières qui sont installées soit sur des terres domaniales (25%), les terres privées de l'état (35%) ou sur les terres des particuliers ou collectivités (40%).

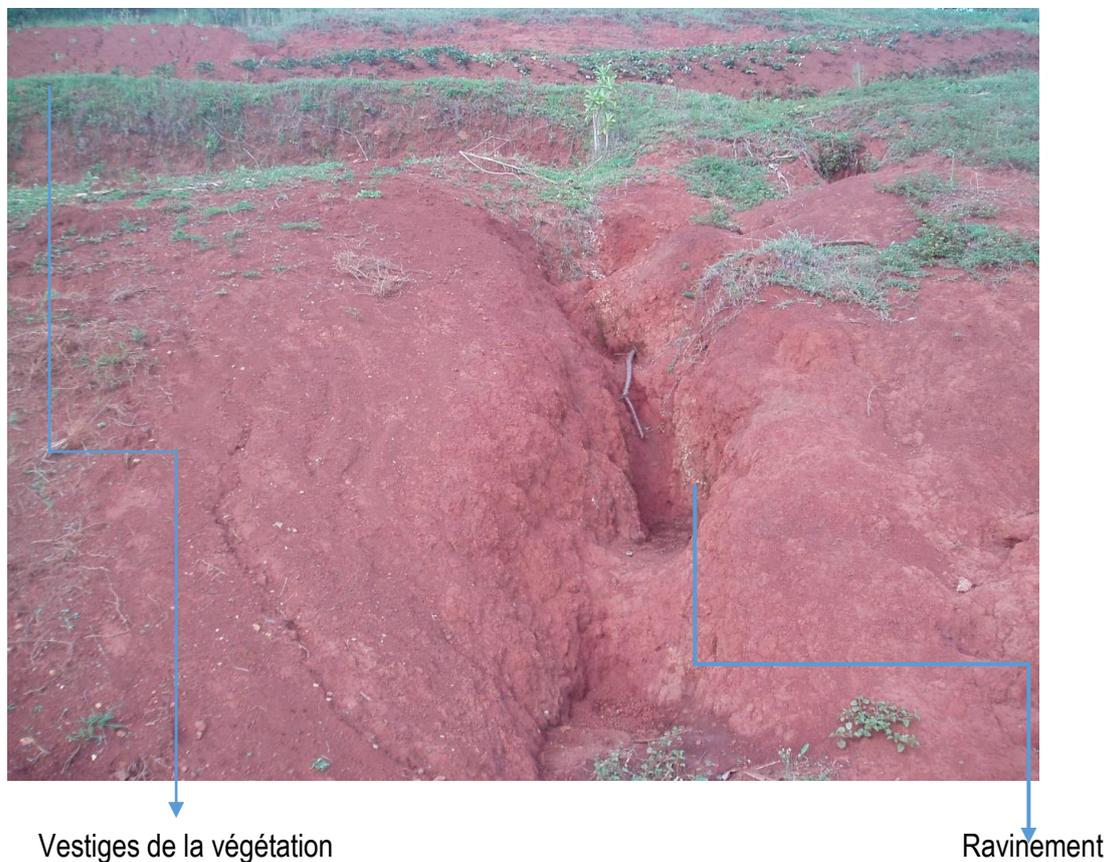
Les principales spéculations sont le manioc, la patate douce et la pomme de terre. Le maïs, les pommes de terre et légumes sont cultivés le long des vallées en U et de faible altitude alors que le manioc et les haricots sont cultivés sur la colline. D'autres classes d'utilisation des terres dans le bassin versant comprennent des cultures pérennes (dominé par des plantations de café et de bananes), les rizières irriguées le long des principaux cours d'eau, les zones bâties etc.

Selon la direction provinciale de l'agriculture et de l'élevage, les cultures saisonnières couvrent 65,4%, les plantations forestières occupent la deuxième position avec un pourcentage proportionnel estimé à 24,5%, suivies par des cultures pérennes (4,4%) et les terres irriguées (4%). D'autres types d'utilisation des terres occupent une très faible proportion même si ils sont importants en termes de gestion des bassins versants. Tel est le cas des routes, les zones d'extraction des matériaux de construction etc.

2.2.3. Impact des facteurs anthropiques sur la dégradation des bassins versants

Les facteurs physiques ne sont pas les seuls à pouvoir expliquer la dégradation du sol car les facteurs humains sont aussi déterminants. En effet, c'est l'homme qui occupe, transforme, domine le milieu et lui imprime à sa façon un nouveau visage.

Par l'érosion, la dégradation des terres devient une conséquence directe des activités anthropiques car, dans ses manœuvres de satisfaire ses besoins quotidiens, l'homme semble être l'auteur de l'érosion par ses pratiques culturales, déboisement abusif, ses aménagements, les feux de brousse et le surpâturage. Cela fait que beaucoup de terrains non aménagés se trouvant sur des pentes fortes sont le théâtre du ravinement comme cela s'observe sur la figure 11.



Vestiges de la végétation

Ravinement

CP Auteur, Aout 2016

Figure 11: Erosion en rigole dans le secteur Rwindonyi

Sur la base de l'évaluation sur le terrain, les aménagements irréguliers, spontanés et individuels sont la source de la formation de rigoles et ravines. Selon certains répondants et par l'observation du terrain, le faible niveau de participation communautaire à la gestion des bassins versants, la perte de la couverture végétale, le caractère meuble du sol sont les principales causes de l'érosion différentielle dans le bassin versant.

La figure 12 montre une parcelle agricole menacée par l'érosion car les fossés antiérosifs ne sont pas développés ou suffisamment entretenus. Dans ce secteur, les eaux de pluies en provenance de la crête quartzitique s'attaquent aux plantations se trouvant en aval laissant les griffes d'érosion.



CP: Auteur 2016

Figure 12: Griffes d'érosion dans une exploitation agricole

Le ruissellement diffus et concentré en provenance des secteurs en amont provoque une importante érosion des sols et la dégradation des champs de culture. L'érosion du sol entraîne des nutriments et la matière organique (humus), aboutissant à la perte de la stabilité structurale du sol et la nécessité des amendements du sol.

Lorsqu'une goutte d'eau tombe du ciel, elle acquiert une énergie cinétique proportionnelle à la hauteur de sa chute ($E=mgh$)¹³. Cette énergie est transférée au sol au moment du contact, comme l'énergie d'un marteau est transférée dans, une pierre que l'on frappe » (Dupriez et Deleneer, 1990). Ce sont des gouttes de pluies qui tombent et provoquent l'éclatement et le déplacement des agrégats du sol.

¹³ Formule de l'énergie potentielle

CHAPITRE III. ANALYSE DU MODE DE GESTION ET PROPOSITION D'UN MODELE DURABLE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE NDURUMU

Les pratiques de conservation et de gestion des bassins versants mises en œuvre dans les hautes terres sont orientées principalement vers la remise en état des terres dégradées, la protection des sols, l'eau et autres ressources naturelles pour produire de la nourriture, du fourrage, des produits ligneux et non ligneux pour une bonne conservation de l'eau et des sols (FAO, 1986; Khan, 2002).

Il va sans dire que la gestion des bassins versants implique l'utilisation rationnelle de l'eau et du sol dans une aire géographique donnée de manière à permettre une production durable et à minimiser les inondations.

3.1. Réponses de conservation et de gestion des terres

Selon Roose (1994) le billonnage cloisonné en courbes de niveau améliore le stock d'eau du sol et réduit ainsi l'impact érosif des eaux de surface. L'auteur rejoint la FAO (2008) qui estime que les techniques biologiques (paillage, plantes de couverture, rotations, etc....) sont plus efficaces par rapport aux techniques mécaniques qui sont non seulement très coûteuses mais aussi très difficiles à entretenir et rentabiliser.

3.1.1 Pratiques de conservation des sols et de l'eau

Les services techniques du département de génie rural ont définis les mesures de conservation de l'eau et des sols. Ces dernières sont adaptées en fonction de la pente (MINAGRI, 2016).

3.1.2. Adoption des pratiques de conservation des sols et de l'eau

Dans la zone d'étude, il existe deux pratiques de conservation de l'eau et des sols largement utilisés. Ce sont les haies d'herbes fixatrices ainsi que les fossés d'absorption. Le tableau 5 montre le taux d'adoption des techniques de lutte antiérosive.

Tableau 5 : Taux d'adoption des techniques de lutte antiérosives

Techniques utilisées	Oui (%)	Non (%)
Terrasses radicales	0	100
Arbres agroforestiers sur les fossés antiérosifs	13.8	86.2
Simple fossés d'absorption	41.5	58.5
Haies d'herbes fixatrices	86.2	13.8

Source : Données d'Enquête, 2016

Ce tableau montre un fort taux d'adoption des haies d'herbes fixatrices et les fossés d'absorption alors que les terrasses radicales sont peu ou pas pratiquées. Les observations sur terrain ont révélé que les dispositifs de lutttes antiérosives sont maintenus lorsque l'agriculteur est en même temps éleveur ou entretien des relations économiques d'échange avec l'éleveur. L'agriculteur trouve l'intérêt à disposer des quantités énormes d'herbes fixatrices sur les fossés antiérosifs et les résultats sont même révélateurs à tout observateur de cette mise en valeur.

Les discussions menées avec les différents producteurs prouvent leur faible engouement par rapport à la plantation des arbres agroforestiers sur les fossés. La raisons avancée est la faible superficie exploitable. Les faibles capacités des exploitants agricoles en techniques de conservation des sols peuvent aussi être à la base du non adoption de ces techniques.

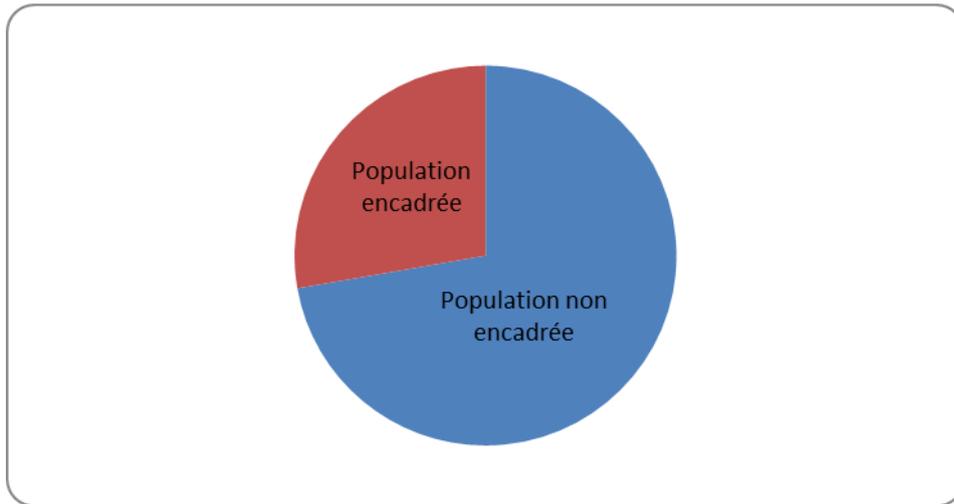
Ainsi, l'éducation permet aux agriculteurs de résoudre les problèmes des bassins versants et les causes en utilisant diverses pratiques de gestion des bassins versants, les technologies endogènes et introduites de conservation du sol. Le tableau 6 renseigne sur les capacités de conservation des sols

Tableau 6: Evaluation des capacités de conservation du sol

Technique de conservation	OUI	NON	Total
	%	%	%
Techniques de production de plants agroforestiers	12.3	87.7	100.0%
Techniques de plantation des plants agroforestiers	16.4	83.6	100.0%
Techniques de conduite et d'entretien des plants agroforestiers	14.8	85.2	100.0%
Techniques de valorisation des essences agroforestières	24.6	75.4	100.0%

Source : *Données d'Enquête 2016*

En effet, il se remarque une grande absence des techniques de protection et de conservation du sol. Les chiffres témoignent que la population est faiblement encadrée (Figure 12).



Source : Enquête de l'auteur 2016

Figure 13: Encadrement des exploitants agricoles.

L'analyse du diagramme montre que seuls 28% des ménages, affirment avoir déjà reçu un encadrement technique de la part des vulgarisateurs malgré le faible niveau de satisfaction des connaissances acquises.

3.1.3. Participation communautaire dans la conservation de l'eau et du sol.

3.1.3.1. Participation à la mise en œuvre

Les gouvernements et les ONG ont reconnu que la protection des bassins versants ne peut être atteinte sans la participation volontaire des populations locales (Pretty et Ward, 2001).

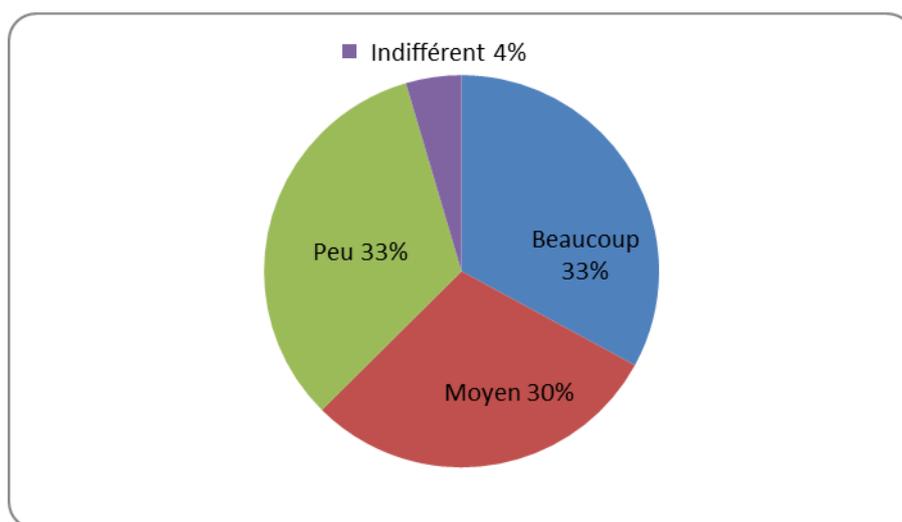
Dans le cadre de cette analyse, une tentative a été faite pour évaluer la participation des ménages ruraux aux activités de conservation de la fertilité du sol par leur propre initiative ainsi que par forces coercitives extérieures.

Certains agriculteurs ne sont pas d'accord pour la mise en œuvre de ces mesures de conservation pour la simple raison qu'ils ne disposent pas d'assez de superficies aménageables, ces dispositifs antiérosifs réduisent les exploitations agricoles déjà en miniature.

3.1.3.2. Participation à la maintenance

La participation communautaire est nécessaire non seulement pour la mise en œuvre mais aussi pour la maintenance. Cependant, l'observation faite sur terrain a montré que la plupart des aménagements faits dans le bassin versant ont été partiellement ou totalement détruits.

A en croire aux réponses obtenues, le dispositif antiérosif, une fois endommagé, n'est jamais entretenu. Les agents de vulgarisation estiment que cela est lié à la faible adhésion des agriculteurs qui se considèrent comme des spectateurs et non les acteurs de l'aménagement de leurs terres.



Source : Enquêtes de l'auteur, 2016

Figure 14: Perception des exploitants sur leur implication dans les programmes d'aménagement

L'analyse de la participation communautaire dans la conception et la mise en œuvre des programmes d'aménagement des bassins versant montre que 33% sont satisfaits de l'encadrement tandis que 30% sont moyennement satisfaits et 33% sont peu satisfaits et 4% se sont abstenus de réponse à la question. Cela prouve le faible degré d'implication des exploitants. Dans la mise en œuvre des activités, aucun des projets ne s'est intéressé au renforcement des institutions de gestion communautaire. Ils ont suivi une approche descendante et les populations ne sont consultées qu'au moment de la mise en œuvre, ce qui a entravé l'appropriation des acquis et réalisations et a entraîné l'échec des projets. Ce qui confirme notre deuxième hypothèse selon laquelle l'approche de gestion des bassins versant ne favorise pas une appropriation durable par les bénéficiaires ce qui nous amène à proposer un mode de gestion durable du bassin versant

3.2. Propositions d'un mode de gestion durable du bassin versant

Pour un développement durable, il faut aménager et conserver les ressources et orienter les changements techniques et institutionnels de manière à satisfaire les besoins des générations actuelles et futures (dans les secteurs de l'agriculture, des forêts). Il s'agit de conserver les terres, les eaux et le patrimoine phyto et zoo génétique et utiliser les moyens sans danger pour l'Environnement, techniquement bien adaptés, «économiquement viables et socialement acceptables » (FAO, 1992).

Ainsi, trois aspects d'importance égale devraient être pris en compte pour la gestion et l'aménagement du bassin versant de la rivière Ndurumu : l'aspect écologique, l'aspect économique et l'aspect social (FAO, 2000). En d'autres termes, c'est une façon d'optimiser l'utilisation des ressources du bassin versant. Il s'agit donc d'une utilisation des ressources qui permet d'assurer la gestion durable de l'écosystème et d'assurer une production plus abondante en impliquant les communautés au processus de développement et à la prise de décisions.

En effet, toute cette dynamique repose sur l'homme en tant que concepteur-gestionnaire des terres: ses activités économiques et la pression démographique toujours croissante, engendrent des concurrences et des conflits, aboutissant souvent à une utilisation infra-optimale des terres. Pour cela, l'intégration de l'aménagement du territoire, de la planification et de la gestion de l'utilisation des sols est un moyen pratique et rationnel d'exploiter de manière efficace la terre et les ressources naturelles.

3.2.1. Suggestion pour un aménagement intégré de l'espace

La proposition de plan d'aménagement résulte d'un examen biogéographique de la zone et d'une analyse d'utilisation des sols. Elle tient compte des impératifs agro-pastoraux comme moyen de subsistance et de promotion du développement de la population. Ainsi, ce plan vise à sauvegarder les différents écosystèmes forestiers afin de servir de régulateur d'un milieu en transformations rapides. Cette approche permettrait d'atténuer le conflit, d'établir les équilibres les plus rentables et de lier le développement économique et social à la protection de l'environnement, ce qui contribuerait à atteindre les Objectifs d'un Développement Durable (ODD) et plus particulièrement l'objectif 15¹⁴.

Pour la mise en valeur du bassin versant, il est à signaler d'abord qu'une approche aussi intégrée soit-elle doit trouver son expression dans la coordination des activités de planification et de gestion sectorielle (dans différents domaines).

¹⁴ Objectif 15 des ODD. Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des sols et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité

Bien plus, si la population n'est pas éprise de cette approche, le résultat peut s'avérer dérisoire. L'approche actuelle de gestion du bassin versant se focalise sur des mesures techniques de conservation de l'eau et des sols. Pour assurer une gestion efficace du bassin versant, il faut cependant une approche intégrée, multidisciplinaire et innovante qui tient compte des réalités locales.

3.2.1.1. Zone agricole

Pour être efficace, les techniques de mise en valeur utilisées actuellement devraient être maintenues mais en y associant des techniques préventives et de réhabilitation de l'environnement.

En matière d'irrigations marais, nous proposons de réhabiliter les zones des périmètres en voie d'abandon et aussi développer une politique d'irrigation basée sur la prévention de la salinisation des terres (en tenant compte de la maîtrise du drainage et du contexte agro-climatique), du lessivage en éléments fertilisants, de l'hydromorphie et de la remontée du niveau de la nappe phréatique.

3.2.1.2. Espace pastoral

Pour mieux gérer cet espace, il est indispensable de concevoir des projets visant à doter des espaces de production fourragère, à montrer aux éleveurs les systèmes de gestion de cet espace et à produire des incitations destinées à réguler la charge en bétail par rapport aux ressources fourragères.

3.2.1.3. Zone extra agricole

Pour la bonne gestion de cet espace la pratique des feux n'est pas à écarter totalement. Il est assez illusoire de vouloir empêcher les feux de brousse. Tout au plus, peut-on les contrôler, les faire pratiquer selon les méthodes de gestion qui dégradent le moins possible l'environnement tout en prenant en compte les besoins énormes des éleveurs. (Genny et al, 1992).

C'est une solution qui peut être considérée comme une technique préventive, dans la mesure où sa gestion constitue une forme de pare-feu qui protège le milieu contre les dégâts ultérieurs pouvant être graves.

3.2.2. Plan de réhabilitation des espaces dégradés du bassin versant

Par définition un bassin versant est une zone topographiquement délimitée qui est drainée par un système fluvial et correspond donc à la superficie totale des terres drainées en un point donné d'un fleuve ou d'une rivière (MINAGRI, 2010).

Ainsi, on entend par dégradation des bassins versants, leur perte, avec le temps, de la valeur relative au potentiel de production des terres et de l'eau. Cette dégradation s'accompagne par de nets changements du comportement hydrologique du système fluvial, qui se traduisent par une diminution de la qualité, de la quantité et de la régularité du débit. En définitive nous suggérons que l'aménagement des bassins versants tienne compte des facteurs sociaux, économiques et institutionnels agissant à l'intérieur et à l'extérieur de ces bassins versants.

3.2.2.1. Mesures techniques de réhabilitation du bassin versant de la rivière Ndurumu

Les bassins versants ont des formes variées et certaines formes d'exploitations nécessitent des ressources complémentaires. L'aménagement des bassins versants implique un processus décisionnel concernant ces formes d'exploitation et par conséquent une approche pluridisciplinaire.

Selon le type de paysage, un type d'aménagement approprié doit être adopté. Pour y arriver, il est nécessaire, d'analyser la déclivité de la pente du bassin versant¹⁵. Cet aménagement devrait suivre les différentes méthodes de lutte antiérosive utilisées dans la protection des sous bassins versants. En fonction des pentes, les techniques ci-dessous sont proposées:

3.2.2.1.1. Plan de réhabilitation des secteurs avec une pente inférieure à 5%

La fraction du bassin versant où la pente est inférieure à 5% représente 8,1% de la superficie totale. Il s'agit d'une zone de replat ne nécessitant pas d'aménagement particulier au cas où ses rebords sont protégés. C'est une zone caractérisée par des activités agricoles intensives avec un usage limité d'intrants. La plantation d'herbes fixatrices et du bambou est à privilégier le long des berges des rivières. Avec leur enracinement profond, ils protègent le terrain contre les éboulements des berges et la sédimentation.

3.2.2.1.2. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes entre 5 et 15%

Cette plage de pente correspond à 28,6% du bassin versant. Certaines activités de conservation à mettre en œuvre consisteraient en la mise en place des fossés d'absorption par la plantation d'arbres et arbustes le long desdits fossés. Les cultures intercalaires et l'épandage du fumier organique sont recommandés pour la reconstitution de la fertilité du sol.

¹⁵ La déclivité de la pente désigne l'allure topographique du terrain.

3.2.2.1.3. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes entre 15 et 30%

Les pentes allant de 15 à 30% sont prédominantes dans le bassin versant de la rivière Ndurumu avec une superficie correspondant à 38,1% du bassin versant. Cette zone correspond presque aux activités agricoles intensives. Les activités de conservation durable du secteur devraient comprendre la construction des fossés d'absorption, plantation d'arbres / arbustes le long des fossés avec des espèces d'arbres agroforestiers comme (*Grevillea, Caliandra, Leucena, Cedrera, Greveria et Cedrella*) (Bekele, 2007).

3.2.2.1.4. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes entre 30 et 50%

Les secteurs de pente comprise entre 30 et 50% occupent une superficie correspondant à 14,5%. L'utilisation des terres dans cette zone est marquée par les zones boisées associées à certaines activités agricoles. La partie aval est en grande partie réservée aux activités agricoles alors que dans la partie amont les zones boisées sont prédominantes. Pour aménager la zone, nous proposons les terrasses progressives avec une clôture antiérosive à base du *Banna Grass, Tripsacum laxum* et *Setaria Cephacelata*. Les secteurs couverts de forêts ou bosquets doivent être maintenus afin de garder la structure originelle de la zone.

3.2.2.1.5. Plan de réhabilitation de zones avec des pentes supérieures à 50%

Comme on l'a vu dans le chapitre précédent, la zone est susceptible au glissement de terrain et à l'érosion différentielle donc sa mise en culture n'est pas recommandée. Pour leur réhabilitation et /ou protection, il faut interdire toute activité ameublissant le sol et favoriser le reboisement par des essences forestières tels que les eucalyptus qui seraient plantés en quinconce avec une densité de 1100 arbustes / ha).

3.2.2.1.6. Plan de Réhabilitation des Ravins

Au cours de nos observations de terrain et selon les entretiens, le système de ravinement est très actif dans la zone. En cas d'averses violentes, passent à travers ces ravins de quantités importantes de sédiments déposés en aval du bassin versant. Pour leur réhabilitation, ces sédiments peuvent être capturés dans le ravin et contribuer à la stabilisation du lit du ravin par le remblayage progressif. Compte tenu de la topographie et le niveau de l'érosion du sol, certains déversoirs devraient être érigés tout le long du lit du ravin afin de ralentir le passage de l'écoulement et de permettre la sédimentation de se réaliser progressivement. Ces déversoirs seraient formés à partir de divers matériaux locaux complantés d'espèces à fort enracinement tels que *l'Erithrina abiscinica* disponible dans la zone.

3.2.2.2. Mise en place d'une zone tampon

Pendant la visite dans le bassin versant de la rivière Ndurumu, il a été relevé que les activités agricoles arrivent jusqu'au rebord supérieur de la rivière. La disposition du code de l'eau du Burundi qui fixe une zone tampon de 5 mètres pour cette catégorie de rivières n'est pas respectée et cela entraîne les éboulements de berges en cas de crues. La réhabilitation de la zone devrait passer par le respect minimum de la bande tampon qui serait par la suite végétalisée à base du *Bambousa Vulgaris*.

3.2.3. Mesures de consolidation et de la gouvernance du bassin versant

3.2.3.1. Approche participative, communication et gestion des ressources naturelles

L'approche participative est une démarche qui peut être appliquée à tout programme de développement rural. Elle vise l'implication effective des populations dans le processus d'amélioration de leurs conditions de vie tout en assurant le développement des ressources naturelles et leur exploitation/gestion sur une base durable à leur profit.

Par ailleurs, la mise en œuvre de l'approche participative impose l'apprentissage d'un mode d'intervention nouveau tant pour les populations, qui ont une vision déformée des services écosystémiques des bassins versant et des projets (pourvoyeur de fonds), que pour les agents techniques qui doivent apprendre à écouter les populations et à ne pas imposer à priori leur savoir technique.

3.2.3.2. Appui à la mise en place de groupements de gestion communautaire des ressources naturelles

Citant McKean et Ostrom (1995), YelKouni (2004) définit la propriété communautaire comme étant le type de droit de propriété selon lequel un groupe d'utilisateur partage des droits et obligations vis-à-vis d'une ressource.

En dehors des terres qui appartiennent à certains privés, ni l'Etat, ni la commune, n'ont les moyens pour assurer seuls la mise en place et la gestion des ressources naturelles domaniales et/ou communales. Une implication des populations aboutira à un partage des efforts ; ce qui limitera les pertes observées à travers les cas de surexploitation et autres opérations frauduleuses et/ou de sabotages (notamment les feux de brousse).

Pour y arriver, la méthodologie suivante devrait être adoptée avec un regard lucide sur la mise en œuvre des activités de conservation surtout dans la commune Marangara où plus de 95% des espaces à reboiser appartiennent à l'état ou à la commune. Concrètement il faudrait instituer le principe de gestion communautaire et participative avec l'objectif de protéger les terres arables et accroître les disponibilités du bois énergie.

La participation de la population étant reconnue comme la clé du succès de la gestion durable des bassins versants, tous les intervenants, les utilisateurs en aval des ressources naturelles des bassins versants, les services étatiques concernés, les institutions mises en place pour la gestion du bassin versant, les ONG et les autres parties prenantes devraient être impliquées dès l'élaboration et la mise en œuvre de plan de gestion des bassins versants.

Il s'agit donc de développer un modèle de cogestion (ou gestion mixte) entre la commune et un Groupement de Gestion des Ressources Naturelles (GGRN). Selon ce modèle, le groupement de gestion des ressources naturelles (GGRN) sera une association constituée par des membres volontaires issus de la population environnante du site à réhabiliter. La base légale de cette action pourrait être l'ordonnance ministérielle de 2009 instituant l'aménagement participatif des boisements domaniaux.

CONCLUSION GENERALE

La dégradation des bassins versants a conduit à la réduction de la quantité et la qualité des ressources en terres et en eau. Le quinzième objectif du développement durable nous interpelle à assurer la préservation des écosystèmes montagneux, notamment de leur biodiversité, afin de mieux tirer parti de leurs bienfaits essentiels pour le développement durable. C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude sur l'analyse des déterminants de l'érosion différentielle dans les hautes terres du Burundi et proposition du plan de gestion durable du bassin versant de la rivière Ndurumu afin de mieux cerner la problématique de la dégradation des terres et ainsi proposer des solutions conséquentes.

Les résultats de notre étude montrent que le phénomène de l'érosion différentielle n'est qu'une crise écosystémique résultant des facteurs naturels amplifiés par les facteurs humains. Cette crise est liée à l'exploitation anarchique des ressources naturelles, influencée par la situation économique précaire et structurelle des ménages qui ne parviennent pas à intégrer les initiatives de gestion durable des terres.

Les hautes terres du Burundi en général et les communes concernés par l'étude en particuliers sont densément peuplées et cela a comme corolaire l'atomicité des exploitations (Selon notre étude 56% des exploitations ont une superficie de moins d'un demi-hectare), ce qui constitue un obstacle à tout mécanisme de défense et de gestion conservatoire de l'eau et des sols.

S'agissant de l'érosion, plusieurs variables entrent en jeu d'où la nécessité d'une approche holistique. Les fortes précipitations combinées aux températures élevées et constantes renforcent le degré d'altérabilité des roches qui sont par ailleurs développées sur les fortes pentes. La pression démographique (462,22 habitants/km²) a négativement impacté la gestion durable des ressources naturelles et mis à nu les terres cultivables, ce qui renforce l'érosion des sols.

Pour le bassin versant de la rivière Ndurumu, les mesures de conservation de l'eau et des sols mises en œuvre se sont révélées inefficaces sur le plan maintenance et la durabilité des ouvrages de lutte antiérosifs mis en place.

L'accent a été mis sur le choix de la technologie de conservation de l'eau et des sols en laissant de côté les questions telles que l'encadrement et l'établissement des institutions communautaires de gestion du bassin versant. Cette échec découle aussi de son approche descendante depuis la planification jusqu'à la mise en œuvre des activités car les communautés locales ne sont que de simples exécutants des ordres venant d'en haut ce qui ne favorise pas l'appropriation durable par les bénéficiaires.

Cela nous amène à proposer un mode de gestion durable du bassin versant qui comprend non seulement la conservation de l'eau et du sol, mais aussi des aspects socio-économiques et structurels des communautés ainsi que les considérations géographiques de la zone telles que le climat, le sol, les précipitations, le degré d'inclinaison de la pente.

Se concentrer seulement sur les aspects techniques ne peut pas apporter une gestion durable des bassins versants. Il faut une large implication des communautés à la base et le renforcement des structures communautaires de gouvernance des ressources naturelles.

Par conséquent, la réussite de la gestion intégrée du bassin versant de la Ndurumu est tributaire de l'éducation environnementale qui tient compte des facteurs biophysiques des bassins versant tout en s'appuyant sur des matériaux disponibles localement et incorporant la technologie indigène ainsi que les valeurs socio culturelles.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Azene et Gathriu (2006), *Participatory watershed management: Lessons from RELMA's work with farmers in eastern Africa*, ICRAF working paper no.22, world agroforestry center, Nairobi.
- Bastien, Frédéric, « La gestion par bassin versant : du principe écologique à la contrainte politique – le cas du Mékong », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Online], Volume 4 Numéro 3
- Bekele-Tesemma, (2007). *Profitable agro-forestry innovations for eastern Africa experience from agro-climatic zones of Ethiopia, India, Kenya Tanzania and Uganda*. World Agro-forestry Centre (ICRF), Eastern Africa.
- Blaikie et Brookfield (1987) *Land degradation and society*. Methuen & Co. Ltd, London.
- Carlo, Benoît et Jean-Philippe (2004), *Aide au processus décisionnel pour la gestion par bassin versant au Québec : étude de cas et principaux enjeux*, Groupe d'études interdisciplinaires en géographie et environnement régional ; (GEIGER), Département de géographie, Université du Québec à Montréal. Cahiers de Géographie du Québec Volume 48, n° 134, Pages 209-238
- Carney, Farrington (1998), *Natural resources management and institutional change*, Routledge, London.
- Cochran (1977) *Sampling Techniques*: New York. pp. 74-76.
- Dube et Swatuk (2002). Stakeholder participation in the new water management approach: a case study of the Save catchment, Zimbabwe, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 27, 867-874.
- Dupriez et Deleneer (1990). *Les chemins de l'eau*. P.143.
- Eric Rose, (1999), Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), Bulletin pédologique de la FAO, 70, p.442.
- FAO (1976), *Comprehensive Integrated Watershed Management*. Agricultural Service Division Working Paper w/k 0653. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy.
- FAO (1986), *Watershed management in Asia and Pacific: Needs and Opportunities for Active Participation Study report*, RAS/85/017, Rome, 166 pp.
- FAO (1992), *Les politiques et activités de la FAO*, Stockholm, 1972- Rio 1992, Rome, p.225
- FAO (2000). *Rural Poverty, Risk and Development*, Rome, p. 144.
- FAO (2008), *La nouvelle génération des programmes d'aménagement des bassins versants*, p.45.
- François (2006), « La montagne au cœur de l'Afrique orientale », *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 235, pp 307-322.
- Genny (1992), *Environnement et Développement Rural*, Guide de la gestion des ressources naturelles, Edition Fison-Roche, Saint-Etienne, p. 264.
- Hinchcliffe, Guijt, Pretty et Shah (1995). *New horizons: The economic, social and environmental impacts of participatory watershed development*. IIED. Gatekeeper Series 50. pp 3-20.

IFPRI (International Food Policy Research Institute), WUR (Wageningen University and Research Center) et ISTEEDU EEPFE (institut des statistiques et d'études économiques du Burundi), (2006). *Pauvreté et dégradation des terres au Burundi* p.60

Kerr, Sanghi et Sriramappa (1996). *Subsidies in watershed development projects in India: distortions and opportunities*, International Institute for Environment and Development, London. Gatekeeper Series No 61.

Khan (2002), *Watershed Management for Sustainable Agriculture*. Agrobios (India), Chopasni Road, Jodhpur, 237 pp, India.

Leurquin (1960), *Le niveau de vie des populations rurales du Rwanda-Urundi*. Louvain. Editions Naurveloerts., p. 121.

Martin (1972), L'érosion différentielle dans la région de Collobrières, massif des Maures - Var. In: *Méditerranée*, deuxième série, tome 11, 3-4-1972. pp. 159-170;

Mathieu (1984), *L'érosion et la lutte antiérosive au Burundi, Conférence présentée à Bukavu (Zaïre) lors du Séminaire sur l'érosion des sols du Kivu (23-28 janvier 1984)*.

MEEATU (2011), *Stratégie nationale et plan d'action de lutte contre la dégradation des sols*, Bujumbura, p.90.

MINAGRI (2010), *Stratégie Sous-sectorielle d'Aménagement des Marais et de Protection des Bassins Versants*, Bujumbura pp 89.

MINAGRI (2011), *Plan National d'investissement Agricole*, Bujumbura, p.99.

MINAGRI (2016), *Protocole pour la lutte antiérosive au Burundi et son plan d'action*, Bujumbura, p.46.

Nahimana (1998), *Métamorphisme, tectonique et magnétisme dans une portion de la chaîne Kibarienne du Nord-Ouest du Burundi*. Tome I. p.30.

Ndimira (1991), « *Dynamique de Problématique d'amélioration des systèmes d'exploitation agricole au Burundi. Cas de la région de Remera* ». Louvain-la-neuve, U.C.L., Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. Option Economie Rurale, p.108.

Neboit (1979), *Les facteurs naturels et les facteurs humains de la morphogenèse. Essai de mise au point* : Annales de Géographie, t. 88, n°490, pp. 649-670.

Niyonkuru, Rwabahungu et Mulungula (2013), « *Déterminants de la pérennité des systèmes antiérosifs au Burundi* », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [Online], Hors-série 17 DOI : 10.4000/vertigo.13890

Nkurunziza (2000). *Contribution à l'étude de la biodiversité végétale du Burundi*, UB, 73p.

Nkurunziza (1982), *Utilisation du sol et organisation agraire dans une "colline" du Burundi*, Thèse de doctorat de 3 è cycle Géographie, Paris 6è, Mars, p. 46.

Nsabimana (1986). *Etude quantitative de l'érosion hydrique en milieu rural du Burundi*, Bujumbura, Université du Burundi pp 416-426

- ODEB (2012) *Etude sur la mise à jour, l'information sur l'importance socioéconomique et environnementale des ressources forestières au Burundi*, p65.
- Pretty et Ward (2001). *Social capital and the environment*, *World Development*, Vol.29, No.2, 209-227.
- Roose (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols (GCES)*. Bull.Sols FAO, Rome, 70 : 420 p.
- Rugema (1990), *Les facteurs géologiques des glissements de terrain dans le secteur ouest et Nord-Ouest du Burundi*, P. 8
- Scherr (1999), "Soil degradation: A threat to developing-country food security by 2020" *Food, Agriculture, and the Environment Discussion*, Paper No. 27, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Sheng (1986), «Watershed management planning: practical approach»: *Water Conservation. A collection of papers for developing countries*. Chinese Soil and Water Conservation Society and Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA, 92 pp.
- Siriex (2003), *Le paysage agricole : une essai d'évaluation*, Université de Limoge, p67.
- Swaran (2001). *Revising Water Management Institutions. Central Soil and Water Conservation Research and Training institute*. Chandigarh, India, p. 47.
- Terminier (1960), *Erosion et sédimentation Introduction à la géologie générale et à la paléogéographie*, p.78
- Tricart (1979), «Paysage écologie et approche systémique (Landscape, ecology and system approach) »: *Bulletin de l'Association de géographes français*, N°465, 56e année, pp. 377-382.
- Yelkouni (2004), *Gestion d'une ressource naturelle et action collective : le cas de la forêt de Tiogo au Burkina Faso*. Economies et Finances. Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, p.119

ANNEXES

1. QUESTIONNAIRE D'ENQUETE

1. Identification

1. Commune
2. Colline
3. Numéro d'ordre
4. Nom chef de ménage
5. Chef de ménage : Homme (1) /Femme (2)
6. 9. Age
7. Interview: chef (1), femme du chef (2), autre homme (3), autre femme (4)

2. Informations sur le ménage

8. Catégorie chef de ménage : marié (1), divorcé/séparé (2), veuf/veuve (3), orphelin (4)
9. Statut de mouvement : déplacé (1), retourné/resté sur place (2), rapatrié (3)
10. Nombre de membres dans ce ménage (en moyenne, ces derniers 2 mois)
11. Nombre d'actifs dans l'agriculture (non inclus enfants < 1)
12. Est-ce que vous possédez de la terre d'exploitation agricole ?
13. [Si non] Travaillez-vous sur une terre prêtée/louée ?
14. Différentes cultures
 - a) Quelles cultures pratiquez-vous en 2008 ? [remplir colonne a du tableau ; ne lisez pas les réponses]
 - b) Mode de culture : Monoculture(1), Polyculture(2)
 - c) Quelles sont celles pratiquées en association ? [Indiquer toutes les associations possibles] [colonne b]
 - d) Pour chaque culture cultivée, est-ce que vous pouvez indiquer :
 - Si vous en avez consommé ou vendu? [colonne c]
 - Pouvez-vous estimer la production? [colonne d]
 - Si la quantité stockée suffit pour la nourriture jusqu'à la prochaine récolte? [croix dans colonne a]

	a. Cultivé	b. Association	c. Vendu(1)/Consommé (2)	d. production
15. Banane				Régimes/mois
16. Manioc				Sac/an
17. Patate douce				Sac/an
18. Haricot				Sac/an
19. Pomme de terre				Sac/an
20. Maïs				Sac/an
21. Riz				Sac/an
22. Sorgho				Sac/an
23. Arachide				Sac/an
24. Tournesol				Sac/an
25. Petits pois				Sac/an
26. Blé				Sac/an
27. Choux blanc				
28. Tomate				
29. Oignon				
30. Aubergine				
31. Carottes				
32. Colocase				
33. (autre)				
34. (autre)				

3. Fertilisation et traitements phytosanitaires

35. Est-ce que vous fertilisez vos champs ?
36. [si oui] Comment fertilisez-vous ? [ne lisez pas les réponses]
- | | | |
|-------------------------------------|----------------|--------------------------|
| a. Engrais chimiques | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| b. Compost | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| c. Fumier | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| d. Enfouissement résidus de récolte | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| e. Epandage résidus de ménage | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
37. Traitez-vous les maladies de plantes ou insectes ravageurs ? non (0)/oui(1)
38. [si oui] Avec quoi ?
- | | | |
|---------------------------|----------------|--------------------------|
| a. Produits chimiques | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| b. Produits Traditionnels | non (0)/oui(1) | <input type="checkbox"/> |
39. Protégez-vous lors de l'utilisation de ces intrants ? non (0)/oui(1)
40. Avez-vous déjà senti les malaises suivants après le traitement de vos exploitations?
- | | |
|---------------------|--------------------------|
| a. Toux | <input type="checkbox"/> |
| b. Malaise cutané | <input type="checkbox"/> |
| c. Vertiges | <input type="checkbox"/> |
| d. Manque d'appétit | <input type="checkbox"/> |
| e. Pas de malaises | <input type="checkbox"/> |

4. Agriculture dans marais

1. Est-ce que vous cultivez dans le marais ? non (0)/oui(1)
2. Combien de parcelles cultivez-vous (votre ménage) dans le marais ?
3. Quelle superficie ?
4. La partie que vous cultivez, comment est-ce que l'eau est géré ?

4.1. Agriculture sur colline

5. Est-ce que vous cultivez sur la colline ? non (0)/oui(1)
6. Pouvez-vous estimer la superficie totale de vos parcelles sur la colline ?
- (1) 0-1/2 Ha (2) 1/2-1Ha (3) >1 Ha

4.2. Lutte anti érosive

47. Avez-vous des mesures pour réduire l'érosion et conserver l'eau ? non (0)/oui(1)
48. [si oui] Quelles ? [ne lisez pas les réponses]
- | | | |
|--|--------|--------------------------|
| a. Haies vives (arbustes/herbes) | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| b. Cordon pierreux | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| c. Cultures fixatrices (herbes, culture, fourragère) | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| d. Courbe de niveau | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| e. Paillage (laisser résidus sur le sol, non-brulés) | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| f. Terrasses | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| i. Autre [j. préciser] | | <input type="checkbox"/> |

4.3. Plantation d'arbres (les dernières années)

49. Avez-vous planté des arbres dans votre exploitation les 3 dernières années ? non (0)/oui(1)
50. [si oui] Quelle types d'arbres ? [ne lisez pas les réponses]
- | | | |
|---|--------|--------------------------|
| a. arbres fruitiers | | <input type="checkbox"/> |
| b. arbres forestiers | oui(1) | <input type="checkbox"/> |
| c. arbres agro-forestiers (fourrage, fertilité de sol, antiérosive) | oui(1) | <input type="checkbox"/> |

Guide d'entretien

1. Faire une brève historique sur les grandes époques de l'histoire environnementale de la zone d'étude. (Parler des événements marquants).
2. Réaliser le brainstorming des problèmes environnementaux dans la zone
3. La façon dont les exploitants ou les communautés dans leur ensemble réagissent activement à ces problèmes.
4. Les principales contraintes de la communauté à mettre en œuvre les activités de gestion durable des bassins versants.
5. Quelles sont les pratiques actuelles en matière de la gestion durable des terres dans le bassin versant? Quels sont les projets réalisés il y a plus de 5 ans ?
6. Comment vous estimez leur impact? Est-il encore visible ? Si non pour quoi ?
7. Quels sont les acteurs qui interviennent dans la gestion conservatoire de l'eau et des sols ?
8. Quel est l'état du partenariat entre acteurs publics, organisations non gouvernementales et la société civile dans la gestion des bassins versants. Que devrait être le rôle des uns et des autres pour une gestion durable du bassin versant ?
9. Pour les projets réalisés dans le cadre de la conservation de l'eau et des sols, quelle a été la participation communautaire à la planification, à la conception, à la mise en œuvre, au suivi, à l'évaluation et à l'exécution des activités?

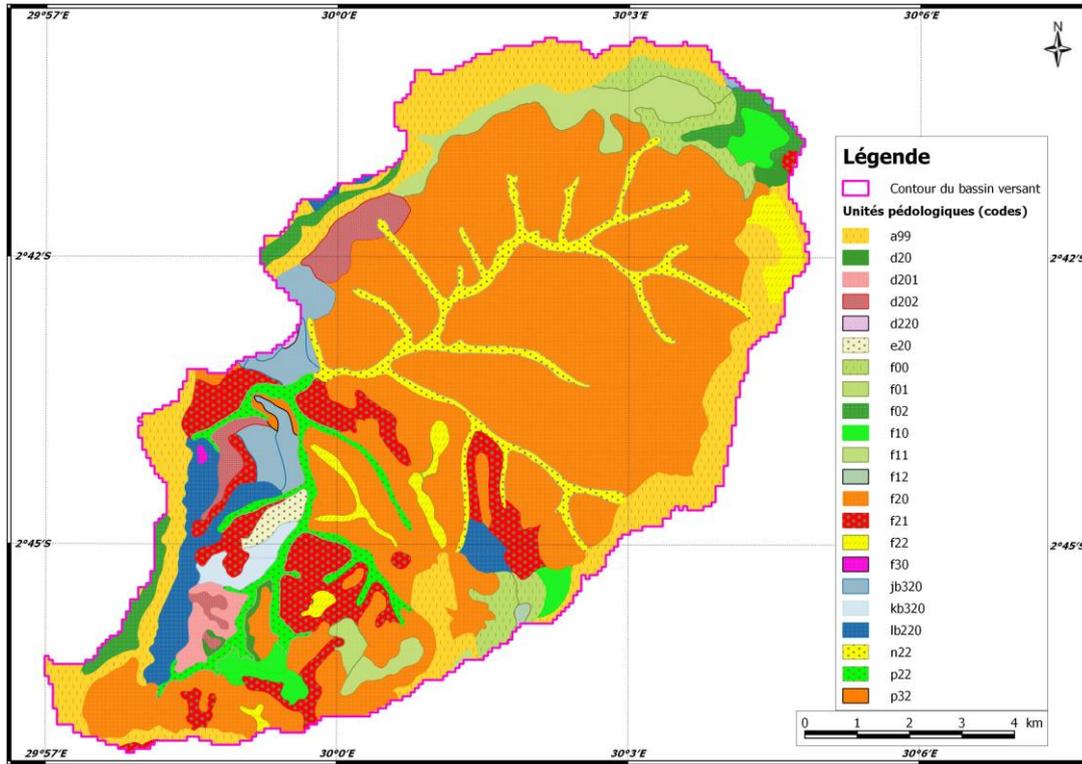
Fiche synthétique de l'évaluation de la dégradation du bassin versant du bassin versant de la Ndurumu

Problèmes clés	Causes profondes	Solutions proposés
Dégradation des sols	Erosion, relief accident, fortes températures et fortes précipitation, structure tendre des sols	Reboisement des collines dénudées, lutte antiérosive
Perte de fertilité des sols	Utilisation des techniques agricoles non appropriées, surexploitation	Intégration agro sylvo zootechnique et le reboisement Développer les techniques innovantes de compostage
Réduction de la biodiversité	pression démographique, recherche de nouvelles terres, Mauvaise de planification de l'utilisation des ressources en terres	Renforcer les séances d'éducation environnementales dans l'objectif d'asseoir un changement de comportements, Promouvoir la gestion communautaire des ressources naturelles. Renforcer la participation communautaire dans le processus de gestion de leur terroir
Les attaques des plantes	Variabilité climatique	Développer les cultures d'adaptation, Recherche sur les nouvelles variétés des cultures résilientes
Perte de certaines variétés comme le haricot volubile, manioc et Bananier	Diminution de la fertilité, les maladies et pestes	Introduire les nouvelles variétés de cultures résistantes, Développer les mesures de lutte biologique le cas échéant,
Les conflits fonciers		Mobiliser la population à intégrer le programme de sécurisation foncière Vulgarisation et appui technique des services fonciers communaux
Faible encadrement par les services techniques décentralisés,	Manque de moyens matériels Insuffisances du personnel Inefficacité des structures non gouvernementales d'encadrement	Doter les structures décentralisées en moyens techniques et financiers suffisant pour l'exercice de leurs tâches. Renforcer les structures déficitaires en ressources humaines.
Le paquage du bétail	Surpâturage, feux de brousse et coupe de bois	Promouvoir l'élevage intensif en stabulation permanente
Les mouvements de masses sur les flancs des collines Le ravinement les éboulements des berges des rivières	Les activités agricoles le long du bassin versants	Promouvoir les zones de protection intégrales en fonction du taux de vulnérabilité de la zone. Renforcer les comités collinaires de gestion des ressources naturelles Réhabilitation des zones dégradées, végétalisation

Profil historique du bassin versant de la Ndurumu

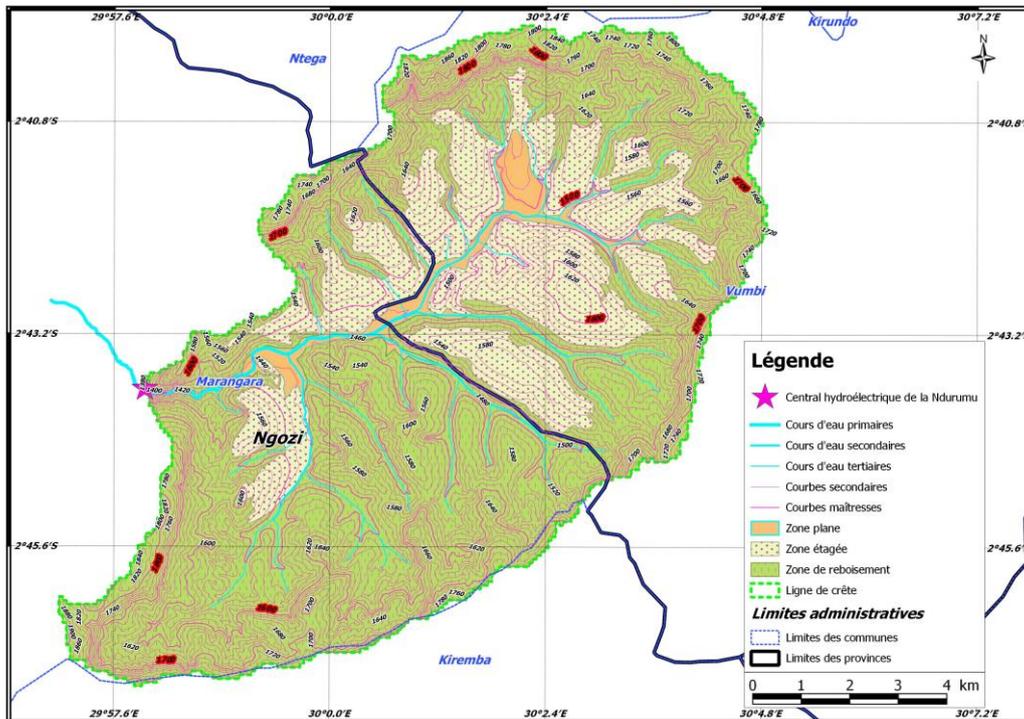
Dates importantes	Caractéristiques environnementales	Observation
Avant 1940	Présence de forêt naturelle vierge (savane arbustive)	Equilibre naturelle
1950 - 1959	Début de l'installation de la population Présence des buffles, antilopes, etc Présence de la mouche Tsé-tsé	Forte biodiversité
1975-1985:	Défrichement intensif pour les cultures Carbonisation intensive Coupe du bois pour les constructions	Période de prospérité et d'externalités
1985-1990 :	Forte augmentation de la population	Conquête des surfaces cultivables
1993-2001	Déplacement de la population et du bétail vers les zones plus sécurisés Début de la crise politique Feux de brousses Coupe illicite du bois Sécheresses répétitives et longues	Pression sur les écosystèmes et grandissante dégradation
2005-2016	Retour à la paix avec beaucoup programmes de reconstruction du pays <u>Quelques aspects positifs :</u> les programmes de reboisement Promotion de l'agroforesterie les foyers améliorés Promouvoir les modes de carbonisation innovantes et rentables.	Faible intégration Communautaire

Carte pédologique détaillée



Source : Auteur 2016

Carte topographique détaillée



Source : Auteur, 20016