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

Valeur économique des services Ecosystémiques offerts par l'agroforesterie dans la province de Bubanza

Ndacayisaba,Ferdinand

2023-07
UB
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/438

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

MASTER EN ECONOMIE RURALE, SOCIALE ET ENVIRONNEMENTALE

==========

VALEUR ECONOMIQUE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES OFFERTS PAR L'AGROFORESTERIE DANS LA PROVINCE DE BUBANZA

Par :

Ferdinand NDACAYISABA

Mémoire

présenté et soutenu publiquement en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Economie Rurale, Sociale et Environnementale

Option : Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles

==========

Sous la direction de :

Dr. Ir. Serge NGENDAKUMANA

Bujumbura, Juillet 2023

COMPOSITION DU JURY

Président du jury : Dr. Ir Patrice NDIMANYA

Directeur : Dr. Ir. Serge NGENDAKUMANA

Secrétaire : Pr. Diomède MANIRAKIZA

DEDICACES

A Dieu le tout puissant,

A notre mère,

A notre regretté père,

A nos frères et sœurs,

A Docteur Ingénieur Serge NGENDAKUMANA,

A Monsieur NDUWAYEZU Jean Pierre,

A Monsieur NIYONGABO Jean Baptiste,

A Madame Aline NDAYISHIMIYE.

Nous dédions ce mémoire

REMERCIEMENTS

Au moment de finir ce travail nous saisissons cette occasion pour remercier vivement notre Dieu le tout puissant. Nos remerciements s'adressent aussi à notre directeur de mémoire Docteur Ingénieur Serge NGENDAKUMANA pour son immense implication, ses conseils et les efforts consentis tout au long de la réalisation de ce travail.

Nos remerciements vont également à l'encontre des autorités de l'Appui au Développement Intégral et la Solidarité sur les Collines et Join For Water qui ont accepté de faciliter notre tâche de collecte des données.

Nous remercions également les cadres de l'université du Burundi qui nous ont poursuivis durant tout le cursus universitaire.

Nous adressons aussi nos remerciements à notre famille qui nous a soutenus tant moralement que matériellement.

Merci également à toutes nos connaissances car leur encouragement nous a apporté une importance capitale.

En fin, nous remercions tous nos collègues pour les bons moments passés ensemble.

RESUME

Les ressources naturelles font face à une forte dégradation partout dans le monde suite à une forte croissance démographique. Cette population galopante exerce la pression sur les écosystèmes agroforestiers dans le monde. Pourtant, les pays en développement ne disposent pas des méthodes permettant de valoriser économiquement les services offerts par ces écosystèmes. Ils offrent de nombreuses opportunités aux populations pour leurs moyens de subsistance. Cependant, face à la mise en place du processus de développement socio-économique, l'agroforesterie est confrontée à de nombreuses menaces, notamment, la déforestation, la dégradation des sols, la pollution, la surexploitation des ressources biotiques et abiotiques, etc.

Le présent travail nous a permis d'identifier les écosystèmes agroforestiers et leurs services afin d'en déterminer leur valeur. Les services identifiés sont : les services d'approvisionnement, les services de régulation ainsi que les services de support. Cela permet à sensibiliser les décideurs publics et privés sur l'importance de l'agroforesterie par sa contribution à la protection de l'environnement, au maintien de l'activité économique et au bien-être des populations.

En appliquant la méthode de prix du marché et des coûts évités, le travail s'est intéressé à l'analyse de la valeur économique des services écosystémiques rendus par l'agroforesterie dans la province de Bubanza. Par ces méthodes, les résultats de la recherche montrent que les services écosystémiques offrent en moyenne 548 647.6FBU tandis que la somme minimale d'un ménage est de 300 000 FBU et celle maximale est de 1 200 000FBU au cours de l'année. Pourtant ces méthodes d'évaluation des services écosystémiques restent complexes. Elles se limitent très souvent aux valeurs d'usage direct et donc ignorent les valeurs de non usage qui, pourtant constituent une part importante de la valeur économique totale de la biodiversité.

L'étude prouve que l'agroforesterie fournit des divers avantages tant environnementaux qu'économiques. Du point de vue économique les ménages diversifient les sources de revenus par les pratiques agroforestières présentes dans leurs exploitations. Dans le contexte de changement climatique, les écosystèmes agroforestiers contribuent à la reconstitution et à la régulation du sol.

Mots-clés : Valeur économique, agroforesterie, écosystème agroforestier, services écosystémiques, changement climatique.

ABSTRACT

Natural resources are facing strong degradation all over the world following strong population growth. This galloping population puts pressure on agroforestry ecosystems in the world in general. And yet, developing countries do not have the methods to economically value the services provided by these ecosystems. They offer many opportunities to people for their livelihoods. However, faced with the establishment of the socio-economic development process, agroforestry faces many threats, including deforestation, soil degradation, pollution, overexploitation of biotic and abiotic resources, etc.

This work has allowed us to identify ecosystem services in order to determine their value. This will make it possible to raise awareness among public and private decision-makers of the importance of agroforestry through its contribution to the protection of the environment and the maintenance of economic activity and the well-being of populations.

Applying the market price and avoided cost method, the work focused on analyzing the economic value of ecosystem services provided by agroforestry in Bubanza province. By these methods, the research results prove that ecosystem services provide an average of 548,647.6 FBU while the minimum sum of a household is 300,000 FBU and the maximum is 1,200,000 FBU during the year. However, these methods for assessing ecosystem services remain complex. They are very often limited to direct use values and therefore ignore non-use values which, however, constitute an important part of the total economic value of biodiversity.

The study proves that agroforestry provides various environmental and economic benefits. From an economic point of view, households diversify their sources of income through the agroforestry practices present on their farms. In the context of climate change, agroforestry ecosystems contribute to the reconstitution and soil's regulation.

Keywords: Economic value, agroforestry, agroforestry ecosystem, ecosystem services, climate change

TABLE DES MATIERES

COMPOSITION DU JURY ..... **i**
DEDICACES ..... **ii**
REMERCIEMENTS ..... **iii**
RESUME ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TABLE DES MATIERES ..... **vi**
LISTE DES TABLEAUX ..... **x**
LISTE DES FIGURES ..... **xi**
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **xii**
AVANT-PROPOS ..... **xiii**
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE **1**
I.1. Contexte et justification 1
I.2. Problématique 3
I.3. Questions de recherche 4
I.4. Les objectifs de la recherche 5
I.5. Les hypothèses 5
I.6. Cadre conceptuel et théorique de la recherche 6
I.7. Intérêt et choix du sujet 7
I.7.1. Choix du sujet 7
I.7.2. Intérêt du sujet 8
I.7.2.1. Intérêt personnel 8
I.7.2.2. Intérêt social 8
I.7.2.3. Intérêt scientifique 8
I.7.2.4. Délimitation du sujet 9
CHAPITRE II. REVUE DE LA LITTERATURE SUR L'AGROFORESTERIE ET SERVICES ECOSYSTMIQUES **10**
II.1. Etat des lieux de l'agroforesterie 10
II.1.1. Définition des concepts 10
II.1.2. L'agroforesterie : origine, techniques et importance 12
II.1.2.1. Introduction 12
II.1.2.2. Origine et diffusion de l'agroforesterie 12
II.1.2.3. Evolution de l'agroforesterie 13

II.2. Techniques et importance de l'agroforesterie 17
II.2.1. Techniques et innovation de l'agroforesterie 17
II.2.1.1. Les techniques de conservation des sols 17
II.2.1.2. Les techniques culturales 17
II.2.1.3. Assolements et rotation des cultures 18
II.2.1.4. Les couverts végétaux aux cultures intercalaires ou engrains verts 22
II.2.2. Importance des pratiques agroforestières 22
II.2.2.1. Amélioration de la fertilité par l'agroforesterie 22
II.2.2.2. Protection des sols contre l'érosion 25
II.2.2.3. Itinéraires techniques et fertilité des sols 25
II.2.2.4. Diversification des paysages 25
II.3. Les avantages de l'agroforesterie 26
II.3.1. Des avantages agronomiques et environnementaux 26
II.3.2. Les avantages économiques de l'agroforesterie 27
II.3.3. Les avantages environnementaux 28
II.4. Historique de l'agroforesterie au Burundi 28
II.4.1. Foresterie et agroforesterie 29
II.4.2. Ecosystèmes naturels 29
II.4.3. Energie 30
II.4.4. Ressources en eau 30
II.4.5. Climat 31
II.5. Services écosystémiques de l'agroforesterie 31
II.5.1. Typologies des services écosystémiques 32
II.5.1.1. Typologies pré MEA, 2005 32
II.5.1.2. Typologie du MEA, 2005 33
II.5.1.3. Typologies post-MEA, 2005 34
II.6. La valorisation économique des services écosystémiques 37
II.6.1. Les principales valeurs des services écosystémiques 38
II.6.2. Les méthodes de valorisation des actifs naturels 40
II.6.2.1. Fondement de la théorie de consommation 40
II.6.2.2. Les principales méthodes utilisées et leurs limites 41
II.6.2.2.1. Les méthodes des préférences révélées 41
II.6.2.2.2. Les méthodes des préférences déclarées 43

II.6.2.2.3. Les méthodes basées sur des coûts observables 45
II.6.2.2.4. Les méthodes de transfert des avantages (valeurs) 45
Conclusion du deuxième chapitre 48
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES 49
III.1. Description et présentation de la zone d'étude 49
III.1.1. Description de la zone d'étude 49
III.1.2. Présentation de la zone d'étude 51
III.1.3. Climat 51
III.1.4. Les précipitations 52
III.1.5. Végétation 52
III.1.6. Les principales essences de l'agroforesterie identifiées dans la zone 53
III.1.7. Sols 54
III.2. Matériel 55
III.3. Méthodologie de recherche 55
III.3.1. Travail préliminaire 55
III.3.2. Recherche bibliographique 55
III.3.3. Le terrain 56
III.3.4. Les outils de collecte et traitement des données 56
III.3.4.1. L'entrevue 56
III.3.4.2. Le questionnaire d'enquête 56
III.3.4.3. L'observation documentaire 57
III.4. Méthode d'échantillonnage 57
III.5. Identification des écosystèmes agroforestiers et évaluation de la perception des producteurs sur leurs services écosystémiques 59
III.6. Estimation de la valeur économique et évaluation de la perception des producteurs sur les services environnementaux des écosystèmes agroforestiers 60
III.7. Mode de prélèvement des échantillons de sol 61
III.8. Paramètres de rendement 61
III.9. Analyses statistiques et Econométriques 61
CHAPITRE IV : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 62
IV.1. Présentation des résultats 62
IV.1.1. Statistiques descriptives 62
IV.1.2. Caractéristiques des ménages 62

IV.2. Les résultats de l'estimation du modèle 64
IV.3. Analyse de la significativité des coefficients du modèle 67
IV.4. Interprétation des coefficients du modèle 68
IV.5. Analyse en composante principale : ACP 69
IV.6. La perception des exploitants agricoles dans leur stratégie de résilience au changement climatique 70
IV.7. Effets socioéconomiques des innovations agroforestières 78
IV.7.1. Estimation de la valeur économique des services écosystémiques 78
IV.7.2. Effets des pratiques agroforesteries sur le sol 82
IV.8. Discussion des résultats 84
IV.8.1. Perception des exploitants sur l'importance des innovations agroforestières 84
IV.8.2. Effets socioéconomiques de l'agroforesterie sur la production dans le contexte de changement climatique 86
IV.8.3. Mécanismes de préservation des ressources naturelles 87
Conclusion du quatrième chapitre **89**
CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES 90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 93
ANNEXES 100

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Cartographie des services écosystémiques d'utilité évalués dans l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA, 2005) 34
Tableau 2 : Les principales méthodes standards et leurs limites 46
Tableau 3 : synthèse de la revue empirique 47
Tableau 4 : Les essences agroforestières identifiées dans la zone 53
Tableau 5 : Les variables constitutives du modèle économétrique 58
Tableau 6 : Méthodes d'estimation de la valeur économique 60
Tableau 7 : Les statistiques descriptives 62
Tableau 8: Répartition des selon les niveaux d'instructions 63
Tableau 9 : Répartition des selon le genre 63
Tableau 10 : Répartition des selon le statut matrimonial 63
Tableau 11 : Les résultats des modèles économétriques 64
Tableau 12 : Test de normalité des erreurs : sktest residus 65
Tableau 13: test de multi colinéarité 66
Tableau 14 : Présentation des coefficients du modèle 67
Tableau 15 : Répartition des enquêtes selon les arbres se trouvant dans leurs champs 70
Tableau 16 : Portant sur les connaissances sur la valeur de l'arbre par rapport à la gestion du sol 72
Tableau 17 : Répartition des enquêtes selon l'objectif de maintenir les arbres dans leurs champs 73
Tableau 18 : Répartition des enquêtes selon l'emplacement des arbres dans les champs 74
Tableau 19 : Attribution de la valeur aux services écosystémiques 74
Tableau 20: Les contraintes majeures qui les empêchent souvent d'intégrer les arbres dans le champ de production des cultures. 76
Tableau 21 : Etude du sol avant la plantation du haricot 83
Tableau 22 : Etude du sol après la plantation du haricot 83

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cadre conceptuel et théorique de la recherche 6
Figure 2 : Schéma illustrant l'application de la valeur économique totale aux services écosystémiques 39
Figure 3 : Représentation géographique de Bubanza 50
Figure 4 : Analyse en composante principale 69
Figure 5 : Graphique des services écosystémiques 75
Figure 6 : Les causes de non adoption des pratiques agroforestières 77
Figure 7 : Graphique de l'évolution du revenu 78
Figure 8 : Estimation du revenu pour les non pratiquants 79
Figure 9 : L'élevage pour les pratiquants 81
Figure 10 : L'élevage pour les non pratiquants (témoins) 82

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

ADISCO : Appui au développement intégral et la solidarité sur les collines

AF : Agroforesterie

AFREC : African Energy Commission

AFTA : Association for Temperate Agroforestry

ANOVA : Analyses of Variance

CRDI : Centre de Recherches pour le Développement International

ESVD : Evaluation des Services éco systémiques

FAO : Food and Agriculture Organisation

GEEE : Groupe d'études économie des écosystèmes

GIRAF : Groupe interdisciplinaire de recherche en agroforesterie

INSBU : Institut National de la statistique du Burundi

ISABU : Institut des Sciences Agronomiques du Burundi

ISTEEBU : Institut des Statistiques d'Etudes Economiques du Burundi

JFW : Join For Water

MCO : Moindres carrées ordinaires

MEA : Millenium Ecosystem Assessment

ONG : Organisation Non gouvernementale

pH : Potentiel d'hydrogène

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

PRRE : Protection des Ressources et la Restauration des Ecosystèmes

PSE : Paiement pour Services Ecosystémiques

PVD : Pays en Voie de Développement

SE : service écosystémique

UPH : Université Populaire HAGURUKA

USDA : United State Department of Agriculture

VET : Valeur économique Totale

VIF : Variance Inflation Factor

AVANT-PROPOS

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du diplôme de Master en Economie Rurale, Sociale et Environnementale ; option : Economie de l'Environnement et des Ressources Naturelles à l'université du Burundi. Il porte sur la conservation des écosystèmes agroforestiers dans les contreforts de Mumirwa en général et en particulier dans la province de Bubanza tout en valorisant les services écosystémiques qui découlent de ces écosystèmes. De ce fait, la conservation des écosystèmes dans les zones tropicales contribue à l'amélioration des conditions de vie de la population. Cette gestion des ressources naturelles demeure une préoccupation majeure pour les artisans du développement durable malgré que la recherche des démarches qui combineraient le bien être des communautés et la protection effective de la biodiversité est restée un défi à relever.

Dans cette optique, la recherche s'est effectuée dans le Programme quinquennal pour la protection des ressources en eau et la restauration des écosystèmes d'eau douce (PCRE) initié par les organisations non gouvernementales à savoir ADISCO et JFW. L'objectif global du projet est de garantir l'accès à l'eau pour l'homme et l'agriculture de conservation dans la province de Bubanza. C'est à cet effet que nous avons mené nos activités de recherche sous thème spécifique : « ***Valeur économique des services écosystémiques offerts par l'agroforesterie dans la province de Bubanza*** ».

Des échanges avec des groupements de producteurs et des ONGs intervenant dans ce secteur, de même que des suivis des champs de cultures et autres écosystèmes, ont permis de faire un état des pratiques agroforestières. Les analyses technico-économiques et sociales ont servi à cartographier les services écosystémiques qui en découlent, leurs effets agroenvironnementaux et de leur incidence sur le changement climatique.

CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE

I.1. Contexte et justification

Dans le monde entier, les questions environnementales occupent une place cruciale dans les débats en rapport avec la durabilité des économies nationales, la sécurité alimentaire, la santé ainsi que le bien-être. Elles présentent une profonde conséquence sur le bien-être et les standards de la vie. La question la plus actuelle est le changement climatique. Il est responsable de la dégradation du bien-être humain et les dommages causés sur les écosystèmes naturels qui viennent exacerber la précarité de la vie sur la planète terre. Cela est devenu le centre de l'attention académique et officielle et à des niveaux au-delà des efforts d'un seul état. Le changement climatique représente une menace sans précédent pour les populations humaines des pays en développement qui luttent déjà pour maintenir leur sécurité alimentaire et leurs conditions d'existence (Achir, 2016).

La prise de conscience des effets néfastes et parfois irréversibles des activités humaines sur l'environnement est à l'origine de l'accroissement à partir des années 1970. L'intérêt est accordé à la conservation de la nature, amorcée lors de la conférence de Stockholm (Cazalet, 2004), avec notamment la naissance du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE).

L'introduction des pratiques agricoles notamment le recours à l'agroforesterie constitue le volet assez important (Place, 1998). Il s'agit d'un système de gestion des ressources naturelles qui, grâce à l'intégration des arbres dans les exploitations agricoles et dans le paysage agricole, permet de diversifier et soutenir la production et d'accroître la résilience des paysages et des moyens d'existence en milieu rural. L'agroforesterie compte parmi les pratiques d'exploitation des terres qui existent depuis des siècles sur tous les continents (ICRAF, 2003 ; FAO 2001).

Selon Lundgren et Raintree en 1982, la gestion des systèmes agroforestiers repose sur la recherche de la durabilité d'une production diversifiée en valorisant les interactions écologiques, économiques et sociales existant entre les composantes de ces systèmes. L'agroforesterie constitue l'une des solutions d'utilisation durable de ressources naturelles limitées et d'adaptation aux changements globaux démographiques, économiques et climatiques par ses divers services qu'elle offre.

Ainsi, en 2006 l'agence européenne pour l'environnement a démarré le projet « European Ecosystem Assessment » qui avait pour objet de traduire l'approche MEA et ses indicateurs sur la biodiversité à l'échelle européenne. En 2007, le groupe d'études économie des écosystèmes (GEEE) initié par la présidence allemande du G8, a évalué à la fois les bénéfices économiques qu'engendrent les écosystèmes agroforestiers. Ces bénéfices concernent la gestion des ressources naturelles pour le bien-être humain et les coûts de leur dégradation pour la collectivité (Alam 2005).

En Afrique, la mesure de la valeur économique de la biodiversité par l'approche des services écosystémiques est très peu développée (Christie et al., 2008 ; Christie et al.,2012 ; Abaza, et Rietbergen-McCracken, J. 1998). Selon une analyse effectuée à partir des publications des différents auteurs (Christie et al., 2012), comparativement aux pays développés, il existe peu d'applications des méthodes d'évaluation économique de la biodiversité dans les pays en voie de développement.

Les auteurs suggèrent que l'utilisation des techniques appropriées qui tiennent compte des spécificités culturelles de ces pays permettra d'obtenir des estimations fiables de la valeur des biens environnementaux. Alam (2005) considère que l'enjeu principal pour conduire une évaluation des ressources dans les PVD réside dans la formulation adéquate de la question d'évaluation, qui doit tenir compte des différences énormes entre les contextes des pays développés et les pays en voie de développement. Ces différences incluent le niveau des revenus, l'emploi, la nature des marchés, les valeurs sociales, la perception du temps de loisir et le rôle des ressources naturelles dans l'économie dont la gestion durable qui repose sur les meilleures pratiques qui relèvent de l'agroforesterie, l'agroécologie, l'agriculture biologique, etc.

En effet, cette complexité repose sur les principes de fonctionnement des écosystèmes naturels, notamment forestiers en dépendance de la quantité et la qualité de l'eau.

L'agroforesterie contribue ainsi à la mise en place ou au maintien de paysages multifonctionnels résilients face au changement climatique. En diversifiant les productions et les revenus, les systèmes agroforestiers réduisent la vulnérabilité des agriculteurs face à la volatilité des prix des denrées (Gockowski et Van Asten, 2012).

Au Burundi, la protection et la conservation des paysages cultivés sont essentiels pour préserver durablement l'accès aux services écosystémiques agroforestiers ainsi qu'à l'eau en qualité en quantité suffisantes. Cependant, les forces motrices directes et indirectes menacent la quantité d'eau disponible de manière durable. Dans ce qui suit, ces forces motrices sont brièvement discutées. Une force directe affecte sans équivoque la disponibilité de l'eau (extrait du rapport de Join For Water pour 2022-2026).

I.2. Problématique

Partout au monde, les études liées à l'évaluation des services écosystémiques de l'agroforesterie sont moins fréquentes. Les besoins futurs en ces services constituent une grande nécessité pour les générations actuelles et futures. La mesure de la valeur économique de la biodiversité par l'approche des services écosystémiques est très peu développée en Afrique (Christie et al., 2008, et 2012).

Selon une méta-analyse effectuée à partir des publications de ces auteurs, comparativement aux pays développés, des méthodes d'applications sur l'évaluation économique de des services écosystémiques dans les pays en voie de développement sont moins fréquentes.

La dégradation des écosystèmes, des ressources naturelles et leurs composantes est accélérée par les activités anthropiques qui conduisent la vie de l'être humain en péril (Gockowski et al, 2012). Ce phénomène se transmet de génération en génération du fait de la démographie galopante dans le monde en général et dans les pays en voie de développement en particulier. Cette croissance de la population fait que la demande alimentaire augmente considérablement alors que l'offre ne suit pas la même allure (FA0, 1992). Elle provoque dans ce sens la pression sur les ressources naturelles et les changements climatiques s'accentuent. A cet effet l'être humain doit lui-même trouvé un remède pour sauvegarder les écosystèmes car leur remplacement engendrera des coûts plus élevés que l'utilisation rationnelle actuelle (Marc P., 2009).

Une grande partie de la base de ressources naturelles déjà utilisées partout dans le monde présente des signes inquiétants de dégradation. L'évaluation des écosystèmes du Millénaire révèle que 15 des 24 services fournis par les écosystèmes qui ont été examinés sont déjà en voie de dégradation ou utilisés de manière non durable.

Ainsi donc, il faut créer des incitations adaptées de manière à favoriser l'utilisation des services environnementaux de l'agroforesterie pour protéger les bassins hydrographiques et la biodiversité et pour assurer la production d'aliments à l'aide de technologies durables (HOW, 2009).

Tous ces facteurs ont contribué à une stagnation voire même le déclin de la production agricole et à la pauvreté généralisée en milieu rural surtout en Afrique. Pour pouvoir renverser cette tendance, il est impérieux d'améliorer la performance agricole par une utilisation judicieuse des technologies efficientes, et une politique convenable.

Au Burundi, ce manque des travaux d'évaluation économique des écosystèmes agroforestiers s'observe à un moment crucial marqué par l'augmentation des enjeux de la conservation des écosystèmes naturels et les impacts négatifs, qui pourraient être irréversibles, en termes de maintien des services écosystémiques utiles sur le plan national, régional et international. Pourtant, le recours à l'évaluation économique des services écosystémiques pourrait être pertinent pour justifier la mobilisation des fonds nécessaires à leur conservation. Plus particulièrement dans le contexte des pays où les ressources budgétaires sont limitées l'évaluation reste indispensable. Les décideurs sont souvent appelés à faire des arbitrages difficiles en termes de choix de secteurs prioritaires devant bénéficier d'une affectation de ces ressources.

En effet, s'il est admis aujourd'hui que l'agroforesterie produit des services très importants. Ils peuvent être valorisables par l'homme directement ou indirectement, sur un marché réel ou théorique (Costanza et al., 1997 ; MEA, 2005 ; TEEB, 2010). L'identification de ces services n'est pas toujours chose aisée et la connaissance sur leur valeur économique reste lacunaire de nos jours.

I.3. Questions de recherche

La question principale de la présente recherche est la suivante : « Quelle est la valeur économique des services écosystémiques rendus par l'agroforesterie dans la province de Bubanza ? »

Pour être plus précis, il convient de répondre aux questions secondaires qui suivent :

- Quelle est la perception par les communautés rurales de l'importance des ressources agroforestières dans les stratégies de résilience face aux changements climatiques ?

- Quels sont les effets socio-économiques des services écosystémiques rendus par les innovations agroforestières dans la région naturelle de Mumirwa précisément à Bubanza ?
- Quelles sont les mécanismes de préservation des écosystèmes agroforestiers (capital agroforestier) pour booster les services écosystémiques des ressources naturelles dans la province de Bubanza ?

I.4. Les objectifs de la recherche

L'objectif global de l'étude est de déterminer la valeur économique des services écosystémiques de l'agroforesterie dans le contexte des défis comme les changements climatiques et la dégradation des ressources naturelles dans la province de Bubanza.

A côté de l'objectif principal, les objectifs spécifiques sont entre autres :

- Déterminer la perception des communautés rurales sur l'importance des ressources agroforestières dans les stratégies de résilience face aux changements climatiques.
- Analyser les effets socio-économiques des services écosystémiques rendus par les innovations agroforestières.
- Proposer les mécanismes de préservation des écosystèmes agroforestiers (capital agroforestier) pour booster les services écosystémiques des ressources naturelles dans la province de Bubanza.

I.5. Les hypothèses

La valeur économique rendus par les écosystèmes de l'agroforesterie est expliquée par les ressources naturelles, les écosystèmes agroforestiers, le bétail, la taille du ménage, le niveau d'éducation, ainsi d'autres variables jugées pertinentes pour cette recherche.

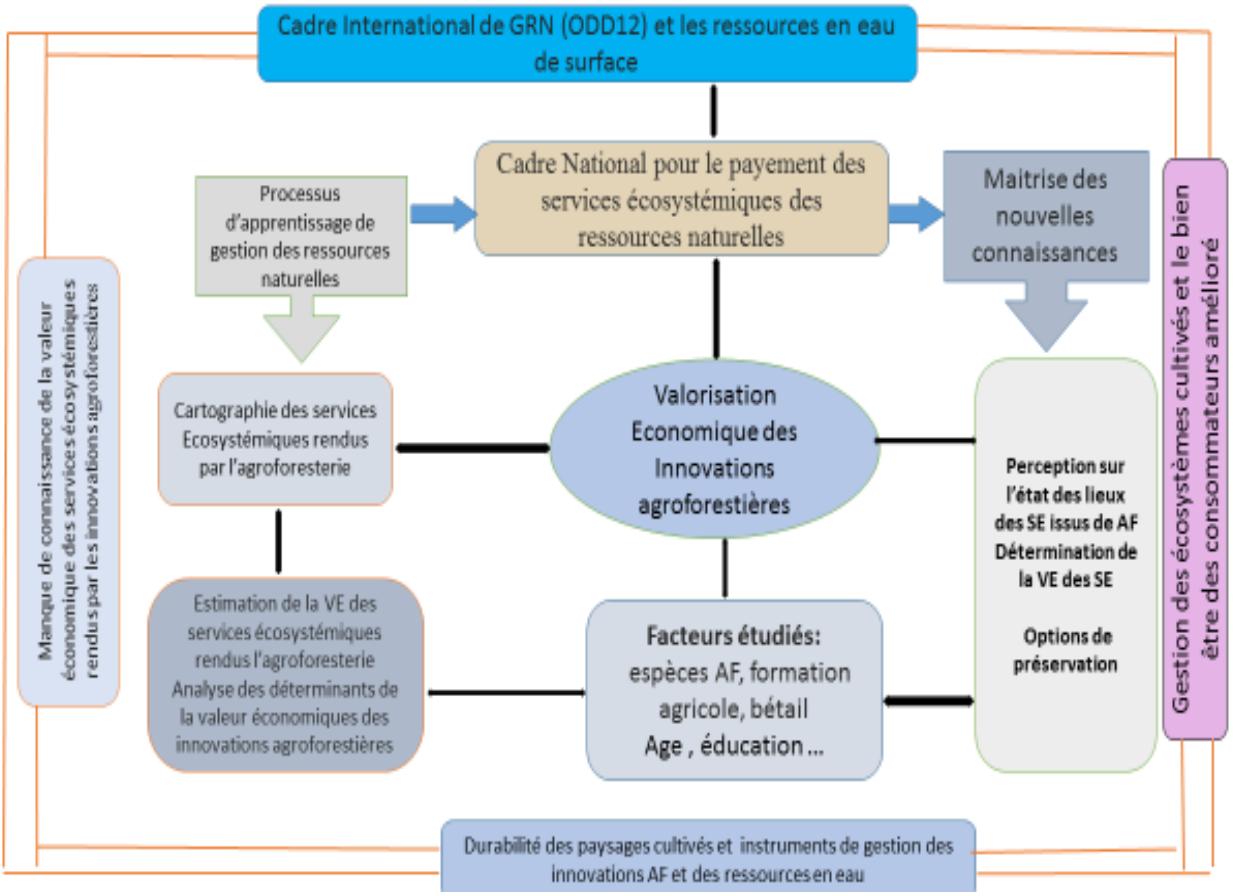
Les ressources agroforestières ont une grande importance dans les stratégies de résilience face aux changements climatiques vis-à-vis des communautés rurales.

Les services écosystémiques rendus par l'agroforesterie présentent des effets socio-économiques indispensables dans les conditions de vie des ménages de la province de Bubanza.

La préservation des écosystèmes agroforestiers implique les différentes parties des acteurs au développement soit nationaux ou internationaux en interactions avec les populations locales.

I.6. Cadre conceptuel et théorique de la recherche

Figure 1 : Cadre conceptuel et théorique de la recherche



Source : Auteur

En réalité, le cadre international de la gestion des ressources naturelles met en exergue l'importance des pratiques agroforestières. Quand bien même, le cadre national manque en son sein un mécanisme pour le paiement des services écosystémiques rendus par les ressources naturelles. Scientifiquement, quand on réfléchit sur la valeur des innovations agroforestières, on remarque un manque de connaissances en la matière et tous les services rendus par l'agroforesterie sont pris au rabais.

Pour remédier à cette situation, l'urgence nous amène dans un processus d'apprentissage méthodique en vue de pouvoir :

1. Cartographier les services écosystémiques rendus par l'agroforesterie
2. Estimer la valeur des services écosystémiques offerts par l'agroforesterie

3. Analyser les déterminants de la valeur économique des systèmes agroforestiers sur base sur base de l'économie des ménages dans la province de Bubanza en vue d'atteindre la durabilité des paysages cultivés sur base des instruments de gestion robustes.

De ce genre d'analyse, des nouvelles connaissances peuvent être générées comme :

- La perception sur l'état des lieux des services écosystémiques issus de l'agroforesterie
- La détermination de la valeur économique des services écosystémiques de l'agroforesterie
- Un modèle économétrique liant les déterminants socio-économiques et l'efficacité des pratiques agroforestières dans les paysages.

De ce qui précède, l'armature des nouvelles connaissances pourrait éclairer les secteurs y compris les décideurs dans la promotion des stratégies de gestion des écosystèmes et l'amélioration du bien-être des ménages qui pratiquent l'agroforesterie

I.7. Intérêt et choix du sujet

I.7.1. Choix du sujet

La situation de l'agriculture à Bubanza et ses conséquences sur la population soulève des inquiétudes compte tenu des changements climatiques. Il nous serait ingérant de ne pas nous intéresser à une situation qui risque d'empiéter le système de production dans la région. Le système de culture ainsi établi s'avère déjà inadapté à l'accroissement démographique et perturbe de plus en plus l'équilibre naturel et les vies humaines.

Par ailleurs, le manque de techniques d'améliorations du sol visant à diversifier les produits champêtres ne fait qu'empirer les conditions de vie de la population. De ce fait, nous avons décidé d'apporter, tant soit peu, notre contribution à l'analyse du système agricole dans le MUMIRWA et à la sensibilisation de la population sur la connaissance de la valeur économique des services écosystémiques et l'importance économique de l'adoption des systèmes et techniques conversationnistes dans le but de lui faire participer aux activités visant la durabilité du secteur agricole et d'impulser l'attention des décideurs dans la promotion des pratiques résilientes au changement climatiques.

I.7.2. Intérêt du sujet

Ce travail, se veut être un outil utile qui guidera la population dans ses activités agricoles tout en tenant compte des aléas de l'environnement. C'est une référence susceptible d'éclairer la lanterne de tout chercheur intéressé par la question dans la région mais aussi les décideurs politiques pour s'atteler aux meilleurs pratiques à haut potentiel économique et environnemental.

I.7.2.1. Intérêt personnel

Cette recherche nous présente une occasion d'approfondir nos connaissances dans le domaine agricole, plus particulièrement l'amélioration du sol à travers l'agroforesterie dans le contexte de changements climatiques qui restent une préoccupation universelle de l'heure.

I.7.2.2. Intérêt social

Cette étude permettra aux agriculteurs de pouvoir valoriser les espèces agroforestières qui sont dans leur exploitation. Elle confère les connaissances aux communautés sur la transformation de ces écosystèmes afin de produire des biofertilisants et bio pesticides. Cela permettra ainsi de maintenir les rendements de leurs parcelles agricoles. Ce faisant, il aura contribué à la conservation et à l'amélioration de la fertilité du sol et par ricochet au bien-être de la population à travers les pratiques agroforestières qui vise une durabilité des systèmes de production.

I.7.2.3. Intérêt scientifique

Notre travail constitue une source documentaire pour les nouveaux chercheurs sur les systèmes de production en vogue dans les pratiques agroforestières. La volonté du chercheur est d'apporter une modeste contribution au développement de l'économie de l'environnement au Burundi, discipline scientifique encore naissante, qui fait la promotion d'un développement dit « durable ». Retracer l'évolution de l'économie de l'environnement en faveur de la protection des écosystèmes naturels. Ce travail servira d'outils de référence sur l'agriculture de conservation en général et sur les pratiques agroforestières en particulier ainsi que les la valorisation des services offerts par l'agroforesterie.

I.7.2.4. Délimitation du sujet

Notre recherche s'articule sur quatre parties. La première partie concerne le plan du travail du début à la fin et la deuxième sera constituée par la revue littéraire sur l'agroforesterie et les services écosystémiques de l'agroforesterie. La troisième partie se consacre sur l'étude empirique, c'est - à - dire le sujet proprement dit avec le matériel et les méthodes utilisés. La dernière partie est constituée par la présentation et discussion des résultats obtenus.

Ce travail se clôturera par une conclusion générale, les recommandations, les perspectives, la bibliographie et les annexes.

CHAPITRE II. REVUE DE LA LITTERATURE SUR L'AGROFORESTERIE ET SERVICES ECOSYSTMIQUES

Ce chapitre a pour objet, de donner une approche détaillée sur les connaissances de techniques de conservation du sol, la nécessité d'améliorer et maintenir la fertilité du sol à travers l'agroforesterie. Il permet aussi à cartographier les services écosystémiques qui découlent de l'agroforesterie et les méthodes de valorisations économiques de ces services.

II.1. Etat des lieux de l'agroforesterie

II.1.1. Définition des concepts

L'environnement : l'environnement désigne l'ensemble des conditions naturelles ou artificielles (physiques, chimiques et biologiques) et culturelles (sociologiques) dans lesquelles les organismes vivants se développent (dont l'homme, les espèces animales et végétales). Édouard BONNEFOUS, 2007

C'est l'ensemble des conditions et des éléments naturels de la terre : Le sol, l'eau et l'air y compris toutes les couches de l'atmosphère ; toutes les matières organiques et inorganiques ainsi que les êtres vivants les systèmes naturels en interaction qui comprennent les éléments visés aux alinéas a et b (Serge Ngendakumana, 2016).

Les services écosystémiques : sont les conditions et les processus par lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui les composent rendent possible la vie humaine et son émancipation. Ils maintiennent la biodiversité et la production de biens par les écosystèmes, tels que les fruits, le bois de chauffage, les fibres naturelles et de nombreux produits pharmaceutiques, produits industriels et leurs précurseurs (Daily, 1997) ;

Effets environnementaux : Les changements que les politiques, les plans ou les programmes risquent de causer à l'environnement, y compris les répercussions de ceux-ci soit en matière sanitaire et socio-économique et de patrimoine physique ou culturel, soit sur l'usage courant des terres et de ressources à des fins traditionnelles par les autochtones, soit sur une construction, un emplacement ou une chose d'importance en matière historique, archéologique, paléontologique ou architecturale.

Il s'agit également des changements susceptibles d'être apporté aux politiques, aux plans ou aux programmes du fait de l'environnement. (Serge Ngendakumana, 2016).

Evaluation environnementale : Processus systématique et global de l'évaluation des effets environnementaux des politiques, plans ou des programmes et de ses solutions de rechange.

Développement durable : Développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs.

Vulnérabilité face au changement climatique : Le degré selon lequel un système est susceptible, ou se révèle incapable, de faire face aux effets néfastes des changements climatiques, notamment à la variabilité du climat et aux évènements climatiques extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'importance et du taux de variation climatique auxquels un système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation.

Dégradation : affaiblissement sensible des éléments minéraux. La dégradation d'un sol résulte souvent d'une combinaison de facteurs, incluant éventuellement la régression, qui conduisent le sol vers une évolution différente de l'évolution naturelle liée au climat et à la végétation locale.

Mesure d'atténuation : Maîtrise efficace, réduction importante ou élimination des effets environnementaux négatifs des politiques, des plans ou programmes, éventuellement assortie d'actions de rétablissement notamment par remplacement ou restauration, y est assimilée l'indemnisation des dommages causés.

L'Agriculture durable : Est généralement définie comme un mode d'exploitation qui répondrait aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Elle se définit par une production agricole économiquement viable, socialement équitable, et qui ne nuit ni à l'environnement ni à la santé.

L'Impact : Est appelé impact environnemental toute modification de l'environnement, négatif ou bénéfique, résultant totalement ou partiellement des activités, produits ou services d'un organisme. Aussi appelé Incidence environnemental. Désigne un aspect d'une action qui risque de causer un effet. Exemple : le déboisement durant la construction est un impact qui peut avoir comme effet la perte et la fragmentation de l'habitat faunique. (Daily, 1997)

II.1.2. L'agroforesterie : origine, techniques et importance

II.1.2.1. Introduction

L'agroforesterie (AF) est un terme générique servant à désigner les systèmes d'utilisation des terres et les pratiques dans lesquelles les plantes ligneuses vivaces sont délibérément intégrées aux cultures agricoles et / ou à l'élevage pour une variété de bénéfices et de services. L'intégration peut être faite soit selon une association spatiale (par exemple, les cultures agricoles avec les arbres) soit selon une séquence temporelle (par exemple, les jachères améliorées, les rotations).

L'AF va des systèmes très simples et clairsemés à des systèmes très complexes et denses. Celle-ci embrasse un large éventail de pratiques : les cultures en couloirs, l'agriculture avec des arbres en courbes de niveaux, ou les périmètres clôturés avec des arbres, les cultures multi-étages, les cultures intercalaires de relais, les polycultures, les jachères d'arbustes et d'arbres, les systèmes de parcs, les jardins maraîchers, etc. Beaucoup d'entre eux sont des systèmes traditionnels d'utilisation des terres (TerrAfrica, 2011).

Aujourd'hui, la situation est plus complexe. Il ne suffit plus de produire des aliments. L'agriculteur doit être capable d'augmenter ses rendements, de produire des denrées alimentaires, mais aussi des énergies renouvelables, de supporter des coûts d'intrants toujours plus élevés, de s'adapter à la variabilité des prix de vente et de respecter des normes environnementales de plus en plus contraignantes.

II.1.2.2. Origine et diffusion de l'agroforesterie

L'agroforesterie englobe de nombreux systèmes traditionnels d'utilisation des terres, comme les jardins maraîchers, les plantations d'arbres en limite, les cultures itinérantes et les systèmes de jachères arbustives, les cultures en courbes de niveaux. L'AF est traditionnelle et a été redécouverte en 1978, lorsque le nom « d'agroforesterie » a été inventé. Depuis lors, celle-ci a été promue par les projets et à l'initiative des exploitants agricoles. Les cultures en couloirs ont été conçues à la fin des années 1970 par la recherche pour éliminer le recours à une période de jachère dans les zones tropicales humides et subhumides pour reconstituer la fertilité des sols.

Principalement utilisée : Burkina Faso, Ethiopie, Guinée, Kenya, Lesotho, Malawi, Mozambique, Nigeria, Niger, Afrique du Sud, Tanzanie, Togo, Ouganda, Zambie, Zimbabwe.

Cependant, tous les pays d'ASS pratiquent une forme ou une autre d'AF. Dans ces pays, ce sont l'étendue et les formes d'AF pratiquées qui diffèrent.

Principes et types les facteurs qui influencent la performance de l'AF sont les types et les mélanges de cultures agricoles, d'élevage et d'arbres, le matériel génétique, le nombre et la répartition des arbres, l'âge des arbres, la gestion des cultures, de l'élevage et des arbres et le climat. Les systèmes de parcs agroforestiers sont principalement des zones cultivées avec des arbres dispersés (souvent indigènes).

Les caractéristiques des parcs agroforestiers traditionnels sont la diversité des espèces d'arbres qui les composent, la variété des produits et de leurs utilisations (comprenant les fruits, le fourrage, etc.). Ceux-ci génèrent et fournissent des microclimats favorables (en particulier grâce à l'ombre) et font un effet tampon pour les conditions extrêmes (en agissant comme brise-vent). Les parcs se trouvent principalement dans des zones semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. Les systèmes céréaliers-légumineuses / Faidherbia albida sont prédominants dans toute la zone sahélienne et dans certaines parties de l'Afrique de l'Est. Pour de nombreuses populations locales, ces systèmes sont très importants pour la sécurité alimentaire, la création de revenus et la protection de l'environnement, la gestion de l'eau de ruissellement, etc.

II.1.2.3. Evolution de l'agroforesterie

Il est aux prises avec la dégradation de la structure des sols, l'arrivée de nouveaux ravageurs, la multiplication d'insectes et de mauvaises herbes résistant aux pesticides et un régime de températures et de précipitations altéré par les changements climatiques. Dans ce contexte, il n'a pas d'autre choix que de repenser ses pratiques agricoles, ses rotations, ses régies de culture, la gestion de son entreprise, ses stratégies et ses investissements (Tartera, C, 2014).

A l'heure actuelle le monde scientifique et la conscience politique ne cessent de se poser autant des questions sur le rôle que les exploitations agricoles et pastorales doivent jouer tout en valorisant l'humanité toute entière, elles doivent préserver et garantir une consommation suffisante et en qualité à toutes les générations futures c'est dans cette optique que les grandes manifestations, conférences et conventions s'organisent sur le plan international pour faire de cet objectif qui est devenu non plus une préoccupation d'une seule nation mais une préoccupation planétaire et en faire une réalité.

Signalons par exemple à ces sujets quelques conférences et conventions :

- La Conférence de Rio de Janeiro du 3 au 14 juin 1992,
- Rapport national synthèse sur le développement durable en République démocratique du Congo 2012,
- Projet de loi portant principes fondamentaux relatifs à l'agriculture 2003-2004,2011 et la conférence sur le climat qui se tenait (à Paris avant la fin de l'année 2015.

Comme cela ne suffit pas, des grands auteurs écologues, agronomes et écologistes ont couchés par écrits des pensées et résultats de recherches sur un environnement durablement développé ; tels que stipulent :

Nathan De Baets et Frédéric Lebel estime que l'agroforesterie rend de nombreux services d'ordre économique, environnemental, social, territorial et culturel à la société. Les producteurs agricoles peuvent également être bénéficiaires de nombreux services entre autres diversifier leurs revenus par la production de matière ligneuse et non ligneuse et faire des économies de chauffage et de déneigement par la plantation de haies brise-vent. L'agroforesterie réduit également la pollution diffuse et augmente les rendements des cultures agricoles.

Pour N. De Baets, S. Gariépy et A. Vézina, L'agroforesterie offre de nombreux avantages, tant pour les producteurs agricoles que pour la société en général. Sans être une panacée, l'agroforesterie, par ses multiples fonctions environnementales et économiques, peut aider Les secteurs agricole et forestier à trouver des solutions innovatrices aux problèmes actuels, dont le manque de rentabilité, l'impact sur l'environnement et la perception parfois négative du public à leur égard. Mieux encore, l'agroforesterie peut améliorer la qualité de vie des citoyens et des producteurs, aider à diversifier les revenus et contribuer à la revitalisation économique des régions dans le respect d'une gestion durable des ressources naturelles présentes sur le territoire.

Quant à Julie Simard, l'agroforesterie est devenue une nécessité pour contrer des problématiques environnementales causées, principalement, par l'exploitation de monocultures et LABANT Pierre dit que l'association des arbres aux activités agricoles, judicieusement organisée dans l'espace et dans le temps, permet d'instaurer des relations de complémentarité.

Un cycle se met en place entre les éléments du climat, de la biodiversité, du sol, de l'eau, les cultures, les animaux et les arbres, au bénéfice de la production et des paysages.

En Afrique sub-saharienne, la superficie totale des terres émergées est de 2455 milliards d'hectares dont 173 millions cultivés (cultures annuelles et pérennes), soit le quart de la superficie potentiellement exploitable (http://www.un.org/africarenewal/fr/magazine/july-2006).

Traditionnellement, les systèmes mis en place vont de l'agriculture itinérante sur brûlis à une agriculture alternant périodes de culture à périodes de jachère plus ou moins longues selon la pression démographique locale. Cependant, dans les régions tropicales et subtropicales, la dégradation des sols constitue généralement un facteur limitant la production agricole. L'appauvrissement des sols en éléments nutritifs comme l'azote et le phosphore est souvent cité comme responsable de cette dégradation (Beurkret et al, .2001 ; Batanio, 1992).

Sous l'effet de différents facteurs et en particulier la croissance démographique, l'ouverture au marché et les changements de politique agricole, on a assisté au cours des dernières décennies, à des rapides transformations des systèmes culturaux en Afrique sub-saharienne, (Philippe, 2006).

En région tropicale, il est davantage question de satisfaire et de maintenir le niveau de subsistance des agriculteurs. Ainsi, l'agroforesterie est une pratique devenue nécessaire, voire même essentielle pour assurer la durabilité des pratiques agricoles à travers ses divers services qu'elle procure (Gold et al. 2000). Afin de faire face à ces enjeux, l'agroforesterie a été envisagée. Ses diverses formes sont de plus en plus courantes. L'un des éléments d'importance concernait l'établissement des projets régionaux pour accentuer les impacts bénéfiques et pour développer des modèles autant économiques que techniques (choix des associations) pour les pratiques agroforestières.

Dans les zones sahéliennes, la mauvaise gestion des terres agricoles et l'inadéquation entre le prix des intrants et celui des cultures vivrières constituent des éléments importants dans la dégradation continue des sols, entraînant un appauvrissement rapide des sols en éléments nutritifs et une baisse de la productivité des cultures (FAO, 2000).

L'accroissement démographique et les pratiques de gestion inadéquates exercent des pressions sur l'écosystème et compromettent l'équilibre écologique. Dans beaucoup de Pays moins avancés, cinq décennies de surexploitation des ressources ont épuisé les réserves du capital

naturel et ont limité les possibilités de voir la production agricole et les moyens de subsistance se développer à l'avenir. Il importe de revenir aux connaissances autochtones et d'approfondir les recherches sur les méthodes de production propres à préserver les ressources naturelles et l'environnement (Mellor, 2000).

La couverture permanente et la préservation des sols, l'agroforesterie et l'usage des plantes légumineuses, la protection des bassins versants par la bonne gestion de l'herbe et le reboisement sont autant de voies de progrès possibles (CGAAER, 2014).

Au Burundi, l'augmentation de la population entraîne une croissance de la demande en bois et en produits vivriers, les besoins futurs ne pourront être satisfaits que par les plantations qui constituent un modèle par excellence de création des ressources et de préservation des forêts naturelles dégradées (Muliele, 2008).

Les ressources naturelles considérables dont dispose le Burundi contribuent de manière critique aux moyens de subsistance des burundais, particulièrement pour les plus pauvres d'entre eux. L'agriculture de subsistance à laquelle se consacre la majorité de la population, est avant tout de type itinérant et sur brûlis.

Dans la région de Mumirwa, les agriculteurs vivent essentiellement des terres de plus en plus érodées et appauvries par la surexploitation et les méthodes culturales défectueuses. Cette situation compromet non seulement tout plan de développement rural ou socio-économique, mais aussi l'écosystème et l'équilibre écologique (WWF, 2012).

Cependant, la région de MUMIRWA, jadis grenier des provinces environnantes de par sa production agricole, ne parvient même plus à assurer l'autosuffisance alimentaire de sa propre population. Cette province est pourtant riche en ressources naturelles. Elle possède d'importantes ressources en terres et en eau douce. Son sous-sol est riche en minerais très diversifiés et de grande valeur.

Mais la forte croissance démographique et l'exploitation non rationnelle de ces ressources, conjuguées à des mutations économiques profondes, ont des impacts négatifs sur l'environnement.

Par ailleurs, le besoin en terres arables se fait sentir sur tout le territoire à cause de la démographie croissante et de la réduction sensible des terres fertiles du fait de leur exploitation irrationnelle (APC, 2010). Son économie est basée en grande partie sur l'agriculture. Malgré la croissance de la population, les agriculteurs ne pensent pas améliorés

la fertilité de leurs parcelles agricoles dégradées par les systèmes traditionnels, les cultures sur brûlis, l'absence de la jachère et le manque de bois de chauffe. Ceci entraîne des conséquences pesant lourdement sur l'environnement et favorisant la baisse de la production.

II.2. Techniques et importance de l'agroforesterie

Pour bien planifier l'utilisation des arbres dans un système agroforestier, il faut très bien connaître leurs caractéristiques. Il faut entre autres connaître les avantages, la capacité à s'adapter aux conditions locales (climat, sol et stress), la taille et la forme du couvert et du système racinaire de chaque essence envisagée et si elle convient à diverses pratiques agroforestières.

II.2.1. Techniques et innovation de l'agroforesterie

II.2.1.1. Les techniques de conservation des sols

La préparation physique du sol est une des techniques culturales qui aident à la conservation des sols et à la rentabilité de la population agricole et productivité durable des terres.

Elle est à la base de toute culture rationnelle. Elle trouve place avant même l'emploi des engrais et des semences sectionnées (Gonde, 1988).

Selon le même auteur, la préparation physique du sol n'est pas simple : il ne suffit pas en effet de savoir labourer, heurter, rouler, il faut aussi savoir adopter ces opérations culturales aux conditions de lieu, et du temps.

Gonde (1988) dit que c'est par combinaison rationnelle et judicieuse de façon profonde et superficielle (labours, hersage, scarifiages, binages, roulage etc.) que l'agriculteur réalise un travail convenable et profitable du sol. Elle se résume par le travail du sol.

Le travail du sol a une influence considérable sur l'importance de la récolte ; il a pour but de mettre à la disposition du végétal un milieu aussi parfait que possible au point de vue physique et biologique (Soltner, 1987).

II.2.1.2. Les techniques culturales

a. Associations culturales

La pratique des associations culturales est un moyen efficace d'assurer rapidement le couvert végétal des terres labourées. Le choix de ces associations est important. Certaines espèces ont un pouvoir de protection contre la battance plus fort que d'autres. (Goujon, 1968).

b. Billonnage ou Culture en bandes alternées

La pratique du billonnage suivant les courbes de niveau est très bien connue dans les régions des terres de lave où elle est pratique spécialement pour augmenter l'épaisseur de la couche cultivable (Saccuman, 1982).

Si elle est combinée avec des valables dispositifs de conservation des sols, elle pourrait être très étendue avec succès aux cultures sarclées dans d'autres régions pour une meilleur production agricoles et conservation du sol et de l'eau.

Elle consiste à faire alterner sur des terres en pente des bandes construites en courbe de niveau portant une couverture végétale dense opposant une satisfaisante protection (graminées, céréales à petit grain, prairie naturelle ou artificielle) avec des bandes portant des cultures plus espacées (maïs, sorgho, plantes racines, tubercules et autres) et de façon que quand une bande reste temporairement dénudée, les deux bandes adjacentes sont protégées de végétation. Cette méthode dispose des avantages comme la réduction de la vitesse d'écoulement et l'interception de l'eau de ruissèlement.

c. Paillage

Il consiste à recouvrir soigneusement les interlignes de certaines cultures (caféiers, bananiers, ananas, tomates...) avec la paille. Celle-ci couvre le sol contre l'action des gouttes d'eau, les variations des températures et d'humidité et le ruissellement est notablement freiné.

Selon Stallings (1969), en se décomposant, les débris végétaux peuvent enrichir le sol par l'apport de la matière organique et de potasse. Le paillage intensifie l'activité biologique, ce qui entraine une fixation de l'azote utilisable et probablement aussi du phosphore.

Le même auteur dit que du seul point de vue de la lutte contre l'érosion et le ruissellement, le paillage se place parmi les méthodes biologiques les plus efficaces.

II.2.1.3. Assolements et rotation des cultures

D'après Gonde (1988), l'objectif principal des assolements et des rotations culturales est de maintenir la fertilité du sol en évitant la répétition pendant plusieurs années d'une même culture sur un même champ. Cette rotation peut jouer aussi un rôle important dans la protection des terres cultivées si elle est établie avec le souci de couvrir le sol le mieux possible. Les cultures sarclées favorisent particulièrement l'érosion, il faudra donc les associer dans la rotation a une prairie temporaire, une association très courante est à la base de légumineuses, qui régénère la structure (Mémento du forestier, 1976).

Parmi les nombreux avantages de la rotation, on peut noter : le maintien de la fertilité du sol : bien que la rotation ne peut à elle seule maintenir la fertilité du sol, une bonne rotation permet une baisse de fertilité plus lente qu'en culture continue. En plus de cela la réduction de l'érosion : liée notamment au maintien de la matière organique et enfin le contrôle des mauvaises herbes : on constate qu'elle fixe une relation entre diverses cultures et les plantes adventives.

1. Les principes d'établissement d'une rotation

L'établissement d'une rotation se base sur la loi de la restitution : c'est-à-dire pour pouvoir faire succéder les cultures sur les champs sans baisse de rendement. Il faut d'abord rendre au terrain, les éléments minéraux que les autres cultures ont prélevés. Pour l'Azote, cette restitution peut être assurée par l'incorporation des légumineuses dans la rotation (Espoir, Masilya et al 2014). Elle consiste à alterner les plantes de natures différentes pour l'incidence des insectes, maladies et mauvaises herbes mais aussi alterner les plantes à enracinement superficiel pour le maintien d'une bonne structure de l'ensemble du profil.

Il faut alterner les plantes ayant des exigences nutritives différentes : pour une meilleure utilisation des réserves du sol (janvier, 2013).

A. Jachère et prairies temporaires

La jachère consiste à mettre une terre au repos hors culture et hors pâturage, partie intégrante de la rotation (on appellera jachère cultivée : une jachère qui bénéficiera de façon culturale ou sera enrichie par des légumineuses).

La jachère intervient pour rétablir la teneur en matière organique des sols et par là pour améliorer la résistance à l'érosion et le degré de fertilité (Stallings, 1968).

B. Les jachères améliorées

La forêt pluviale équatoriale est transformée à l'usage agricole par l'opération de défriche-brûlis de la forêt. La parcelle défrichée est rapidement plantée de cultures vivrières dont des grands végétaux comme le manioc et le plantain -afin de profiter des nutriments qui se trouvent dans les cendres. Souvent on plante des arbres qui apportent des produits valables dans un délai relativement bref, associés aux cultures vivrières. Dans quelques années, la végétation forestière qui réapparaît étouffe les cultures vivrières qui ne sont pas en mesure de faire concurrence du fait que les niveaux de nutriments baissent et l'agriculteur n'est pas à même d'entretenir la parcelle par le sarclage. La parcelle est mise en jachère en vue de

restituer la fertilité du sol et les arbres plantés. C'est pourquoi l'objectif de ces « jachères enrichies » diffère de celui des « jachères améliorées »

Les jachères constituent une pratique traditionnelle très ancienne de restauration de la productivité des sols. Cependant, comme la population agricole a augmenté alors que la disponibilité des terres cultivables est réduite, cette pratique traditionnelle (laisser les terres ne reposer en ne leur faisant pas porter de récolte) tend à disparaître chez les agriculteurs. S'il y a assez de terres disponibles pour que la mise en jachère soit une option technique potentielle, les participants peuvent analyser d'autres systèmes améliorés de mise en jachère qui permettront: de réduire la période de mise en jachère (par exemple semer des légumineuses pour le pâturage ou planter des légumineuses de cycle végétatif court (2-3 ans) ou des légumineuses arbustives pérennes à la fin de la période culturale); ou de fournir un intérêt économique important (en incluant par exemple un pâturage de 2-3 ans dans la rotation culturale et l'utiliser dans la production du bétail).

C. Présentation des nutriments dans le sol

Les sols sont formés de petites particules provenant de l'altération des roches, les unes ayant la taille de grains de sable et d'autres sont tellement petites qu'elles sont invisibles à l'œil nu. Les déchets des plantes et d'animaux sont aussi incorporés dans le sol et sont rapidement transformés en matières organiques qui donnent aux sols leur couleur noire.

Tous les restes des roches, des plantes et des animaux contiennent des nutriments et quand le sol est formé, beaucoup de ces nutriments sont retenus par l'argile et la matière organique. La matière organique du sol est particulièrement importante pour fournir l'azote aux plantes.

2. Introduction des légumineuses dans un système cultural

Environ 80 pour cent de l'air est constitué d'azote, qui est souvent l'élément le plus limitant de la croissance des plantes. Les engrais azotés coûtent très cher alors que l'azote libre de l'air peut être fixé par les légumineuses. Celles-ci se caractérisent par des bourgeons et des fleurs à cinq pétales. Des exemples des principales légumineuses de la région (par exemple haricot, arachide, soja, etc.) peuvent être discutés pendant la formation.

Certaines bactéries (organismes microscopiques) dans les nodules des racines de légumineuses fixent l'azote, surtout à la floraison. Tous les nodules ne sont pas actifs. Si l'intérieur du nodule est de couleur rose, le nodule est actif et fixe l'azote, mais s'il est brun, le nodule est inactif. Ainsi, en découpant les nodules, on peut déterminer s'ils sont actifs ou pas.

La fixation de l'azote par les légumineuses dépend de la spécificité des espèces de bactéries par rapport à ces plantes, parce que les bactéries ne forment des nodules que sur des plantes qui leur sont spécifiques.

Pour les plantes locales, les espèces appropriées de bactéries sont constamment présentes dans le sol, mais pour des plantes nouvellement introduites, les espèces correspondantes sont souvent absentes. Dans ce cas, les inoculations des semences de ces légumineuses avec des souches appropriées de Rhizobia bacteria augmentent les taux de fixation d'azote.

La couverture du sol par des légumineuses, associée au semis direct, protège le sol contre l'érosion, réduit les mauvaises herbes et l'évaporation et stabilise les températures du sol. La culture qui vient après une légumineuse bénéficie d'un surplus de 20-40 kg d'azote/ha.

L'enfouissement d'une légumineuse est plus enrichissant en azote du sol et il est plus profitable à la culture suivante s'il est fait au stade de pleine floraison ou au moment du remplissage des gousses de la culture.

Un minimum de 2-3 semaines après l'enfouissement de l'engrais vert est conseillé avant de semer la graminée afin de permettre la décomposition complète de la légumineuse.

La méthode adéquate pour introduire une légumineuse dans un système cultural ou pour modifier un système cultural à cette fin, exige toujours des essais agricoles préalables faits par les agriculteurs et les chercheurs. Dans les régions où deux cultures par an sont possibles, il est préférable de semer la légumineuse dans la parcelle traitée au début de la première saison culturale, et l'enfouir à la mi- floraison ou au remplissage des grains, et semer alors la graminée dans les deux parcelles au début de la deuxième saison culturale. La parcelle témoin peut être mise en jachère ou semée avec un non légumineux traditionnel pendant la première saison culturale. Pour des zones où une seule culture par an est possible, la légumineuse est semée la première année et la graminée l'année suivante.

Le choix de la légumineuse dépend de son cycle végétatif et du climat (précipitations, température et gelées probables). Il est important que la légumineuse pousse bien, produise de grandes quantités de biomasse et fixe des quantités importantes d'azote pour qu'elle soit bénéfique à la culture suivante. Sous certains climats, de grandes quantités de biomasse sont obtenues avec des légumineuses ayant des cycles végétatifs de 4-6 semaines seulement. Des essais agricoles sont nécessaires (faits par des chercheurs) pour identifier les légumineuses les plus adaptées au sol et au climat des régions spécifiques. (FAO, 2004)

II.2.1.4. Les couverts végétaux aux cultures intercalaires ou engrains verts

Le couvert végétal est une culture qui peut être implantée entre deux cultures principalement si la période d'interculturel est longue. Le plus souvent l'engrais vert s'insère entre une céréale paille et une culture saisonnière, mais au sol. Si les conditions hydriques sont convenables, il peut être semé au mois d'août.

Selon Stallings (1968), la pratique des engrais verts consiste à enfouir les plantes de couverture pour réaliser un apport de matière organique dont on peut attendre une amélioration des propriétés physiques du sol.

Duchaufour (1991) dit que l'action des engrais verts a pour résultat de faciliter l'infiltration de l'eau dans le sol au début de la saison des pluies, d'enrichir le sol en matière organique et d'élever son niveau de fertilité.

Pour Saccuman(1982), le rôle principal de cette pratique réside principalement dans l'apport des éléments nutritifs de base dans le sol pour stimuler et augmenter la production végétale ; la vitesse de croissance et la densité de culture ; l'augmentation de la production de matière organique, et par conséquent de la fertilité même des sols dans le temps.

II.2.2. Importance des pratiques agroforestières

II.2.2.1. Amélioration de la fertilité par l'agroforesterie

L'agroforesterie est un système d'utilisation du territoire consistant à combiner, dans l'espace et dans le temps, des arbres ou autres végétaux ligneux pérennes avec des cultures et/ou de l'élevage sur une même parcelle de terre (Mémento de l'agronome, 1991). Les systèmes agroforestiers sont caractérisés par des interactions écologiques et économiques entre leurs diverses composantes. Ces associations se caractérisent par :

- Une volonté délibérée d'établir et de maintenir l'association par un entretien important,
- Des interactions écologiques et économiques positives et significatives qui se produisent à l'interface des deux strates de végétation,
- Des productions variées et, en ce qui concerne les arbres, toutes les formes de bois de feu, de service, d'oeuvre ainsi que tous les autres produits tirés des feuilles, des fruits, ...
- Une place importante au plan socioculturel dans beaucoup de sociétés, car les associations (savane arborée, jardins familiaux...) sont les premières formes de mise en valeur du territoire.

Cependant, on peut voir également une définition plus large de l'agroforesterie (cité par Olivier, 2001), « un système dynamique et naturel de gestion des ressources qui, par l'intégration progressive des arbres dans le paysage, doit permettre une production durable et diversifiée, afin de procurer aux paysans des bénéfices accrus non seulement sur le plan économique, mais aussi dans les domaines sociaux et environnementaux ».

Selon le World Agroforestry Centre : « l'agroforesterie est un système dynamique de gestion des ressources naturelles reposant sur des fondements écologiques qui intègrent des arbres dans les exploitations agricoles et le paysage rural et permet ainsi de diversifier et de maintenir la production afin d'améliorer les conditions sociales, économiques et environnementales de l'ensemble des utilisateurs de la terre ».

Bien que l'agroforesterie soit une science antique, cela ne signifie pas qu'il s'agit d'un système désuet pour répondre aux besoins actuels des communautés. Toutefois, une définition revisitée s'impose au niveau international afin d'établir les frontières conceptuelles des pratiques agroforestières pour les distinguer des autres pratiques culturales généralisées depuis le siècle dernier.

En réalité, le terme agroforesterie a été formulé pour la première fois en 1971 par Joseph H. Hulse, alors qu'il menait des études sur la foresterie sociale en Afrique pour le compte du Centre de recherches pour le développement international (CRDI) (CRDI, s. d.). Ainsi, à cette époque l'agroforesterie a d'abord été décrite de cette façon :

« L'agroforesterie, un système contrôlé de la combinaison d'arbres avec d'autres cultures et élevages, offre l'opportunité d'accroître l'approvisionnement alimentaire pour les humains et les animaux ». (Traduit de Hulse, Pearson et al 1979 »

Cette description demeure assez ambiguë, car elle ne permet pas de distinguer nettement l'agroforesterie des autres pratiques agricoles qui sont elles aussi des systèmes contrôlés ayant pour but d'assurer l'approvisionnement en nourriture. De plus, le concept semble envisager l'agroforesterie uniquement comme une option intéressante plutôt qu'une nécessité. quelques années plus tard, Lundgren et Raintree ont proposées la définition suivante : l'agroforesterie est un terme collectif pour des systèmes et des techniques d'utilisation des terres où des ligneux pérennes (arbres, arbrisseaux et sous arbrisseaux) sont cultivés ou maintenus délibérément sur des terrains utilisés par ailleurs pour la culture et/ou l'élevage, dans un arrangement spatial ou temporel, et où sont exploitées des interactions à la fois écologiques et

économiques, pas forcément stables dans le temps, entre les ligneux et les autres composantes du système». (1982, cités par De Baets, 2007, p. 19)

Cette définition, beaucoup plus complète, met l'accent sur les interactions biologiques entre les composantes de l'environnement qui sont associées de façon judicieuse dans le temps et l'espace.

Les critères concernent à la fois l'environnement et l'économie dans une optique de long terme. Cela sous-tend également la multifonctionnalité des systèmes et leur multiplicité en genre. Ces concepts ont été repris de différentes façons par plusieurs autres auteurs, tels que Nair (1985) et Somarriba (1992).

Depuis, c'est cette définition qui est priorisée par le World Agroforestry Center (Nair, 1993). En 1996, Leakey ajoute les concepts clés de production durable et de bénéfices sociaux qui seront repris par le United State Department of Agriculture (USDA) dans les années 2000 (De Baets, 2007; Johnson, 2006).

Afin de caractériser et distinguer plus précisément les pratiques agroforestières, quatre critères essentiels ont été établis par Gold et al. (2000).

- Premièrement, un système intentionnel considère que les combinaisons de cultures et/ou d'élevage et d'arbres doivent être instaurées et gérées ensemble plutôt que séparément.
- Deuxièmement, un système intensif traduit la prédominance des opérations techniques nécessaires au maintien de la productivité et des fonctions des parcelles.
- Troisièmement, un système intégré fait référence à la combinaison structurelle et fonctionnelle des composantes tant au niveau vertical qu'horizontal répondant aux besoins des usagers et conciliant les objectifs de hausse de productivité et de conservation (Association for Temperate Agroforestry (AFTA), s. d.).
- Quatrièmement, un système interactif relie les interactions biologiques et physiques entre les composantes pour mener à la production de biens et services environnementaux. L'agroforesterie doit donc être un système à la fois intentionnel, intensif, intégré et interactif qui tend vers un point d'équilibre.

Au Québec, le Groupe interdisciplinaire de recherche en agroforesterie (GIRAF) se base sur la définition de l'agroforesterie de Lundgren et Raintree de 1982 (GIRAF, 2011). Cependant, un sommaire exécutif de 2007 dressant le portrait de l'agroforesterie au Québec propose plutôt la définition suivante :

« L'agroforesterie est un système intégré de gestion des ressources du territoire rural qui repose sur l'association intentionnelle d'arbres ou d'arbustes à des cultures ou à des élevages, et dont l'interaction permet de générer des bénéfices économiques, environnementaux et sociaux». (De Baets et al. 2007, p. 5)

Cette dernière semble être davantage appropriée dans le contexte actuel et dans une perspective de développement durable. Une nouveauté concerne l'utilisation du terme bénéfices qui rejoint non seulement la productivité des cultures, comme le soutenait la définition de 1979, mais aussi les gains environnementaux et sociaux. Cette variante est audacieuse, puisque les systèmes agroforestiers ne sont pas toujours les meilleures options envisageables pour tous les sites de production agricole ou forestière (Young, 1987). En fait, la notion de bénéfice est dépendante des objectifs visés suite à l'implantation des systèmes agroforestiers selon les contextes socio-économiques et environnementaux (Nathan, 2007)

II.2.2.2. Protection des sols contre l'érosion

La disposition des lignes d'arbres avec un enherbement adéquat augmente la porosité du sol, donc améliore l'infiltration de l'eau par l'effet décompactant des racines, par l'amélioration du bilan organique : la décomposition des feuilles et racines fines assurant le renouvellement de la micro faune et de la biomasse microbiennes. Les lignes d'arbres favorisent ainsi le stockage de l'eau surtout en début d'épisodes pluvieux et ralentissent également les écoulements pour des crues de faible importance. (Dupraz & Liagre, 2005)

II.2.2.3. Itinéraires techniques et fertilité des sols

Les exploitants agroforestiers sont amenés à modifier leur itinéraire technique lorsqu'ils utilisent une culture intercalaire

II.2.2.4. Diversification des paysages

De plus en plus, les parcelles agroforestières prennent l'image plus attractive de paysages de parcs arborés, et qui symbolise une agriculture plus soucieuse de l'environnement. C'est un élément légitime à utiliser dans la communication et la promotion de leurs produits. (Dupraz & Liagre, 2005)

II.3. Les avantages de l'agroforesterie

II.3.1. Des avantages agronomiques et environnementaux

Les avantages agronomiques et environnementaux sont apportés par l'agroforesterie :

Une amélioration de la fertilité du sol, par la minéralisation de la litière de feuilles en surface (ONG, 2006), et surtout par la dégradation en profondeur dans le sol des racines annuelles mortes (Dupraz, 2002).

Un contrôle de l'érosion hydrique (ONG, 1996), la macroporosité du sol (dû à la présence d'arbre et à l'enherbement au pied des arbres), ainsi que l'augmentation du taux de matière organique, permettent de ralentir les écoulements et l'infiltration de l'eau dans le sol. Cela limite le ruissellement et le départ de terre, surtout si l'alignement des arbres est perpendiculaire à la pente (Valengin, 2006 et Ong, 1996).

Un effet brise vent suivant leur orientation (perpendiculaire au vent), réduisant ainsi sa vitesse, créant une zone protégée derrière la ligne d'arbre (Valengin, 2006). Les peuplements agroforestiers pourraient jouer un rôle intéressant dans les zones venteuses, afin de limiter particulièrement l'érosion éolienne.

- une biodiversité plus riche sur la parcelle, induite par l'hétérogénéité de la végétation (cultures, arbres, et enherbement). Les parcelles agroforestières abritent ainsi des auxiliaires des cultures mais également des ravageurs potentiels. L'équilibre écologique créé permet de limiter les problèmes d'invasion ou de pullulations (Liagre F, et al. 2005)

L'association des arbres aux activités agricoles, judicieusement organisée dans l'espace et dans le temps, permet d'instaurer des relations de complémentarité. Un cycle se met en place entre les éléments du climat, de la biodiversité, du sol, de l'eau, les cultures, les animaux et les arbres, au bénéfice de la production et des paysages (LABANT Pierre, 2010).

En tant que plantes pérennes, des arbres couvrent le sol pendant toute l'année et lui procurent une protection contre le soleil brûlant, les vents hauts et les fortes pluies. Mais non seulement le sol : les arbres jettent de l'ombre sur l'homme et sur l'animal et sur des cultures d'accompagnement (notamment des plantes ombrophiles) et réduisent le stress causé par des vents secs ou des tempêtes. A la suite de l'abri contre le vent et l'ombre pendant une partie de la journée, la culture d'accompagnement consomme moins de l'eau, un facteur important pour permettre de bons rendements dans les régions sèches.

Les arbres eux-mêmes consomment de l'eau qu'ils transpirent en vue de refroidir les feuilles ; cela permet de faire monter l'humidité et de baisser les températures dans la journée (Ed Verheij, 2003)

Aujourd'hui, de nouvelles formes d'agroforesterie voient le jour, répondant aux contraintes liées aux systèmes agricoles actuels. Les principales évolutions par rapport à l'agroforesterie traditionnelle concernent le choix des essences, la disposition des arbres et leur densité. De nombreux essais se sont mis en place depuis les années 80, et des projets de recherche et développement ont permis de mieux comprendre le fonctionnement des parcelles agroforestières.

Aujourd'hui, un réseau de plus de 80 parcelles de démonstration d'agroforesterie dite « moderne» est en place dans une vingtaine de départements, et représente environ 1 500 hectares (guide 2010).

L'arbre peut avoir, en agriculture, un important rôle dans la protection de la fertilité. De nombreux systèmes traditionnels lui réservent une place importante et l'expérience contemporaine confirme son rôle bénéfique (Daniel Y. ALEXANDRE et al 1986).

II.3.2. Les avantages économiques de l'agroforesterie

Les systèmes d'agroforesterie exploitent le sol au maximum. Chaque partie d'une terre est considérée appropriée pour la culture de plantes utiles. L'emphase est placée sur des cultures polyvalentes pérennes plantées une fois qui procurent des bénéfices sur une longue période de temps. Ces bénéfices peuvent inclure des matériaux de construction, des aliments, des fourrages, des combustibles, des fibres et de l'ombre (LABANT Pierre, 2012).

Dans les systèmes agroforestiers, les arbres jouent également d'autres rôles importants comme la prévention de l'érosion et l'amélioration de la fertilité du sol (en fixant l'azote ou en déposant à la surface des minéraux provenant des couches profondes du sol au moyen de la chute des feuilles). D'après Van Der Ploeg et al. (2019)

De plus, les systèmes agroforestiers bien conçus exploitent au maximum les interactions bénéfiques des plantes cultivées tout en réduisant au minimum les interactions défavorables. L'interaction la plus courante est la concurrence, comme par exemple pour la lumière, l'eau ou les nutriments du sol. La concurrence réduit inévitablement la croissance et le rendement de n'importe quelle culture. Cependant, elle existe également en monoculture et ne sera pas nécessairement plus nuisible dans un système agroforestier qu'en monoculture.

Les interactions entre les composantes des systèmes agroforestiers sont souvent complémentaires. Dans les systèmes d'arbres et de pâturages, avec des animaux, les arbres fournissent de l'ombre et/ou du fourrage alors que les animaux fournissent du fumier. (De Baets, 2007 ; Durpraz & Liagre, 2005)

Ainsi, les systèmes agroforestiers réduisent les risques et accroissent la viabilité de l'agriculture tant à petite qu'à grande échelle. On peut considérer que les systèmes agroforestiers sont les éléments fondamentaux du système agricole lui-même, lequel contient de nombreux autres sous-systèmes qui, pris ensemble, définissent un mode de vie. (Tim Motis et al, 2007).

II.3.3. Les avantages environnementaux

L'agroforesterie permet d'améliorer la fertilisation naturelle des sols et offre donc la possibilité de réduire l'apport d'intrants. Elle permet aussi de préserver les sols contre l'érosion et assure une protection des eaux souterraines. Elle agit également comme vecteur de diversification des paysages, de maintien de la biodiversité, de lutte efficace contre les risques d'incendie et est facteur de fixation d'azote atmosphérique.

II.4. Historique de l'agroforesterie au Burundi

L'agriculture reste l'activité prédominante au Burundi et est pratiquée par 93% de la population et occupe 50% de la superficie des terres du Burundi. Elle fournit 95% de l'offre alimentaire. Les agriculteurs exploitent de manière individuelle des terres privées acquises d'après le droit coutumier. La superficie d'occupation des terres agricoles s'accroit avec la population.

En 1982, la superficie agricole utilisée était de 792.510 hectares sur 1.674.810 hectares de superficie agricole utiles laissant encore 627.580 hectares à valoriser. A cette époque, le coefficient de superficie agricole utilisée par rapport à la superficie agricole totale était de 47,3% soit une marge appréciable de perspective de mise en valeur ultérieure. A l'heure actuelle, ce coefficient a beaucoup augmenté et les marges d'augmentation des superficies agricoles sont minimes. Actuellement, les productions vivrières occupent 90% des superficies cultivées (environ 1210000 ha) et contribuent pour environ 46% du PIB.

Les exploitations agricoles sont à la limite de l'exploitabilité. Avec une taille moyenne de 0,5 ha par l'exploitation, la surface atteint ses limites comme facteur principal de sources de revenu.

Actuellement tout type de terrain est convoité pour l'agriculture, même les zones les vulnérable (MINAGRIE, 2008). L'élevage est encore extensif au Burundi. Il a également connu un déclin suite au vandalisme pendant la même crise et à la réduction d'espace de pâturage.

Les pâturages se raréfient du fait de la pression démographique et la recherche de terres cultivables. Au cours de ces dernières années, les secteurs de l'élevage a connu beaucoup de problèmes liés à la guerre civile (vols et massacres de bétail, etc.).

II.4.1. Foresterie et agroforesterie

Les ressources forestières et agroforestières occupaient près de 155000 ha (5,56 % du territoire national) dont 95000 ha de boisements publics (Eucalyptus, Pinus) et plus de 60000 ha d'essences agroforestières, fourragères et fruitières. Rien qu'au cours des années 1993-1996, les destructions sont estimées à 31000 hectares. Chaque année, au moins 1000000 plants sont réservés aux plantations domaniales mais l'entretien ne suit pas faute de moyens (MINEEATU, 2008).

Le secteur de foresterie et d'agroforesterie joue aussi un rôle important dans la conservation des eaux et des sols et assure le maintien de la biodiversité et des équilibres hydrologiques de l'environnement.

II.4.2. Ecosystèmes naturels

Au Burundi, les écosystèmes naturels forestiers couvrent environ 199063 ha soit 7,15 % dont 113633 localisés dans les aires protégées et représentant 4,08 %. En basse altitude, les formations végétales comprennent la forêt sclérophylle à Hyphaene dans la plaine de la Rusizi avec environ 1200 ha et la forêt de Kigwena au sud de Rumonge avec 500 ha. Les forêts ombrophiles de montagne occupent les hautes terres du Burundi occidental dans les localités de la Kibira, Mpotsa, Monge, Bururi et Vyanda avec environ 50000 ha.

En altitude moyenne, les forêts claires occupent les escarpements côtiers de la partie occidentale Sud, partant de Rumonge jusqu'à Nyanza-Lac. Elles remontent jusqu'à l'extrême Nord du Kumoso-Buyogoma contre la frontière tanzanienne. Elles couvrent environ 20000 ha. L'altitude est comprise entre 1000 et 1600 m. Les savanes occupent une Stratégie Nationale et Plan d'Action pour la lutte contre la dégradation des sols au Burundi partie de l'Est du Burundi avec environ 90800 ha. Elles tapissent des sols arides, rocheux, rocailleux et squelettiques.

Dans cette région, la dégradation des forêts claires et des savanes laisse des déserts rocheux qui caractérisent actuellement des chaînes de montagnes d'Inanzerwe-Kibimbi, Nkoma, Mpungwe et Murore.

Au Nord du pays à Bugesera, les bosquets xérophiles en disparition ne couvrent qu'environ 2500 ha. Dans les zones très dégradés de la région de Bututsi et des plateaux centraux, les pelouses à Eragrostis et les steppes dominent.

II.4.3. Energie

Le Burundi possède un nombre assez varié de sources d'énergie sous forme de bois, d'hydroélectricité et de tourbe. Les statistiques AFREC 2020 montrent que l'alimentation en énergie au Burundi est assurée à 97% par les combustibles provenant de la biomasse tels que le bois de feu, le charbon de bois et les résidus agricoles ainsi que la tourbe.

Les ressources énergétiques se répartissent comme suit la biomasse (97), l'électricité et les produits pétroliers (2%), les autres formes d'énergies (1%) (AFREC 2020). Dans le sous-secteur du bois énergie, la quasi-totalité des ménages burundais y ont recours (bois et résidus végétaux pour les ménages ruraux, charbon de bois pour les ménages urbains. Compte tenu de la demande actuelle, de la densité et de la croissance démographique, ainsi que l'habitat dispersé, ces ressources sont soit sous pression et sont menacées d'épuisement (c'est le cas du bois énergie), soit trop coûteuses quand il s'agit de les mettre en valeur.

II.4.4. Ressources en eau

De façon générale, le pays dispose d'un grand potentiel en ressources en eau. Les ressources en eau superficielle sont estimées à 319 m3/s. Ces ressources restent peu utilisées dans le développement économique et se retrouvent surtout dans l'utilisation domestique. Bien que limitée, la pollution de l'eau devient de plus en plus un problème, les principales sources de cette pollution étant l'érosion du sol et les eaux usées. Ainsi, les quantités de terres arrachées par l'érosion provoquent l'envasement des cours d'eau et des lacs pendant que les effluents industriels et les eaux usées ménagères et commerciales constituent un problème pour certaines rivières.

L'utilisation de l'eau à usage non potable se répartit entre l'agriculture (l'irrigation 16,3%), les marais (33,2%), l'élevage (0,5%), la pisciculture (0,3%), l'industrie (0 ,4%) et l'hydroélectricité (49,3%). Le secteur agricole est le plus grand consommateur de l'eau.

Il faut néanmoins noter que l'eau consommée par l'agriculture et l'élevage est essentiellement pluviale, l'irrigation étant encore à l'état.

II.4.5. Climat

La topographie du Burundi s'accompagne d'une variation du climat en fonction de l'altitude d'où une diversité géo climatique importante. Le climat du Burundi est tropical humide influencé par l'altitude qui varie entre 773 m et 2670 m.

Il est caractérisé par une alternance de la saison pluvieuse qui s'étend généralement du mois d'Octobre à Mai et de la saison sèche qui va de Juin à Septembre. D'une manière générale, les précipitations augmentent avec l'altitude.

Les minimas sont de l'ordre de 500 mm et s'observent dans la plaine de la Rusizi, alors que les maximas atteignent 2200 mm dans les régions de hautes altitudes. La pluviométrie moyenne pour le Burundi est de 1274 mm de pluie. C'est au cours du mois d'avril qu'on observe le plus grand nombre de jours de pluie (16 à 26) (Sinarinzi, 2005). La température moyenne annuelle de l'air diminue au fur et à mesure que l'altitude augmente. La moyenne annuelle la plus élevée est de 24,1°C (plaine de l'Imbo) tandis que la plus faible est de 15,6°C (Rwegura). Les moyennes mensuelles des températures maximales sont les plus élevées en fin de saison sèche (Septembre-Octobre) alors que les moyennes mensuelles des températures minimales son

II.5. Services écosystémiques de l'agroforesterie

Depuis 15 ans, les enjeux environnementaux liés aux biens publics (changement climatique, biodiversité, qualité de l'eau) et leur déclinaison dans les politiques sectorielles (agricole, aménagement du territoire) ne peuvent plus être abordés sans référence aux concepts de service écosystémique et service environnemental.

Même si les définitions de ces notions et de leurs paradigmes sous-jacents font encore objet de débats, on peut noter que les politiques et les instruments sont déjà définis et appliqués dans de nombreux pays sous différentes formes (Wunder et al., 2008). La définition scientifique, les débats épistémologiques et la mise à l'agenda politique se font donc simultanément et avec des allers-retours constants.

Il est difficile de donner une date précise de la première apparition de la notion des services écosystémiques dans la littérature scientifique. Cependant, beaucoup d'auteurs attribuent son invention au rapport « Study of Critical Environmental Problem publié par un groupe de chercheurs du MIT (1970) ».

Ce rapport ne traitait pas explicitement des services écosystémiques mais fait référence aux services issus de la nature tels : le contrôle des espèces envahissantes, la pollinisation, la régulation du climat ou le contrôle de l'érosion (Mooney et Ehrlich, 1997). Après 10 ans de la publication de ce rapport le terme services éco-systémiques « Ecosystem services » est apparu explicitement pour la première fois dans un texte publié par Ehrlich Ehrlich en 1981 (Durpas, 2014).

Même si des travaux antérieurs à ces deux publications ont traité du lien entre les fonctions et aménités de la nature et le bien-être humain, notamment les publications de King (1966), Helliwell (1969) et Ehrlichet Ehrlich (1970).

II.5.1. Typologies des services écosystémiques

On peut classer les typologies des SE qu'on retrouve dans la littérature scientifique en trois grandes périodes : les typologies pré MEA, 2005, la classification du rapport MEA, 2005 et les typologies post MEA.

II.5.1.1. Typologies pré MEA, 2005

L'article de Costenza et al., 1997 est considéré comme le premier travail scientifique à avoir tenté de recenser les SE offerts par la nature et estimé leurs valeurs pour l'humanité. Malgré les critiques dont il a fait objet, l'article est considéré toujours comme référence sur le plan international. Selon la base de données transdisciplinaire Scopus qui référence 21 000 journaux scientifiques, cet article a été cité près de 11 000 fois dans la littérature scientifique (**Durpas, 2014).**

Dans cet article, Costenza et al.,1997 recensent 16 biomes classés en 17 catégories de SE, mais cette classification a reçu beaucoup de critiques en raison des chevauchements entre certains services identifiés comme par exemple les services de loisirs et de culture, les ressources génétiques et les produits alimentaires et des matières premières, la régulation du climat et les émissions de gaz à effet de serre et la régulation de l'eau avec l'approvisionnement en eau. Ces chevauchements peuvent conduire à surestimer la valeur totale des SE en raison du double comptage.

Une autre critique a été également mentionnée et concerne la distinction des services qui relèvent des fonctions de l'écosystème des services produit par ce dernier (**Haines-Young et Potschin, 2011).**

De Groote et al. 2002 ont proposé une autre typologie qui complète celle de Costenza et al., 1997. Ils recensent 23 SE classés en 4 catégories de services naturels et semi-naturels, à savoir : les services de régulation, d'habitat, de production et d'information.

Les critiques à cette classification concernent les chevauchements entre la régulation et l'approvisionnement en eau, qui ont été classées en tant que fonctions différentes, alors que la deuxième dérive de la première. Également, les services d'esthétique et de loisirs ont été définis comme des entités séparées alors qu'ils sont étroitement liés (**Durpas, 2014).**

II.5.1.2. Typologie du MEA, 2005

La classification du MEA, 2005 se base principalement sur les définitions de Daily (1997) et Costanza et al. (1997), à savoir :

Les SE sont les conditions et les processus par lesquels les écosystèmes naturels et les espèces qui les composent rendent possible la vie humaine et son émancipation. Ils maintiennent la biodiversité et la production de biens par les écosystèmes, tels que les fruits de mer, le bois de chauffage, les fibres naturelles et de nombreux produits pharmaceutiques, produits industriels et leurs précurseurs (Daily, 1997) ;

Les biens écosystémiques comme la nourriture et les services tels que le traitement des déchets représentent les avantages que les populations humaines tirent, directement ou indirectement, des fonctions des écosystèmes (Costanza et al. 1997). A partir de ces définitions, le MEA établit une classification en quatre catégories des SE, à savoir :

- **Les services d'approvisionnement (provisioning)** : Renvoient à une consommation directe de l'être humain. Il s'agit des produits matériels procurés par les écosystèmes : aliments, eau douce, matières premières (bois et fibre) et ressources médicinales ;
- **Les services de régulation (regulating)** : Ce sont les bénéfices découlant des fonctions régulatrices des écosystèmes: régulation du climat local et de la qualité de l'air, séquestration et stockage du carbone, atténuation des phénomènes extrêmes, traitement des eaux usées, prévention de l'érosion et maintien de la fertilité des sols, pollinisation, contrôle biologique.
- **Les services culturels (culturaux)** : Ils concernent les bénéfices non matériels que les hommes retirent de contacts avec les écosystèmes : divertissement, tourisme, effets sur la santé mentale et physique, valeur esthétique et source d'inspiration pour la culture, l'art et le design, expérience spirituelle et sérénité.

- **Les services support (Supporting)** : Sont le support et les mécanismes fonctionnels des écosystèmes qui permettent à la biodiversité de produire des services utiles à l'être humain.

Ils regroupent la quasi-totalité des autres services et comprennent les habitats des espèces et le maintien de la diversité génétique, la formation du sol, la photosynthèse, le recyclage des substances fertilisantes, la production primaire de biomasse.

Tableau 1 : Cartographie des services écosystémiques d'utilité évalués dans l'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire (MEA, 2005)

Type de valeur	Type de SE	Biens et Services écosystémiques
Valeur d'usage direct	Approvisionnement	Alimentation Ressources ligneuses Ressources génétiques Ressources biochimiques et pharmaceutiques Eau douce
Valeur d'usage indirect	Régulation	Qualité de l'air Régulation du climat Régulation de l'eau Contrôle de l'érosion Traitement et qualité de l'eau Régulation des maladies Contrôle biologique Pollinisation Prévention d'évènements externes
Valeur de non-usage	Culturels	Valeurs spirituelles et religieuses Valeurs esthétiques Loisir et tourisme
Valeur de non-usage	Appui ou support	Biodiversité : Nurserie et reproduction pour espèces résidentes ou de passage Formation des sols : Rétention des sédiments et accumulation des matières organiques Cycles nutritives : Stockage, recyclage, transformation et acquisition des matières nutritives

Source : Elaboration personnelle à partir de la liste des services écosystémiques des zones humides retenus par Ramsar (De Groot et al., 2007).

II.5.1.3. Typologies post-MEA, 2005

La publication du rapport de l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire en 2005 a ouvert le débat sur les services écosystémiques et leur rapport avec la production du bien être humain. Plusieurs auteurs se sont mis à analyser les classifications précédentes de SE. Wallace (2007) souligne que certains services contenus dans la classification du MEA tels la

pollinisation, la régulation de l'eau, la photosynthèse et la formation des sols ne sont pas une finalité en soi mais plutôt des moyens pour réaliser des objectifs utiles pour l'homme comme la nourriture et l'eau potable. Il propose sa propre typologie en quatre groupes à savoir : les ressources, la protection, l'environnement et l'épanouissement socioculturel.

Cette typologie a été fortement critiquée, notamment par Cosenza (2008) au sujet du lien entre fonctions, services et finalités mais également en raison de son argumentaire jugé très conservatoire.

Cosenza suggère que les SE ne soient pas considérés comme des fins en soi mais des supports pour la production du bien-être humain (Cosenza, 2008). Il propose deux classifications différentes : la première est basée sur la proximité spatiale des services et la seconde sur leurs caractères d'exclusion et de rivalité. Sur le plan spatial, il définit cinq catégories : à savoir les services à une échelle globale (non-proximale), locale et proximale, ceux liés à un flux directionnel, in situ et ceux relatifs à un déplacement des usagers. La seconde définit quatre catégories des services : rival exclusif, rival non-exclusif, non-rival exclusif et non-rival non-exclusif.

De leur côté, Fisher et Turner (2008) critiquent l'absence d'une vision utilitariste dans la proposition de Wallace et soulignent que seule la perception du bénéficiaire (utilité) qui motive l'importance des SE.

Le groupe de travail (TEEB, 2010) propose une typologie de 22 services écosystémiques regroupés en quatre catégories : approvisionnement, régulation, habitat et culture et agrément.

Le rapport souligne que d'un point de vue économique, les flux des services écosystémiques peuvent être considérés comme le « dividende » que la société reçoit du capital naturel.

Maintenir le stock du capital naturel permet de garantir la pérennité du bien être humain (TEEB, 2010).

Pour ce faire, on a besoin de bien comprendre le fonctionnement des écosystèmes, des services qui en découlent et les risques qui pourront affecter ces écosystèmes.

En 2011, Staub et al. proposent une classification de 23 SE regroupés en quatre catégories à savoir la santé et le bien-être, la sécurité, la diversité naturelle et les facteurs de production mais cette classification a été critiquée en raison de redondance entre certains services considérés par les auteurs comme des entités à part, ce qui pourrait conduire à un double comptage.

Haines-Young et Potschin (2011) proposent une classification connue sous le nom (Common International Classification of Ecosystem Goods and Services). Ils classent les SE en neuf classes, regroupées en trois catégories (approvisionnement, régulation- entretien et culturels).

En plus de ces typologies largement utilisées dans la littérature scientifique, ils existent également d'autres classifications en fonction des types d'écosystèmes.

L'étude Eftec, (2005) établit une liste des services écosystémiques liés à trois grands types d'écosystèmes (forêts, zones humides, agroécosystèmes), en fonction de leurs valeurs d'usage par rapport à trois niveaux de bénéficiaires : niveau local, régional/national et global.

Chevassus-au-Louis (2012) met en exergue l'interactivité entre les services et opte pour le terme « services écologiques ». Selon lui, un service est difficilement imputable à un écosystème donné. En effet, les écosystèmes pour qu'ils existent et fournissent des services ont besoin d'interagir entre eux. De ce fait, l'entité d'origine ne peut plus être un écosystème mais plutôt un ensemble d'écosystèmes qui interagissent dans le cadre d'une entité plus large appelée « éco-complexe ». Dans ce même ordre d'idée, l'auteur indique que le service écologique est un flux d'un système vers un autre, d'où la nécessité de passer de l'éco complexe au socio écosystème. Compte tenu que les différentes composantes du socio écosystème ne peuvent pas être clairement isolées, il apparaît que les services écologiques sont le fruit de l'intersection des composantes au sein d'un unique système socio-écologique.

Holliday et Glaser (2011) proposent d'inclure dans la définition des services écosystémiques la dimension sociale et suggèrent d'utiliser le terme « services socio-écologiques ». Pour les auteurs, un système socio écologique est composé d'un ensemble des êtres vivants (humains et non humains) organisés dans un espace géographique donné.

Ils donnent l'exemple d'une ferme familiale, ou les individus vivants dans la ferme représentent les populations humaines. Les êtres non humains sont les plantes et les animaux, y compris les animaux domestiques et d'autres qui sont naturalisés ou autochtones dans la zone.

L'organisation de la ferme est déterminée par le fermier, mais les plantes et les animaux s'organisent eux-aussi de leurs manières qui peuvent être acceptées, résistées ou ignorées simplement par le fermier. Les frontières du système sont dans ce cas ceux de la ferme, qui sont déterminées conformément à la loi ou par la coutume.

Les composantes géophysiques du système incluent l'eau et les sols, qui sont seulement partiellement sous le contrôle des fermiers.

Liquette et al. (2013) signalent le manque des classifications adaptées aux systèmes côtiers et marins et proposent une classification de ces services en trois catégories : services d'approvisionnement, services de régulation et de maintenance et services culturels.

En conclusion, cette revue de la littérature montre clairement qu'il n'y a pas encore un consensus sur le concept des services écosystémiques étant donné la complexité et la dynamique des liens entre les systèmes écologiques, sociaux et économiques.

Comme le suggèrent Fisher et al. (2009), des classifications et typologies adaptées doivent se centrer sur les caractéristiques écologiques des sites étudiés tout en tenant compte des contextes sociaux et de décision spécifiques.

II.6. La valorisation économique des services écosystémiques

Avec la montée en puissance des réflexions initiées à la fin des années 1980 autour du concept de développement durable et la popularisation de la notion de biodiversité, les études visant à évaluer la contribution de la biodiversité au développement des sociétés humaines se sont multipliées. Les engagements politiques actuels (Convention sur la diversité biologique, traité international sur les ressources phylogénétiques, FAO) ont donné lieu à plusieurs initiatives scientifiques visant à évaluer la biodiversité et ses usages par des approches qui vont de la description de son état de conservation jusqu'à la mesure de la valeur monétaire de sa contribution au bien être humain. L'approche MEA, devenue actuellement le cadre global de référence de l'évaluation de la biodiversité, repose sur l'identification, la catégorisation et l'évaluation économiques des services écosystémiques.

Ainsi, elle définit trois principales étapes, à savoir :

L'identification : il s'agit de connaitre tous les services rendus par les écosystèmes qui profitent directement ou indirectement à la satisfaction du bienêtre de l'homme.

La quantification : elle consiste à prouver la valeur de ces services, soit par l'attribution des valeurs monétaires aux services (mesure) ou par l'utilisation ; des indicateurs de l'état/étendue de ces services.

L'intégration : cette dernière étape consiste à intégrer les résultats de l'évaluation dans les décisions de gestion (reconnaitre la valeur de la biodiversité).

Le développement des recherches sur la biodiversité a été accompagné par une croissance accrue des méthodes de valorisation économique des services écosystémiques. Cette multiplicité des approches est liée à la diversité des disciplines qui traitent de la question de la biodiversité et le regard que chaque discipline a sur son utilité pour les sociétés.

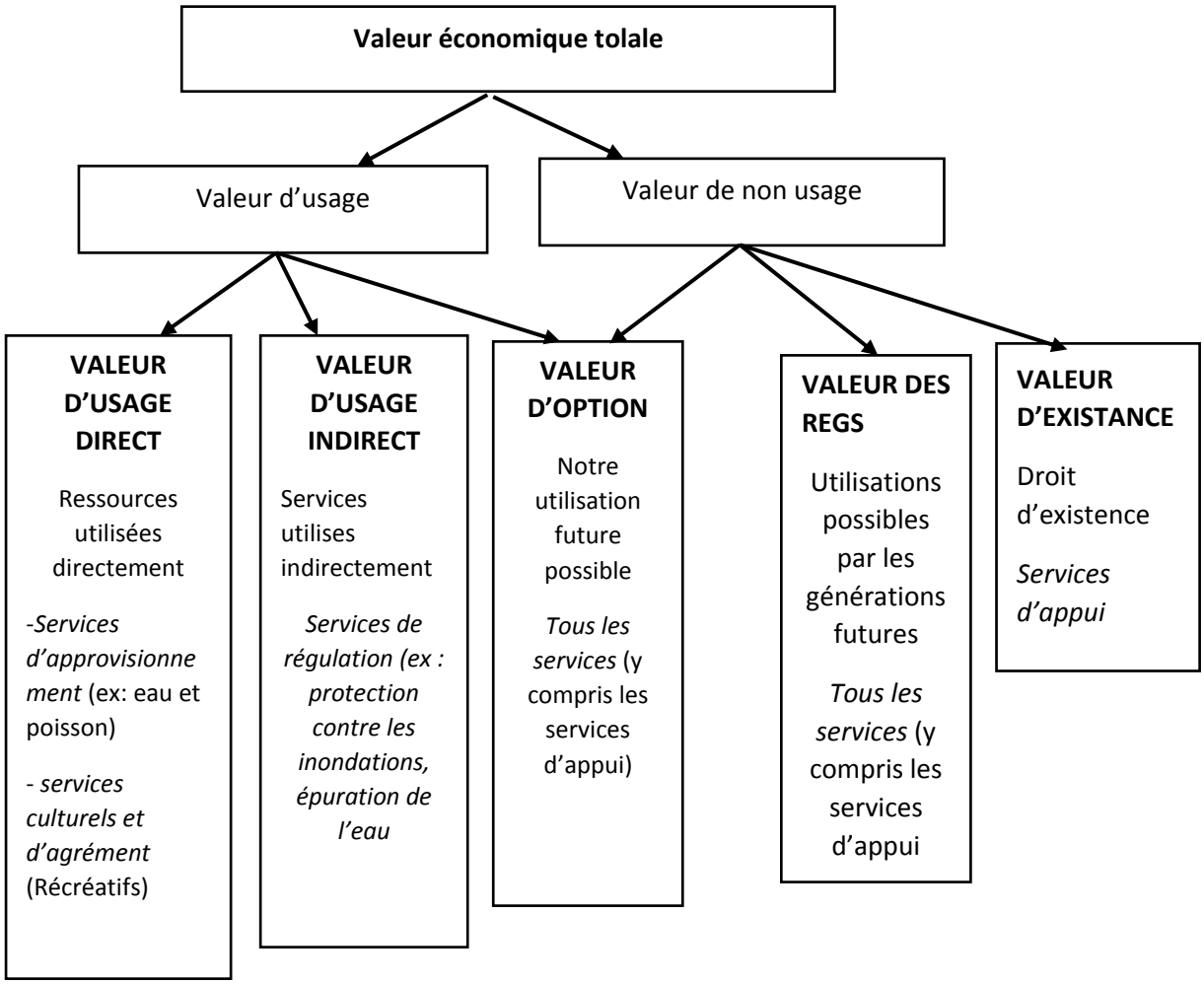
II.6.1. Les principales valeurs des services écosystémiques

Les économistes de l'environnement ont développé plusieurs méthodes permettant de mesurer la valeur économique totale des biens et services environnementaux ou une partie de cette valeur. La valeur économique totale (VET), distingue deux principales catégories des valeurs: la valeur d'usage et la valeur de non usage.

La valeur d'usage désigne les avantages retirés de l'utilisation (consommation ou autre utilisation) des actifs naturels. Elles comprennent l'usage effectif, direct et indirect (biens et services) et l'usage potentiel (valeur d'option ou d'assurance).

Les valeurs de non usage sont liées à la satisfaction de savoir qu'un actif naturel existe. Elles englobent les valeurs altruistes envers les générations futures (valeurs d'héritage) et envers les espèces non humaines (valeurs d'existence).

Figure 2 : Schéma illustrant l'application de la valeur économique totale aux services écosystémiques



Source : Aoubid. S et Gaubert. H 2010

- La valeur d'usage direct mesure l'avantage direct retiré de l'utilisation d'un actif. Cette utilisation peut se manifester à travers un acte de consommation ou des comportements non consommateurs (promenade).

- La valeur d'usage indirect mesure les capacités fonctionnelles d'un écosystème (régularisation hydrique, biodiversité, régulation climatique, etc.). Cette valeur n'est considérée dans l'évaluation économique que s'il elle est présente dans la fonction de l'utilité des acteurs présents ou futurs.

- La valeur d'option mesure la possibilité de disposer d'alternatives des choix possibles. Elle peut être appréhendée par le prix qu'un individu accepte de payer pour disposer d'un bien donné à un prix donné à un moment donné.

C'est donc une prime d'assurance que les individus acceptent de payer pour se couvrir de la possibilité d'occurrence des risques potentiels (Garrabé, 2014)

- La valeur d'héritage (de legs) mesure l'avantage que représente la conservation de la disposition d'un bien (actif) pour les générations futures.
- La valeur d'existence mesure la valeur accordée par un individu à un actif indépendamment de son usage présent ou prévisible.

II.6.2. Les méthodes de valorisation des actifs naturels

II.6.2.1. Fondement de la théorie de consommation

La valorisation économique des actifs naturels est au cœur de l'économie de l'environnement. Elle repose sur la théorie du consommateur. Ainsi, la variation du bienêtre engendré aux individus par la nature est mesurée par la notion du surplus du consommateur.

Marshal, cité par Voltaire (2011) donne la définition suivante du surplus du consommateur : « le consommateur retire d'un achat un surplus de satisfaction. La somme supplémentaire qu'il aurait accepté de payer, au-delà du prix, plutôt que de renoncer à l'achat, mesure le surplus de satisfaction. On peut l'appeler le surplus du consommateur ».

Le surplus du consommateur est défini selon la fonction de demande dite marshallienne comme étant la différence entre la disposition qu'un individu est prêt de payer pour se procurer d'un bien et le prix réel qu'il paye. Dans une économie de marché ou les prix varient, leur variation induit une variation du surplus du consommateur qui peut être positive ou négative.

Etant donné que la fonction de demande de Marshal suppose que l'utilité du consommateur est constante quel que soit la variation du prix, elle a été remplacée par la fonction hicksienne (demande compensée) qui cherche à minimiser les dépenses sous contrainte de l'utilité. Cette mesure dite non ordinaire dégage deux mesures de variation du surplus : les variations compensatrice et équivalente du revenu.

La variation compensatrice est calculée à partir du niveau initial d'utilité avant le changement. La variation équivalente est calculée à partir du niveau final d'utilité après le changement (Bonnieux and Desaigues, 1998).

La variation compensatrice est représentée par le montant maximal (ou minimal) de qui doit être retiré (additionné) au revenu pour maintenir inchangé le bien-être d'un consommateur malgré la diminution (ou augmentation) des prix.

Elle cherche à garder l'état initial du bien-être dont bénéficie le consommateur suite au changement des prix. La variation équivalente détermine le montant minimal (maximal) de monnaie qui doit être accordé (retiré) à un consommateur pour garder son bien-être à un niveau équivalent à une diminution (hausse) des prix (M'Bareck, 2016).

Cette théorie du surplus du consommateur a été transposée à l'évaluation des biens et services naturels. En effet, l'agent peut faire un arbitrage entre les biens environnementaux et les biens privés. Si on prend l'exemple d'une aire marine protégée, le consommateur peut choisir entre l'amélioration de l'état environnemental de l'aire marine protégée (bien environnemental) et l'augmentation de ses biens privés (nourriture, santé...), il va se comporter d'une manière rationnelle en cherchant à maximiser son utilité sous la contrainte de son budget (M'Bareck, 2016).

II.6.2.2. Les principales méthodes utilisées et leurs limites

Si la mesure des valeurs d'usage est relativement facile en raison de l'existence d'un marché de référence, celle des valeurs de non usage requiert les recours à des méthodes spécifiques (hors marché). Les principales méthodes utilisées couramment dans l'évaluation économique des actifs naturels sont :

II.6.2.2.1. Les méthodes des préférences révélées

Elles sont utilisées pour estimer la valeur de deux catégories des biens naturels : ceux ayant une valeur sur le marché et ceux ne disposant pas d'une valeur marchande mais leur valeur peut être appréhendée par la valeur marchande des biens complémentaires ou substituables. Elle regroupe : la méthode des prix du marché, des coûts de déplacement et des prix hédonistes, coûts évités, coûts de remplacement.

a. La méthode des prix du marché

Cette méthode est utilisée pour mesurer la valeur d'usage direct des biens et services naturels qui font l'objet des transactions sur les marchés réels (chasse, pêche, agriculture, etc.) Les prix sont ainsi établis par les coûts de production des biens et services ou la disposition que les acheteurs consentent à payer pour bénéficier de ces biens et services.

L'évaluation par les prix des marchés est souvent délicate en raison de la distorsion de certains marchés en particulier pour les activités récréatives. Elles présentent l'avantage d'être faciles à utiliser mais leur principale limite est qu'elles ne mesurent que la valeur d'usage direct (production par exemple).

En plus, ces méthodes sont très sensibles à la nature des marchés ce qui implique, en cas de leur utilisation dans les pays en voie de développement, une correction des prix.

b. La méthode des prix hédoniques

Cette méthode proposée pour la première fois par Adelman et Griliches en 1961, repose sur le principe que le prix d'un bien immobilier dépend des caractéristiques du bien lui-même mais aussi des avantages du milieu dans lequel il se trouve. Partant de ce principe on peut considérer que si la valeur de l'immobilier dépend en partie de sa localisation, toute détérioration de son milieu peut être évaluée par la perte de valeur de l'actif immobilier consécutive à cette détérioration (Garrabé, 2014). Ainsi, le marché immobilier pourrait être considéré comme "un marché implicite" permettant de mesurer la valeur de certains actifs naturels.

c. La méthode des coûts de déplacement

Les principes généraux de cette méthode ont été exposés par Hotelling en 1947. Sa première application importante est attribuée à Clawson en 1959. Depuis lors, cette méthode a connu de très nombreuses applications, Clawson et Knetsch (1966) ; Freeman (1979), etc. Son principe est basé sur l'évaluation de la valeur attachée à un bien ou service à partir de la disposition réelle que les individus acceptent de payer pour bénéficier des avantages de ce bien ou service. Cette méthode est très utilisée pour mesurer la valeur des espaces naturels et actifs touristiques.

Dans ce cas, on considère que la valeur attribuée à l'actif est égale à la somme des coûts (couts de transport et autres coûts) engagés par les individus qui le fréquentent. Elle est souvent utilisée pour mesurer les valeurs d'usages essentiellement récréatifs (Salles, 2010) mais ne mesure pas la valeur économique totale.

L'utilisation de cette méthode requiert la mobilisation de beaucoup des données, ce qui peut poser un problème dans le cas des pays en voie de développement. L'écart important entre les dépenses des touristes étrangers et nationaux. (Christie, 2012) et les visites à buts multiples complexifient les estimations.

II.6.2.2.2. Les méthodes des préférences déclarées

Elles constituent une alternative intéressante aux méthodes précédentes. En effet, lorsqu'aucun comportement ne peut être observé sur le marché réel on peut demander aux ménages leur consentement à payer pour bénéficier d'un bien naturel contingent.

Ces méthodes, basées essentiellement sur des enquêtes auprès des acteurs, ont connu une large utilisation dans le monde car elles permettent de mesurer à la fois les valeurs d'usage et de non usage et donc la valeur économique totale. Elles proposent une approche théorique basée sur un marché hypothétique du bien évalué.

Les principales méthodes sont:

a. L'évaluation contingente

Les principes de cette méthode ont été exposés par Ciriacy-Wantrup en 1952. Depuis les années 1970, cette méthode a fait l'objet de beaucoup d'applications au point qu'elle est devenue l'une des méthodes les plus utilisées pour révéler les préférences individuelles dans le cas des biens et services hors marché. En Europe, cette méthode a connu plus de 1500 applications au cours de trente dernières années (Garrabé, 2014).

Elle consiste à recueillir par enquête puis à agréger le montant des consentements à payer pour protéger une espèce, un habitat ou un service ou les consentements à recevoir pour compenser la destruction de ces éléments. Cette méthode permet de faire des évaluations proches de celles que l'on obtiendrait sur un marché réel, sous certaines précautions.

Malgré le succès très fort de l'évaluation contingente dans le monde développé, plusieurs restrictions ont été émises (Whittington, 1992 ; 1998 ; Christie, 2012) quant à la possibilité d'utiliser cette méthode dans les pays en voie de développement en raison des contextes très différents de ceux des pays développés (perception et compréhension du concept de la biodiversité, familiarisation avec la notion du consentement à payer, problème de revenu et du niveau d'instruction, monétarisation insuffisante des échanges, etc.)

b. L'analyse conjointe

L'analyse conjointe est une méthode qui permet d'évaluer les valeurs d'usage et de non usage des biens et des services à partir de choix déclarés. Son principe est proche de l'évaluation contingente mais se distingue par le fait qu'elle ne produit pas directement des valeurs monétaires mais déduit ces valeurs des arbitrages effectués par les personnes enquêtées à partir des scénarios qui leur sont proposés (Garrabé, 2014).

Son principe est basé sur l'identification et la mesure des valeurs d'un bien à partir des caractéristiques que peut représenter ce bien pour un ensemble des consommateurs (choice experiments method). Cette méthode développée dans les années 1970 par Lancaster est à l'origine une méthode utilisée en marketing.

Ce qui la différencie des autres méthodes est que les arbitrages interviennent entre les différents attributs d'un même bien plutôt qu'entre deux arguments de la fonction d'utilité. Elle ne fournit pas directement une mesure du bienêtre mais renseigne sur les préférences des individus quant aux différents attributs d'un bien ou un service (Pellegrini, 2005).

Selon Christie, 2012 environ 20 applications de cette méthode dans les pays en voie de développement sont disponibles sur le web. Elle a été par exemple utilisée pour mesurer la valeur attribuée par certains peuples occidentaux à la biodiversité dans les pays en voie de développement (Rolfe et al., 2002). Tout comme l'évaluation contingente, cette méthode est difficile à conduire dans les pays en voie de développement.

c. Evaluation monétaire délibérative

Cette méthode participative cherche à combler les insuffisances des méthodes précédentes en se focalisant sur la qualité du processus social utilisé dans l'exercice de l'évaluation. Elle essaye de combiner les avantages des méthodes néoclassiques d'évaluation économique et ceux des processus politiques (Christie, 2012). L'évaluation se fait de manière participative entre le groupe en prenant le temps de réfléchir, s'informer, discuter et décider ensemble.

L'évaluation se fait généralement en petit groupe (Spash, 2007). Selon Christie (2012), aucune application de cette méthode dans les pays en voie de développement n'est disponible sur le net. Etant donné, son caractère participatif et le temps réservé à la discussion et l'apprentissage collectif, cette méthode me semble en mesure de produire des bons résultats dans le cas des pays en voie de développement.

d. Modélisation médiatisée

Il s'agit d'un processus participatif assisté par ordinateur qui vise à impliquer les acteurs, en tant que participants actifs dans toutes les étapes de la modélisation : de l'identification du problème, développement du modèle, son implémentation et son utilisation.

Malgré l'intérêt que peut représenter cette méthode en termes de flexibilité et adaptabilité en fonction des données disponibles, elle n'a pas été testée pour le moment dans les pays en voie de développement.

La difficulté de son application est liée à sa consommation du temps et d'efforts. En plus, cette méthode utilise un processus Bottom-up alors que dans beaucoup des pays en voie de développement, les processus en vigueur sont souvent de type Top-down.

II.6.2.2.3. Les méthodes basées sur des coûts observables

Compte tenu qu'il n'existe pas le plus souvent un marché pour les biens et services faisant l'objet d'usage indirect (protection contre les inondations, soutien des étiages, épuration des eaux, régulation climatique, etc.), la valeur de ces biens et services est souvent appréhendée par les pertes (coûts économiques) de bien-être liées à la disparition de ces biens et services. Ces pertes peuvent être mesurées par les coûts de dommages évités, les coûts de remplacement (de substitution) ou les coûts de protection.

Ces méthodes ont connu quelques applications dans les pays en voie de développement (Christie, 2012). Leur avantage est qu'elles sont basées sur des évaluations qui reflètent les prix du marché mais leur inconvénient majeur est qu'elles pourraient sous-estimer les valeurs réelles car les coûts pourraient ne pas être équivaux aux avantages initiaux. En plus, l'utilisation de ces méthodes requiert l'utilisation d'une quantité importante des données techniques de bonne qualité, ce qui pose souvent problème dans beaucoup des pays en voie de développement.

II.6.2.2.4. Les méthodes de transfert des avantages (valeurs)

La lourdeur des méthodes d'évaluation (Salles, 2010) et les difficultés de leur application dans certains cas par manque des moyens et ou de temps, ont favorisé le développement de la technique de transfert des valeurs d'un site à un autre. Cette méthode a connu beaucoup de développement durant les deux dernières décennies (Christie, 2012).

Actuellement, il existe une base des données mondiale sur les valeurs économiques des services éco systémiques. Cette base de données relationnelle a été développée pour faciliter l'accès à l'information sous une forme utilisable par les utilisateurs finaux (De Groot et al., 2012). Les liens entre les différentes tables rendent facile l'extraction des valeurs pour différents services éco systémiques. La Base des données d'Evaluation des Services éco systémiques (ESVD) contient actuellement plus de 1350 valeurs (De Groot et al., 2012.).

Tableau 2 : Les principales méthodes standards et leurs limites

Catégorie	Méthode	Description	Avantages/ Limite	Valeur ajoutée
Méthodes basées sur les marchés réels	**Prix du marché**	Utilisée pour mesurer la valeur d'usage direct (service approvisionnement)	Facile à conduire, temps et effort réduits mais Problème de distorsion des marchés, le prix n'est pas égal à la valeur réelle	Approvisionnement Régulation Valeur récréative
	Coûts de remplacement	Utilisée souvent pour mesurer la valeur d'usage indirect (service de régulation)	Difficile à conduire dans les PVD en raison de l'absence des données	
	Coûts de dommages évités	Utilisée souvent pour mesurer la valeur d'usage indirect (service de régulation)	Difficile à conduire dans les PVD en raison de l'absence des données	
	Coûts de déplacement	Utilisée souvent pour mesurer la valeur des services récréatifs	N'estime que la valeur des services récréatifs. Biais liés à l'écart entre dépenses des touristes étrangers et nationaux (sous-estimation) Dans le cas des PVD l'écart entre les touristes nationaux et étrangers peut biaiser l'estimation	
	Méthode des prix hédoniques	Utilisée pour mesurer la valeur d'usage indirect (services de régulation)	Difficulté d'identifier dans certains cas le service valorisé dans le prix du foncier. Elle demande beaucoup d'informations ce qui rend son application difficile dans les PVD	
Méthodes basées sur les marchés fictifs	**Evaluation contingente**	Tous les services, elle permet de mesurer la valeur économique totale	Permet de mesurer la valeur d'usage et de non usage, difficile à conduire dans les PVD (faibles revenus, niveau d'instruction des ménages, familiarisation avec les notions complexes de la biodiversité	Détermination de la valeur économique
	Modelling choice	Tous les services elle permet de mesurer la valeur totale	Même limites qu'EC Protocole très complexe et jugé non adapté au contexte des PVD	
	Deliberative monetary valuation	Tous les services elle permet de mesurer la valeur totale	Méthode participative qui permet un apprentissage et une formation des acteurs, problème de représentativité de l'échantillon	
	Mediated modelling	Tous les services elle permet de mesurer la valeur totale	Plus complexe que l'EC et consommatrice de temps et des ressources, son avantage est qu'elle peut être adaptée en fonction des données disponibles	

Source : Aoubid. S et Gaubert. H 2010

Tableau 3 : Synthèse de la revue empirique

Auteur	Données	Modèle utilisé	Résultats de la recherche
Geniève H, 2022	Données d'enquêtes	Méthodes des moindres carrés ordinaires (MCO) Variable dépendante : Consentement à payer/recevoir	Les résultats indiquent que la cogestion et consentement à payer pour le PNRu contribuent à la préservation du Parc National de la RUVUBU
Ahmedou Salem. MV 2019	Données d'enquêtes sur les aires protégées du Cameroun	Modèle ESR Variable dépendante : Variations saisonnières et interactions proies-prédateurs dans un écosystème intertidal du Banc d'Arguin	La diversification des ressources naturelles constitue la base de source de revenus des population environnantes.
Bruno Locatelli, 2013	Données d'enquêtes socioéconomique du Cambodge	Modele : Propency score Matching et la MCO Variable dépendante : valorisation des services écosystémiques	Les paiements pour services environnementaux contribuent largement dans l'économie de de Mauritanie
Amin, 2012	Données d'enquêtes sur la gestion des ressources naturelles menée chaque année pour les écosystèmes maraîchères	Breustch Pagan Variables dépendantes : Valeur économique des aires protégées Dépenses de protection des écosystèmes naturelles	Les revenus issus des écosystèmes maraichers sont importants pour l'économie. ces revenus ont un impact positif sur la sécurité alimentaire des population riveraines
Agosin et Mayer (2000)	Données du PNUE sur la gestion de la biodiversité	Modèle d'Agosin et Mayer Variable dépendante : La production et la demande dans les évaluations de services écosystémiques	Impact de gestion de la biodiversité sur l'économie familiale et la croissance économique des ménages

Source : Auteur lui-même

Conclusion du deuxième chapitre

L'agroforesterie rend de nombreux services d'ordre économique, environnemental, social, territorial et culturel à la société. Les producteurs agricoles peuvent également être bénéficiaires de nombreux services entre autres diversifier leurs revenus par la production de matière ligneuse et non ligneuse et faire des économies de chauffage et de déneigement par la plantation de haies brise-vent. L'agroforesterie réduit également la pollution diffuse et augmente les rendements des cultures agricoles (Nathan et al ,2007).

Agriculture double et triple actuellement les rendements des cultures de céréales dans de nombreuses régions du continent africain. La valeur des arbres à l'extérieur (ainsi qu'à l'intérieur) des forêts doit être reconnue par toutes les personnes impliquées dans la production, la planification et la formulation des politiques agricoles. Il convient d'investir davantage pour accorder aux agriculteurs des droits fonciers et des titres de propriété sur les arbres qu'ils entretiennent et pour appuyer les petits agriculteurs dans l'adoption des pratiques agroforestières.

Alors que le paradigme productiviste de l'agriculture et de la foresterie prétend qu'il faut simplifier et uniformiser pour obtenir des rendements maximums, l'agroforesterie fait le pari de la complexité et du mélange. En intégrant arbres, plantes et animaux dans une logique d'agroécosystème, l'agroforesterie se place en position de force pour répondre aux critères du développement durable (T. Emmanuel, 2007).

Après l'évaluation par diverses méthodes, l'agroforesterie permet non seulement d'enrichir le sol et de lutter contre les différentes pertes occasionner parfois par les différentes sortes d'érosions, et de réduire la vitesse de ruissèlement, les feuilles de ces espèces peuvent être utilise comme fourrage, médicament et les bois peuvent être utilisé comme source d'énergie pour la cuisson des aliments. Voici d'autres avantages tels que cités par ces auteurs : il s'agit en plus des services de support, des services d'approvisionnement à usage direct et de non usage.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

III.1. Description et présentation de la zone d'étude

Au Burundi, le relief est très varié. Ce pays est subdivisé en 5 régions éco climatiques. De l'Ouest vers l'Est, on distingue : les terres basses de l'Imbo correspondant à un fossé d'effondrement du Rift Valley occidental, la région escarpée de Mumirwa, la zone montagneuse (la Crête Congo-Nil), les plateaux centraux et les dépressions de Kumoso et de Bugesera. L'altitude varie entre 774 m au bord du lac Tanganyika et 2670 m sur les massifs montagneux pour diminuer progressivement jusqu'à 1200 m à l'Est du pays.

III.1.1. Description de la zone d'étude

La province de Bubanza constitue un escarpement parsemé de crêtes très étroites. Une partie est située dans la région naturelles de l'Imbo. Une autre partie renfermant les communes rurales (Bubanza, Rugazi et Musigati) se situe dans la région naturelles de Mumirwa. Cette partie est entrecoupée par de nombreuses rivières à régime torrentiel dévalant les sommets vers la plaine. Les pentes sont très fortes et variables. En effet, l'altitude s'élève de 1 000 m à près de 2 000 m pour aller des plaines de la Rusizi à la crête Congo-Nil. Les précipitations sont assez fortes suite au parc national de la Kibira qui longe sur la partie de la province.

Figure 3 : Représentation géographique de Bubanza



Source : Auteur par QGIS 3.32, Données de Google Maps©2023

III.1.2. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été conduite dans la province de Bubanza, plus précisément dans les communes rurales de ladite province.

Elle est située sur le versant ouest de la dorsale Congo-Nil et s'ouvre sur le fossé du lac Tanganyika. Les conditions du milieu y sont commandées par la grande dénivellation qui caractérise le passage d'une altitude d'environ 800 m au niveau de la plaine de l'Imbo à plus de 2500 m dans le massif de la Kibira. Cette grande différence issue d'une morphogenèse toute récente et encore active tectoniquement est responsable de l'ensemble des caractéristiques des conditions naturelles de la province : les fortes pentes, le régime torrentiel des écoulements, la grande dissection des terrains de la région intermédiaire, les gradients pluviométriques (de 2000 mm de pluie par an on descend dans l'Imbo à environ 800 mm) et thermiques (près de 8° de différence dans la moyenne thermique annuelle) et par conséquent la typologie des sols, les formes d'aptitudes agronomiques et les possibilités de mise en valeur et d'intensification qui en découlent.(URAM 2007)

La zone rurale englobe 45 % de la province : et correspond en gros aux territoires des communes de Mpanda et de Bubanza et les moitiés Ouest des communes de Musigati et Rugazi. Pays de collines à sommets arrondis ou coniques mais aux flancs pentus, les altitudes y sont comprises entre 1000 et 1750 m, les pluies autour de 1500 mm annuellement et les températures sont plus adoucies qu'en plaine.

Les collines de ces communes rurales ont été retenues pour la conduite de nos activités que sont les focus groups, les enquêtes, le suivi des pratiques agroforestières en milieu paysan.

III.1.3. Climat

Le climat de la province Bubanza est à la fois conditionné par les éléments de circulation atmosphérique générale dans l'ensemble du pays et la configuration orographique provinciale, qui intègre une influence plus ressentie des facteurs locaux (altitudes, exposition, proximité du parc de la Kibira…). La dénivellation orographique est amplifiée par un étagement climatique sensible. Les températures et les vents : sont fortement commandés par l'altitude, la circulation atmosphérique et la nébulosité qui influe sur l'insolation.

Malgré des amplitudes thermiques mensuelles moins prononcées que dans les autres régions intertropicales de l'Est Africain, sous l'effet de l'altitude, des différences s'observent, surtout en plaine. Les températures les plus extrêmes sont enregistrées au cours des saisons sèches liées à l'ensoleillement et au rayonnement nocturne.

III.1.4. Les précipitations

Le régime pluviométrique est caractérisé par le passage bi-annuel du front intertropical et surtout par la présence d'une saison sèche marquée. Le maximum de pluie est atteint au mois d'avril. Entre mi-décembre et mi-février, les pluies diminuent pouvant être interrompues pendant quelques semaines, ayant une origine plutôt liée à la circulation atmosphérique et aux Alizés (Boréol ou austral) qu'à la convergence inter tropicale.

La durée de la saison sèche est en relation étroite avec le total annuel des précipitations : Sa durée moyenne est de 3,5 à 4 mois, elle est réduite à environ 3 mois dans les régions pluvieuses de la crête et se prolonge à 4,5 ou 5 mois dans l'Imbo. Les trois mois qui forment le "cœur" de la saison sèche (de juin à août) ne reçoivent que 3 % des précipitations annuelles, alors que 77 % des précipitations se concentrent entre les mois de novembre et d'avril.

III.1.5. Végétation

Dans la province de Bubanza, la forêt naturelle mésophile était présente avant les défrichements presque généralisés. Actuellement on y trouve une savane herbeuse parsemée d'épineux et entrecoupée de galeries forestières et de quelques reboisements. Quelques forêts galeries persistent encore le long des vallées encaissées.

Les formations forestières artificielles sont représentées essentiellement par des Pinus à Rugazi et des Eucalyptus à Gahongore et à Randa, dans la commune de Bubanza. Il existe aussi quelques plantations de Cupressus et de Callitris et d'autres arbres agroforestiers (Acacia, Cedrella, Calliandra, Leucaena, Grevillea) avec introduction de nouvelles espèces agroforestières comme tifrosia, tetonia et les neems en cours de développement à travers les initiatives des dynamiques accompagnés par l'ADISCO.

Ces espèces sont à la base de la fabrication des bio pesticides qui visent à remplacer l'usage des engrais chimiques, des pesticides et insecticides industriels. Ces écosystèmes sont de multiple usage. Ils offrent des services d'approvisionnement en alimentation du bétail, dans la construction et dans les besoins domestiques.

III.1.6. Les principales essences de l'agroforesterie identifiées dans la zone

Tableau 4 : Les essences agroforestières identifiées dans la zone

Nom scientifique	Utilité	Nom vernaculaire
Caliandra	Biofertilisant,Nutrition animale	
Leucaena	Biofertilisant, Biopesticide	Mukobwandagowe
Tifrosia	Biofertilisant, Biopesticide	Ntiruhunwa
Neem	Biofertilisant médicinale	Nime
Vernonia amygdalina	Médicinale	Umubirizi
Ficus vallichoude	Culturelle	Igikuyo
Ficus ingens	Culturelle	Umumanda
Ficus gnapholearpa	Culturelle	Igitoboro
Ficus experata	Culturelle	Umuseno
Stericulia tragacanta	Culturelle	Umutakataka
Stericulia Africana	Culturelle	Imbonekerakure
Acacia gerrardii	Nutritionnelle	Umugenge
Euphorbia turicalli	Construction	Umunyari
Passiflora foetida	Nutritionnelle	Amabungo
Sporobolus pyramidalis	Nutritionnelle	Agatsindangumba
Asystasia gangetica	Nutritionnelle	Agatikaruzi
Balanites aegyptica	Construction	Umugirigiri
Euphorbia candelabrum	Construction	Igihahe
Cynodon nlemfuensis	Médicinale	Urucaca
Sesbania sesban	Médicinale	Umunyegenyege
Stericulia tragacanta	Culturelle	Umutakataka
Stericulia tragacanta	Culturelle	Umutakataka
Stericulia Africana	Culturelle	Imbonekerakure
Erythrina abyssinica	Culturelle	Umurinzi
Acacia gerrardii	Nutritionnelle	Umugenge
Euphorbia turicalli	Construction	Umunyari
Phragmites mauritianus	Construction	Amarenga
Cenchrus trachyphyllus	Nutritionnelle	Igikaranka
Panicum maximum	Nutritionnelle	Inkaranka
Salanum aculeastum	Nutritionnelle	Umutinti
Passiflora foetida	Nutritionnelle	Amabungo
Brachiaria decumbens	Nutritionnelle	Intundwa
Sporobolus pyramidalis	Nutritionnelle	Agatsindangumba

Asystasia gangetica	Nutritionnelle	Agatikaruzi
Balanites aegyptica	Construction	Umugirigiri
Subsp. Virosa	Construction	Umujisharugi
Commiphora madagascaliensis	Construction	Umudahwera
Euphorbia candelabrum	Construction	Igihahe
Acacia polyacanta	Construction	Ikigongohofu
Hyphaene petersiana	Construction	Umuko
Imperata cylindrica	Construction	Umusovu
Hyparrhenia figariana	Construction	Umukenkekenke
Cissus rotundifolia	Médicinale	Amaribori
Hoslundia opposita	Médicinale	Umusita
Sesbania sesban	Médicinale	Umunyegenyege
Solanum nigrum	Médicinale	Isogo
Vernonia amygdalina	Médicinale	Umubirizi
Jatropha curcas	Médicinale	Ikivurahinda
Biophytum petersianum	Médicinale	Tinyabakwe
Sida acuta	Médicinale	Umuvumvu
Croton macrostacliys	Médicinale	Umuhangara
Cyperus articulatus	Vannerie	Urumburi
Grewia mollis	Vannerie	Igikororombo
Triumfetta tomentosa	Vannerie	Umusarenda

Source : PNRzi gestion des espèces

III.1.7. Sols

Pays à relief très accidenté, le Burundi présente une grande variété de sols selon le niveau complexe de pente qui caractérise chaque colline au sein même des unités cartographiées même à grande échelle (1/20.000 par exemple).

La province Bubanza renferme les sols de types lithiques (lithsols), les hygroxéroferrisols sur matériaux argileux et argileux lourds ou les régosols plus minces sur les pentes.

De façon générale, les sols des versants demeurent jeunes, d'une épaisseur variable selon la pente et l'ampleur du décapage érosif mais à bon drainage. La jeunesse réduit l'acidité, tandis que la forte teneur en argile les rend vulnérables aux glissements de terrain et aux coulées boueuses. Ces sols, malgré une fertilité relative, sont très sensibles à l'érosion et nécessitent de grandes précautions d'utilisation selon le degré de la pente.

III.2. Matériel

Le matériel végétal était constitué de haricot, maïs dont la plupart sont des variétés locales dans les collines de notre zone d'étude ainsi que les arbres agroforestiers qui s'y développent. Le choix du maïs et haricot se justifie par le fait que c'est la principale culture de la zone d'étude. Les écosystèmes agroforestiers sont assez variés. Les prix des produits fabriqués à partir de ces espèces sont estimés à partir des informations fournies par les exploitants agricoles. La valeur des fruits vendus ou consommés contribue à la pertinence des services écosystémiques rendus par l'agroforesterie.

Les prix sur le marché sont ceux du maïs et haricot sur le marché pour chaque période depuis l'an 2020 jusqu'en 2022 selon les informations fournies par l'Institut National de la statistique du Burundi (INSBU) ancien Institut des Statistiques d'Etudes Economiques du Burundi (ISTEEBU).

III.3. Méthodologie de recherche

Cette partie a consisté à poser d'une part les cadres théoriques abordés dans la recherche et d'autre part, les démarches méthodologiques mobilisées.

III.3.1. Travail préliminaire

Le travail préliminaire a consisté à la prise de contact avec les différentes parties entre autres le directeur de mémoire issu de l'université du Burundi et les acteurs au développement. Il s'agit des cadres de l'ADISCO et ceux de l'organisation non gouvernementale Join For water ainsi que les représentants de l'Université Populaire HAGURUKA (UPH). La présente étude s'est réalisée dans le cadre de la mise en œuvre du projet initié par Join For Water et ADISCO.

III.3.2. Recherche bibliographique

Pour commencer à aborder le sujet et de rédiger, l'état de l'art une recherche bibliographique a été faite. Il s'agit de l'approfondissement des concepts et théories qui sont directement touchés par le sujet : agroforesterie, conservation des ressources naturelles, déforestation et dégradation des écosystèmes, la gestion conservatoire de l'eau, les services écosystémiques, vulnérabilité et résilience et les différents concepts qui gravitent autour d'elles (aléas, risques, stratégies de réponse ……), etc.

III.3.3. Le terrain

Cette phase a concerné la collecte des données, à l'aide des outils appropriés. Dans les démarches méthodologiques, les principaux matériels et méthodes utilisés tout au long de la recherche sont précisés. Les matériels sont les outils mobilisés dans la réalisation de la recherche à savoir les logiciels, les questionnaires, etc. Les méthodes développent les démarches d'analyses utilisées.

III.3.4. Les outils de collecte et traitement des données

Pendant la phase de collecte des données, le logiciel approprié est le Cobb collect et lors du traitement on se sert des outils économétriques et statistiques. Il s'agit de le SPSS qui aide dans le codage des différentes variables issues de la recherche ainsi le STATA en version 15 ou 17 pour le traitement final afin de fournir les résultats et leur analyse.

III.3.4.1. L'entrevue

Pendant la collecte des données l'entrevue nous a permis à obtenir des renseignements auprès des autorités locales ainsi qu'aux ménages. Dans une entrevue de recherche, il y a un intervieweur, la personne qui coordonne le déroulement de la conversation et pose les questions, et l'interviewé, la personne qui y répond. Les entrevues menées ont été à la base des connaissances sur les espèces agroforestières présentes dans les exploitations, les différentes techniques de combinaisons des arbres, cultures et/ou animaux.

Les informations fournies par les organisations non gouvernementales qui œuvrent dans la localité ainsi que les autorités locales ont appuyé celles recueillies aux exploitants. Ils s'expriment en rapport avec la multiplication, la prépondérance des plants qui cohabitent parfaitement avec les cultures.

III.3.4.2. Le questionnaire d'enquête

Un questionnaire nous a servi à collecter des données quantifiables ou nominales qui se présentent sous la forme d'une série. Les questions ont été posées dans un ordre bien précis selon la nature des informations que nous prétendons recevoir. Il a permis aussi de recueillir un grand nombre de témoignages ou d'avis. Les informations obtenues ont été analysées à travers des logiciels statistique.

Le questionnaire a fourni pour notre étude une extension plus grande et de vérifier statistiquement jusqu'à quel point sont généralisables les informations et hypothèses préalablement constituées.

III.3.4.3. L'observation documentaire

Pour notre travail l'observation a été un outil indispensable lors de la collecte des données. Dans les exploitations des ménages où les pratiques agroforestières sont déjà en place ; le paysage est revêtu, les sols gardent parfaitement l'humidité dans des parcelles paillées. Cette technique nous a révélé à se focaliser sur le comportement des personnes plutôt que sur ses déclarations. Nous avons observé aussi ce que les gens font et ce qu'ils disent, sans intervenir.

La technique de l'observation nous a permis d'expliquer un phénomène à travers la description de comportements, de situations et de faits. Pour y parvenir scientifiquement, nous avons décrit des situations réelles où les combinaisons entre arbres et cultures ont pris succès et il nous a été important de faire des rapports systématiques.

III.4. Méthode d'échantillonnage

a. Taille de l'échantillon

Puisque l'étude s'est déroulée dans le cadre d'un projet, l'échantillonnage est constitué par une partie les ménages accompagnés par l'ADISCO et une autre partie de ménages considérés comme témoins. Cette dernière catégorie est choisie aléatoirement parmi les ménages répartis sur 9 collines des trois communes rurales de la province de Bubanza.

Pour déterminer la taille de l'échantillon, nous nous sommes servis de l'équation de louis M. Réa et Richard A. Parker (1997). Cette approche donne un échantillon significatif qui peut représenter la population totale.

Equation : $n=\frac{tp^2*P(1-P)*N}{tp^2(1-P)+(N-1)*Y^2}$

Avec :

n : taille de l'échantillon

N : taille de la population totale

P : probabilité qui donne la valeur maximale ici 0,5

tp : intervalle de confiance à 95% qui correspond à 1,96

Y : marge d'erreur de 5 %.

Nous avons pris l'échantillon au seuil de 95% donc à l'intervalle de confiance de 5% prenant la valeur de 1,96. Ainsi la taille de la population à échantillonner s'équivaut à :

$$n = \frac{1,96^2*0,5(1-0,5)*6082}{1,96^2*(1-0,5)+(6082-1)*0,05^2}$$

$n = \frac{3652,4012}{10,4654} = 348,997764 = 349$

L'équation de Louis M. Réa et Richard A. Parker (1997) nous a permis à calculer cet échantillon. La taille de l'échantillon est n= 349 ménages.

b. Modélisation

Nous avons utilisé le modelé économétrique de régression multiple :

La variable endogène ou expliquée est la valeur globale occasionnée par l'agroforesterie (on valorise la production de façon globale.)

Les autres variables explicatives sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 5 : Les variables constitutives du modèle économétrique

Modèle	Nom de la variable	Nature de la variable	Modalité prise
VG	Valeur Globale	Quantitative	
SUPERha	Superficie en ha	Quantitative	
SEX	Genre	Qualitative nominale	0= femme 1= homme
AGE	Age	Quantitative	
NIVEDU	Niveau d'éducation	Qualitative ordinale	0= analphabète 1= primaire 2= secondaire 3= supérieur
FORMAGR	Formation agricole	Qualitative	1= oui 0= non
TMEN	Taille de ménage	Quantitative	
ARAGRO	Arbres agroforestiers	Qualitative ordinale	1= oui 0= non
MIBOISE	Micro boisement	Qualitative ordinale	1= oui 0= non
FOURR	Fourrage	Qualitative ordinale	1= oui 0= non
BOV	Bovins	Quantitative	
CAPR	Caprins	Quantitative	
VOL	Volailles	Quantitative	
PORC	Porcs	Quantitative	
LAP	Lapins	Quantitative	
ETAMA	Etat matrimonial	Qualitative nominale	1= célibataire 2= marié 3= veuf (ve)
ε_i	Terme d'erreur		

Source : Auteur lui-même

Modèle :

$VG= \beta_0 + \beta 1SUPER+ \beta_2 SEX+\beta_3 AGE+ \beta_4 NIVEDU+ \beta_5 FORMAGR+ \beta_6 TMEN+ \beta_7 ARAGRO+ \beta_8 MIBOISE+ \beta_9 FOURR+ \beta_{10} BOV_+ \beta_{11} CAPR_+ \beta_{12} VOL_+ \beta_{13} PORC_+ \beta_{14} LAP_+ \beta_{15} ETAMA+\varepsilon_i$

C Approche théorique du modèle

Pour mettre en exergue la valeur économique des services écosystémiques offerts par l'agroforesterie, nous nous sommes servis du modèle MCO (Moindres carrées Ordinaires) qui est un modèle de régression d'une variable quantitative sur mélange des variables binaires et/ou quantitatives.

La régression est un outil permettant d'estimer l'effet marginal de la variation d'une unité de la variable indépendante sur la variable dépendante. Pour pouvoir assumer que les coefficients de la MCO ne sont pas biaisés, c'est-à-dire que la valeur prédite par l'estimateur converge vers la valeur réelle dans la population.

L'échantillon est identiquement et indépendamment distribué. Les variables indépendantes sont aléatoires (dont la valeur est déterminée après la réalisation d'un phénomène ; elles suivent une même loi de probabilité (une loi normale).

III.5. Identification des écosystèmes agroforestiers et évaluation de la perception des producteurs sur leurs services écosystémiques

Des focus groups et entretiens ont été conduits auprès de 349 producteurs des 9 collines de trois communes (Bubanza, Rugazi et Musigati) afin d'identifier les principales cultures et espèces agroforestières qui cohabitent favorablement ainsi que leurs périodes d'introduction ou d'adoption. Pour y parvenir, nous avons utilisé un guide d'entretien comportant des outils que sont le profil historique. Des enquêtes complémentaires auprès de 349 producteurs des trois communes (Bubanza, Rugazi et Musigati) ont également été réalisées à la suite des focus groups pour estimer la valeur économique provenant de l'agroforesterie pour chaque ménage.

Des ONGs intervenant auprès de producteurs dans l'expérimentation et le développement et la multiplication des écosystèmes ont été également interviewées en vue de trianguler les informations livrées par les producteurs.

L'identification des pratiques a permis de retenir des producteurs pour les enquêtes individuelles afin de comprendre leur perception quant aux impacts agroenvironnementaux des écosystèmes agroforestiers.

III.6. Estimation de la valeur économique et évaluation de la perception des producteurs sur les services environnementaux des écosystèmes agroforestiers

L'évaluation s'est effectuée à travers des enquêtes individuelles. Les focus groups et les enquêtes complémentaires sont réalisés avec 349 producteurs. Les entretiens effectués ont permis de recueillir de façon aléatoire des informations pertinentes pour notre étude. Le questionnaire d'enquête utilisé a permis de recueillir des informations sur les renseignements généraux (production, genre, âge du producteur, éducation, état civil), l'élevage (bovins, ovins, caprins, volailles, lapins) dont dispose le producteur. Les autres variables constituent les systèmes agroforestiers (développement des arbres agroforestiers, le micro boisement, les fourrages). La perception du producteur sur l'évolution de la fertilité du sol et les facteurs responsables difficilement quantifiable en valeur monétaire. C'est dans cette optique que la méthode des coûts évités est intervenu pour appuyer celle des prix du marchés

Tableau 6 : Méthodes d'estimation de la valeur économique

Groupes des méthodes	Méthodes d'estimation
Préférences révélées	Prix du marché
	Basées sur les coûts évités
	Prix hédoniques

Ces méthodes sont utilisées pour estimer la valeur de deux catégories des biens naturels : ceux ayant une valeur sur le marché et ceux ne disposant pas d'une valeur marchande mais leur valeur peut être appréhendée par la valeur marchande des biens complémentaires ou substituables

Il s'avère que les méthodes qui mesurent la VES sont les seules capables d'estimer la valeur économique totale. Cependant, ces méthodes, particulièrement la méthode des prix du marché et celle des coûts évités, sont choisies bien qu'elles présentent quelques limites. Leur application parait difficile dans les contextes des pays en voie de développement pour plusieurs raisons : lourdeur et complexité.

Compte tenu qu'il n'existe pas le plus souvent un marché pour les biens et services faisant l'objet d'usage indirect (protection contre les inondations, soutien des étiages, épuration des eaux, régulation climatique, etc.), la valeur de ces biens et services est souvent appréhendée par les pertes (coûts économiques) de bien-être liées à la disparition de ces biens et services.

Ces pertes peuvent être mesurées par les coûts de dommages évités, les coûts de remplacement (de substitution) ou les coûts de protection.

Son utilisation dans les pays en voie de développement nécessite d'adapter le protocole d'enquête au contexte spécifique de la population enquêtée.

La méthode des prix hédoniques n'est pas utilisée bien qu'elle se présente dans le tableau ci-dessus. Cette méthode proposée pour la première fois par Adelman et Griliches en 1961, repose sur le principe que le prix d'un bien immobilier dépend des caractéristiques du bien lui-même mais aussi des avantages du milieu dans lequel il se trouve.

III.7. Mode de prélèvement des échantillons de sol

Pour évaluer l'impact des pratiques agroforestières sur le sol, nous avons retenu les informations des techniciens de l'ADISCO qui ont fait l'étude du sol avant et après avoir introduit les pratiques agroforestières. Les prélèvements ont été traités au laboratoire de l'institut des Sciences Agronomiques du Burundi(ISABU).

III.8. Paramètres de rendement

Le choix de considérer le haricot et mais pour l'évaluation du rendement des cultures a été justifié par le fait qu'ils demeurent les principales cultures produites dans la zone d'étude. Nous avons estimé la production sur un hectare. Les bananiers et le manioc sont aussi plus productifs.

III.9. Analyses statistiques et Econométriques

Les données des entretiens (focus groups, enquêtes) ont été saisies avec le logiciel Microsoft Excel version 2013 et analysées avec le logiciel SPAD version 5.5 et STATA 15 ou 17. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a permis de regrouper les corrélées entre elles en classes homogènes. Méthodes statistiques descriptives : les moyennes, les écarts types pour voir la dispersion de la production et les corrélations linéaires pour analyser la corrélation entre les variables. La méthode des moindres carrées ordinaires(MCO) pour déterminer l'incidence des variables sur la valeur économique perçue auprès des agriculteurs.

.

CHAPITRE IV : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

IV.1. Présentation des résultats

Ce travail a conduit à réaliser une étude aux ménages de la province Bubanza dans l'objectif de déterminer valeur des écosystèmes agroforestiers qui résultent de l'association des cultures avec les arbres dans les communes rurales de cette province.

IV.1.1. Statistiques descriptives

La valeur globale générée par les services écosystémiques de l'agroforesterie

Tableau 7 : Les statistiques descriptives

Variable	Obs.	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Y2022	349	548647.6	149888.1	300000	1200000

Source : construit par l'auteur à l'aide de STATA 15

Les services écosystémiques offrent en moyenne 548 647.6FBU tandis que la somme minimale est de 300 000 FBU et celle maximale est de 1 200 000FBU au cours de l'année. Ces résultats sont des estimations car certains producteurs stockent leur production auprès de coopératives. Ils estiment la quantité stockée pour une période culturale.

Ces valeurs sont des estimations puisque la population Burundaise vit généralement de l'agriculture de subsistance. Les ménages ne produisent pas pour le marché et ne parviennent pas à quantifier la quantité dont ils ont consommé pour les périodes précédentes. En plus, l'échantillon enquêté ne parvient pas à préciser la valeur de certains produits agroforestiers comme les fruits non vendus.

IV.1.2. Caractéristiques des ménages

Ce travail, a conduit à réaliser une enquête chez les producteurs des cultures vivrières en association avec les arbres dans les communes rurales de la province BUBANZA. Ces derniers répondent aux caractéristiques suivantes :

1. Répartition des ménages selon l'âge

Il ressort du traitement que 54 des ménages soit 56,25% de l'échantillon se retrouvent en 20 et 30 ans, 21 ménages soit 21,87% de l'échantillon se retrouvent entre 30 et 50 ans, 12 ménages soit 12,5% de l'échantillon ont plus de 50 ans et 6 ménages soit 6,25% de l'échantillon ont moins de 20 ans.

2. Niveau d'instruction des ménages

Tableau 8: Répartition des selon les niveaux d'instructions

NIVEDU	Freq.	Percent	Cum.
0= analphabète	103	29.51 %	29.51 %
1= primaire	162	46.42 %	75.93 %
2= secondaire	83	23.78%	99.71 %
3= supérieur/ université	1	0.29%	100.00 %
Total	349	100.00%	

Il ressort de cette figure que 162 ménages soit 46.42 % de l'échantillon ont un niveau d'instruction primaire, 83 ménages soit 23.78% de l'échantillon ont un niveau secondaire, 103 ménages soit 29.51 % de l'échantillon ont un niveau sans instruction, 1 ménages soit 0,29% de l'échantillon ont un niveau universitaire. Ces résultats nous indiqués que la majorité des ménages a un niveau primaire et 29,51% n'ont pas un niveau d'instruction. C'est-à-dire ils n'ont pas foulés leur pied au bas de l'école. Nous cherchons à analyser l'influence de cette variable sur la valeur des services tirés de l'agroforesterie.

3. Répartition des ménages selon leurs sexes

Tableau 9 : Répartition des selon le genre

SEXE	Freq.	Percent	Cum.
0= femme	147	42.12 %	42.12%
1= homme	202	57.88%	100.00%
Total	349	100.00%	

Les résultats montrent 147 ménages soit 42.12 % de l'échantillon sont les femmes tandis que 202 ménages soit 57.88% de l'échantillon sont des hommes. La taille de l'échantillon est majoritairement de sexe masculin. L'explication des résultats va montrer l'importance liée au genre face à l'adoption des pratiques agroforestières.

4. Situation matrimonial des ménages

Tableau 10 : Répartition des selon le statut matrimonial

ETA.MA	Freq.	Percent	Cum.
1= célibataire	72	20.63	20.63
2 = marié	249	71.35	91.98
3 = veuf/ve	28	8.02	100.00
Total	**349**	**100.00**	

Il ressort de ce tableau que 249 ménages soit 71.35% de l'échantillon sont marié(e)s, 72 ménages soit 20.63% de l'échantillon sont des célibataires, 28 ménages soit 8.02 % de l'échantillon sont de veuf (Ve).

IV.2. Les résultats de l'estimation du modèle

Les résultats de présentation du modèle sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 11 : Les résultats des modèles économétriques

Source	SS	Df	MS	Number of obs = 345
				F (14, 330) = 6.21
Model	1.6276e +12	14	1.1626e + 11	Prob > F = 0.0000
Residual	6.1824e+ 12	330	1.8735e+10	R-squared = 0.2084
				Adj R-squared = 0.1748
Total	7.8101e+ 12	344	2.2704e+10	Root MSE = 1.4e+0>5

Y2022	Coef.	Std. Err.	T	P>t	[95% Conf.	Interval]
SUPERha	0	(omitted)				
SEXE	32941.96	15857.26	2.08	0.003	1747.897	64136.03
AGE	-335.9248	1226.383	-0.27	0.060	-2748.44	2076.59
NIVEDU	1695.236	11901	0.14	0.001	-21716.15	25106.62
FORMAGR	58851.24	18075.24	3.26	0.001	23294.01	94408.48
TMEN	-20504.53	5435.611	3.77	0.091	9811.711	31197.35
ARAGRO	25360.66	20152.51	-1.26	0.004	-65004.26	14282.93
MIBOISE	21915.98	14666.64	-1.49	0.013	-50767.89	6935.924
FOURR	48278.57	18088.84	2.67	0.001	12694.58	83862.56
BOV	16962.16	9223.882	1.84	0.005	-1182.863	35107.18
CAPR	6626.879	5092.293	1.30	0.014	-3390.571	16644.33
VOL	-2516.069	3288.401	-0.77	0.445	-8984.94	3952.803
PORC	11510.25	7584.356	1.52	0.130	-3409.533	26430.03
LAP	-20.21577	3344.068	0.01	0.995	-6558.163	6598.595
ETAMA	-65219.24	17151.15	-3.80	0.000	-98958.62	-31479.86
_cons	497343.8	51583.74	9.64	0.000	395869.3	598818.2

Source : Construit par l'auteur à l'aide de STATA15

Avant de commenter les signes des différents coefficients, nous passons d'abord à la vérification des tests statistiques permettant d'expliquer la pertinence du modèle. Il s'agit en effet de présenter les résultats de la régression économétrique de notre modèle ci haut présenté.

Les résultats sont obtenus avec le logiciel STATA 15 et concernent les données collectées auprès des exploitants agricoles par la méthode de questionnaires et saisies dans le logiciel Excel.

Avant d'interpréter ces résultats, il convient d'abord à vérifier si les hypothèses déjà posées pour notre régression multiple sont vérifiées. A cet effet, nous vérifions les hypothèses normalité des erreurs.

Test de normalité des erreurs

H0 = absence de normalité des erreurs

H1 : présence de normalité des erreurs

Tableau 12 : Test de normalité des erreurs : sktest residus

Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	Prob>chi2
Residu	345	0.0001	0.3298	14.35	0.0008

Source : Auteur via STATA 15

D'après les résultats contenus dans ce tableau nous constatons que les erreurs suivent une loi normale car la probabilité du test de chi2 est inférieure à 5%(0,05 < 0,0000). Ici nous acceptons l'hypothèse H1 de normalité des erreurs.

Test de l'hétéroscédasticité des résidus

L'indentification de l'hétéroscédasticité peut être faite à l'aide de plusieurs tests, par exemple les tests de Breusch-pagan, test de Goldfeld, test de Gleisjer et test de white. Mais pour notre étude, nous avons préféré utiliser le test de Breusch-pagan pour tester l'hétéroscédasticité.

Le problème du test est :

H0 : homoscédasticité
H1 : hétéroscédasticité

Si la probabilité associée au test est inférieure à α, on rejette l'hypothèse d'homoscédasticité (H0). Si elle supérieure à α, l'hypothèse nulle n'est vérifiée et nous supposons l'homoscédasticité des résidus.

Avec α=5% : le seuil de significativité. L'idée générale de ces tests est de vérifier si le carré des résidus peut être expliqué par les variables explicatives du modèle. Si c'est le cas il y a l'hétéroscédasticité.

La plus simple est le test de Breusch-pagan :

1. Récupérer les résidus de la régression qu'on désire tester
2. Générer le carré des résidus
3. Régresser le carré des résidus sur les variables indépendantes de la régression originale
4. Tester si les coefficients sont conjointement significatifs (test F ou test LM)

Breusch-pagan / cook -Weisberg test for heteroskedasticity

H0 : constant variance

Variables : fitted values of Y2022

Chi2(1) = 17.55

Prob > chi2 = 0.0000

La statistique du test chi2 est 17.55, la p-value correspondante à la statistique du chi2 est de 0,0000, donc inférieure à 0,05. Nous acceptons l'hypothèse alternative. Il y a l'hétéroscédasticité, ce qui signifie que la variance des erreurs n'est pas la même dans toutes les observations faites. Donc on va corriger l' hétéroscédasticité avant l'interprétation.

Test de multi colinéarité

Ce test permet d'évaluer si les facteurs sont corrélés les uns aux autres.

Tableau 13 : test de multi colinéarité

Variable	VIF	1/VIF
AGE	2.10	0.475726
TMEN	1.89	0.528648
FOURR	1.45	0.690678
ARAGRO	1.42	0.704524
BOV	1.42	0.706208
FORMAGR	1.30	0.769627
NIVEDU	1.24	0.804679
BOISEM	1.18	0.850832
PORC	1.17	0.854143
CAPR	1.14	0.880135
VOL	1.13	0.886152
SEXE	1.09	0.917611
LAP	1.09	0.918701
MIBOISE	1.07	0.930268
ETAMA	1.06	0.943667
Mean VIF	1.32	

Source : Construit par l'auteur à **l'aide de STATA 15**

Pour prouver qu'il Y a la multi colinéarité ou pas, on fait recours au test vif (variance and inflation factor). Lorsque le résultat pour une variable est proche de 10, il y a une forte multi colinéarité et lorsque le coefficient est proche de 1, le modèle est dans ce cas robuste. C'est le cas présent donc il y a l'absence de multi colinéarité.

IV.3. Analyse de la significativité des coefficients du modèle

Tableau 14 : Présentation des coefficients du modèle

VG		**Coef.**	**P>t**
SUPERha	Superficie en ha	0	
SEXE	Genre	32941.96	0.001
AGE	Age	-335.9248	0.060
NIVEDU	Niveau d'éducation	1695.236	0.001
FORMAGR	Formation agricole	58851.24	0.001
TMEN	Taille de ménage	-20504.53	0.091
ARAGRO	Arbres agroforestiers	25360.66	0.004
MIBOISE	Micro boisement	21915.98	0.013
FOURR	Fourrage	48278.57	0.001
BOV	Bovins	16962.16	0.005
CAPR	Caprins	6626.879	0.014
VOL	Volailles	-2516.069	0.445
PORC	Porcs	11510.25	0.000
LAP	Lapins	20.21577	0.995
ETAMA	Etat matrimonial	-65219.24	0.000
_cons		497343.8	0.000

Source : Construit par l'auteur à l'aide de STATA 15

L'analyse de la significativité du modèle se fait en deux étapes : l'analyse de vue de la qualité globale d'une part et celle de la qualité individuelle des coefficients d'autre part.

Premièrement nous allons nous interroger sur la significativité globale du modèle, c'est-à-dire si l'ensemble des variables explicatives ont une influence positive ou négative sur la variable dépendante.

Ce test peut être formulé de la manière suivante : existe-t-il au moins une variable explicative significative ?

L'appréciation de la qualité globale du modèle se fait avec la statistique de Fischer, qui indique si les variables explicatives ont une influence sur la variable dépendante. Soit le test d'hypothèse suivant :

H0 : tous les coefficients du modèle sont nuls

H1 : il existe au moins un coefficient no nul

L'arbitrage se fait par la comparaison de la valeur de f-statistique estimée à celle tabulée par Fischer. Le logiciel STATA 15 fournit automatiquement la probabilité associée à la F-statistique calculée, ce qui facilite grandement l'analyse. Il suffira donc de comparer la probabilité associée à la F-statistique au seuil de 5% retenu.

Si la probabilité associée à la F-statistique calculée est inférieur à 5%, l'hypothèse nulle sera rejetée au profit de l'hypothèse alternative selon laquelle la régression est globalement significative.

Donc pour notre cas, la statistique de Fischer calculée par le logiciel STATA 15 est F (14, 330) = 6.21 et la probabilité associée est inférieure à 5%(0.0000) ; L'hypothèse nulle est rejetée et le modèle est globalement significatif. Ce résultat est conforme à la valeur de la statistique R^2 ajustée (0.2084) qui renseigne aussi la qualité du modèle économétrique (R^2 tend vers l'unité).

IV.4. Interprétation des coefficients du modèle

Compte tenu des résultats du modèle, tous les coefficients du modèle ne sont pas nuls sauf celui de la superficie. Ici la superficie a un coefficient nul du fait que la valeur prise est constante pour tous les répondants. Cela est dû au fait que les ménages disposent des exploitations de taille diversifiées ce qui a fait que toutes les données collectées sont rapportées à l'unité d'un hectare afin de permettre l'étude comparative entre ceux qui ont fait des formations agricoles ou qui ont adopté des pratiques agroforestières et ceux considérés comme témoins.

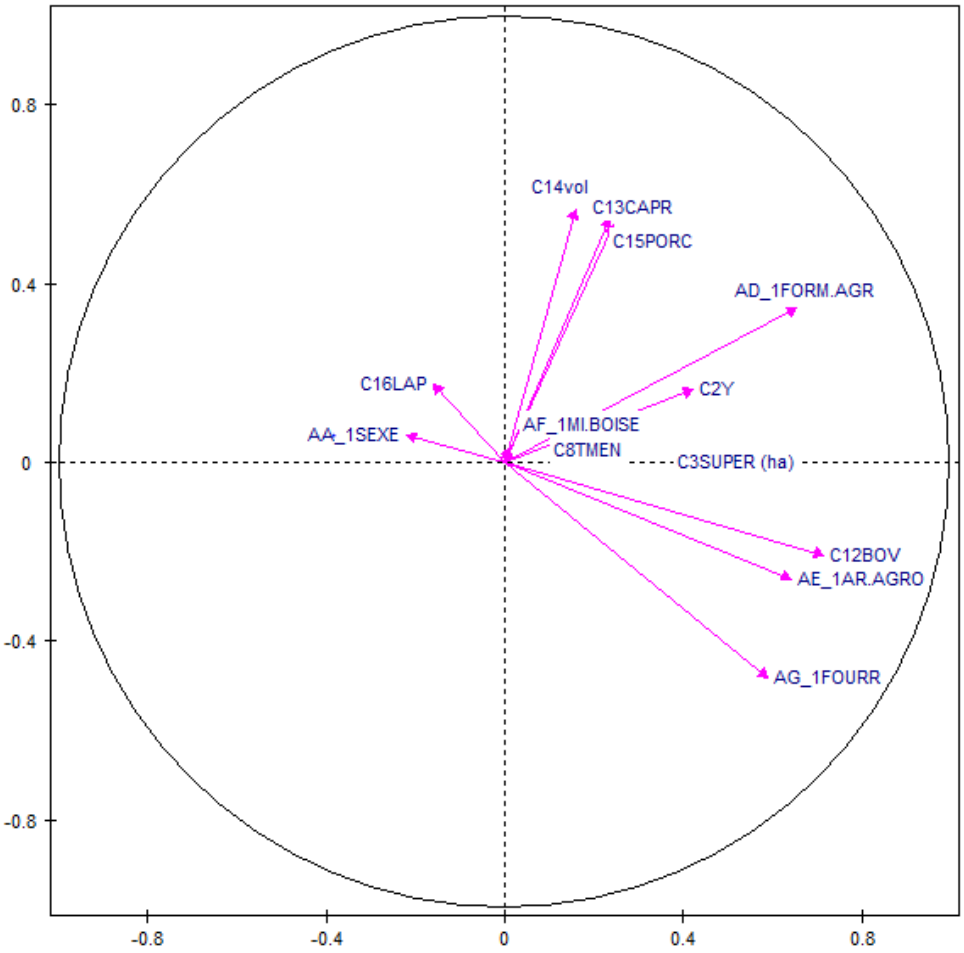
Les autres variables comme le genre, le niveau d'éducation, la formation agricole, arbres agroforestiers, le micro boisement, le fourrage, ainsi que des variables à base d'animaux comme les bovins, les caprins et le porc, possèdent des coefficients positifs non nuls. C'est-à-dire qu'elles expliquent positivement le modèle. L'augmentation d'une unité pour une variable explicative, occasionne l'augmentation d'autant d'unités du coefficient de cette variable pour la variable expliquée.

Les variables qui influencent négativement le modèle sont l'âge, la taille de ménage les animaux de basse cours comme les volailles ainsi que le statut matrimonial.

IV.5. Analyse en composante principale : ACP

L'analyse en composantes principale permet de transformer des variables corrélées entre elles et les variables non corrélées baptisée "composantes principales". Plus précisément, cette méthode vise à réduire le nombre de variables appliquées à des individus, pour simplifier les observations tout en conservant un maximum d'informations. Seules une, deux ou trois variables dites "composantes principales" sont conservées.

Figure 4 : Analyse en composante principale



Source : Construit par l'auteur via SPAD V 5.5

Le premier cadran est constitué par les variables volailles, caprins, le micro boisement, les porcs et la formation agricole. Cette corrélation est expliquée par le fait que les dynamiques qui bénéficient de cette formation sont encouragés pour l'élevage des animaux de la base cours.

Les propos recueillis auprès des ménages affirment que les revenus issus de la valorisation des services écosystémiques d'usage direct sont orientés vers l'approvisionnement en ces petits bétails.

De l'autre côté, les variables comme bovins, fourrages et arbres agroforestiers se retrouvent dans le même cadre ; l'interprétation est la même que la précédente. C'est-à-dire que ceux qui ont des bovins dans leur cheptel disposent également des écosystèmes en matières de fourrages et arbres agroforestiers qui servent de l'alimentation de bétail et la transformation de la fumure organique qui nécessaire dans la reconstitution et la fertilisation du sol.

IV.6. La perception des exploitants agricoles dans leur stratégie de résilience au changement climatique

1. Les espèces d'arbres dans les champs

Selon les informations issues des ménages, les espèces des arbres présentes dans leurs champs sont variées en fonction de leur coexistence avec les cultures et de l'intérêt qu'accorde chaque exploitant à ces espèces.

Tableau 15 : Répartition des enquêtes selon les arbres se trouvant dans leurs champs

Les espèces d'arbres se trouvant dans le champ	Répondants	Proportion
Eucalyptus globulis et Erythrrina	24	6,78
Neem	38	10,88
Acacia	26	7,44
Tetonia	45	12,89 %
Tifrosia	35	10,02
Leceuna	33	9,46%
Caliandra	60	17,19%
Grevillea	31	8,88%
Les fruitiers	30	8,59%
Autres (arbres mélangées)	27	7,73%
Total	349	100%

Source : Construit par l'auteur à l'aide de STATA 15

Il ressort de ce tableau que 24 ménages soit 6.78% de l'échantillon ont des Eucalyptus et les flamboyas dans leurs champs, 38 ménages soit 10,88% de l'échantillon ont des Artimesia ou les Neems dans leurs champs. 26 ménages soit 7,44% de l'échantillon ont des acacias, 45 ménages soit 12,89% de l'échantillon ont des tetonias dans leurs exploitations, 35 ménages soit 7,73% de l'échantillon ont des Tifrosias dans leurs champs, 33 ménages soit 9,46% de l'échantillon ont des Leceunas dans leurs champs. Pour le caliandra, 60 ménages soit 17,19 % de l'échantillon l'ont planté dans leurs champs, 30 ménages soit 8,59% de l'échantillon ont des fruitiers dans leurs champs, 31 ménages soit 8,88% de l'échantillon ont des grevilleas et casuarinas dans leurs champs et 27 des enquêtes soit 7,73% ont des arbres mélangées dans leurs champs.

Ces résultats, la grande partie des producteurs ont des caliandras dans leurs champs. Ils expliquent que ces espèces ont une croissance rapide e servent de nourriture pour le bétail et des bois de chauffe.

La faible proportion est celle des Eucalyptus. Ils ne sont pas agroforestiers à cause de la concurrence développée par ces derniers sur les cultures et sèchent les sols car ils puisent beaucoup l'eau. Ce sont des espèces qui peuvent être plantés uniquement sur les exploitations en dégradation avancée (malheureusement ils se développent là les conditions sont optimales) et cela dans le but de séquestration de carbone et autres utilités par contre les autres espèces comme les Grevillea permet d'avoir des planches et la fixation du sol.

Le tifrosia, les tetonias ainsi que les leceunas sont réservés pour la fabrication des engrais organiques et bio pesticides. Ces espèces ont des capacités de maintenir la fertilité et la bonne gestion du sol. Par ailleurs, toutes ces espèces repris dans ce tableau n'ont les mêmes facultés, les Eucalyptus, les casuarinas sont des espèces non appropriés dans la technologie de fixation de l'azote. Le caliandra, l'acacia, le moringa sont des espèces qui ont des mérites. Le Titonia est très apprécié, il est utilisé comme engrais vert.

2. Adoption des pratiques agroforestières dans la gestion du sol

Tableau 16 : Portant sur les connaissances sur la valeur de l'arbre par rapport à la gestion du sol

Adoption des pratiques agroforestières	Réponses	Répondants	Proportion
Taux d'adoption	Oui	168	48,14%
	Non	181	51,86%
Total		349	100%

Source : Construit par l'auteur à l'aide de STATA 15

Il ressort de ce tableau que 168 ménages soit 48,14% de l'échantillon ont des connaissances sur la valeur de l'arbre par rapport à la gestion du sol et 181 des enquêtes soit 51,86% de l'échantillon n'ont pas de connaissances sur la valeur de l'arbre par rapport à la gestion du sol. Selon ces résultats dans le tableau ci-après, nous voyons que les agriculteurs ont des connaissances sur la valeur de l'arbre par rapport à la gestion du sol ne sont pas nombreux, ce qui montre l'écart à éradiquer.

L'origine des connaissances en agroforesterie est l'œuvre des experts en Gestion intégré de la fertilité du sol qui émergent dans des ONGs qui accompagnent les agriculteurs dans des différentes dynamiques. Les connaissances en agroforesterie se transmettent de telle sorte que l'utilisation des engrais minéraux soit réduite.

3. Raison d'installer les arbres dans le champ

L'objectif des arbres dans les champs des agriculteurs est surtout économique, il serait avantageux pour eux de concilier leur intention avec les aspects environnementaux pour enfin permettre la gestion efficace de la ressource sol.

Tableau 17 : Répartition des enquêtes selon l'objectif de maintenir les arbres dans leurs champs

Réponses	Répondants	Proportions
Pour avoir des bois de chauffe	29	8,30%
Pour le charbon de bois	12	3,44%
Pour servir de tuteur	43	12,32%
Pour alimentation du bétail	30	8,59%
Sont destinés à la production des planches/madriers	23	6,59%
Pour fabriquer les bio pesticides	53	15,18%
Pour faire une limite de ma parcelle	30	8,59%
Pour avoir des fleurs et un bon paysage	7	2,01%
Pour avoir les fruits	51	14,61%
Je les maintiens car ils sont des arbres agroforestiers	38	10,88%
Ces arbres sont là spontanément et d'un moment à l'autre ils peuvent être coupés	23	6,59%
Autres (Pour la construction, le projet ultérieur, croissance rapide, économie, fertilisant et médicament naturel)	10	2,86%
Total	349	100%

Source : Construis par l'auteur à partir de STATA 15

Il ressort de ce tableau que 33 ménages soit 34,375% de l'échantillon maintiennent les arbres pour faire la limite de leurs parcelles agricoles, 21 ménages soit 21,875% de l'échantillon maintient les arbres pour avoir des fruits, 18 ménages soit 18,75% de l'échantillon laissent les arbres dans car ils sont intéressantes , 9 ménages soit 9,375% de l'échantillon maintient les arbres pour avoir des bois de chauffe, 6 ménages soit 6,25% de l'échantillon disent que Ces arbres sont là spontanément et d'un moment à l'autre ils peuvent être coupé et 6 des enquêtes soit 6,25% de l'échantillon maintient ces arbres pour la construction, le projet ultérieur, croissance rapide, économie, fertilisant et médicament.

Les résultats dans ce tableau nous indiquent l'objectif de maintenir les arbres dans les champs restent jusque-là est partagé car peu d'agriculteurs les maintiennent comme des arbres agroforestiers, la grande partie des producteurs les maintiennent pour constitue une limite avec les parcelles voisines cela ne peut exclure que même les arbres qui constituent la limite peuvent être agroforestières et les autres pour avoir des fruits.

4. Emplacement des arbres dans les exploitations

L'emplacement des arbres dans le champ dépend de l'objectif du cultivateur, de manière générale l'emplacement des espèces agroforestières se fait dans les champs, sur le bord comme haies ou brise vent.

Tableau 18 : Répartition des enquêtes selon l'emplacement des arbres dans les champs

Emplacement	Freq.	Percent	Cum.
1= Dans les champs	35	20.83	20.83
2 = Dans la limite	40	23.81	44.64
3 = Dans les champs et dans la limite	45	26.79	71.43
4 = Sur la fossé antiérosive	27	16.07	87.50
5 = Sur les couloirs	21	12.50	100.00
Total	168	100.00	

Source : Construis par l'auteur via STATA 15

Parmi 349 ménages, 168 ont adopté la combinaison des espèces agroforestières en considération et cultures. 35 soit 20.83% du sous échantillon placent des arbres dans les champs, 40 ménages soit 23.81% de l'échantillon ont les arbres dans la limite, 45 ménages soit 26.79% de l'échantillon ont des arbres dans les champs et dans la limite, 27 ménages soit 16.07% ont les arbres sur le fossé antiérosif et 21 ménages ont placé des arbres sur les couloirs.

5. Services écosystémiques rendus par les écosystèmes identifiés dans le Mumirwa

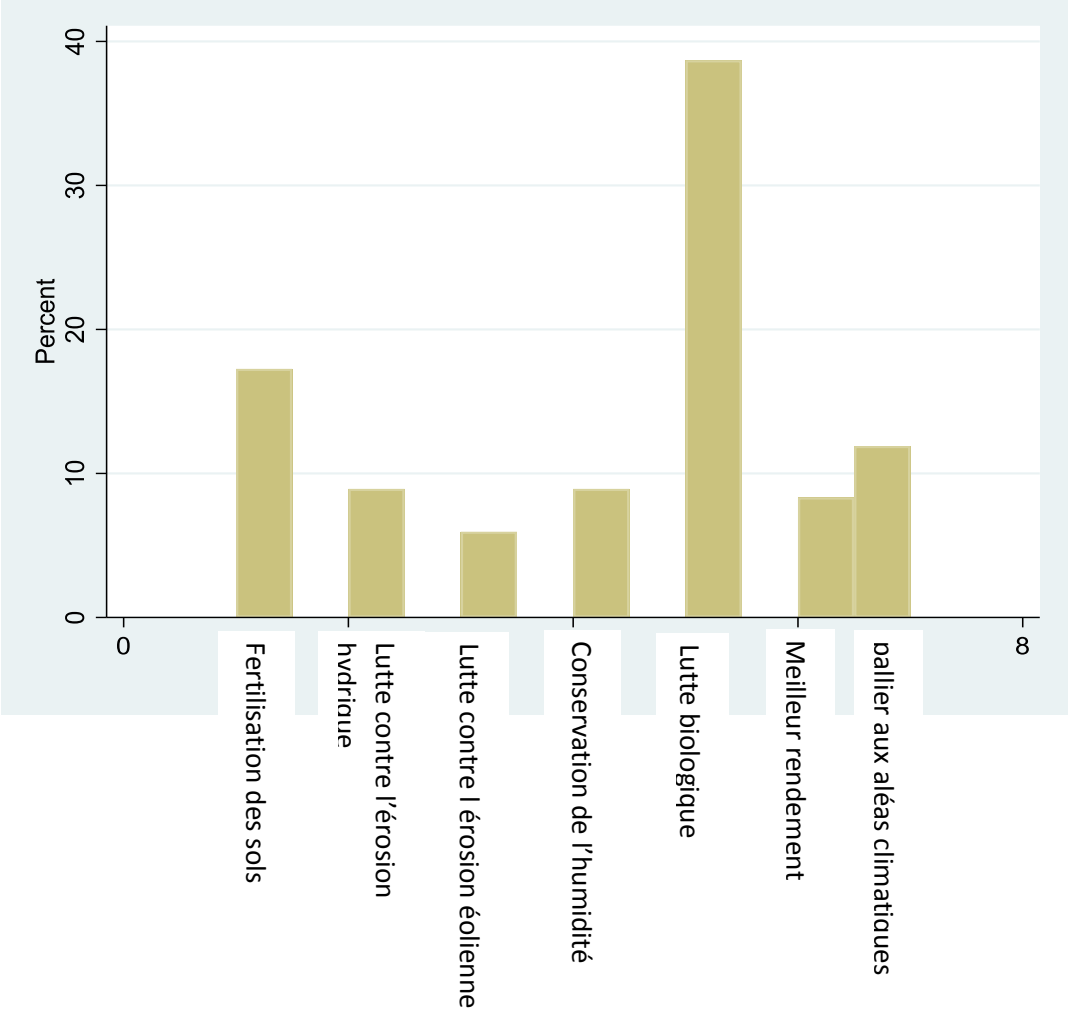
Tableau 19 : Attribution de la valeur aux services écosystémiques

Service Ecosystémique	Freq.	Percent	Cum.
1= Gestion de la fertilité des sols	29	17.26%	17.26%
2= lutte contre l'érosion hydrique	15	8.93%	26.19%
3= lutte contre l'érosion éolienne	10	5.95%	32.14%
4= conservation de l'humidité	15	8.93%	41.07%
5= lutte biologique	65	38.69%	79.76%
6= Meilleur rendement	14	8.33%	88.10%
7= pallier aux aléas climatiques	20	11.90%	100.00%
Total	**168**	**100.00**%	

Source : Construis par l'auteur via STATA 15

Les proportions et valeurs contenues dans ce tableau montrent l'appréciation d'apport des écosystèmes agroforestiers aux exploitants agricoles. La majorité préfèrent mettre les arbres dans le but de promouvoir la lutte biologique et ensuite un nombre élevé des ménages disent que les arbres agroforestiers contribuent beaucoup à la gestion de la fertilité des sols.

Figure 5 : Graphique des services écosystémiques



Ce graphique montre l'importance que les exploitants accordent aux écosystèmes agroforestiers présents dans les champs. Actuellement les agriculteurs de la zone d'étude affirment ou témoignent l'apport capital des arbres agroforestiers.

La majorité des ménages ici 65 ménages parmi 168 personnes qui ont adopté l'introduction de nouvelles espèces agroforestières, soit 38.69% disent que ces écosystèmes rendent de meilleurs services de lutte biologique ; 29 ménages soit 17.26% de cette catégorie disent que les arbres agroforestiers contribuent à la fertilisation des sols, 20 ménages soit 11,90% disent que les espèces agroforestières permettent de pallier aux aléas climatiques.

Les autres services soulevés par les ménages sont respectivement les meilleurs rendements des cultures, la lutte contre l'érosion soit hydrique et/ou éolienne la conservation de l'humidité.

Parmi ces réponses recueillies auprès des producteurs nous arrivons à catégoriser les services que procurent les écosystèmes comme les services d'usage direct et de non usage.

6. Les contraintes pour les agriculteurs d'intégrer les arbres dans leurs exploitations

Parmi les 349 ménages, 181 ménages n'ont pas préféré la combinaison des arbres et cultures. Les contraintes qui empêchent les agriculteurs de mélanger intentionnellement les arbres dans leurs champs sont de plusieurs ordre.

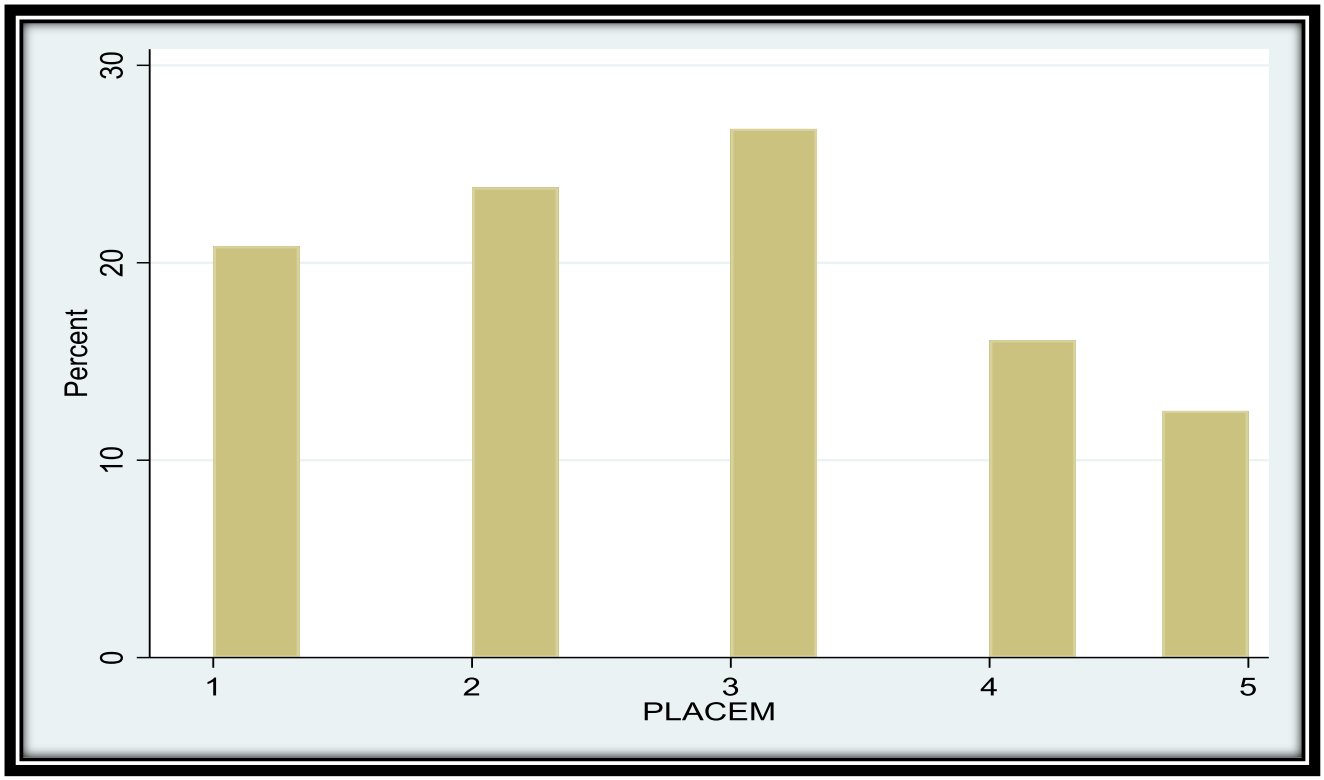
Tableau 20: Les contraintes majeures qui les empêchent souvent d'intégrer les arbres dans le champ de production des cultures.

Les contraintes	Freq.	Percent	Cum.
1 = Le champ que j'exploite ne m'appartient pas	9	4.97	4.97
2 = Les arbres ne donnent pas de bonnes planches	21	11.60	16.57
3 = Ces arbres occupent des espaces importantes	54	29.83	46.41
4 = Je ne veux pas des arbres dans mon champ	12	6.63	53.04
5 = Ces arbres créer de l'ombre et empêchent le bon développement des cultures	34	18.78	71.82
6 = Les arbres créés des concurrences avec les cultures	31	17.13	88.95
7= Autres à préciser (je manque des arbres, la paraisse)	20	11.05	100.00
Total	181	100.00	

Source : Construit par l'auteur à **l'aide de STATA 15**

Il ressort de ce tableau que parmi les 181 ménages, 9 des ménages soit 4.97% de l'échantillon exploitent les champs qui ne les appartient pas, 21 des ménages soit 11.60% de l'échantillon disent que ces arbres créés de l'ombre et empêchent le bon développement des cultures, 54 des ménages soit 29.83% disent que les arbres dans le champ occupent des espaces très importantes, 12 des ménages soit 6.63% de l'échantillon disent qu'ils ne veulent pas des arbres dans leur champ, 34 des ménages soit 18.78%disent que les arbres créent de l'ombre et empêchent le bon développement des cultures, 31 des ménages soit 17.13% disent que les arbres créés des concurrences avec les cultures, et 20 des ménages soit 11.05% maquent des arbres.

Figure 6 : Les causes de non adoption des pratiques agroforestières



Source : Construit par l'auteur via Excel

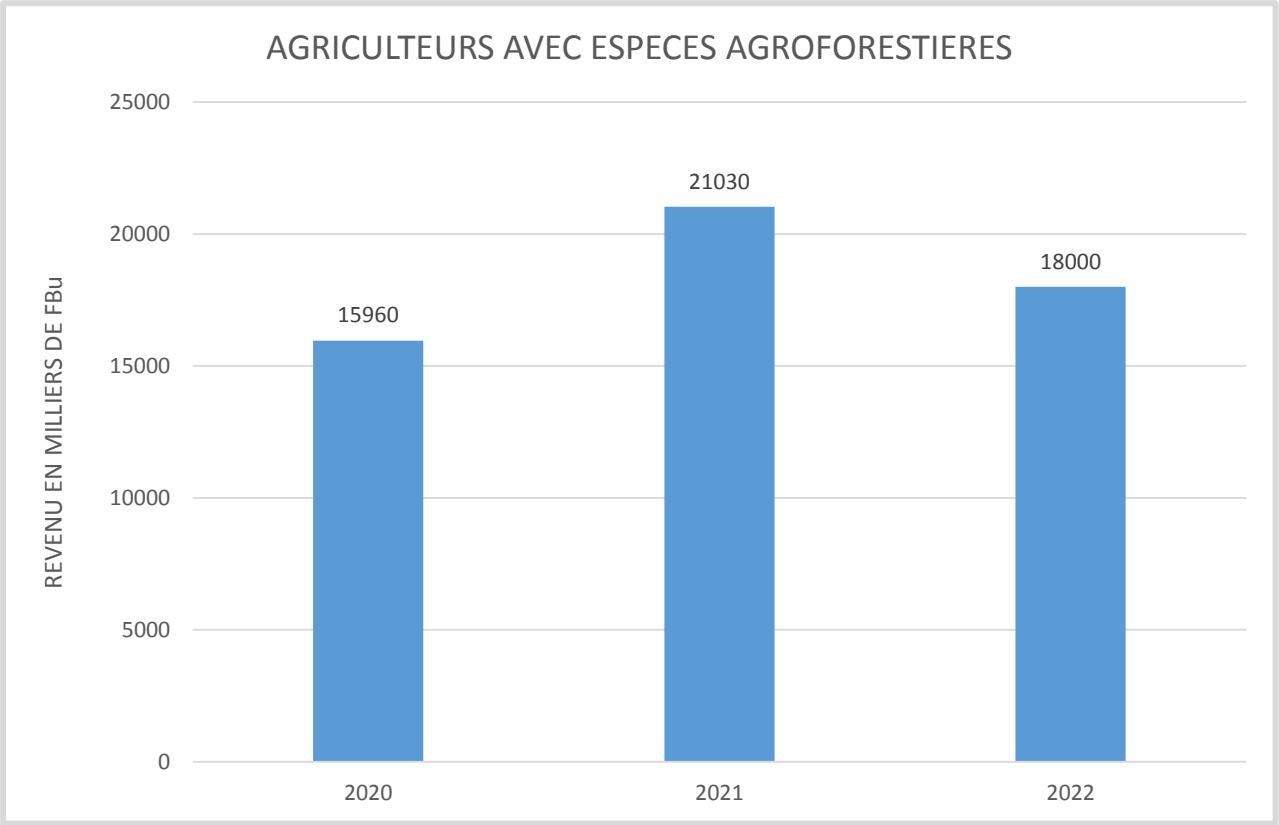
Ce graphique montre les contraintes qui font que les exploitants n'intègrent pas les arbres dans leurs champs sont multiple. De part ces résultats nous voyons que les champs qu'exploitent la majeure partie des agriculteurs ne leurs appartient pas, ceux qui ne veulent pas des arbres dans leurs champs et ceux qui disent que les arbres créer des concurrences avec les cultures ou de l'ombre, ceci nous permet de déduire facilement qu'ils n'ont pas assez des connaissances et les autres disent qu'ils manquent des arbres, et pourtant il existe une multitude des arbres agroforestiers.

IV.7. Effets socioéconomiques des innovations agroforestières

IV.7.1. Estimation de la valeur économique des services écosystémiques

1. La valeur économique pour les ménages bénéficiaires

Figure 7 : Graphique de l'évolution du revenu

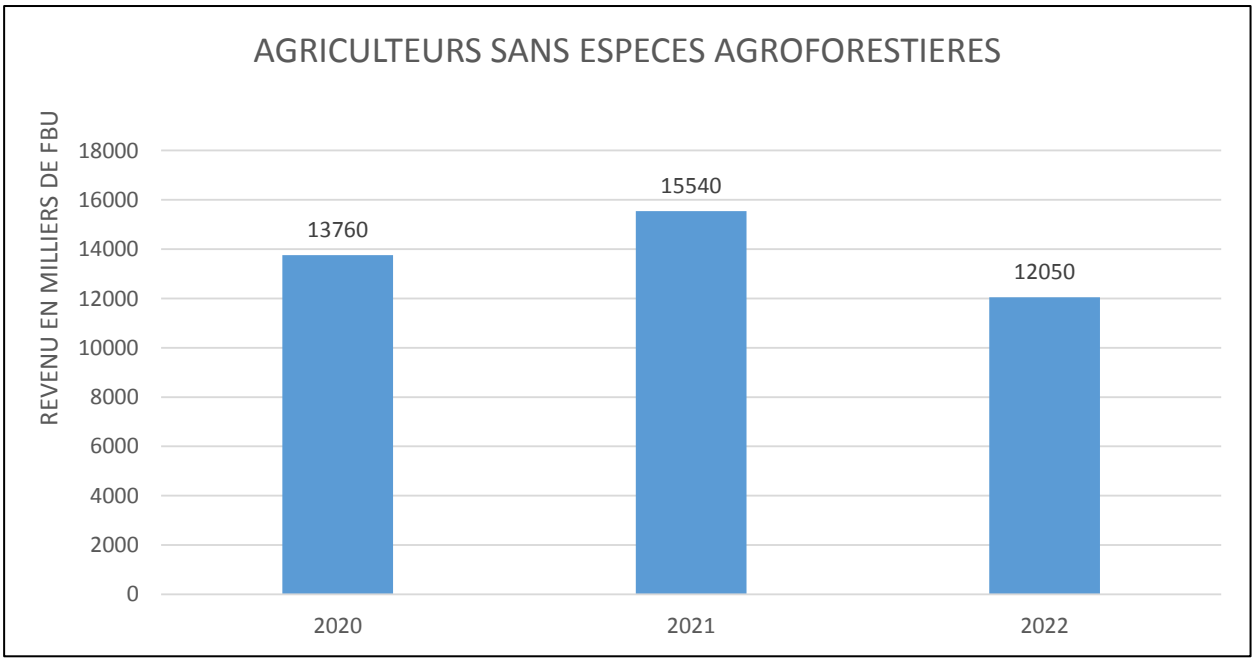


Source : Construit par l'auteur via Excel

La figure 7 illustre l'évolution de la valeur des services écosystémiques offerts par l'agroforesterie depuis l'an 2020 à 2022 pour ceux qui font des pratiques agroforestières. Dans le province Bubanza, les pratiques de l'agroforesterie ont été mises en œuvre en 2020 par la domestication des espèces agroforestières dont leur valeur n'était pas mise en considération par les agriculteurs. En plus, l'introduction des nouveaux écosystèmes naturels contribue contribue à l'augmentation de valeur des espèces agroforestières. Il y a eu une évolution de la valeur économique en 2021 mais en 2022 la production a chuté comme le montre la figure. Les producteurs ont expliqué que c'est à cause des chocs climatiques qui se sont observés dans le pays durant la période de culture.

Figure 8 : Estimation du revenu pour les non pratiquants

La figure suivante montre l'évolution de la valeur des écosystèmes depuis l'an 2020 à 2022 pour la population témoin qui ne pratique pas les innovations agroforestières.



Source : Elaboré par l'auteur via Excel

Le graphique pour l'année 2022 a chuté en dessous de celles de 2020 et 2021. Les producteurs justifient que c'est à cause des changements climatiques qui ont secoué les champs pendant les saisons culturales de cette année. Les aléas climatiques touchent tout le monde sans distinction aucune. Les producteurs qui n'ont pas adopté des pratiques innovatrices subissent des conséquences énormes car ils concentrent les moyens de production dans l'achat des intrants (les engrais chimiques et les pesticides).

Si les conditions climatiques demeurent favorables, ils enregistrent une gamme de production en peu satisfaisante mais toujours inférieure par rapport à ceux qui utilisent des intrants organo-minéraux. C'est la situation de 2021, la courbe a subi une croissance par rapport à la courbe de l'année 2020 parce que les autres conditions étant égales par ailleurs, le climat a été favorable.

La différence qui résulte entre les deux observations précédentes est la suivante : s'il y a un choc climatique, la production va baisser beaucoup plus pour les producteurs qui ne pratiquent pas l'agroforesterie car leur sol est dégradé et va leur coûter plus cher pour la restauration.

Les producteurs qui font les pratiques des innovations agroforestières ont expliqué qu'au lieu d'acheter les engrais chimiques, ils fermentent eux-mêmes des fumures organiques à partir des résidus des récoltes en mélange avec des produits des ressources naturelles (espèces agroforestières déjà citées). Avec ces innovations, des avantages s'observent dans plusieurs sens : les fonds destinés à l'approvisionnement des intrants autres que les semences, sont investis dans l'élevage pour avoir de la fumure organique suffisante grâce au recyclage des résidus de la récolte par le bétail. En plus d'approvisionnement en bétail, avec les fumures organiques, le sol se reconstitue, les autres végétaux augmentent et le sol s'enrichit en nutriments indispensables aux cultures.

2. Avantages de l'agroforesterie tels que perçus par les ménages

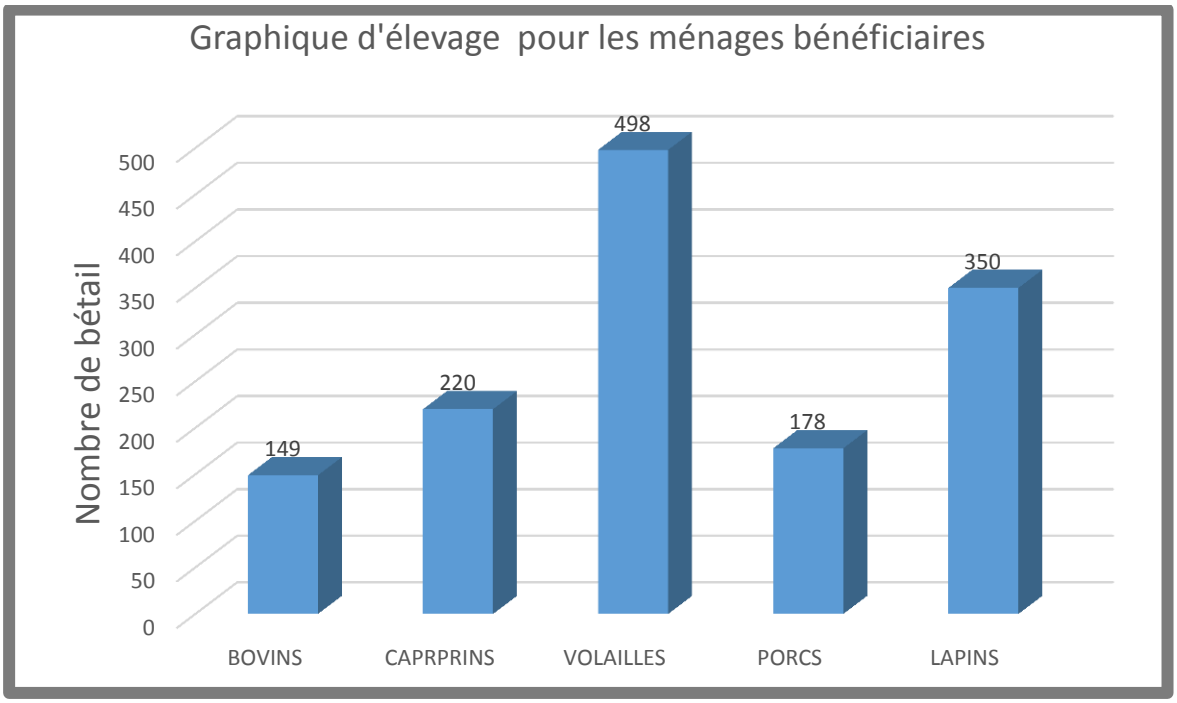
Les systèmes agroforestiers bien conçus exploitent au maximum les interactions bénéfiques des plantes cultivées tout en réduisant au minimum les interactions défavorables. L'interaction la plus courante est la concurrence, comme par exemple pour la lumière, l'eau ou les nutriments du sol. Ces interactions ne concernent uniquement les cultures et arbres mais aussi interactions avec les animaux.

a. Effets de l'adoption pour les ménages bénéficiaires

La figure 9 illustre le nombre de bétail (bovins, caprins, volailles, porcs et lapins) des producteurs qui font l'agroforesterie. Ici nous avons constaté que presque tous les ménages qui ont domestiqué les innovations agroforestières disposent du bétail. Ils investissent dans l'achat des animaux d'élevage ce qui leur permet de stabiliser leur source de revenu. Cette diversification constitue un moyen alternatif de parier aux aléas climatiques quand ils deviennent défavorables.

Ces indicateurs montrent la valeur économique des écosystèmes rendus par l'agroforesterie. Les bénéficiaires des accompagnements substituent en partie l'usage des intrants d'origine chimique par les produits organiques dans la lutte contre les rongeurs et ravageurs des champs. Ces produits sont fabriqués à partir des ressources naturelles. Les fonds qui étaient destinés à l'achat de ces intrants sont investis dans l'élevage et l'amélioration du bien-être.

Figure 9 : L'élevage pour les pratiquants

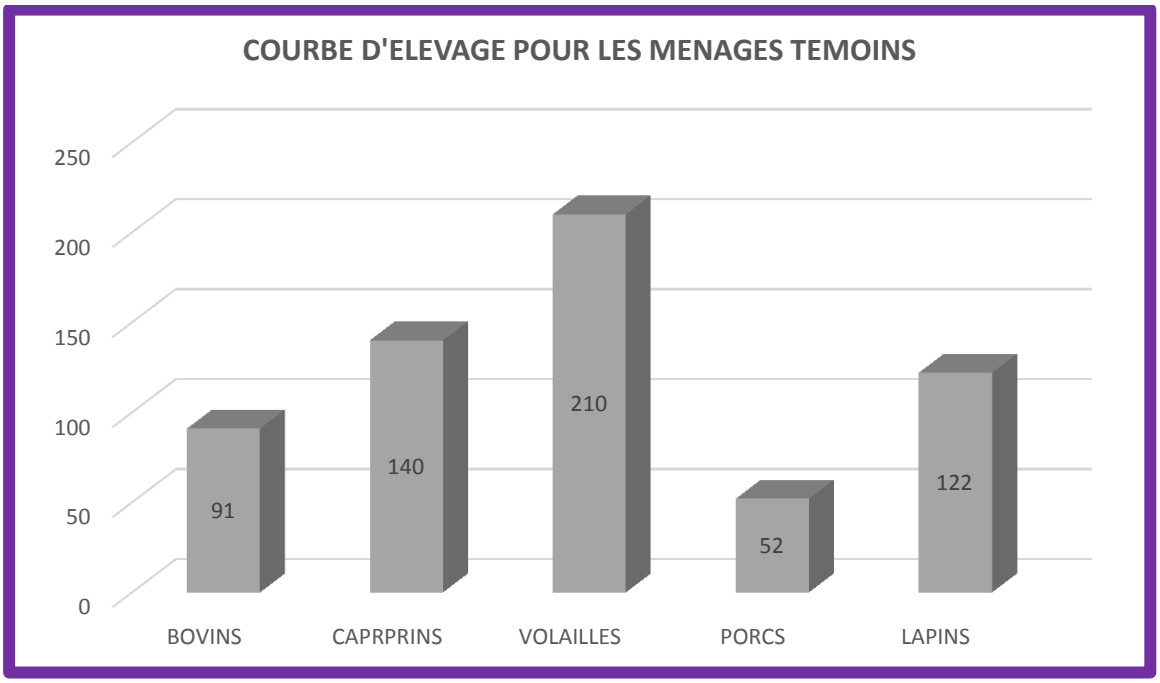


Source : Construit par l'auteur via EXCEL

b. Effets de l'adoption pour les ménages témoins

La figure suivante montre le nombre de bétail (bovins, caprins, porcs) des producteurs qui ne bénéficient pas l'accompagnement des acteurs au développement. Ils sont dits des ménages témoins qui n'ont pas adopté les pratiques agroforestières. Evidemment ils possèdent des bétails mais en nombre limité que chez les bénéficiaires. Les raisons qui expliquent cette différence sont que les fonds qui pourraient contribuent à l'approvisionnement en matériel animal sont orientés dans l'achat des intrants. Si les aléas climatiques changent négativement, ces producteurs subissent doublement. Les investissements en intrants perdent et ne font face à aucun recours car le bétail pour eux est limité. La figure suivante montre la possession en matériel animal pour les non pratiquants.

Figure 10 : L'élevage pour les non pratiquants (témoins)



Source : Construit par l'auteur via Excel

Les producteurs qui disposent plus de bétail sont ceux qui mélangent les plantes et les arbres dans leurs champs. Ces pratiques rétablissent la résilience et la viabilité en créant des revenus stables qui participent au développement rural.

Sur ce graphique le nombre maximal de bovins, caprins et autres est relativement bas par rapport au graphique précèdent qui montrent le nombre de matériel animal des exploitants qui ont introduit les systèmes agroforestiers dans leurs exploitations. La majorité de cet échantillon ne dispose pas d'animaux d'élevage contrairement à ceux qui adoptent les pratiques agroforestières.

IV.7.2. Effets des pratiques agroforesteries sur le sol

Les résultats des analyses chimiques des échantillons de sols des différentes pratiques agroforesteries sont consignés dans le Tableau 14. Avant la plantation du haricot, les teneurs en carbone sont de 2,04%, en azote sont de 0,332% avec le pH de 6,83.

Tableau 21 : Etude du sol avant la plantation du haricot

N.O	Echantillon	no Labo	pH (eau)	carbone %	Azote total, %
1	SOL.BUBANZA	L2289	6,83	2,04	0,332

Source : Résultats de laboratoire de l'ISABU des échantillons du sol apporté par ADISCO

Après la plantation du haricot :

- Avec l'utilisation de la fumure organique, le pH est resté presque stable (6,83 à 6,8) ; le carbone en pourcentage est élevé de 2,04 à 2,51 et l'azote total en pourcentage est élevé de 0,332 à 2.
- Avec l'usage des engrais chimiques, le pH est élevé de 6,83 à 7,17 ; le carbone en pourcentage a varié de 2,04 à 2,32 et l'azote total en pourcentage a diminué de 0,332 à 0,208.
- Avec l'usage des engrais chimiques et la matière organique, le pH a diminué de 6,83 à 6,35 ; le carbone en pourcentage a diminué de 2,04 à 2,03 et l'azote total en pourcentage a diminué de 0,332 à 0,311.

Tableau 22 : Etude du sol après la plantation du haricot

N°	Echantillon	no Labo	pH (eau)	carbone %	Azote total, %
1	Lot1 Bub F.O	M 84	6,8	2,51	2
2	Lot1 Bub E.C	M 85	7,15	2,32	0,208
3	Lot1 Bub E.C + M.O	M 87	6,35	2,03	0,311

Source : Résultats de laboratoire de l'ISABU des échantillons du sol apporté par ADISCO

Les acteurs au développement accompagnent les agriculteurs dans la mise en œuvre des pratiques écologiques pour promouvoir l'agriculture de conservation. Dans cette optique les techniciens de l'ADISCO ont fait le prélèvement du sol avant et après la mise en œuvre de ces techniques de préservation du sol.

Les résultats montrent que l'usages des fertilisants organiques améliorent la qualité du sol compte tenu de sa teneur en éléments nutritifs indispensables pour la plante.

IV.8. Discussion des résultats

IV.8.1. Perception des exploitants sur l'importance des innovations agroforestières

L'agroforesterie offre de nombreux services écosystémiques, tant pour les producteurs agricoles que pour la société en général. Sans être une panacée, l'agroforesterie, par ses multiples fonctions environnementales et économiques, aide les secteurs agricole et forestier à trouver des solutions innovatrices aux problèmes actuels, dont le manque de rentabilité, l'impact sur l'environnement et la perception parfois négative du public à son égard.

Mieux encore, l'agroforesterie améliore la qualité de vie des citoyens et des producteurs, diversifie les revenus et contribue à la revitalisation économique des régions dans le respect d'une gestion durable des ressources naturelles présentes sur le territoire. LABANT Pierre (2010) estime que l'association des arbres aux activités agricoles, judicieusement organisée dans l'espace et dans le temps, permet d'instaurer des relations de complémentarité.

Un cycle se met en place entre les éléments du climat, de la biodiversité, du sol, de l'eau, les cultures, les animaux et les arbres, au bénéfice de la production et des paysages et les producteurs agricoles peuvent également être bénéficiaires de nombreux services entre autres diversifier leurs revenus par la production de matière ligneuse et non ligneuse et faire des économies de chauffage et de déneigement par la plantation de haies brise-vent.

Dans le contexte de changement climatique, l'agroforesterie joue un rôle majeur dans la résilience face à ce changement**.** Avec la restauration du paysage par différentes espèces les feuilles et les branches d'arbres ralentissent l'énergie cinétique qui est à l'origine de la déformation des terres arables favorables à l'agriculture.

L'enfouissement des résidus de récolte est perçu par les producteurs comme une technique d'amélioration de la fertilité du sol. Concernant la conservation de l'humidité et la lutte contre l'érosion hydrique, les producteurs disent avoir constaté que les portions de la parcelle où la paille est enfouie restent humides plus longtemps, et la paille qui n'a pas pu être enfouie par le labour sert de barrière physique et réduit le ruissellement. La paille ainsi enfoui est décomposée et assure une meilleure croissance aux cultures.

Le rôle de la paille dans l'amélioration de la fertilité des sols, la lutte contre l'érosion et la conservation de l'humidité du sol, a été révélé par les études de Kolawole et al. (2014), Muchabi et al. (2014), Doumbia (2016) et Sanon (2017).

Ces auteurs ont montré que le paillage permettait d'améliorer les propriétés chimiques et l'humidité pondérale, du sol et l'infiltration de l'eau. Sanon (2017) a également montré que le paillage contribuait significativement à accroître le stock de carbone du sol.

Actuellement les agriculteurs adoptent l'utilisation des engrais organiques et visent à renoncer les engrais chimiques qui présentent d'ailleurs des inconvénients sur la santé humaine et sont à l'origine de la dégradation du sol. Parfois des résidus de récoltes sont enfuis et les agriculteurs confient que cette technique permet une bonne gestion de la fertilité du sol, parce que la matière organique qui est enfouie en profondeur se décompose mieux et est préservée de l'exportation hors des champs par les eaux de ruissellement.

Les producteurs optent pour des techniques conservatrices lors de la fertilisation de leur exploitation et dans la conservation des récoltes stockables. Ils utilisent des bio pesticides non nuisibles à la santé humaine ; ces bio pesticides sont fabriqués à partir des écosystèmes agroforestiers qui sont dans les champs en association avec les cultures.

La fumure organique utilisée pour fertiliser le sol est apportée par la majorité des producteurs. C'est partant de ce constat que les producteurs ont affirmé que l'usage de la fumure organique était un moyen de lutte contre cet adventice parasite, confirmant ainsi les travaux de Husson et al. (2006).

La fumure organique est de nature diverse : compost, déchets ménagers, feuilles mortes des arbres, détritus des eaux de ruissellement, déjections animales, refus d'affourragement, paille de céréales. Les producteurs expliquent cette grande variabilité de la nature de la fumure organique par la dégradation avancée de leurs terres qui les obligent à user de tout ce qui peut servir comme matière organique. Pour ces derniers, cette perte de la fertilité du sol est l'action conjuguée de facteurs tels les longues années de culture continue sans jachère à cause du manque de terre, et l'érosion hydrique.

L'utilisation des biofertilisants est une réponse à la dégradation des terres. Pour les producteurs, cette dégradation se manifeste par un fort ruissellement, entrainant une exportation par les eaux de pluie, de la fumure organique, de la paille et des particules de sols.

Ils disent avoir appris cela par le biais de formation avec des ONGs et des structures de recherches.

En association, la légumineuse par ses feuilles et rameaux, permet une couverture du sol, ce qui contribue à augmenter l'humidité du sol et les feuilles qui tombent durant son développement fertilisent le sol. La céréale associée bénéficiant de plus d'humidité et de nutriments, connait alors une croissance rapide.

La rotation est unanimement reconnue comme une pratique d'amélioration de la fertilité du sol. Les types de rotation effectués par les producteurs sont les rotations céréales-céréales et céréales-légumineuses, …

L'importance de la rotation et de l'association culturale dans la gestion de la fertilité des sols, a été prouvée par les travaux de Chalk (1998) et LaRue et Patterson (1981), qui indiquaient que ces pratiques amélioraient la disponibilité en azote utilisable par les cultures, grâce aux mécanismes de fixation atmosphérique et de décomposition des résidus de cultures.

L'agroforesterie renferme une fonction première qui est la fertilisation des sols. Pour les producteurs, les feuilles des arbres qui tombent en se décomposant augmentent le stock de matière organique, ameublissent le sol. C'est ce qui permet d'avoir une humidité plus importante sous les houppiers des arbres. Les espèces les plus citées par les producteurs pour leur vertu fertilisante sont : tetonia, par sa capacité de se décomposer le plus facilement possible et sa teneur en azote.

IV.8.2. Effets socioéconomiques de l'agroforesterie sur la production dans le contexte de changement climatique

D'après les résultats de la recherche les producteurs témoignent une immense implication des services écosystémiques de l'agroforesterie dans la formation de leur revenu. La production s'améliore suite à la transformation du sol mais le principal gain réside dans le fait que les dépenses qui étaient destinées aux intrants comme les engrais chimiques, les DDT et les autres pesticides ; sont orientés vers les autres investissements.

Les producteurs s'approprient de bétail et produisent plus de fumure organique grâce au recyclage des résidus de la récolte par le bétail, ce qui montre que ça va générer des revenus pour l'auto développement.

Avec cette association du bétail et les arbres, les exploitants ne font plus recours à l'approvisionnement de l'alimentation du bétail parce que le fourrage constitue l'une des composantes de l'agroforesterie et ces fourrages se complètent par les résidus de récolte pour satisfaire l'alimentation du bétail.

Les sources de revenus sont diversifiées. De nombreux indicateurs sont utilisés par les producteurs pour apprécier l'amélioration des conditions de vie occasionnée par les services écosystémiques. Avec ces revenus, les ménages créent des mutualités de santé, forment des groupement d'épargne et de crédit qu'ils gèrent eux-mêmes de façon autonome. La hausse des rendements sur les sols fertiles est en adéquation avec les travaux de Kissou (2014). Les pratiques agroforestières rétablissent la résilience et la viabilité en créant des revenus stables qui participent au développement rural. Ces résultats sont en droite ligne de ceux de van der Ploeg et al. (2019).

Les arbres situés dans les champs agricoles contribuent au maintien de la production agricole dans un climat variable et à la protection des cultures contre les évènements climatiques extrêmes. L'agroforesterie est de plus en plus reconnue comme une approche efficace pour minimiser les risques liés à la variabilité et au changement climatiques qui pèsent sur la production (Verchot et al., 2007). Grâce à leurs systèmes racinaires profonds, les arbres peuvent explorer le sol en profondeur à la recherche d'eau et de nutriments, ce qui est bénéfique aux cultures en période de sècheresse. En contribuant à augmenter la porosité du sol, à réduire le ruissellement et à accroître la couverture du sol, les arbres augmentent l'infiltration et la rétention de l'eau et réduisent le stress hydrique lorsque les précipitations sont faibles (Verchot et al., 2007).

IV.8.3. Mécanismes de préservation des ressources naturelles

Les services écosystémiques résultent du maintien et de la prépondérance des écosystèmes. Plusieurs facteurs doivent être considérés pour la mise en place de stratégies d'adaptation et à la résilience au changement climatique. Les approches multidisciplinaires devraient donc dominer (LOCEAN et al. 2015). Il s'agit et d'ailleurs d'un modèle convenable à la préservation des ressources naturelles (les espèces et ressources liées à l'eau).

L'innovation agricole requiert l'identification et la compréhension des pratiques existantes des populations ciblées qui ont souvent développé des connaissances importantes sur l'adaptation à des environnements défavorables et aux chocs climatiques.

Les savoirs traditionnels et scientifiques devraient être combinés à travers des approches participatives pour une amélioration de la gestion des systèmes agricoles existants. Les stratégies d'adaptation ont une meilleure chance d'être adoptées, appropriées, et de réussir si elles sont basées sur les connaissances indigènes.

Des acteurs au développement notamment les organisations de la société civile se battent pour la promotion de l'agriculture résiliente à travers la mise en disposition des plants nécessaires et compatibles à la combinaison avec les cultures. Des initiateurs locaux, qui testent et promeuvent les innovations réussies pourraient contribuer à la diffusion de ces pratiques conservatrices des ressources naturelles. En outre, les facteurs sociaux et culturels peuvent stimuler ou limiter l'innovation. La vulnérabilité et la capacité d'adaptation des communautés humaines sont liées aux moyens de subsistance, au rôle des filets de sécurité sociale, et autre mesures de protection sociale (assistance mutuelle, microcrédit…). En outre, l'adaptation repose parfois sur une modification des valeurs et attentes fondamentales qui peuvent rencontrer une plus grande résistance parmi les paysans (IPCC, 2014).

Les facteurs politico-économiques qui influencent la décision des paysans d'ajuster leurs pratiques constituent le volet majeur dans l'introduction et la sensibilisation dans la mise en pratique de certaines décisions. Pour le cas du Burundi dans sa politique de l'élevage en stabulation, l'agroforesterie reste un pilier moteur pour le succès de cette politique car elle diversifie des ressources nécessaires pour alimentation du cheptel. En effet, le bon fonctionnement des institutions et des systèmes de gouvernance joue un rôle majeur dans l'adaptation.

Enfin, la question de la transférabilité de l'innovation d'un schéma de production agricole à un autre doit être considérée, en tenant compte des facteurs biophysiques et des autres facteurs cités précédemment. Compte tenu de la variété de facteurs influençant la mise en place d'un processus d'adaptation, il faut reconnaitre qu'il n'existe pas une seule stratégie d'adaptation mais qu'il y en a autant que de contextes spécifiques au Burundi. Ces résultats justifient la troisième hypothèse.

Conclusion du quatrième chapitre

Les résultats de notre travail prouvent l'importance capitale des écosystèmes agroforestiers à travers leur valeur économique. Le défi majeur est le manque des travaux d'évaluation économique de la biodiversité au Burundi comme en Afrique d'une manière générale. Les espèces végétales plus particulièrement celles qui servent à la lutte biologique interviennent à un moment crucial marqué par l'augmentation des enjeux de la conservation de ces ressources et les impacts possibles, qui pourraient être irréversibles, en termes de maintien des services écosystémiques utiles sur le plan national, régional et international.

Pourtant, le recours à l'évaluation économique des services écosystémiques pourrait être utile, voire nécessaire pour justifier la mobilisation des fonds nécessaires à leur conservation, particulièrement dans le contexte de ces pays ou les ressources budgétaires sont limitées et les décideurs sont souvent appelés à faire des arbitrages difficiles en termes de choix de secteurs prioritaires devant bénéficier d'une affectation de ces ressources.

Bien que les pratiques soient d'une importance considérable, les retardateurs à l'adoption ne manqueront jamais. Des contraintes d'adoption pouvant être les coutumes et cultures des producteurs sans toutefois ignorer la taille de l'exploitation qui se rétrécit de temps en temps suite au nombre de bouches à nourrir pour chaque ménage.

CONCLUSION GENERALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Notre étude a été effectuée dans le but d'évaluer la valeur économique que rendent les écosystèmes agroforestiers dans la province de Bubanza.

Les résultats prouvent la pertinence de l'agroforesterie dans ses implications résilientes aux changements climatiques. Le sol se reconstitue à travers les décompositions de la matière organique en provenance des végétaux enfuis dans le sol. Cela est à la base de conclure que les services écosystémiques offerts par l'agroforesterie ne sont pas simplement des services d'approvisionnement. Ils renvoient à une consommation directe de l'être humain comme produits matériels procurés par les écosystèmes : aliments, eau douce, matières premières (bois et fibre) et ressources médicinales. Cela conduit à valider d'ailleurs l'hypothèse de valorisation économique des services de l'agroforesterie.

Les services des écosystèmes agroforestiers ne se limitent pas à l'usage direct. Des bénéfices découlant des fonctions régulatrices des écosystèmes comme la régulation du climat local et de la qualité de l'air, séquestration et stockage du carbone, atténuation des phénomènes extrêmes, traitement des eaux usées, prévention de l'érosion et maintien de la fertilité des sols, pollinisation, contrôle biologique. Au fur du temps avec la promotion des pratiques agroforestières, le sol se reconstitue progressivement.

Les services de support qui servent des mécanismes fonctionnels des écosystèmes permettant à la biodiversité de produire des services utiles à l'être humain. Ils regroupent la quasi-totalité des autres services et comprennent les habitats des espèces et le maintien de la diversité génétique, la formation du sol, la photosynthèse, le recyclage des substances fertilisantes, la production primaire de biomasse.

Du point de vue économique l'agroforesterie a révélé l'existence d'une diversité des ressources financières. Les producteurs qui pratiquent l'agroforesterie disposent plus de bétail et ont un bon revenu. Les dynamiques accompagnées par les acteurs au développement initient progressivement des entités locales de transformation des écosystèmes agroforestiers en produits nécessaires à l'entretien des champs comme la lutte contre les insectes. Selon la quantité transformée, une partie est vendue auprès des agriculteurs qui ne font pas partie de ces dynamiques.

Le gain est de multiple formes car les fonds que les agriculteurs orienteraient dans l'achat des insecticides ; en accompagnement avec les résultats de vente de ces transformations ; permettent de diversifier les sources de revenu comme la création de microprojets. Cette situation permet de confirmer la deuxième hypothèse de l'impact socio-économique des innovations agroforestières.

Recommandations

Sur la base de nos résultats, nous formulons les recommandations suivantes :

A l'endroit de l'Etat nous recommandons de :

- Développer/vulgariser les pratiques d'amélioration de la production engrais organique/compostage et bio pesticides (agriculture écologique)
- Vulgariser la formation technique agricole à large échelle ; y compris pour les petits producteurs notamment les associations ou coopérative agricole afin qu'ils puissent accéder aux services nécessaires pour l'agriculture ;
- Amplifier les techniques de conservation des sols et la reforestation en prenant en considération l'aspect social et les contraintes économiques des communautés ;
- Améliorer la prise en compte des savoirs locaux dans la mise en place ou le développement des techniques d'agroforesterie.

Pour les ONGs, nous recommandons ce qui suit :

- Intégrer dans leurs projets des études scientifiques visant à évaluer l'impact des pratiques agroforestières, Cela permettra de convaincre les bailleurs à s'investir davantage dans le développement des pratiques agroforestières (agriculture écologique).
- Fournir des équipements techniques aux dynamiques accompagnés leur permettant de produire une quantité suffisant des bio pesticides et fertilisants organiques dans des conditions favorables. Les agriculteurs fermentent difficilement les plantes médicinales pour produire des bio pesticides.

A l'endroit des producteurs, il est recommandé de :

- Promouvoir la fabrication et l'utilisation des foyers améliorés et favorisation la consommation rationnelle des sources d'énergie et autres sources d'énergie que le bois ;
- Combiner des pratiques agroforestières qui sont à la base de la réussite dans la gestion et la fertilité du sol.

- Promouvoir l'utilisation des fertilisants organiques qui réduisent la dégradation des sols.

Perspectives scientifiques et limites

Les écosystèmes agroforestiers offrent divers services dont le stockage de carbone par les arbres ligneux, les plantes et autres végétaux. Notre travail étant purement socioéconomique, ne pouvait s'étendre sur les aspects au-delà de notre domaine de compétence. Nous suggérons ainsi aux chercheurs du domaine biophysique d'entreprendre une étude similaire pour analyser le stockage du carbone par l'agroforesterie.

En plus les études en rapport avec la valorisation des services écosystémiques ne sont pas fréquentes dans les pays en voie de développement y compris le Burundi. Nous invitons les futurs chercheurs tant étudiants que professionnels de s'orienter dans ce domaine car la maitrise de l'importance des systèmes agroforestiers joue un rôle majeur dans la protection de l'environnement, dans la sécurité alimentaire et dans l'accroissement des revenus des ménages vers le bien être socio-économique des communautés.

La recherche s'est effectuée dans le domaine de l'agriculture de conservation en valorisant les services écosystémiques de l'agroforesterie. Le stockage de carbone étant l'un des services majeurs, nous ne disposons pas des instruments efficaces pour pouvoir déceler la quantité de carbone séquestré. Nous réservons cette section aux nouveaux chercheurs habiletés pour le domaine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. *Anonyme, 2002, Mémento de l'Agronome*, CIRAD, Paris. p 567-
2. *Anonyme, Comment nourrir le monde en 2050*, 2013; p1-7
3. Buerkert. A. Batania and Piepho, H-P. 2001 *efficient phosphorus application strategies for increased crop production in Sub-saharan* West Africa.Field Crop Res.p-
4. *CGIAR, Les forêts, les arbres et l'agroforesterie* Des moyens de subsistance, des paysages et de la gouvernance 2010, p.1-2
5. Daniel Y. ALEXANDRE, *L'arbre et le maintien des potentialités agricoles en zone intertropicale humide septembre* 1986.p.12
6. Dieter KÖNIG, *Contribution de l'agroforesterie à la conservation de la fertilité des sols et à la lutte contre le réchauffement climatique au Rwanda*, 2007, p.19
7. Diouf, A, Diop, Ndoye,I.and Guete,M.2008 *response of application and inoculations with Glomus Aggregatum and rhizobial strains in Sub-Saharan Sandy soil*.Afr.j of Biotech,7:766-771p.24-
8. Dupraz Christian et Fabien Liagre, *Agroforesterie, des arbres et des cultures*, éditions France Agricole p 410, 2008, (ISBN 978-2-85557-150-8)
9. Ed Verheij, *L'agroforesterie* Fondation Agromisa, Wageningen, 2003;p4-
10. Eric Savarese « méthodes des sciences sociales » ellipses, Edition Marketing S.A ; 2006, 32 Paris
11. FAO, service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes, Rome, 2004,
12. Gold, M.A., Rietveld, W.J., Garrett, H.E. and Fisher, R.E. (2000). *Agroforestry nomenclature, concepts, and practices for the USA*. *In* Garrett, H.E., Rietveld, W.J. and Fisher, R.F. (réd.), *North American Agroforestry: An integrated science and practice* (chap. 3, p. 63-77). Madison, American Society of Agronomy Inc.
13. H. Linger, Christine Hauert et al,(2011), *La pratique de la gestion durable des terres Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne* Préparé par WOCAT Coordination FAO de l'ONU Publié en partenariat avec TerrAfrica.p127-136
14. Julie Simard, *l'agroforesterie, une avenue de développement durable pour l'agriculture québécoise?* Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.) Longueuil, Québec, Canada, mai 2012
15. *LABANT Pierre*, Analyse du potentiel agroforestier des exploitations agricoles, *Mémoire de Master 2 préparatoire à la thèse, inédit, Université de Toulouse, 16 juin 2010, page 15.*

16. *Lundgren*, B. et Young, A.1992. *Land use management in relation to soil conservation and agroforestry*. In Kebede Tato and H. Hurui (ed.), *Soil conservation for survival*, chap. 14 (pp. 143- 155). 6 e Conférence internationale sur la conservation du sol, au Kenya et en Ethiopie, 6- 18 novembre 1989. Soil and Water Conservation Society
17. Manuel de recherche en sciences sociales 3e édition Dunod, paris 1995, 2006.
18. *Mellor J. (2000), "Agricultural Development: So many Successes, Such Excellent Results", document d'information préparé pour la FAO,*
19. *N. De Baets, S. Gariépy et A. Vézina,* le portrait de l'agroforesterie, *au QUÉBEC, Mars 2007p.15*-
20. *Nathan De Baets et Frédéric Lebel,* L'agroforesterie au Québec, *mémoire présenté à la commission* pour l'avenir de l'agriculture et de l'agro alimentation québécois (CAAAQ) le 7 juin 2007 à Montréal.
21. Philippe, Jouve, 2006. *Le jeu croisé des dynamiques agraires et foncières en Afrique Sub*-saharienne. *Montpellier, France.*
22. *Syaka, S, 2009. Techniques de conservation des sols et gestion intégré de la fertilité en appui au programme* de sécurité alimentaire : Guide pratique de terrain. AFENCPNSULT.INC.
23. Tartera, C. (2014). *Guide pour la réalisation d'aménagements agroforestiers.* Beloeil: Groupe ProConseil;
24. Tim Motis, 2007. Principes d'agroforesterie, ECHO. P.2-6
25. Toquebiau Emmanuel (2007), *L'agroforesterie, des arbres et des champs* éd. L'Harmattan, p.156. CIRAD
26. Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Graso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R. Raskin, P. Sutton et M. van den Belt, 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital", Nature, 387, 6630, pp. 253-260.
27. Join For Water M504 Progr 22-26 Join For Water outcome Burundi contexte PCRE 2021-07-18 def.docx
28. Schroth G., Krauss U., Gasparotto L., Aguilar J.A.D., Vohland K., 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. Agroforestry systems, 50: 199-241. Doi: 10.1023/a:1006468103914
29. Dr Serge Ngendakumana, Forest policy and institutional dimensions of redd+ in Cameroon, Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Applied Biological Sciences

30. Durpas Jérôme, 2014. Évaluation économique des services écosystémiques dans la régionde Montréal : analyse spatiale et préférences exprimées. Thèse de Doctorat, université de Montréal, 339p
31. Failler P, Binet T, Charrier F, Sall A et Doumouya A, 2009. Evaluation de la valeur économique et sociale des écosystèmes associés aux AMP de l'Afrique de l'Ouest. Rapport N°1 Cadrage méthodologique, 59pp Pierre AGUESSE, Clefs pour l'écologie, Seghers, Paris, 1971.
32. Antona, M. et M. Bonin, 2010, Généalogie scientifique et mise en politique des SE (services écosystémiques et services environnementaux), Document de travail n° 2010-1, Programme Serena.
33. Abdel Hamid. ML et Braham. CB 2015. Etude pour la mise en place d'un système de valorisation des produits de la pêche artisanale dans le cadre de la lutte contre la pauvreté en milieu urbain, 128p
34. Adamowicz, W, 2004. What is worth? An examination of historical trends and future directions in environemental valuation. Australian Journal of Agicultural and resources economics, 48(3); 419-443
35. Adamu Abdullahi, Mohd Rusli Yacob, Alias Radam and Rohasliney Hashim, 2015. Factors Determining Visitors' Willingness to Pay for Conservation in Yankari Game Reserve, Bauchi, Nigeria. Int. Journal of Economics and Management 9 (S): 95 - 114
36. Ahmedou Salem. MV 2014. Variations saisonnières et interactions proies-prédateurs dans un écosystème intertidal du Banc d'Arguin (NW de Mauritanie), thèse de doctorat, 171p
37. Ahmeda, M., Umalia, G. M., Chonga, C. K., Rulla, M. F., & Garcia, M. C. (2007). Valuing Recreational and Conservation Benefits of Coral Reefs: The Case of Bolinao, Philippines. Ocean & Coastal Management, 50, 103-118
38. Alam Khorshed, 2005. Valuing the environment in developing countries: Problems and potentials. Paper presented at the 49th Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES) Annual Conference, February 9-11, 2005, Coffs Harbour, NSW, Australia.
39. Alberini, A., Cooper, J, 2000. Applications of the Contingent Valuation Method in Developing Countries: A Survey (No.146). Rome: FAO Economic and Social Development Paper

40. Alvarez-Farizo, B., & Hanley, N, 2006. Improving the Process of Valuing Non-Market Benefits: Combining Citizens' Juries with Choice Modelling. Land Economics, 82(3), 465-478 Amigues. JP et Chevassus-au-Louis. B, 2011. Evaluer les services écologiques des milieux aquatiques : enjeux scientifiques, politiques et opérationnels, 176p
41. Anne E. Kirkbride-Smith, Philip M. Wheeler, Magnus L. Johnson. Artificial reefs and marine protected areas: a study in willingness to pay to access Folkestone Marine Reserve, Barbados, West Indies. Peer-Reviewed. 2016, Biodiversity and Conservation section. Published July 20, 2016
42. Appéré G, 2004. L'évaluation des actifs à usage récréatif : la méthode contingente des coûts de transport, Revue d'Economie Régionale et Urbaine 1, 81-106
43. Amin Ariane Manuela, 2014. Essays on development and bio diversity conservation in SubSaharan Africa. Economies and finances. Université d'Auvergne - Clermont-Ferrand I, 2014.
44. Asquith Nigel M, Maria Teresa Vargas and Sven Wunder. 2008. Selling two environmental services: In-kind payments for bird habitat and watershed protection in Los Negros, Bolivia. Ecological Economics Volume 65, Issue 4, 1 May 2008, Pages 675-684
45. Bateman I.J. et Langford I.H. (1997) Non-users' willingness to pay for a national park: An application and critique of the contingent valuation method, Regional Studies 31, 571-582
46. Bateman I.J., Day B.H., Georgiou S. et Lake I, 2006 The aggregation of environmental benefit values: welfare measures, distance decay and total WTP, Ecological Economics 60, 450-460
47. Bateman I.J., Carson R.T., Day B., Hanemann M., Hanley N., Hett T., Jones-Lee M., Loomes G., Mourato S., Özdemiroglu E., Pearce D.W., Sugden, R. et Swanson J, 2002. Economic Valuation with Stated Preference Techniques: A Manual, Edward Elgar, Cheltenham, UK, 458 p
48. Baral N., Stern, M et Bhattarai, R, 2008 Contingent valuation of ecotourism in Annapurna conservation area, Nepal: implications for sustainable park finance and local development, Ecological Economics 66, 218 – 227
49. Barbier, E. B., Strand, I., & Sathirathai, S, 2002. Do Open Access Conditions Affect the Valuation of an Externality? Estimating the Welfare Effects of Mangrove-Fishery Linkages in Thailand. Environmental & Resource Economics, 21(4), 343-367.

50. Barnes, J. I., F. Zeybrandt, C. H. Kirchner and A. L. Sakko. The economic value of Namibia's recreational shore fishery: A review, 2002. DEA RESEARCH DISCUSSION PAPER, Number 50, August 2002 Becker. G.S, 1965. A theory of the allocation of time. Econ. J., 75 (1965), pp. 493-517 186
51. BINETT T, BOROT DE BATTISTI A, FAILLER P, 2011. Evaluation économique des écosystèmes marins et côtiers. In Jacquet P., Pachauri P.K., Tubiana L. : Regards sur la terre Océans : la nouvelle frontière, Paris, Arnaud Colin : 180-185.
52. Binet Thomas, Borot de Battisti Adeline, Failler Pierre et Maréchal Jean-Philippe. Valeur économique totale des écosystèmes marins et côtiers de la future aire marine protégée régionale du Prêcheur (Martinique), 2013.
53. Bishop R.C. et Heberlein T.A, 1979. Measuring values of Extra-market Goods: Are indirect Measures Biased? American Journal of Agricultural Economics 61, 926-939
54. Brahic, E et Terreaux, J-P, 2009. Evaluation économique de la biodiversité : Méthodes et exemples pour les forêts tempérées. Editions Quae, 2009, 137 p
55. Bobiles, R. U., V. S. Soliman, and Y. Nakamura (2015). Partially protected marine area renders non-fishery benefits amidst high fishing pressure : A case study from eastern philippines. Regional Studies in Marine Science
56. Bockstael, N. E., Freeman, A. M., Kopp, R. J., & Portney, P. R, 2000. On Measuring Economic Values for Nature. Environmental Science and Technology, 34, 1384-1389
57. Bonnieux François, Philippe Le Goffe et Dominique Vermersch, 1995. La méthode d'évaluation contingente : application à la qualité des eaux littorals. Économie & prévision Année 1995 117-118 pp. 89-106 187
58. Bonnieux F. et Desaigues B, 1998. Economie et politiques de l'environnement, Dalloz. Paris, France, 328 p.
59. BONNIN M, FAILLER P, LAË R., 2015. Des AMP pour la résilience des écosystèmes. In BONNIN M, LAË R et BEHNASSI M : Aires marines protégées ouest-africaines, défis scientifiques et enjeux sociétaux. Nouvelle édition (en ligne). Marseille : IRD éditions 2015 (générée le 10 mars 2017), ISBN 9782709920933
60. Borot de Battisti Adeline, Binet Thomas, Pierre Failler, 2011. Guide méthodologique pour l'évaluation des valeurs de non-usage par la méthode des expériences de choix. Projet IFRECOR, 21 pp
61. Boureima. A, 2008. Réserves de biosphères en Afrique de l'ouest, vers des modèles de développement durable, note de synthèse à l'attention des décideurs, 68p

62. Boyd Philip W., Robert Strzepek, Feixue Fu, David A. Hutchins, 2010. Environmental control of open-ocean phytoplankton groups: Now and in the future. Limnol. Oceanogr, 55(3), 2010, 1353–1376
63. FAO-COMIFAC 2012, Surveillance et de MNV Nationaux avec une approche régionale pour les pays du Bassin du Congo. Document de Projet, 2011.
64. Ferraro P J (2009). Regional Review of Payments for Watershed Services: Sub-Saharan Africa Journal of Sustainable Forestry, 28:525–550.
65. Fischlin A (2008). IPCC estimates for emissions from land-use change, notably deforestation Systems Ecology Report No. 31, (Summary for Policy Makers). Terrestrial System Ecology, Institute of Integrative Biology, ETH Zurich, Zurich, Switzerland. Fond International pour le Développement de l'Agriculture –
66. FIDA. (2001). Evaluation de la pauvreté rurale: Afrique de l'Ouest et du Centre, Rapport.113P, Rome. 178
67. Food and Agriculture Organisation (FAO) (2011). Payments for ecosystem services and food security. Publishing Policy and Support Branch, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.
68. Food and Agriculture Organisation (FAO) (2010). Global Forest resources Assesment.
69. Food and Agriculture Organisation (FAO). (1999). Pluralism and sustainable forestry and development. FAO Rome, Italy.
70. Forbissie, B K, Essomba E P, Sonne N, Nnah Ndobe, S & Retana V (2012). Social safeguards and rights of indigenous people in the REDD+ process: Lessons from experience in natural resource management. WWF-CED Report, Yaoundé. Retrieved from:
71. Forster H (1996). "Concept of community forest management inventory of the planned community forest of Ekundu Kundu". Unpublished GTZ Report N°.2, 61 p. Foundjem-Tita D (2013). A new institutional economic analysis of policies governing non timber forest products and agroforestry development in Cameroon. Doctoral Thesis, Ghent University, Belgium, 227p.
72. Foundjem-Tita D, Speelman S, D'Haese M, Degrande A, Van Huylenbroeck G, Van Damme P and Tchoundjeu Z (2013). A tale of transaction costs and forest law compliance: Trade permits for non timber forest products in Cameroon. Forest Policy and Economics 38

73. Freudenthal E, Nnah S and Kenrick J (2011). REDD and rights in Cameroon: A review of the treatment of indigenous peoples and local communities in policies and projects. Rights, forests and climate briefing series, FPP, Moreton-in-Marsh GL56 9NQ, UK. Funds for Agricultural Organization -FAO.(2012). Surveillance et de MNV Nationaux avec une approche régionale pour les pays du Bassin du Congo. Document de Projet, 2011.
74. Galudra G, Van Noordwijk M, Suyanto, Sardi I, Pradhan U, Catacutan D (2011). "Hot Spots of Confusion: Contested Policies and Competing Carbon Claims in the Peatlands of Central Kalimantan (Indonesia)". International Forestry Review 13(4), 431-441. 179
75. Geist H J and Lambin E F (2001). What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational scale case study evidence. LUCC Report Series No. 4. University of Louvain, Louvain la- Neuve.
76. Geist H J and LAMBIN E F (2002). Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. BioScience, 52(2):143-50.
77. Gockowski J and Van Asten P (2012). Agricultural intensification as a climate mitigation and food security strategy for sub-saharian Africa. In Wollenberg E, Nihart A, Tapio-Bistrom ML and Greig-Gram M (Eds). Climate change mitigation and agriculture. Earthscan, London, 419p.
78. German A A, Ruhweza A, Mwesigwa R and Kalanzi C (2010). Social and environmental footprints of carbon payments: a case study from Uganda. Pp160-184 In Tacconi L,
79. Mahanty S and Suich H (eds). Payments for environmental services, forest conservation and climate change: Livelihoods in the REDD. Edward Elgar Publishing Ltd, Massachusetts, 267 p.

Notes de cours :

Dr Ir Serge NGENDAKUMANA (PhD), Cours : Audits des Impacts Environnementaux et Sociaux

Pr Diomède MANIRAKIZA, Cours : Politiques Environnementales (Outils et Pratiques)

Pr Salvator NDABIRORERE, Cours : Gestion des Ecosystèmes et changements climatiques

ANNEXES

Questionnaire d'enquête

Thème : « Valeur économique des services écosystémiques offerts par l'agroforesterie dans la province de Bubanza »

Date de l'enquête :	**Nom de l'enquêteur :**
Région :	**Colline :**

I. Caractéristiques générales de la colline

Identité du répondant **Nom:** **Prénom :**	
Sexe : 1= Masculin ; 2= Féminin	
Age (en années révolues)	
Depuis quand êtes-vous devenu chef de colline :	

Q1. Combien de personnes compte votre colline par sexe ?

1) Nombre d'hommes …… 2) Nombre de femmes ……

Fiche d'enquête sur les ménages

I. Identité de l'interviewé(e)

Q2. Sexe: Femme □ Homme □

Q3. Êtes-vous:

Chef d'exploitation □ Co-exploitant(e) □

Conjoint(e) de chef d'exploitation □

Autre □ Précisez ……

Q4. Âge: ……...

Q5. État matrimonial:

Célibataire □

Marié/e □

Veuf/ve □

Divorcé/e □

Autre □

Q6. Niveau d'instruction:

1. Analphabète □

2. Enseignement pour adultes □

3. Primaire □

4. Secondaire □

5. Supérieur □

Indiquez si l'enseignement a été complété: Oui □ Non □

Q7. Avez- vous une formation agricole? Oui □ Non □

Si oui, laquelle? …….....

Q8. Avez- vous une formation non agricole? Oui □ Non □

Si oui, laquelle ? ……..

II. Identification du ménage

Q9. Combien de personnes vivent sur l'exploitation par sexe et pour les groupes d'âges suivant (total des personnes composant le ménage)?

Groupes d'âges	0-6 ans	7-14 ans	15-20 ans	21-50 ans	Plus de 50 ans
Féminin					
Masculin					

Q10. Combien de personnes de la famille vivent des revenus de l'exploitation ? ……

Q11. Combien de personnes membres de la famille ont une activité professionnelle hors exploitation ?

Groupes d'âges	7-14 ans	15-20 ans	21-50 ans	Plus de 50 ans
Féminin				
Masculin				

Production agricole

Q12. Effectif des animaux de l'exploitation

Espèces	Bovins	Ovins	Caprins	volailles	Autres (préciser)
Nombre					

Pratiques agroforestières

Q13. Pratiquez-vous les techniques culturales suivantes ?

Ecosystèmes agroforestiers	Type de champ :	Année de début	Superficie de départ	Superficie en 2019	Superficie en 2020	Superficie en 2021	Superficie en 2022	Pourquoi cette pratique ?
Culture vivrières								
Les palmiers à huile								
Arbres agroforestiers								
Cultures légumineuses								
Les fourrages								
Association culture et arbres								
Association culture et fourrages								
Rotation decultures (types de cultures à préciser)								

Légende (différents services) : 1) Gestion de la fertilité des sols ; 2) Lutte contre l'érosion hydrique ; 3) Lutte contre l'érosion éolienne ; 4) Conservation de l'humidité ; 5) Lutte contre les mauvaises herbes ; 6) Croissance rapide des plants ; 7) Meilleur rendement ; 8) Pallier aux aléas climatiques ; 9) Manque de moyen financier pour s'acquérir du matériel ; 10) Gain de temps ; 11) Mimétisme (voisins, amis, proches parents, etc.) ; 12) manque d'équipement ; 13) Autres à préciser

Q14. Estimation des productions en Agroforesterie

Cultures	Production 2019		Production 2020		Production 2021		Production 2022	
	Quantité	**Prix**	**Quantité**	**Prix**	**Quantité**	**Prix**	**Quantité**	**Prix**
Les céréales								
Les légumes								
Les palmiers à huile								
Culture de rente								
Fourrages								
Arbres								
Autres								

Q15. Que faites-vous des résidus de récolte ?

1. Consommation animale
2. Vente
3. Paillage
4. Fumure ou compost
5. Autres (préciser)

Q16. Quelles difficultés liées à l'adoption de l'Agroforesterie ?

Pratiques agroforestières	Types de difficultés	Mesures adoptées/ envisagées
Couverture végétale		
Agroforesterie (nombre d'arbres)		
Dispositifs antiérosifs (préciser)		
Association culturale		
Rotation culturale		

Q17. Perception de l'évolution du niveau de fertilité des sols durant les quatre dernières années (spécifique aux agronomes)

Champ n°	Type de champ	Baisse	Indicateurs	Facteurs responsables	Hausse	Indicateurs	Facteurs responsables
1							
2							
3							
4							

Q18. Quels sont les facteurs pouvant favoriser le développement des écosystèmes agroforestiers ?

Taille de l'exploitation

Qualité du sol

Sortes des plantes

Q19. Où est située cette source d'approvisionnement en eau potable ?

Dans le logement □

Dans la cour/sur la parcelle □

Ailleurs □

Q2. Quelle est l'origine de l'eau que vous utilisez pour l'agriculture ?

1. Nappe souterraine Oui □ Non □ NSP □
2. Réseau hydraulique (canal/fossé...) Oui □ Non □ NSP □
3. Rivière/oued Oui □ Non □ NSP □
4. Barrage Oui □ Non □ NSP □
5. Retenue d'eau Oui □ Non □ NSP □
6. Autres, précisez : …… Oui □ Non □ NSP □