

2025-12

Analyse économique de la culture du maïs et évaluation de l'effet du sarrasin comme engrais vert sur la culture du haricot à Kabarore (KAYANZA, BURUNDI)

Nduwayo, Aimé Claude

UB, FS

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2215>

Téléchargé depuis le dépôt institutionnel officiel de l'Université du Burundi

UNIVERSITE DU BURUNDI

**MASTER EN SCIENCES ET GESTION INTEGRÉE DE
L'ENVIRONNEMENT**

FACULTE DES SCIENCES



**ANALYSE ECONOMIQUE DE LA CULTURE DU MAÏS ET
EVALUATION DE L'EFFET DU SARRASIN COMME ENGRAIS VERT
SUR LA CULTURE DU HARICOT A KABARORE (KAYANZA,
BURUNDI)**

Par :

NDUWAYO Aimé Claude

Mémoire présenté et défendu en vue de l'Obtention du Diplôme de Master en Sciences
et Gestion Intégrée de l'Environnement.

Option : Génie de l'Environnement

Sous la Direction de :

Pr Salvator KABONEKA (PhD)

Bujumbura, Décembre 2025

MEMBRES DE JURY

Président : Pr. Bernadette HABONIMANA

Secrétaire : Pr. Séverin NIJIMBERE

Directeur : Pr. Salvator KABONEKA

DEDICACE

A mon père ;

A ma mère regrettée dont sa mort ne lui a pas permis de jouir du fruit de ses efforts ;

A mes frères et sœurs ;

A mes frères et sœurs regrettés ;

A ma chère famille ;

A tous mes amis et connaissances ;

Je dédie ce travail.

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu aboutir grâce à un ensemble d'efforts et d'investissements personnels, complétés par l'implication directe et indirecte de nombreuses personnes. Leur contribution, à la fois précieuse et reconnue, que je tiens à exprimer à travers ces quelques lignes, mérite toute ma reconnaissance.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes sentiments de gratitude Pr KABONEKA Salvator, Enseignant à la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI) de l'Université du Burundi, Directeur de ce mémoire, pour sa disponibilité et sa patience malgré ses multiples occupations. Ses conseils méthodologiques et sa rigueur scientifique m'ont guidé vers l'essentiel.

Ma profonde gratitude s'adresse à tous les professeurs de l'Université du Burundi pour leur infatigable attention tout au long de ma formation académique.

Mes sincères remerciements s'adressent également à l'ADISCO (via le projet « Tubungabunge Isi Ndimwa – TIN » prise en charge par la Broederlijk Delen et l'Union européenne) qui a financé ce travail de recherche et à tous les animateurs de terrain de cette organisation qui m'ont guidé durant tous les travaux de terrain et pour tous leurs conseils.

Ma gratitude s'adresse également à Monsieur Elias Rebai, Conseiller Technique du projet TIN, pour les informations et les conseils précieux qu'il m'a offerts. Pareils remerciements sont aussi adressés à tous les agri-chercheurs qui ont voulu librement coopérer avec moi en mettant à ma disposition des parcelles d'expérimentation pour la collecte des données qui ont fait l'objet de ce travail, et en acceptant de les suivre attentivement malgré leurs multiples préoccupations.

Enfin, je n'oublie pas mes camarades de la promotion 2022-2023 du Master en sciences et Gestion de l'Environnement, pour leur coopération et leur soutien mutuel tout au long de cette aventure académique et à quiconque aurait contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement du présent travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes sentiments de reconnaissance.

NDUWAYO Aimé Claude

Résumé

L'agriculture burundaise est dominée par des exploitations familiales de subsistance. Elle fait face à de nombreux défis liés à la dégradation de la fertilité des sols, aux faibles rendements des cultures vivrières et aux impacts croissants du changement climatique. Dans ce contexte, la présente étude vise à analyser la rentabilité économique de la culture du maïs (*Zea mays* L.) et à évaluer l'impact agronomique de l'utilisation du sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench) comme engrais vert sur la productivité du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans la commune de Kabarore, province Kayanza. La méthodologie utilisée pour ce travail combine une approche expérimentale et économique. Seize parcelles expérimentales appartenant aux agri-chercheurs différents ont été choisies pour la culture du maïs et quatre autres ont été utilisées pour la culture du haricot. Une analyse économique a été réalisée à partir des coûts de production et des recettes générées, afin d'évaluer la rentabilité de la culture de maïs dans les conditions locales. Les résultats du rapport valeur sur coût (V/C) trouvés pour les seize exploitants sont les suivants variaient d'un minimum de 1,1 à un maximum de 5,6 avec une moyenne de 2,6. Sur base du critère de rentabilité établi à un minimum de $V/C=2$, l'on note que 14 des 16 exploitations étudiées (près de 90 %) affichent une rentabilité économique bonne à très bonne. Sur la culture de haricot, des essais de terrain ont été mis en place selon un dispositif en blocs complets randomisés pour comparer trois traitements sur la culture du haricot nain (Mukungugu). En termes de rendement moyen, les résultats trouvés révèlent des valeurs très faibles de rendement, à hauteur de 56 kg/ha pour T0 (Témoin intégral + chaux), 207,83 kg/ha pour T1 (Fumier de ferme + Fomi-Imbura + Chaux), et 65,5 kg/ha pour T2 [Sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench) + chaux]. Bien que l'on puisse vraiment dire que cet essai ait été un succès agronomique, il ressort des résultats obtenus que le traitement à sarrasin n'est pas plus avantageux que le traitement intégral chaulé. De plus, dans les conditions drastiques de l'essai (fort déficit hydrique pendant la période de végétation), il est largement inférieur (30 %) au traitement T1 (fumier de ferme + Fomi-Imbura + chaux). A l'heure actuelle et sans une reprise supplémentaire de l'essai, il n'est pas possible de se prononcer sur le potentiel fertilisant du sarrasin dans les conditions agro-écologiques de Kabarore, province Kayanza.

Mots-clés : maïs, haricot, sarrasin, rentabilité économique, fertilité du sol, Kabarore.

Abstract

Burundian agriculture is largely dominated by subsistence family farming systems. It faces numerous challenges related to declining soil fertility, low yields of food crops, and the increasing impacts of climate change. In this context, the present study aims to analyze the economic profitability of maize (*Zea mays* L.) cultivation and to assess the agronomic impact of using buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) as green manure on the productivity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Kabarore Commune, Kayanza Province.

The methodology adopted for this study combines experimental and economic approaches. Sixteen experimental plots belonging to different farmer-researchers were selected for maize cultivation, while four additional plots were used for bean cultivation. An economic analysis based on production costs and revenues was carried out in order to evaluate the profitability of maize cultivation under local conditions. The value–cost ratio (V/C) obtained for the sixteen farmers ranged from a minimum of 1.1 to a maximum of 5.6, with an average of 2.6. Based on the profitability criterion set at a minimum V/C of 2, it was observed that 14 out of the 16 farms studied (nearly 90%) exhibited good to very good economic profitability.

As for the bean experiment, field trials were established using a randomized complete block design to compare three treatments on dwarf bean (Mukungugu). In terms of average yield, the results revealed very low yield values: 56 kg/ha for T0 (absolute control + lime), 207.83 kg/ha for T1 (farmyard manure + Fomi-Imbura + lime), and 65.5 kg/ha for T2 [buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) + lime]. Although the trial can be considered an agronomic success, the results indicate that the buckwheat treatment was not more advantageous than the limed control treatment. Moreover, under the harsh conditions of the experiment (severe water deficit during the growing period), it was significantly inferior (by about 30%) to treatment T1 (farmyard manure + Fomi-Imbura + lime). At present, and without further repetition of the experiment, it is not possible to draw definitive conclusions about the fertilizing potential of buckwheat under the agro-ecological conditions of Kabarore Commune, Kayanza Province.

Keywords: maize, common bean, buckwheat, economic profitability, soil fertility, Kabarore.

Table des matières

MEMBRES DE JURY	i
DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
Résumé	iv
Abstract	v
Table des matières	vi
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES FIGURES	xi
SIGLES ET ABREVIATIONS	xii
AVANT-PROPOS	xiii
0. Introduction	1
0.1. Contexte et justification du choix du sujet	1
0.2. Problématique.....	2
0.3. Objectifs de l'étude	3
0.3.1. Objectif général	3
0.3.2. Objectifs spécifiques	4
0.4. Questions de la recherche	4
0.5. Hypothèses de l'étude	4
0.6. Intérêt de l'étude.....	4
0.7. Structure du Mémoire.....	4
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA CULTURE DU MAÏS, DU HARICOT, DU SARRASIN ET DE LA RENTABILITE ECONOMIQUE	5
I.1. Généralités sur la culture du maïs	5
I.1.1. Historique et origine du maïs	5
I.1.2. Systématique et morphologie du maïs	6
I.1.2.1. Systématique	6
I.1.2.2. Morphologie.....	6
I.1.3. Cycle de culture	7
I.1.4. Rendements de la culture du maïs.....	7
I.1.5. Importance économique et alimentaire du maïs.....	8
I.1.6. Le maïs au Burundi	9
I.1.6.1. Les différentes variétés du maïs en diffusion au Burundi	10
I.1.6.2. Importance du maïs au Burundi	11

Analyse économique de la culture du maïs et évaluation de l'effet du sarrasin comme engrais vert sur la culture du haricot A KABARORE (KAYANZA, BURUNDI)

I.1.6.3. Exigences écologiques de la culture du maïs	13
I.1.6.3.1. Exigences du sol.....	13
I.1.6.3.2. Exigences climatiques.....	13
I.1.6.4. Pratiques culturales	14
I.1.6.4.1. Labour	14
I.1.6.4.2. Fertilisation	15
I.1.6.4.3. La plantation	16
I.1.6.4.4. Entretien	16
I.1.6.4.5. La récolte.....	16
I.1.6.4.6. Conservation	17
I.1.7. Contraintes de la culture du maïs	17
I.1.7.1. Contraintes biotiques.....	18
I.1.7.2. Contraintes abiotiques.....	18
I.2. Généralités sur la culture du haricot.....	18
I.2.1. Description morphologique de la plante	18
I.2.2. Importance alimentaire.....	19
I.2.3. Importance agronomique	19
I.2.4. Origine et extension de la culture.....	20
I.2.5. Exigences écologiques et climatiques.....	21
I.2.6. Fertilisation	21
I.2.7. Entretien de la culture	22
I.2.8. Facteurs influençant le rendement	22
I.2.9. Maladies et ravageurs.....	23
I.3. Généralités sur les Engrais verts pour une agriculture durable	24
I.3.1. Définition et principes des engrais verts	24
I.3.2. Avantages agronomiques et environnementaux	24
I.4. Généralités sur le sarrasin	25
I.4.1. Origine et son extension.....	25
I.4.2. Effets agronomiques du sarrasin	27
I.4.3. Valeur alimentaire et nutritionnelle	28
I.4.4. Le sarrasin au Burundi	29
I.4.4.1. Historique du sarrasin au Burundi.....	29
I.4.4.2. Les variétés de sarrasin en diffusion au Burundi	29
I.4.4.3. Potentialités du sarrasin au Burundi.....	30
I.5. Généralités sur la rentabilité agricole.....	30

I.5.1. Notions de coût	30
I.5.2. Recettes et marge brute	31
I.5.3. Rentabilité économique.....	31
I.5.4. Notion de valeur / coût (V/C).....	32
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	33
II.1. Description de la zone d'étude.....	33
II.1.1. Situation géographique	33
II.1.2. Relief.....	33
II.1.3. Climat	33
II.1.4. Sols	34
II.1.5. Secteur économique du milieu d'étude.....	34
II.1.5.1. Secteur agricole	34
II.1.5.2. Elevage	34
II.1.6. Secteur environnemental.....	34
II.2. Méthodologie	36
II.3. Matériels	37
II.3.1. Matériel végétal	37
II.3.1.1. Maïs	37
II.3.1.2. Haricot	38
II.3.1.3. Sarrasin	38
II.3.2. Autres matériels	39
II.4. Méthodes.....	39
II.4.1. Expérimentation sur le maïs	39
II.4.1.1. Choix des traitements et du dispositif expérimental	39
II.4.1.2 Conduite de l'essai.....	40
II.4.1.2.1. Préparation du sol	40
II.4.1.2.2. Semis.....	40
II.4.1.2.3. Entretien.....	40
II.4.1.2.4. Collecte des données.....	41
II.4.2. Expérimentation sur le haricot.....	42
II.4.2.1. Choix des agriculteurs	42
II.4.2.2. Dispositif expérimental.....	42
II.4.2.3. Conduite de l'essai.....	43
II.4.2.4. Pratiques culturales des essais en champ	43
II.4.2.4.1. Préparation du sol	43

Analyse économique de la culture du maïs et évaluation de l'effet du sarrasin comme engrais vert sur la culture du haricot A KABARORE (KAYANZA, BURUNDI)

II.4.2.4.2. Semis.....	43
II.4.2.4.3. Soins culturaux	44
II.4.2.4.4. Collecte des données.....	44
II.4.3 Analyses des données	45
CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	47
III.1. Analyse de pH des sols sous expérimentation avec le maïs	47
III. 2. Caractéristiques sociodémographiques et agroenvironnementales des agri-chercheurs	52
III. 2.1. Caractéristiques sociodémographiques des agri-chercheurs	52
III. 2. 2. Caractéristiques agroenvironnementales des agri-chercheurs	53
III.3. Rentabilité agronomique de maïs	55
III.3.1. Rendement du maïs	55
III.3.2. Evaluation des paramètres Hauteur, BT, BR, BA et R/S	56
III. 3.3. La Rentabilité économique de la culture du maïs.....	59
III.4. Evaluation des performances agronomiques du sarrasin sur la culture du haricot	63
III.4.1. Effets sur le nombre de gousses par plant, le nombre de graines par plant et le poids de mille graines	63
III.4.2. Effets sur la biomasse racinaire, la biomasse aérienne, la biomasse totale et le rapport R/S	65
III.4.3. Effets sur le rendement du haricot (kg/ha) et l'indice de récolte (HI).....	67
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	70
Références bibliographiques	72
ANNEXES.....	86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variétés de maïs récemment homologuées au Burundi et leur sensibilité aux maladies.....	10
Tableau 2 : Composition chimique du sarrasin	28
Tableau 3: Variation de pH _{eau} entre les différentes parcelles expérimentales (essai maïs)....	47
Tableau 4: Variation du pH des sols dans les exploitations des collines Randa et Ruhinga ...	50
Tableau 5: Caractéristiques sociodémographiques des agri-chercheurs	52
Tableau 6: Caractéristiques agronomiques et environnementales des agri-chercheurs	54
Tableau 7: Variation du rendement du maïs dans les champs de Randa et Ruhinga.....	55
Tableau 8: Résultats de l'ANOVA sur la hauteur, la biomasse totale, la biomasse racinaire, la biomasse aérienne et le rapport R/S	57
Tableau 9: Rentabilité économique (en FBU) de la production du maïs	60
Tableau 10: Variation du nombre de gousses par plant, du nombre de graines par plant et du poids de mille graines du haricot.....	63
Tableau 11: Valeurs de la biomasse racinaire, la biomasse aérienne, la biomasse totale et le rapport parties racinaires sur parties aériennes.....	65
Tableau 12: Variation du rendement et de l'indice de récolte du haricot	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de la zone d'étude.....	36
Figure 2. Photo d'illustration de la variété Mukungugu	38
Figure 3. Illustration du sarrasin utilisé lors de l'expérimentation.....	39
Figure 4. Parcelle élémentaire et illustration de la technique d'échantillonnage.....	41
Figure 5. Dispositif expérimental de l'essai sarrasin	42
Figure 6. Photos d'illustration de la préparation et délimitation du terrain avant le semis du haricot à Ruhinga	43
Figure 7. Illustrations de l'enfouissement du sarrasin et mise en poquet du haricot à Randa ..	44
Figure 8. Représentation des exploitations des collines Randa et Ruhinga selon le pH du sol	48
Figure 9. Comparaison graphique des valeurs moyennes des pH des sols des collines Randa et Ruhinga	49
Figure 10. Cartographie de l'acidité des sols du Burundi. Source : (ISABU/IFDC-PAGRIS, 2021).....	51
Figure 11. Représentation graphique de la rentabilité du maïs (V/C) par tranches	62

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADISCO	: Appui au Développement Intégral et à la Solidarité sur les Collines
ANOVA	: Analyse de la variance
CIAT	: Centre International d'Agriculture Tropicale
FABI	: Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie
FAO	: Food and Agriculture Organisation of the United Nations
FIDA	: Fonds International pour le Développement Agricole
FOMI	: Fertilisation Organo-Minéraux Industries
FSN	: Fixation symbiotique d'azote
IFDC	: International Fertilizer Development Center
IRAZ	: Institut de Recherche Agronomique et Zootechnique
ISABU	: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
ISTEEBU	: Institut de Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi
HI	: Indice de la Récolte/Harvest Index
GIFS	: Gestion Intégrée de la Fertilité du Sol
GPS	: Global Positioning System / Système de Positionnement Global
LASPA	: Laboratoire d'Analyse des Sols et des Produits Agro-alimentaires
MINEAGRIE	: Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage
ODD	: Objectifs du Développement Durable
ONCCS	: Office Nationale de Contrôle et Certification des Semences
PAGRIS	: Projet d'Appui pour une Gestion Responsable et Intégrée des Sols
PAPAB	: Promotion de l'Agriculture Responsable et de la Productivité au Burundi
PNIA	: Plan National d'Investissement Agricole
pH	: Potentiel d'Hydrogène
RS	: Root-shoot Ratio
SPSS	: Statistical Package for Social Sciences
TIN	: Tubungabunge Isi Ndimwa
V/C	: Valeur/Coût

AVANT-PROPOS

L'agriculture constitue le pilier fondamental de l'économie burundaise et la principale source de subsistance pour la majorité de la population rurale. Elle repose essentiellement sur de petites exploitations familiales, caractérisées par une forte dépendance aux conditions climatiques, une pression foncière croissante et une dégradation progressive de la fertilité des sols. Ces contraintes, combinées aux effets du changement climatique, compromettent la productivité des cultures vivrières et accentuent l'insécurité alimentaire des ménages agricoles.

Dans ce contexte, la recherche de systèmes de production agricoles à la fois rentables, durables et respectueux de l'environnement devient une priorité nationale. L'amélioration de la fertilité des sols, à travers des pratiques agroécologiques telles que l'utilisation des engrais verts et la diversification des rotations culturales, apparaît comme une voie prometteuse pour renforcer la résilience des exploitations agricoles. Par ailleurs, l'analyse économique des systèmes de production permet d'éclairer les choix des producteurs et des décideurs en matière d'orientation des pratiques agricoles.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent mémoire, qui s'intéresse à l'analyse économique de la culture du maïs et à l'évaluation de l'impact agronomique du sarrasin (*Fagopyrum esculentum Moench*) utilisé comme engrais vert sur la productivité du haricot (*Phaseolus vulgaris*), dans la commune de Kabarore, province de Kayanza. Cette zone est représentative des hautes terres du Nord du Burundi et offre un cadre pertinent pour étudier les interactions entre pratiques culturales, fertilité des sols et performance des cultures.

La réalisation du présent travail répond à un double objectif : contribuer à l'enrichissement des connaissances scientifiques sur les systèmes de production agricole durables au Burundi et fournir des éléments d'aide à la décision pour les agriculteurs, les services de vulgarisation et les acteurs du développement rural. Les résultats issus de cette étude ambitionnent ainsi de promouvoir des pratiques agricoles économiquement viables et écologiquement durables, susceptibles d'améliorer la sécurité alimentaire et les conditions de vie des ménages agricoles burundais.

0. Introduction

0.1. Contexte et justification du choix du sujet

L'agriculture reste un secteur clé pour les pays en développement, et particulièrement pour le Burundi, où elle représente plus de 85,1% de l'activité économique dans les zones rurales (Gouvernement du Burundi, 2025). Cependant, cette activité fait face à de nombreux défis, notamment la dégradation des sols, la diminution de la fertilité et la faiblesse des rendements agricoles. Selon le rapport de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 2014), la perte de fertilité des sols est l'un des principaux obstacles à la productivité agricole dans les régions tropicales, notamment en Afrique de l'Est. Cette situation est exacerbée par l'utilisation excessive d'engrais chimiques, coûteux et souvent inaccessibles pour les petits producteurs (Nduwimana et al., 2020). Dans ce contexte, il devient essentiel de promouvoir des pratiques agricoles plus durables, permettant à la fois d'augmenter la productivité et de préserver l'environnement.

Le maïs (*Zea mays* L.), en tant que culture vivrière dominante au Burundi, occupe une place prépondérante dans les systèmes agricoles des régions rurales. La production de maïs représente environ 30% de la surface cultivée à l'échelle nationale, avec un rôle central dans la sécurité alimentaire des ménages (Bizoza, 2022; Nzirorera, 2012). Toutefois, la rentabilité de cette culture demeure limitée par des facteurs comme la faible fertilité des sols (Bizoza, 2022).

La culture du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), qui est également une culture stratégique au Burundi, bénéficie de l'amélioration de la qualité du sol. Plusieurs études ont démontré que l'association du sarrasin comme engrais vert améliore la production de haricot en réduisant la dépendance aux engrais chimiques et en augmentant les rendements (Aicha et Lalia, 2012; Eliane, 2021).

Le sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench), une culture de couverture connue pour ses multiples bienfaits écologiques, notamment dans l'amélioration de la fertilité du sol et la réduction de l'érosion, émerge comme une solution prometteuse. L'utilisation de cette plante dans les rotations de cultures favorise l'enrichissement des sols en matière organique et en nutriments essentiels, ce qui permet d'améliorer la croissance des cultures suivantes, notamment des légumineuses comme le haricot (Benider, 2018). Cette technique, largement utilisée dans les régions tempérées, reste encore peu explorée dans les contextes tropicaux et subsahariens, notamment en Afrique de l'Est.

Cependant, malgré ces avantages, les données sur l'impact agronomique et économique de l'utilisation du sarrasin comme engrais vert au Burundi restent limitées.

En ce sens, la commune de Kabarore, offre un terrain idéal pour une étude de cas en raison de sa forte activité agricole et des défis spécifiques auxquels elle est confrontée en termes de gestion des sols.

Le choix du sujet est donc motivé par la nécessité d'apporter des solutions concrètes aux problèmes rencontrés par les agriculteurs locaux, notamment en ce qui concerne la rentabilité de la culture du maïs et l'optimisation de la production de haricots à travers l'utilisation d'engrais verts. L'étude s'inscrit également dans un cadre plus large de promotion de l'agriculture durable, conformément aux objectifs de développement durable visant à éradiquer la faim et à promouvoir une agriculture durable et résiliente (Cuq, 2017). Cette recherche contribue ainsi à la fois à la compréhension des dynamiques économiques et agronomiques dans un contexte rural du Burundi.

Le présent travail cherche à combiner l'analyse de la rentabilité économique de la culture du maïs et l'évaluation agronomique de l'utilisation du sarrasin comme engrais vert, dans le but d'orienter les politiques agricoles locales et d'améliorer les conditions de vie des producteurs ruraux du Burundi.

0.2. Problématique

Au Burundi, et plus particulièrement en milieu rural, l'agriculture est non seulement la principale activité économique, mais aussi le pilier de la sécurité alimentaire des populations (ISTEEBU, 2008). Toutefois, cette agriculture est confrontée à une multitude de contraintes structurelles et environnementales qui limitent considérablement la productivité et la rentabilité des principales cultures vivrières, notamment le maïs et le haricot. La baisse progressive de la fertilité des sols, due à l'érosion, à la surexploitation et à l'insuffisance d'apports organiques, compromet gravement les efforts de production durable (Nduwimana, 2013).

Malgré l'importance socioéconomique du maïs, cette culture reste encore peu rentable. Les producteurs locaux disposent rarement de données fiables pour évaluer les bénéfices réels de cette culture au regard des investissements engagés, ce qui rend difficile la planification et l'optimisation des productions (Ndikumana et al., 2019)

La rentabilité du maïs au Burundi reste très variable selon les localités, les conditions pédoclimatiques, et les pratiques culturelles adoptées.

Cette incertitude compromet la résilience économique des ménages agricoles face aux fluctuations du marché et aux aléas climatiques (Nkurikiye et al., 2024).

D'autre part, la culture du haricot, souvent utilisée comme culture de rotation ou d'association avec le maïs, fait face aux mêmes contraintes édaphiques. Une fertilisation adéquate est nécessaire pour garantir un rendement optimal, mais les engrais chimiques, bien que performants, sont souvent inaccessibles aux petits agriculteurs en raison de leur coût élevé (ISTEEBU, 2008). Dès lors, il devient urgent de trouver des alternatives locales, efficaces et durables pour améliorer la fertilité des sols sans accroître la dépendance à des intrants extérieurs.

Dans ce contexte, l'utilisation d'engrais verts notamment le sarrasin, apparaît comme une piste prometteuse. Bien que le sarrasin soit peu cultivée au Burundi, ses propriétés agronomiques (croissance rapide, couverture du sol, production de biomasse) en font un candidat potentiel pour améliorer la fertilité du sol et favoriser la culture du haricot (Niyuhire, 2018). Toutefois, très peu d'études locales ont été menées pour évaluer de manière scientifique l'impact réel du sarrasin comme engrais vert dans les systèmes de culture Burundais.

Dans une visée de contribuer à une agriculture rurale innovante, adaptée et durable, une étude intitulée «*Analyse économique de la culture du maïs et évaluation de l'effet du sarrasin comme engrais vert sur la culture du haricot à Kabarore (Kayanza, Burundi)*» a été menée depuis Septembre 2023 Jusqu'en Juin 2024 sur deux collines de la commune Kabarore (Randa et Ruhinga).

0.3. Objectifs de l'étude

0.3.1. Objectif général

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer la rentabilité économique de la culture du maïs et d'analyser l'efficacité agronomique de l'utilisation du sarrasin (*Fagopyrum esculentum Moench*) comme engrais vert pour l'amélioration de la culture du haricot dans les conditions agro-écologiques de la commune de Kabarore, province de Kayanza.

0.3.2. Objectifs spécifiques :

1. Evaluer la rentabilité économique de la culture du maïs dans la commune de Kabarore, en tenant compte des coûts de production, des rendements et des revenus générés.
2. Analyser l'effet de l'enfouissement du sarrasin sur la croissance et le rendement du haricot nain, comparé à un témoin sans engrais vert.

0.4. Questions de la recherche

1. Comment se présentent le rapport valeur sur coût pour la culture du maïs dans les différentes exploitations agricoles de la commune Kabarore ?
2. En quoi l'incorporation du sarrasin dans la rotation culturale influence-t-elle la croissance et le rendement du haricot ?

0.5. Hypothèses de l'étude

1. La culture du maïs (*Zea mays* L.) dans la commune de Kabarore est rentable sur le plan économique.
2. Le sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench), utilisé comme engrais vert a un effet positif sur la croissance et le rendement du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.).

0.6. Intérêt de l'étude

Cette étude revêt un double intérêt, tant scientifique que pratique. Sur le plan scientifique, elle contribue à enrichir les connaissances sur les pratiques agro-écologiques durables, en particulier l'utilisation du sarrasin comme engrais vert pour améliorer la productivité du haricot. Sur le plan pratique, elle fournit des données utiles pour les agriculteurs et les décideurs locaux dans l'optique d'optimiser les systèmes de culture en milieu rural burundais, notamment dans la commune Kabarore, Province Kayanza.

0.7. Structure du Mémoire

Ce travail s'articule sur trois chapitres :

1. Le premier chapitre aborde les aspects généraux sur le maïs, le haricot, le sarrasin et la rentabilité économique.
2. Le deuxième chapitre est consacré à la méthodologie suivie pour réaliser ce travail.
3. Le troisième chapitre s'intéresse à la présentation et à la discussion des résultats.

Une introduction et une conclusion générale encadrent ce travail.

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA CULTURE DU MAÏS, DU HARICOT, DU SARRASIN ET DE LA RENTABILITE ECONOMIQUE

I.1. Généralités sur la culture du maïs

I.1.1. Historique et origine du maïs

Le maïs (*Zea mays* L.), l'une des principales céréales cultivées dans le monde, trouve son origine en Amérique centrale, plus précisément dans la région actuelle du Mexique et du Guatemala. Des recherches paléobotaniques indiquent que le maïs a été domestiqué à partir d'une graminée sauvage appelée téosinte il y a environ 9 000 ans (Matsuoka et al., 2002). Cette céréale constituait la base de l'alimentation des anciennes civilisations précolombiennes telles que les Mayas, les Aztèques et les Incas. Elle occupait une place centrale dans leurs systèmes agricoles, leur alimentation, leur culture et même leur spiritualité.

Avec l'arrivée des colons européens au XV^e siècle, le maïs fut introduit en Europe, en Afrique et en Asie. Grâce à sa grande adaptabilité aux différentes conditions agro-écologiques, il s'est rapidement répandu sur tous les continents. En Afrique, le maïs aurait été introduit au début du XVI^e siècle par les Portugais, notamment sur les côtes ouest du continent avant de s'étendre vers l'intérieur des terres (Miracle, 1965). Le maïs s'est alors intégré progressivement dans les systèmes de culture africains, remplaçant ou complétant des céréales locales comme le sorgho ou le mil.

Au Burundi, l'introduction du maïs remonte probablement à la période coloniale, bien qu'il ait été cultivé sporadiquement auparavant. Des variétés de maïs locales existaient déjà dans certaines régions du pays comme en Kirundo, Ngozi et Kayanza, mais elles présentaient des rendements faibles (Nyandwi et al., 2019). Les campagnes d'intensification agricole menées à partir des années 1970, notamment par le biais de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU), ont permis l'introduction de nouvelles variétés améliorées à haut rendement (Habonimana et Ndayiragije, 2019).

Historiquement, le maïs s'est ainsi imposé comme une culture essentielle dans l'agriculture familiale Burundaise, notamment dans les zones de plateaux du nord du pays, où il est cultivé tant pour l'autoconsommation que pour la commercialisation. Aujourd'hui encore, il continue d'occuper une place prépondérante dans les stratégies de sécurité alimentaire nationale, malgré les contraintes climatiques et édaphiques qui limitent parfois sa production.

I.1.2. Systématique et morphologie du maïs

I.1.2.1. Systématique

Le maïs (*Zea mays* L.) est une plante monocotylédone appartenant à la famille des Poaceae, anciennement appelée Graminées. Le genre *Zea* comprend plusieurs espèces, mais seule *Zea mays* subsp. *mays* est cultivée à grande échelle. Le maïs est caractérisé par une fécondation croisée, due à sa pollinisation anémophile (par le vent), ce qui favorise la diversité génétique. D'après Doebley et al. (2004), cette grande variabilité est l'un des facteurs ayant permis son adaptation à des milieux très variés à travers le monde.

Au Burundi, la classification systématique du maïs est intégrée dans les programmes de recherche agricole menés notamment par l'ISABU et l'Université du Burundi. La connaissance des aspects systématiques du maïs permet de mieux sélectionner les variétés adaptées aux écosystèmes locaux, en tenant compte des facteurs génétiques et environnementaux (MINEAGRIE, 2020)

Les progrès récents en biotechnologie ont permis une meilleure compréhension de la phylogénie du maïs, grâce au séquençage de son génome, ce qui a permis de retracer son histoire évolutive à partir de son ancêtre sauvage, le téosinte (Matsuoka et al., 2002).

I.1.2.2. Morphologie

Le maïs est une plante annuelle de grande taille, dont la morphologie présente des caractéristiques bien distinctes. Il possède une tige (chaume) cylindrique, rigide et pleine, qui peut atteindre de 1,5 à 3 mètres de hauteur selon les variétés et les conditions de culture (Doebley et al., 2006). Cette tige est segmentée par des nœuds et entre-nœuds, sur lesquels s'insèrent les feuilles. Les feuilles sont longues (jusqu'à 1 mètre), alternes et présentent une gaine enveloppant la tige, un limbe lancéolé et une ligule bien visible.

Le système racinaire est fasciculé, comprenant des racines primaires et secondaires qui s'étendent en profondeur et en largeur. En conditions humides, le maïs développe aussi des racines adventives à la base de la tige, qui servent de soutien et facilitent l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs (Doebley et al., 2006).

Le maïs est une plante monoïque, c'est-à-dire qu'il porte à la fois les fleurs mâles et femelles sur le même pied. Les fleurs mâles forment une inflorescence terminale appelée panicule (ou panicule mâle), tandis que les fleurs femelles forment les épis, insérés à l'aisselle des feuilles.

Chaque épi est constitué de rangées de grains (ou graines) disposés autour d'un axe central appelé rafle. La morphologie du maïs est un critère essentiel dans le choix des variétés au Burundi, en lien avec la résistance au stress hydrique, à la verse et aux maladies (Habonimana et Ndayiragije, 2019).

La graine du maïs est un caryopse, dont la couleur peut varier (jaune, blanche, rougeâtre) selon les variétés. La structure de la graine comprend l'endosperme (réserve d'amidon), le germe (embryon) et le péricarpe (enveloppe extérieure) (Deffan et al., 2015)

I.1.3. Cycle de culture

Le maïs (*Zea mays* L.) est une céréale à cycle annuel appartenant à la famille des Poaceae. Sa durée de cycle varie généralement entre 90 et 150 jours selon les variétés, les conditions pédoclimatiques et les pratiques culturales. Au Burundi, les variétés locales et améliorées cultivées se situent principalement entre 100 et 120 jours (IRAZ, 2019). Le cycle de culture du maïs peut être subdivisé en quatre grandes phases : la germination et levée (7 à 10 jours après semis), la croissance végétative (jusqu'à 45 jours), la floraison (entre 50 et 65 jours) et enfin la maturation (jusqu'à 120 jours) (IRAZ, 2019).

I.1.4. Rendements de la culture du maïs

Les rendements du maïs varient considérablement selon les variétés utilisées, les pratiques culturales adoptées, les conditions climatiques et la fertilité des sols. Au Burundi, les rendements moyens nationaux tournent autour de 1,8 à 2,5 tonnes par hectare pour les exploitants familiaux (FAO, 2020; MINEAGRIE, 2021), bien que les variétés améliorées puissent théoriquement produire entre 4 et 6 tonnes par hectare dans des conditions optimales (IRAZ, 2019). Cette performance reste cependant rarement atteinte à cause de la faible accessibilité aux intrants agricoles comme les semences hybrides certifiées, les engrais minéraux et les produits phytosanitaires. Une étude menée par Niyongabo et al. (2021) dans les collines de Kabarore a mis en évidence que les rendements stagnent entre 1,6 et 2,1 T/ha, en raison de l'appauvrissement des sols, du semis à la volée, et du désherbage tardif.

De plus, les aléas climatiques, notamment les périodes de sécheresse en début ou fin de saison, ont également un impact non négligeable sur les performances de cette culture.

Les pratiques agro-écologiques telles que l'utilisation des engrais organiques, la rotation culturale et les associations culturales sont de plus en plus valorisées comme alternatives aux systèmes conventionnels. Des études internationales comme au Kenya et en Tanzanie, ont montré que l'adoption de technologies appropriées, incluant l'utilisation d'engrais verts et la gestion intégrée de la fertilité, permettait de doubler ou même tripler les rendements du maïs (Smale et al., 2013). Au Burundi des résultats des rendements de 3,5 t/ha ont été obtenu sur des parcelles expérimentales ayant reçu une fertilisation organique bien décomposée (MINEAGRIE, 2020). Cela montre que la combinaison d'un bon itinéraire technique et de pratiques durables peut améliorer considérablement la productivité de cette culture dans les zones collinaires.

I.1.5. Importance économique et alimentaire du maïs

Le maïs joue un rôle central dans l'économie et la sécurité alimentaire au Burundi et en Afrique subsaharienne de manière générale. Il constitue la deuxième céréale la plus cultivée dans le pays, après le haricot, avec une présence dans la majorité des exploitations familiales. Sur le plan alimentaire, il représente une source importante de glucides, de protéines et de micronutriments (surtout dans le germe), et se consomme sous plusieurs formes : farine, bouillie, grillé ou en grain entier. Plus de 65 % des ménages burundais consomment régulièrement du maïs, notamment dans les provinces du nord du pays comme Kayanza, Ngozi et Kirundo (Nduwimana, 2013)

D'un point de vue économique, le maïs contribue de manière significative aux revenus des ménages ruraux. Il est souvent vendu frais, sec ou transformé, et participe à la création de chaînes de valeur locales. La demande constante du marché local et national assure un débouché relativement stable, même si des fluctuations saisonnières peuvent impacter les revenus (Minani, 2014).

A l'échelle régionale, la culture du maïs représente aussi un enjeu stratégique. En Afrique de l'Est, plusieurs études, notamment celles de Smale et al. (2013) ont souligné le rôle fondamental du maïs dans la réduction de la pauvreté rurale, à travers l'augmentation des rendements grâce aux innovations agricoles. Ces innovations incluent l'utilisation des variétés hybrides, l'introduction d'engrais organiques et minéraux, ainsi que la mécanisation.

Toutefois, les agriculteurs Burundais restent confrontés à des contraintes d'accès à ces innovations, notamment en raison de la pauvreté, du manque d'encadrement technique, et de la faible organisation des filières (Cochet, 1999).

Enfin, le maïs intervient également dans la résilience climatique. Sa culture, lorsqu'elle est bien intégrée dans un système de rotation ou d'association (avec le haricot, le soja ou même des plantes de couverture), peut contribuer à maintenir la fertilité du sol et à limiter l'érosion (Kaboneka, Ntukamazina, et al., 2021). Cela en fait un levier potentiel pour la durabilité de l'agriculture burundaise.

I.1.6. Le maïs au Burundi

La culture du maïs revêt une importance stratégique dans l'agriculture Burundaise. C'est l'une des principales céréales cultivées dans presque toutes les régions agroécologiques du pays, en particulier dans les provinces du nord (Kayanza, Ngozi, Kirundo), du centre (Gitega, Karusi) et de l'ouest (Bujumbura rural, Bubanza). Le maïs est utilisé aussi bien pour l'autoconsommation que pour la commercialisation, et il constitue une base importante de la sécurité alimentaire dans les ménages ruraux (MINEAGRIE, 2021).

Selon l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi, le maïs couvre environ 30 % des superficies emblavées en cultures vivrières et sa production a connu une augmentation relative grâce à l'introduction de semences améliorées et à la mise en œuvre de programmes de vulgarisation. Toutefois, la productivité reste faible, autour de 1,5 à 2 T/ha, en raison de plusieurs contraintes : faible fertilité des sols, mauvaises pratiques culturales, aléas climatiques, attaques parasitaires et faible accès aux intrants agricoles (ISABU, 2021).

Au niveau socio-économique, le maïs est au cœur des systèmes agricoles mixtes, souvent cultivé en association avec le haricot, la patate douce ou le manioc. Cette pratique permet d'optimiser l'espace, d'améliorer la couverture végétale du sol et de sécuriser les récoltes. En plus de son rôle nourricier, le maïs entre dans la fabrication de produits dérivés comme la bière traditionnelle, l'aliment pour bétail, la farine panifiable (mélangée au blé) et d'autres produits transformés (Manirakiza, 2021)

L'appui des partenaires au développement (FAO, WFP, IFDC) a permis, ces dernières années, la multiplication et la diffusion de semences améliorées plus adaptées aux conditions locales.

Des projets pilotes de transformation artisanale du maïs ont vu le jour, en particulier dans la commune de Kabarore où le projet PAPAB a facilité l'implantation de mini-unités de transformation.

La valorisation du maïs local par des approches agro-écologiques, notamment l'usage d'engrais organiques et verts, permettrait d'améliorer les rendements tout en régénérant la fertilité des sols (IFDC, 2020).

I.1.6.1. Les différentes variétés du maïs en diffusion au Burundi

La recherche agronomique Burundaise, menée principalement par l'ISABU, a permis de mettre au point plusieurs variétés de maïs adaptées aux différentes zones agro climatiques du pays. Ces variétés sont le fruit de la sélection variétale à partir de lignées locales et introduites, combinant productivité, résistance aux maladies et tolérance au stress hydrique (ISABU, 2021). Le tableau 1 montre les types des variétés du maïs homologués au Burundi, leurs caractéristiques et leurs zones agro écologiques spécifiques.

Tableau 1: Variétés de maïs récemment homologuées au Burundi et leur sensibilité aux maladies (ISABU, 2021)

Paramètres	Variété							
	ECAVLI	MM3	LONGE4	ZM605	ZM621	ELITE89	ISEGA	MUGAMBA
Zone de culture	BA	BA	MA	MA	MA	Ma	MA & HA	HA
Cycle végétatif (jours)	113	108	143	144	147	150	153	161
Sensibilité à la maladie des bandes	Tolérante	Sensible	Sensible	Tolérant	Tolérant	Sensible	Sensible	Sensible
Sensibilité aux chenilles foreuses	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible
Rendement optimal:T/ha	4-5	3-4	3-4	3,5-4,5	3-4	3-4	2-3	2-3

BA : Basse Altitude (800-1200 m), MA : Moyenne Altitude (1200-1800 m), HA : Haute Altitude (1800 m et plus).

Selon ISABU (2016), les variétés de maïs hybrides en diffusion et leurs rendements potentiels sont:

1. PAN53 (7-8 T/ha), PAN63 (6-7 T/ha), PAN67 (6-7 T/ha) dans les régions de basse altitude ;
2. PAN7M-89 (8-10 T/ha), PAN53 (7-9 T/ha), PAN63 (7-8 T/ha), PAN67 (7- 8 T/ha), LONGE 10H (8-9 T/ha), LONGE 7H (6-8 T/ha) dans les régions aux moyennes altitudes
3. PAN691 (9-10 T/ha), PAN7M-89 (7-8 T/ha), WANAK (8-9 T/ha) dans les régions de haute altitude.

Ces variétés ont été sélectionnées pour leurs performances agronomiques (rendement moyen supérieur à 3,5 T/ha en condition optimale) mais leur adoption reste entravée par le coût élevé des semences et une faible vulgarisation technique auprès des petits exploitants (MINEAGRIE, 2020)

La commune de Kabarore, objet de cette étude, bénéficie de plusieurs de ces variétés, principalement les variétés hybrides à cycle court ou moyen, pour répondre aux conditions climatiques et pédologiques spécifiques à la région. Cependant, le manque d'encadrement technique et le faible accès aux intrants demeurent des obstacles majeurs à leur plein potentiel (Minani, 2014)

I.1.6.2. Importance du maïs au Burundi

Le maïs occupe une place centrale dans l'agriculture et dans le régime alimentaire des populations burundaises. Il est considéré comme l'une des cultures vivrières stratégiques, au même titre que le haricot, la banane et le riz. Selon le Plan National d'Investissement Agricole du Burundi (PNIA II, 2019–2023), le maïs contribue de manière significative à la sécurité alimentaire et nutritionnelle, à la création d'emplois ruraux et à l'amélioration des revenus agricoles.

Sur le plan alimentaire, le maïs est consommé sous diverses formes : grains bouillis, pâte, farine pour bouillie, beignets ou galettes, et boissons traditionnelles. C'est une source importante d'énergie pour les populations rurales et urbaines.

Les variétés de maïs de type *QPM* (Qualité Protéique Maïs), enrichies en lysine et tryptophane, sont utilisées pour la lutte contre la malnutrition infantile, particulièrement dans les provinces à risque comme Kirundo, Muyinga et Ruyigi (FAO, 2020; MINEAGRIE, 2021).

Du point de vue économique, le maïs constitue une culture de rente pour de nombreux ménages agricoles. La vente du maïs frais ou séché, sous forme de grains ou de farine, représente une part non négligeable du revenu agricole annuel, notamment durant les périodes de soudure.

Dans certaines régions comme Kayanza ou Ngozi, les marchés locaux sont dominés par le commerce de maïs, et des associations de producteurs se sont organisées pour la mise en commun de la production et la transformation artisanale (Manirakiza, 2021)

Le maïs est également une culture industrielle et fourragère. Il entre dans la composition des aliments pour bétail, particulièrement pour les ruminants, les porcs et les volailles. Il est aussi transformé à petite échelle pour la production de bière traditionnelle et de bières modernes dans des industries telles que Brarudi, bien que le recours au maïs industriel reste encore marginal. En ce sens, le maïs contribue indirectement à la chaîne de valeur agroalimentaire nationale (IFDC, 2020).

Sur le plan agronomique, le maïs est souvent cultivé en association ou en rotation avec d'autres cultures comme le haricot, la pomme de terre, le soja ou le sorgho. Cette diversité permet de maintenir la fertilité du sol et de réduire la pression phytosanitaire. Dans les zones d'altitude moyenne comme Kabarore, les systèmes maïs-haricot présentent des rendements plus stables et une meilleure valorisation des engrais organiques ou verts (Kaboneka, Ntukamazina, et al., 2021).

Enfin, sur le plan politique et stratégique, le gouvernement du Burundi, avec l'appui de ses partenaires (FAO, IFDC, FIDA, PAPAB, etc.), a initié plusieurs projets pour la promotion de la filière maïs : amélioration de la qualité des semences, accès aux fertilisants, vulgarisation des pratiques agro-écologiques, organisation des coopératives, promotion de la mécanisation agricole légère (Habonimana et Ndayiragije, 2019).

Le maïs au Burundi est bien plus qu'une simple culture : il représente un pilier de la résilience agricole, une source d'alimentation de base, et un levier pour le développement rural intégré. La consolidation de cette filière nécessite néanmoins un soutien continu à la recherche, à la formation paysanne et à l'accès au marché.

I.1.6.3. Exigences écologiques de la culture du maïs

I.1.6.3.1. Exigences du sol

Le maïs est une culture exigeante en matière de fertilité du sol. Il se développe de manière optimale sur des sols profonds, bien drainés, riches en matière organique et en éléments nutritifs, notamment en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K).

Les sols limono-argileux à pH légèrement acide ou neutre (entre 5,5 et 7) sont les plus adaptés. Des sols acides ou pauvres en nutriments compromettent fortement la levée, la croissance végétative et la production des épis (Fageria et al., 2006).

Dans le contexte du Burundi, les collines à sols ferrallitiques ou andosols, comme ceux de Kabarore, sont généralement propices à la culture du maïs si des amendements organiques ou minéraux sont bien appliqués. L'incorporation de fumier des bovins de 10 T/ha améliore significativement la structure du sol et augmente la capacité de rétention en eau, ce qui favorise la croissance racinaire du maïs (Hicintuka et Masilya, 2013).

En revanche, les sols très sablonneux ou hydromorphes sont peu adaptés, car ils entraînent une lixiviation rapide des nutriments et peuvent provoquer le stress hydrique ou la pourriture racinaire. La faible rentabilité du maïs cultivé sur sols acides non corrigés dans certaines localités de la province de Kayanza, avec des rendements inférieurs à 800 kg/ha a été mise en évidence par certains de chercheurs locaux (Nduwimana et al., 2020)

L'amélioration de la fertilité du sol par les pratiques agro-écologiques (compostage, engrais verts, rotations culturales) est donc essentielle pour une production durable du maïs.

IFDC (2020) recommande également l'usage du phosphate naturel de Matongo en complément d'un compost organique pour accroître la disponibilité du phosphore dans les sols pauvres. Ainsi, l'exigence du maïs en matière de sol constitue un facteur clé à prendre en compte dans tout programme d'intensification agricole ou de vulgarisation de cette culture au Burundi.

I.1.6.3.2. Exigences climatiques

Le maïs est une plante de type C4, ce qui signifie qu'elle est particulièrement performante en conditions de lumière intense, de chaleur modérée et d'humidité adéquate. Il est adapté aux zones tropicales humides et subhumides, avec une température optimale comprise entre 18 et 30°C. En dessous de 12°C ou au-dessus de 35°C, la croissance est ralentie, voire inhibée (Jones et Thornton, 2003).

Du point de vue pluviométrique, le maïs exige entre 500 et 1 200 mm de précipitations bien réparties pendant son cycle végétatif, en particulier entre la levée et la floraison. Dans les provinces rurales du Burundi, la répartition bimodale des pluies (saisons culturales A et B) est en général favorable, à condition que la semence soit adaptée et que la plantation soit réalisée à temps.

Toutefois, les effets du changement climatique, notamment l'irrégularité des pluies et les épisodes de sécheresse ou d'inondation, deviennent un défi majeur pour la culture du maïs au Burundi. Des études menées sur les rendements dans la région du nord du Burundi ont montré une corrélation négative entre les variations anormales des températures et la floraison synchrone du maïs, entraînant des épis mal remplis et des rendements médiocres (Minani et al., 2014).

Certaines variétés améliorées, telles que *PAN 691*, *SC 403* ou *Zea mays QPM*, ont montré une meilleure adaptation aux stress climatiques et sont recommandées par l'ISABU et le programme de semences du MINEAGRIE.

Les exigences climatiques du maïs nécessitent une planification rigoureuse du calendrier cultural, le choix de variétés résilientes et l'adoption de pratiques agricoles intelligentes face au climat.

I.1.6.4. Pratiques culturales

I.1.6.4.1. Labour

Le labour est une opération culturale fondamentale pour les cultures. Il permet d'ameublir le sol, de favoriser l'infiltration de l'eau, d'aérer la couche arable et d'enfouir les résidus de culture ainsi que les adventices. Le labour profond (20 à 30 cm) favorise un bon développement du système racinaire du maïs, ce qui améliore l'ancrage et la capacité d'absorption des nutriments (Fageria et al., 2006; FAO, 2020).

Au Burundi, le labour manuel reste la méthode la plus utilisée dans les exploitations familiales. Cependant, le recours à la traction animale gagne du terrain, notamment dans les zones où les associations d'agriculteurs reçoivent des appuis technique (MINEAGRIE, 2020).

La qualité du labour influence fortement la germination et la vigueur des jeunes plantules. Un sol bien labouré présente une porosité et une capacité de rétention d'eau adéquates, tandis qu'un

labour inadéquat conduit à la formation de croûtes de battance ou à la stagnation d'eau, nuisibles à la levée du maïs (Maliki et al., 2016).

De plus, les pratiques de labour minimum ou semi-labour, bien que peu répandues, commencent à être promues dans une logique d'agriculture de conservation. Ces techniques permettent de limiter l'érosion, d'augmenter la matière organique du sol et de réduire les coûts énergétiques. Toutefois, leur adoption reste marginale faute de sensibilisation et d'équipements appropriés (MINEAGRIE, 2020)

Dans un contexte de forte pression foncière, le choix du type de labour doit aussi prendre en compte la rotation culturale et l'intégration des cultures vivrières. Il est donc recommandé d'associer le labour à une fertilisation organique adéquate et à des semis en lignes bien espacées pour optimiser l'espace et la lumière.

I.1.6.4.2. Fertilisation

La fertilisation constitue l'un des leviers essentiels pour améliorer la productivité du maïs, notamment en milieu rural burundais où les sols sont souvent appauvris par l'érosion et les cultures intensives sans restitution suffisante de la matière organique. Le maïs est une culture fortement exigeante en éléments nutritifs, en particulier en azote (N), phosphore (P) et potassium (K), mais aussi en oligoéléments comme le zinc (Zn) et le magnésium (Mg), qui influencent directement la photosynthèse et la qualité des grains (Roy et al., 2009).

A l'échelle nationale, plusieurs travaux ont démontré l'efficacité d'une fertilisation combinée (organique + minérale) pour améliorer les rendements du maïs. Une augmentation moyenne de 45 % du rendement lorsque le compost organique était appliqué conjointement avec du DAP ou de l'urée, comparé à une fertilisation minérale seule a été observé (Nduwimana et al., 2020). De même l'application de 15-20 T/ha de fumier bien décomposé améliore la structure du sol, l'activité microbienne et la rétention des éléments nutritifs (Hicintuka et Masilya, 2013)

Les recherches dans les hautes terres d'Afrique de l'Est indiquent que l'utilisation des engrais organiques améliore la capacité tampon du sol et limite les pertes par lessivage, surtout dans les zones à forte pluviométrie comme Kabarore (Vanlauwe et al., 2015).

En parallèle, le recours au phosphate naturel de Matongo, peu coûteux et localement disponible, est recommandé pour les sols acides, à condition d'être intégré à un compost ou à des résidus organiques riches en carbone (IFDC, 2020).

La fertilisation foliaire, bien que peu pratiquée dans les petites exploitations, pourrait aussi jouer un rôle important. L'application foliaire de micronutriments au stade de croissance végétative du maïs améliore la densité des grains et réduit les pertes en période de stress hydrique (Fontana et al., 2024).

I.1.6.4.3. La plantation

La plantation du maïs constitue une étape déterminante pour assurer une densité optimale et un bon développement des plants. Elle doit être effectuée à la période propice, généralement en début de saison des pluies, afin de garantir une humidité suffisante pour la germination.

Le semis en lignes espacées de 75 cm entre rangs et 25 à 30 cm sur le rang est recommandé pour maximiser l'exposition à la lumière et faciliter les travaux d'entretien (Masunga et al., 2023). Au Burundi, cette technique améliore l'aération des plants et réduit les risques de maladies fongiques. Les semences sélectionnées, certifiées ou améliorées, doivent être semées à une profondeur de 3 à 5 cm selon la texture du sol (ISABU, 2016). Le rapport de l'ISABU (2018) portant sur la réglementation des semis recommande aussi l'utilisation d'une densité de 44 000 à 53 000 plants/ha pour atteindre un bon rendement. Enfin, l'association avec des légumineuses comme le haricot permet d'optimiser l'espace et de profiter de la fixation de l'azote par les légumineuses (Kaboneka, Ntukamazina, et al., 2021)

I.1.6.4.4. Entretien

L'entretien du maïs comprend plusieurs opérations essentielles telles que le désherbage, le buttage, l'éclaircissage et le traitement phytosanitaire. Le premier désherbage est recommandé deux à trois semaines après la levée pour limiter la concurrence hydrique et nutritionnelle (ISABU, 2016).

Le buttage améliore la stabilité des plants et limite l'érosion, tandis que les traitements ciblés contre les foreurs de tige ou la chenille légionnaire sont cruciaux, surtout en zone tropicale (ISABU, 2021; Masunga et al., 2023). Une bonne gestion de l'entretien optimise le rendement et réduit les pertes liées aux stress biotiques.

I.1.6.4.5. La récolte

La récolte du maïs représente une phase cruciale pour garantir la qualité du produit final. Elle s'effectue lorsque les grains ont atteint leur maturité physiologique, quand le taux d'humidité

descend en dessous de 25 %, moment où la ligne noire apparaît à la base des grains (Masunga et al., 2023).

Retarder la récolte au-delà de ce stade peut exposer les épis aux attaques d'insectes, aux moisissures et à la germination sur pied. La période optimale de récolte se situe environ 100 à 130 jours après le semis, selon la variété cultivée et les conditions agroécologiques

Les variétés améliorées comme PAN 691 ou ZM 523, largement diffusées dans les hautes terres, arrivent à maturité plus rapidement (ISABU, 2016).

I.1.6.4.6. Conservation

Une bonne conservation du maïs est indispensable pour éviter les pertes post-récolte, qui peuvent atteindre jusqu'à 30 % dans certaines régions du Burundi (Nkurunziza et al., 2012).

Après la récolte, les épis doivent être bien séchés jusqu'à un taux d'humidité inférieur à 13 % pour éviter la prolifération des moisissures, notamment du genre *Aspergillus*, responsable de la production d'aflatoxines (Fandohan et al., 2003). Le stockage peut se faire en épis ou en grains, selon les pratiques locales.

Les silos métalliques hermétiques sont efficaces pour la conservation de longue durée, mais peu accessibles aux petits agriculteurs. Au Burundi, des structures locales encouragent l'usage de sacs PICS (Purdue Improved Crop Storage), efficaces contre les charançons sans recours aux pesticides (Nkurunziza et al., 2012) et insiste sur l'importance de trier les grains, d'éliminer les grains endommagés et d'entreposer les récoltes dans des endroits secs et bien ventilés pour prévenir l'humidité et la contamination. L'introduction de nouvelles technologies de séchage solaire est également en cours d'expérimentation dans les zones rurales du pays (Ndikumana et al., 2018).

I.1.7. Contraintes de la culture du maïs

La culture du maïs au Burundi est confrontée à plusieurs contraintes qui limitent son rendement et sa durabilité. Ces contraintes sont généralement classées en deux catégories : les contraintes biotiques (d'origine vivante) et abiotiques (d'origine non vivante). Les petits producteurs sont particulièrement vulnérables en raison du manque d'accès à des intrants de qualité, à l'information technique et à l'accompagnement (Vanlauwe et al., 2015).

Les principaux défis liés à l'érosion, à l'acidité des sols, à l'irrégularité des pluies et à la faible fertilité des sols, surtout dans les collines de Kayanza ont été recensés par l'ISABU.

Du côté biotique, les ravageurs et maladies prennent une ampleur inquiétante, notamment avec l'invasion récente de la chenille légionnaire (*Spodoptera frugiperda*), tandis que les contraintes abiotiques comprennent la sécheresse, les pluies excessives, et les températures extrêmes.

I.1.7.1. Contraintes biotiques

Les contraintes biotiques sont essentiellement liées aux ravageurs, maladies et adventices affectant le maïs. Parmi les ravageurs les plus redoutés figure la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*), signalée pour la première fois au Burundi en 2018, causant des dégâts allant jusqu'à la réduction de 40 % des rendements du maïs (FAO, 2020). Les sols sont une ressource essentielle à préserver pour la production d'aliments, de fibres, de biomasse, pour la filtration de l'eau, la préservation de la biodiversité et le stockage du carbone.

I.1.7.2. Contraintes abiotiques

Les contraintes abiotiques regroupent les facteurs environnementaux défavorables à la croissance du maïs. En premier lieu, la variabilité climatique constitue une menace majeure : des épisodes prolongés de sécheresse, surtout en début ou en fin de cycle, nuisent à la germination et à la pollinisation, entraînant des baisses de rendement notables (Niang, 2016). A cela s'ajoutent les fortes précipitations pouvant provoquer le lessivage des nutriments et l'asphyxie racinaire, en particulier dans les sols argileux mal drainés (Uzayisenga et al., 2020). L'ISABU (2019) souligne aussi la forte acidité des sols dans certaines collines de Kayanza, qui limite la disponibilité du phosphore et la croissance racinaire. L'érosion hydrique, exacerbée par la pente et l'absence de haies antiérosives, entraîne une dégradation rapide du potentiel agronomique. Enfin, le manque d'irrigation et la pauvreté en infrastructures rurales compliquent les interventions d'urgence, accentuant les effets des contraintes naturelles (Uzayisenga et al., 2020).

I.2. Généralités sur la culture du haricot

Le haricot est une légumineuse la plus consommée dans le monde entier. Elle est une culture très ancienne, cultivé presque dans tous les pays dans les hautes terre tropicales d'Afrique centrale et orientale y compris le Burundi (Nyabyenda, 2005).

I.2.1. Description morphologique de la plante

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est une plante annuelle appartenant à la famille des Fabaceae. Il a un appareil racinaire avec plusieurs ramifications latérales et adventives. Les racines sont pivotantes avec des ramifications latérales qui favorisent l'ancrage de la plante dans le sol

(Karima, 2015). Les racines ne dépassent pas les 20 premiers centimètres de profondeur comme toutes les légumineuses, il peut former des nodules sur les racines (Nyabyenda, 2005).

Cette culture présente une tige herbacée qui peut avoir plusieurs ramifications primaires et secondaire suivant le type de croissance. Après les cotylédons situés au premier nœud de la tige, le haricot forme sur le deuxième nœud les deux premières feuilles appelées feuilles primaires, qui sont simples et opposées. À partir du troisième nœud, il développe les feuilles typiques, composées, trifoliées et alternes (Nyabyenda, 2005). Il présente une variabilité morphologique importante selon les variétés. La tige est soit à croissance déterminée (chez les variétés naines), soit à croissance indéterminée (chez les variétés à rames) (Latati et al, 2015)..

L'inflorescence est un racème axillaire ou terminal avec des fleurs zygomorphes typiques des légumineuses. Ces fleurs sont composées de cinq pétales (une carène, deux ailes, un étendard) et dix étamines, avec une fécondation généralement autogame (Roudame, 2018). Le fruit est une gousse biloculaire, contenant 4 à 10 graines, et mesurant entre 4 et 25 cm de long. Deux grandes catégories sont identifiées : les variétés naines, atteignant environ 60 cm de hauteur, et les variétés grimpantes, qui peuvent dépasser 2 m avec besoin de tuteurage (Karima, 2015)

I.2.2. Importance alimentaire

Le haricot commun constitue un élément fondamental de la sécurité alimentaire au Burundi, notamment en raison de sa richesse en nutriments essentiels.

Il est reconnu comme la principale source de protéines végétales pour la majorité des ménages burundais, contribuant à environ 22 % de l'apport protéique quotidien (Kataliko, 2023).

Il est également une source importante de glucides complexes, de fibres alimentaires et de micronutriments tels que le fer et le zinc. Sa consommation régulière est associée à la prévention de maladies chroniques comme le diabète, les maladies cardiovasculaires et certains types de cancer (Mbeugang et al., 2017). En plus de son rôle nutritionnel, le haricot est accessible économiquement, ce qui en fait un aliment de base pour les familles rurales. Le haricot occupe la première place dans la production de légumineuses en Afrique subsaharienne.

I.2.3. Importance agronomique

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) joue un rôle essentiel dans l'agriculture durable grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique par symbiose avec les bactéries du genre *Rhizobium*. Cette fixation biologique de l'azote réduit considérablement le besoin en engrais azotés

minéraux, souvent coûteux et sources de pollution (Graham et Vance, 2003). Selon Dakora et Keya, (1997), cette symbiose contribue à enrichir le sol en azote, favorisant ainsi la productivité des cultures suivantes.

Toutefois, plusieurs facteurs influencent l'efficacité de cette fixation, notamment le pH du sol, la température, la disponibilité en phosphore, et la souche bactérienne utilisée (Hungria et al., 2013). Cette pratique réduit ainsi la dépendance aux engrais chimiques (Giller, 2001). Les cultures de haricot améliorent la structure du sol, augmentent la matière organique et réduisent les phénomènes d'érosion dans les champs en pente.

L'introduction du haricot dans les rotations culturales constitue donc un levier agro-écologique majeur dans les systèmes agricoles familiaux. Cette stratégie permet non seulement d'améliorer la productivité des sols, mais aussi d'augmenter la résilience face aux effets du changement climatique, notamment en diversifiant les productions et les revenus (FAO, 2020; Ruraduma et al., 2011).

Au Burundi, les travaux de Ruraduma et al, (2016) ont montré que les rendements du haricot dans les systèmes d'association culturale augmentaient lorsque les inoculants adaptés étaient utilisés dans des sols acides amendés. Ainsi, promouvoir l'utilisation d'engrais verts et de bactéries symbiotiques adaptées est une piste prometteuse pour une agriculture respectueuse de l'environnement.

I.2.4. Origine et extension de la culture

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est originaire d'Amérique latine, plus précisément de deux foyers : l'un situé dans les Andes (Pérou, Equateur et Bolivie) et l'autre au Mexique, où la domestication s'est opérée indépendamment (Blair et al., 2010).

Il a été introduit en Afrique par les explorateurs portugais au XVI^e siècle, avant de se diffuser progressivement à travers les régions d'altitude d'Afrique de l'Est, notamment dans les Grands Lacs (Burundi, Rwanda, RD Congo, Ouganda) où il est devenu l'une des cultures vivrières les plus importantes; (Blair et al., 2010).

Au Burundi, la culture du haricot s'est parfaitement intégrée dans les systèmes agricoles traditionnels, occupant une place prépondérante dans les assolements et rotations avec le maïs, le manioc ou les patates douces (Sibomana et al., 2023). Sa diversité variétale observée aujourd'hui au Burundi est issue à la fois des sélections locales et d'introductions issues de

programmes internationaux comme ceux du CIAT (Centre International d'Agriculture Tropicale), visant à améliorer le rendement, la résistance aux maladies et l'adaptation aux contraintes climatiques (Katungi et al., 2020). Cette extension est facilitée par la capacité d'adaptation du haricot à divers agroécosystèmes et à ses faibles exigences en intrants.

I.2.5. Exigences écologiques et climatiques

Le haricot est une culture relativement rustique mais dont les performances agronomiques dépendent fortement des conditions pédoclimatiques. En Afrique centrale, il est principalement cultivé entre 1 000 et 2 300 mètres d'altitude, dans les zones où les températures oscillent entre 18 et 25 °C, idéales pour sa croissance (Hamdani, 2012).

Des températures trop élevées (>30 °C) réduisent la fécondation et la nouaison, ce qui impacte négativement le rendement (Suárez Salazar et al., 2020). Le haricot est sensible à l'excès d'eau en début de culture et à la sécheresse pendant la floraison, ce qui rend crucial un bon drainage et une disponibilité hydrique régulière. Il préfère les sols bien structurés, légers à texture limono-sableuse, riches en matière organique, avec un pH compris entre 5,5 et 7,5 (Chabni et Belabbas, 2022). Au Burundi, les sols des hautes terres sont particulièrement favorables à cette culture, bien qu'un amendement calcique soit parfois nécessaire dans les zones acides. Les données agro-météorologiques issues de l'ISABU (2022) recommandent l'intégration de prévisions climatiques saisonnières dans la planification de la culture pour éviter les épisodes de sécheresse ou d'inondation.

En outre, les variétés améliorées proposées par l'ISABU comme « HM21-7 » ou « RWR 2245 », montrent une bonne adaptation aux conditions agro-écologiques locales et une résistance accrue aux maladies (ISABU, 2021). Une conduite culturale rigoureuse permet ainsi d'optimiser les performances de cette culture clé dans la sécurité alimentaire des ménages Burundais. La rotation culturale, associée à l'introduction d'engrais verts ou de biofertilisants naturels, s'avère également bénéfique

I.2.6. Fertilisation

La fertilisation du haricot doit être conduite avec discernement, compte tenu de sa capacité à fixer l'azote atmosphérique via des symbioses racinaires avec les rhizobia.

Il est donc généralement peu exigeant en azote minéral. Toutefois, pour optimiser la croissance initiale, il est recommandé d'amender le sol avec une fumure organique bien décomposée, appliquée au moins deux semaines avant le semis (Suárez Salazar et al., 2020). L'apport de

phosphore est essentiel pour le développement racinaire et la fixation symbiotique. Des essais menés par le CIAT (2017) montrent que l'application de 20 à 30 kg/ha de P_2O_5 améliore significativement le rendement, notamment sur les sols appauvris des zones de Cibitoke et Ngozi. Le potassium, bien que moins limitant, intervient dans le grossissement des gousses. Certains auteurs insistent sur la complémentarité entre fumure organique et micro-doses d'engrais minéraux pour renforcer la fertilité durable des sols (Boudhaba et Mefatih, 2015).

En milieu paysan, la fertilisation est souvent empirique, basée sur l'expérience, ce qui justifie le renforcement des capacités via l'agriculture de conservation et les techniques de fertilisation raisonnée (Minani, 2014).

I.2.7. Entretien de la culture

L'entretien du haricot est une étape cruciale pour optimiser le rendement et garantir une croissance harmonieuse des plants. Il commence par un désherbage précoce et régulier, car la concurrence des mauvaises herbes, notamment durant les 20 à 40 premiers jours après la levée, peut entraîner une réduction significative de la biomasse et du rendement (Suárez Salazar et al., 2020). Un binage est souvent recommandé au stade de 3 à 5 feuilles pour aérer le sol, favoriser l'infiltration de l'eau et limiter la croûte de battance. Au Burundi, des pratiques culturelles traditionnelles comme le paillage ou l'association avec le maïs permettent de réduire l'enherbement et de limiter l'évaporation du sol (Nyirigira, 2018). L'arrosage n'est pas toujours pratiqué dans les systèmes pluviaux, mais en cas de sécheresse prolongée, un apport en eau au stade floraison-garnissage est décisif.

I.2.8. Facteurs influençant le rendement

Le rendement du haricot varie considérablement selon des facteurs biotiques et abiotiques. Parmi les facteurs agronomiques, on note l'espacement des plants, la densité de semis, la variété cultivée, la fertilisation, et les techniques d'entretien.

Un espacement optimal de 40 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets est recommandé pour maximiser la capture de la lumière et réduire la compétition intra-spécifique (Katungi et al., 2020). La nature du sol et sa richesse en éléments nutritifs, notamment en phosphore et potassium, influencent aussi fortement la productivité.

Au Burundi, les travaux de Hicintuka (2014) ont montré que les variétés locales de haricot donnent un rendement moyen de 600 à 900 kg/ha, tandis que les variétés améliorées comme HM21-7 ou RWR2245 peuvent dépasser 1 200 kg/ha en conditions optimales.

Le stress hydrique, particulièrement en phase floraison, peut entraîner une chute de rendement allant jusqu'à 50 % (Suárez Salazar et al., 2020).

Les attaques de ravageurs et maladies, si non contrôlées, constituent aussi une contrainte majeure. Enfin, des facteurs socio-économiques tels que l'accès aux semences de qualité, aux engrais et aux services de vulgarisation jouent un rôle déterminant, surtout pour les petits exploitants agricoles.

I.2.9. Maladies et ravageurs

Le haricot est sensible à un grand nombre de maladies et ravageurs pouvant compromettre les rendements. Parmi les maladies fongiques les plus répandues figurent l'antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), la rouille (*Uromyces appendiculatus*) et la pourriture racinaire. Ces maladies se manifestent généralement en milieu humide, surtout en cas de semis tardif ou de mauvaise aération du couvert végétal (Schwartz et Corrales, 1989). Les virus comme la mosaïque commune du haricot sont également fréquents, causant un rabougrissement et une décoloration foliaire. Les principaux ravageurs sont les bruches (*Acanthoscelides obtectus*) en post-récolte, les pucerons (*Aphis fabae*) et les thrips au champ. Une enquête conduite par (Minani et al., 2014) dans les provinces de Ngozi et Kirundo a révélé que 70 % des producteurs rencontrent régulièrement des problèmes liés aux ravageurs du haricot. Le recours aux variétés tolérantes, à la rotation culturale, au traitement des semences et à des bio-pesticides est recommandé pour réduire les pertes (Sibomana et al., 2023). Des campagnes de sensibilisation menées par l'ISABU ont permis de vulgariser des pratiques agro-écologiques intégrées auprès des agriculteurs des régions touchées.

I.2. 10. Valeur alimentaire et nutritionnelle du haricot

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est le plus consommé dans le monde. Il dispose d'une haute qualité nutritionnelle. Les protéines provenant du haricot présentent une forte teneur en lysine qui est relativement déficiente dans le maïs, le manioc ou le riz. Le haricot est également moins riche en matière grasse et exempt de cholestérol et réduit ainsi les risques de maladies comme le cancer, le diabète, les maladies cardiaques. La consommation régulière de cette légumineuse est ainsi largement préconisée par l'OMS (Polanía et al., 2015; Razafintsalama, 2018).

I.3. Généralités sur les Engrais verts pour une agriculture durable

I.3.1. Définition et principes des engrais verts

Les engrais verts sont des plantes cultivées principalement pour être incorporées au sol afin d'en améliorer la fertilité. Ils sont généralement semés entre deux cultures principales ou intégrés dans un système de rotation culturale (Giller, 2001), il s'agit généralement de légumineuses, de crucifères ou d'autres espèces à croissance rapide, semées pour leur capacité à accumuler de la biomasse et à restituer des éléments nutritifs au sol. Leur utilisation s'inscrit dans les pratiques agricoles durables car elle permet de renforcer les fonctions écologiques du sol tout en réduisant l'utilisation d'intrants chimiques.

Le principe fondamental de l'engrais vert repose sur la production de matière organique en surface, qui sera par la suite incorporée dans le sol. Cette biomasse améliore la structure du sol, augmente sa teneur en carbone organique, stimule la vie microbienne et favorise la rétention d'eau (Drinkwater et Snapp, 2007). Les légumineuses utilisées comme engrais verts, comme le pois d'Angole, le sarrasin (*Fagopyrum esculentum Moench*) ou le mucuna (*Mucuna pruriens* (L.) DC), ont l'avantage supplémentaire de fixer l'azote atmosphérique, enrichissant ainsi le sol en azote assimilable pour les cultures suivantes (Ndikumana et al., 2018).

L'usage des engrais verts est encore limité mais suscite de plus en plus d'intérêt, notamment dans les zones de forte pression foncière (Diogo et al., 2021). L'utilisation des engrais verts repose sur une planification technique précise : il faut choisir des espèces adaptées aux conditions locales, déterminer le bon moment pour l'incorporation et veiller à une gestion cohérente des rotations (Diogo et al., 2021). L'efficacité de cette pratique dépend fortement de l'adaptation agro-écologique de l'espèce choisie, ainsi que de son interaction avec les cultures principales (Kihara et al., 2012).

1.3.2. Avantages agronomiques et environnementaux

L'usage des engrais verts offre de nombreux avantages agronomiques qui contribuent directement à la durabilité des systèmes agricoles. Parmi les plus importants, on note l'amélioration de la fertilité du sol, l'augmentation de la matière organique, la meilleure disponibilité des nutriments, notamment l'azote, et la stimulation de l'activité biologique du sol (Giller, 2001; Kihara et al., 2012). Les engrais verts jouent un rôle crucial dans la régénération des sols fatigués et la réduction de la dépendance aux engrais minéraux.

D'un point de vue agronomique, ils améliorent la structure du sol en favorisant la formation de micro-agrégats stables, ce qui augmente l'infiltration de l'eau et réduit les risques d'érosion (Sanginga et Woome, 2009). En outre, les engrais verts participent à la lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs. Certaines espèces, comme le sarrasin ou le seigle, libèrent dans le sol des composés allélopathiques qui inhibent les agents pathogènes ou les mauvaises herbes (Dakora et Keya, 1997).

Du point de vue environnemental, ils réduisent l'empreinte écologique de l'agriculture. Leur culture permet de capter le carbone atmosphérique et de le stocker dans le sol, participant ainsi à l'atténuation des effets du changement climatique (FAO, 2020). En captant les nitrates résiduels en fin de cycle des cultures, ils diminuent également la pollution des nappes phréatiques (Drinkwater et Snapp, 2007).

Des initiatives locales, notamment à travers des projets pilotes menés par l'Université du Burundi et l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU), ont montré que les engrais verts peuvent être des leviers de transition agroécologique. La vulgarisation de ces pratiques auprès des agriculteurs permettrait non seulement d'améliorer la productivité agricole mais aussi de préserver les écosystèmes naturels et les ressources en sol (Ruraduma et al., 2012).

I.4. Généralités sur le sarrasin

I.4.1. Origine et son extension

Le sarrasin (*Fagopyrum esculentum Moench*), aussi appelé blé noir, est une pseudo-céréale appartenant à la famille des Polygonacées. Il est originaire d'Asie centrale mais s'est répandu en Europe et dans certaines régions d'Afrique, notamment dans les zones d'altitude modérée. Bien que peu répandu au Burundi, il présente un potentiel agronomique intéressant en tant que engrais vert dans les systèmes agricoles intégrés.

Le sarrasin est apprécié pour sa croissance rapide (cycle court de 70 à 90 jours), sa rusticité et sa capacité à couvrir rapidement le sol, limitant ainsi l'érosion et la prolifération des adventices (Myers, 1994)

Systématiquement, le sarrasin est une culture dicotylédone estivale appartenant à la famille des Polygonacées et au genre *Fagopyrum* (Hunt et al., 2017; Jacquemart et al., 2007)

C'est une pseudo-céréale produisant des graines à coque noire, remplies d'amidon, mais ses graines sont généralement classées parmi les céréales en raison de leur utilisation similaire (Halbrech et al., 2005)

Le genre *Fagopyrum* compte plus d'une vingtaine d'espèces mais seule une espèce sera étudiée dans le cadre de ce mémoire : Le sarrasin commun ou blé noir (*Fagopyrum esculentum Moench*) qui comme son nom l'indique est l'espèce la plus cultivée dans le monde.

Du point de vue morphologique, le sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum Moench*) est une plante herbacée annuelle pouvant atteindre 1-1,5 m, quand les conditions sont propices et en fonction de la variété. Il a une racine primaire et une tige lisse dressée, verte ou rouge (Zhong-Ze et al., 2003). Les inflorescences sont épaisses et denses (Campbell, 1997). Ces feuilles sont simples, larges et ont une forme cordiforme qui rappelle celles des feuilles de lierre, les cotylédons arrondis sont un peu plus foncés et plus fermes ; ils se distinguent donc nettement des feuilles suivantes (Quinet et al., 2004; Zhong-Ze et al., 2003).

Les fleurs du sarrasin commun sont regroupées en inflorescences composées (Quinet et al., 2004). La couleur de ses fleurs varie du blanc au rose, selon la variété. Selon Campbell (1997), les fleurs du sarrasin commun sont parfaites mais restent incomplètes car le périanthe ne contient qu'un cycle d'organes, on parlera donc de tépales.

Un mois après les semis, la floraison du sarrasin est abondante et perdure et chaque plante produit plusieurs centaines de fleurs sur 2-3 mois. Le sarrasin commun présente une auto-incompatibilité génétique, il ne peut donc y avoir d'autofécondation intra-morphe et seule une pollinisation croisée intermorphe peut mener à la fécondation (Quinet et al., 2004). Cette pollinisation croisée est effectuée parfois par le vent mais le plus souvent par des insectes et l'abeille domestique est présentée comme le principal pollinisateur du sarrasin commun (Campbell, 1997; Jacquemart et al., 2012) .

Sur le plan écologique, il tolère bien les sols pauvres, légèrement acides, et ne requiert pas de fortes doses d'intrants, ce qui en fait une plante adaptée aux systèmes à faibles niveaux d'intrants. En tant que culture dérobée ou intercalaire, le sarrasin peut être intégré entre deux cultures vivrières principales, notamment en association ou en rotation avec le haricot ou le maïs, pour améliorer la fertilité du sol (Clark, 2008; Jagadish, 2020). Cette pratique est encore peu étudiée au Burundi, mais des expérimentations dans les collines de la province de Kayanza ont montré que le sarrasin contribue à améliorer la biomasse du sol et à stimuler l'activité microbienne dans le sol (ADISCO, 2022).

I.4.2. Effets agronomiques du sarrasin

Le sarrasin est de plus en plus reconnu pour son efficacité comme engrais vert, une culture cultivée principalement pour être enfouie dans le sol afin d'en améliorer les propriétés agronomiques. Cette plante est capable de produire une biomasse importante en peu de temps, ce qui en fait un excellent apport de matière organique (Bibron, 2015). En se décomposant, cette biomasse améliore la structure du sol, augmente la teneur en humus et stimule l'activité biologique, notamment les microorganismes bénéfiques impliqués dans la minéralisation des nutriments (Kocira et al., 2020).

En outre, le sarrasin joue un rôle important dans la mobilisation du phosphore. Il est capable de solubiliser les formes peu disponibles de phosphates dans le sol grâce à la production d'exsudats racinaires acides (Balestrini et al., 2020). Ce mécanisme favorise la disponibilité du phosphore pour les légumineuses comme le haricot, qui sont sensibles à la carence en phosphore.

L'utilisation du sarrasin comme engrais vert dans un système haricot-sarrasin a permis d'augmenter de 28 % le rendement du haricot, tout en réduisant l'utilisation d'engrais minéraux (Habimana et al., 2020).

L'intérêt agronomique du sarrasin comme engrais vert réside aussi dans sa capacité allélopathique, limitant la germination des mauvaises herbes, et sa compatibilité avec les rotations agro-écologiques (Bibron, 2015). Intégré dans les pratiques agro-écologiques au niveau local, le sarrasin pourrait représenter une alternative durable à la fertilisation chimique, tout en soutenant la résilience des systèmes agricoles face aux effets du changement climatique.

Selon (Marschner, 2011), le sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench), utilisé comme engrais vert se distingue par une biomasse riche en éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes et sa décomposition relativement rapide de ses résidus végétaux après enfouissement.

Le tableau 2 ci-dessous présente la composition chimique de la biomasse foliaire du sarrasin prêt à enfuir.

Tableau 2 : Composition chimique du sarrasin (Marschner, 2011)

Paramètre	Concentration en éléments (mg/kg ⁻¹)
Carbone (C)	8,2
Azote (N)	0,95
Phosphore (P)	2
Potassium (K)	10
Calcium (Ca)	0,5
Magnésium (Mg)	0,2
Zinc (Zn)	0,2
Manganèse (Mn)	5

I.4.3. Valeur alimentaire et nutritionnelle

Le sarrasin occupe une place particulière parmi tant d'autres cultures en raison de ses propriétés nutritionnelles et thérapeutiques (Aubert et al., 2021; Jacquemart et al., 2007). Ses parties telles que les tiges, fleurs, feuilles, graines et farine sont utilisées par les industries alimentaires, pharmaceutiques, cosmétiques (Kim et Hwang, 2020). Sa farine renferme des concentrations élevées de protéines (12 à 18%), de lipides (1,5 à 4%), de fibres, d'acides aminés, d'acides gras, de minéraux et de vitamines (Jacquemart et al., 2012). Contrairement à d'autres céréales poacées comme le riz, le blé, le sorgho ou le maïs, la farine de sarrasin est plus riche en protéines et ne contient pas de gluten (Huda et al., 2021; Jacquemart et al., 2007).

L'embryon du sarrasin concentre des lipides en chaînes courtes et en chaînes longues à des concentrations plus élevées que d'autres céréales (Campbell, 1997).

De plus, la proportion d'acides gras insaturés augmente la valeur nutritionnelle du sarrasin, comparativement à toutes les autres céréales. De même, la teneur en éléments minéraux (tels que P, K, Mg, Ca, Fe et Mn) est considérable dans le sarrasin par rapport à celle du blé, du maïs et du riz. Quant aux acides aminés, les protéines du sarrasin possèdent une composition en acides aminés équilibrée avec la lysine et leucine comme composés principaux (Choy et al., 2013; Huda et al., 2021).

I.4.4. Le sarrasin au Burundi

I.4.4.1. Historique du sarrasin au Burundi

Le sarrasin (*Fagopyrum esculentum Moench*), souvent appelé "blé noir", est une pseudo-céréale originaire d'Asie, notamment de la région himalayenne. Il a été introduit en Afrique de l'Est récemment, principalement dans le cadre de programmes pilotes de diversification des cultures et d'adaptation au changement climatique. Au Burundi, la période de son introduction n'est pas bien connue dans les documents officiels, mais cette culture a été testée comme culture intercultures dans certaines zones de hautes terres, notamment à Kayanza et Ngozi grâce à l'ADISCO et le soutien de partenaires internationaux engagés dans l'agriculture durable (ADISCO, 2019).

Les premières expérimentations ont été motivées par le besoin de trouver des cultures à cycle court (70–90 jours), résistantes aux conditions climatiques difficiles, et pouvant contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols.

Selon le rapport publié par l'ADISCO en 2022, le sarrasin a montré un intérêt agronomique notable pour les systèmes de rotation culturale, notamment dans les zones où les légumineuses comme le haricot souffrent de stress hydrique ou de pauvreté en azote (ADISCO, 2022; kagisye, 2022). Son intégration dans les itinéraires techniques des exploitants est encore limitée, mais elle suscite un intérêt croissant, surtout en lien avec ses propriétés nutritionnelles et ses atouts environnementaux.

Des organisations comme ADISCO /TIN, a initié des programmes pilotes de vulgarisation du sarrasin dans certaines communes du nord du Burundi (Kabarore, Busiga, Tangara), où il est testé comme culture de couverture et engrais vert.

Selon (ADISCO, 2022), les premières expériences montrent que le sarrasin présente une bonne adaptation aux sols acides, faiblement fertiles et bien drainés des hautes terres.

En outre, son enfouissement au stade floraison libère des matières organiques utiles à la culture suivante.

I.4.4.2. Les variétés de sarrasin en diffusion au Burundi

Au Burundi, peu de variétés de sarrasin sont actuellement cultivées de manière extensive, en raison de la nouveauté de la culture et du manque d'appui institutionnel à la recherche variétale.

Toutefois, la variété importée depuis le Rwanda (*Fagopyrum esculentum Moench*) a été introduite et testée dans le cadre de projets de promotion des engrais verts et de diversification alimentaire. Cette variété présente une bonne adaptation aux conditions agro-écologiques des hautes terres Burundaises (ADISCO, 2022). De plus, elle possède une capacité à couvrir rapidement le sol, réduisant ainsi l'érosion et le développement des mauvaises herbes. Le développement de cette variété se fait souvent par sélection participative avec les agriculteurs pilotes dans des zones cibles comme Kabarore et Butaganzwa (ADISCO, 2022). En l'absence de programme national de sélection variétale spécifique au sarrasin, l'adoption reste artisanale mais prometteuse.

I.4.4.3. Potentialités du sarrasin au Burundi

Le sarrasin présente de nombreuses potentialités agronomiques, environnementales qui justifient son introduction dans les systèmes agricoles Burundais.

D'un point de vue agronomique, sa croissance rapide, son aptitude à produire une biomasse importante et sa capacité à mobiliser les éléments nutritifs du sol le rendent utile en tant qu'engrais vert.

Le sarrasin fertilise le sol et permet aux cultures qui la suivent d'avoir une bonne production. Les fleurs des sarrasins attirent également les abeilles et nous espérons que par conséquent la quantité de miel va s'accroître sur notre colline (ADISCO, 2022)

D'un point de vue nutritionnel, à partir des graines du sarrasin on peut faire de la bouillie en le mélangeant au sorgho et au blé.

I.5. Généralités sur la rentabilité agricole

I.5.1. Notions de coût

La notion de coût en agriculture fait référence à l'ensemble des dépenses engagées par un exploitant pour produire une culture. On distingue les coûts fixes comme les dépenses indépendantes de la quantité produite, l'amortissement des équipements ou la location de la terre et des coûts variables liés directement à la production comme les semences, engrais, pesticides, main-d'œuvre temporaire (Osborne, 2013).

Une bonne compréhension de ces coûts est essentielle pour évaluer la performance économique d'une exploitation. La maîtrise des coûts permet d'améliorer la gestion des ressources et la prise de décision en matière d'investissement agricole (Osborne, 2013).

Au Burundi, les coûts de production dans les plaines rizicoles de l'Imbo sont négligés, les agriculteurs ignorent souvent les détails de leurs dépenses, ce qui rend difficile toute planification économique (Gahiro, 2011). De même, dans les collines de Kayanza les petits producteurs ne tiennent pas de comptabilité simplifiée, ce qui entraîne une mauvaise estimation de la rentabilité (Nzirorera, 2012; Rurihose, 2021). L'absence de suivi régulier des coûts mène à des pratiques non optimisées, souvent basées sur des décisions empiriques.

I.5.2. Recettes et marge brute

Les recettes agricoles représentent les revenus bruts obtenus par la vente des produits issus de la production. Elles se calculent en multipliant le rendement (kg/ha) par le prix de vente unitaire (Fbu/kg).

En comparant ces recettes aux coûts variables, on obtient la marge brute, un indicateur clé utilisé pour évaluer la rentabilité immédiate d'une culture. La marge brute permet de classer les spéculations selon leur efficacité économique à court terme, particulièrement utile pour les agriculteurs familiaux (Jourdain et al., 2014).

Une étude menée dans la région de Ngozi sur les cultures de haricot et de maïs a démontré que la marge brute peut varier considérablement selon l'utilisation d'intrants naturels ou chimiques (Rurihose, 2021).

I.5.3. Rentabilité économique

La rentabilité économique désigne la capacité d'une activité agricole à générer un revenu net satisfaisant au regard des investissements effectués. Elle est généralement évaluée à partir d'indicateurs comme le taux de rentabilité (rapport entre bénéfice net et capital investi), le revenu net à l'hectare ou encore le coût de production par kilogramme produit.

Ces paramètres aident à juger si une activité est économiquement viable et peuvent orienter les stratégies d'investissement.

La rentabilité est un critère central pour l'évaluation de la performance des systèmes agricoles, surtout dans les contextes de faible capitalisation comme c'est souvent le cas en Afrique subsaharienne (Moll, 2005).

I.5.4. Notion de valeur / coût (V/C)

La notion de V/C (Valeur / Coût) souvent appelée rapport bénéfice-coût est un indicateur fondamental d'analyse de rentabilité économique d'un projet. Elle permet d'évaluer si les avantages monétaires générés par un investissement justifient les dépenses engagées pour sa réalisation (Gittinger, 1981; Young, 1989)

Ce rapport est défini comme le rapport entre la valeur actualisée des bénéfices (ou avantages économiques) et la valeur actualisée des coûts du projet.

Il est synthétisé par la relation suivante :

$$V/C = \frac{\text{Valeur actualisée des avantages}}{\text{valeur actualisée des coûts}}$$

-Si $V/C > 2$, le projet est rentable (les bénéfices dépassent les coûts).

-Si $V/C = 2$, le projet est au seuil de rentabilité.

-Si $V/C < 2$, le projet est non rentable (Young, 1989).

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

II.1. Description de la zone d'étude

L'étude expérimentale a été réalisée sur les collines de Randa et de Ruhinga, dans les parcelles de démonstration appartenant aux agri-chercheurs accompagnés par l'ADISCO/TIN dans la commune Kabarore de la province de Kayanza en milieu rural.

II.1.1. Situation géographique

La commune de Kabarore est l'une des neuf communes que compte la province de Kayanza, située dans le nord du Burundi. Elle est localisée entre 2°54' de latitude sud et 29°40' de longitude Est. Cette commune couvre une superficie estimée à 110 km², avec une population d'environ 80 000 habitants (ISTEEBU, 2022). Sa position dans les hautes terres Burundaises lui confère un potentiel agricole élevé, notamment pour les cultures de montagne.

II.1.2. Relief

Le relief est caractérisé par des collines aux pentes modérées à fortes, entrecoupées de vallées fertiles. L'altitude varie entre 1 700 et 2 000 m, ce qui confère au territoire une topographie montagneuse typique des régions de l'arrière-pays burundais. Ce relief offre des conditions favorables à certaines cultures, mais il constitue également un facteur de vulnérabilité à l'érosion, notamment en l'absence de pratiques culturales appropriées comme les fossés antiérosifs ou l'agroforesterie, des cultures comme le maïs et le haricot sont souvent cultivés sur les versants, tandis que les bas-fonds sont réservés aux cultures exigeant plus d'eau (Cazenave-Piarrot et al., 2015).

II.1.3. Climat

La commune de Kabarore est située dans la zone écologique de plateaux centraux. Les précipitations varient de 1400 (vers l'Est) à 1600 mm/an (vers l'Ouest) avec des maximas durant les mois de Septembre et Décembre et de Mars et Avril (Sendegeya, 2008). Les températures moyennes oscillent entre 18 et 21 °C, favorisant la croissance de nombreuses cultures vivrières comme le maïs, le haricot. Cependant, les récentes observations climatiques indiquent une variabilité croissante des précipitations et une augmentation des extrêmes climatiques tels que les sécheresses de début de saison, affectant négativement les semis et la germination (MINEAGRIE, 2021).

II.1.4. Sols

Les sols de la commune Kabarore sont des ferralsols (sols rouges ou jaunes, très altérés, typiques des tropiques humides, à fraction argileuse dominée par la kaolinite et les sesquioxydes (Motsara et Roy, 2008) . On trouve des hygroxéoferralsols typiques par endroits, moyens avec charge granitique sur des sommets tabulaires. Sur des versants en pente, ce sont des hygroxéoferralsols typiques profonds sans charge. Le matériau parental est un schiste. Les sols sont légèrement acides et présentent une toxicité aluminique et de faibles teneurs en bases échangeables (Hicintuka et Masilya, 2013). La zone d'étude et ses alentours sont très peuplées (ISTEEBU, 2017) suite au bon climat et un relief favorable à plusieurs activités agricoles.

II.1.5. Secteur économique du milieu d'étude

II.1.5.1. Secteur agricole

L'agriculture constitue l'activité principale de plus de 90 % des habitants de Kabarore. Elle repose essentiellement sur des cultures vivrières destinées à l'autoconsommation : maïs, haricot, pomme de terre, manioc et patate douce (MINEAGRIE, 2020). Le système agricole est dominé par des exploitations familiales de moins d'un hectare, aux techniques culturales encore rudimentaires (labour manuel, faible mécanisation, fertilisation traditionnelle). Les rendements restent faibles (moins de 1 T/ha pour le maïs) en raison de la faible fertilité des sols, du manque d'intrants de qualité et des aléas climatiques (Bizoza, 2022)

II.1.5.2. Elevage

L'élevage est la deuxième activité économique majeure de la commune. Il est pratiqué de manière extensive ou semi-intensive. On y retrouve principalement l'élevage de petits ruminants (chèvres, moutons), de volailles et de porcins, ainsi que quelques bovins laitiers en élevage amélioré (Nkurunziza, 2018). Toutefois, la productivité animale reste faible en raison du manque de fourrage, de la faible couverture vétérinaire et des maladies fréquentes. Des projets d'intégration agriculture-élevage sont en cours, visant à promouvoir la valorisation du fumier comme fertilisant organique pour les champs (Nzirorera, 2012)

II.1.6. Secteur environnemental

Cette commune est caractérisée par un environnement naturel de plus en plus soumis à diverses pressions anthropiques et aux effets aggravants des changements climatiques.

La pression démographique importante, les pratiques agricoles extensives, la surexploitation des ressources naturelles, contribuent fortement à la dégradation de l'environnement local (Nusura et Ngendakumana, 2014).

Dans cette commune, les phénomènes d'érosion hydrique, de déforestation et d'appauvrissement des sols sont largement répandus, en particulier sur les versants cultivés sans mesures de conservation des sols (MINEAGRUE, 2023; Rwabahungu et al., 2013).

Les données du Plan Communal de Développement Communautaire (PCDC) de Kabarore (2021-2025) indiquent que la commune perd chaque année plusieurs hectares de couverture végétale à cause de l'agriculture sur brûlis, du prélèvement incontrôlé du bois de chauffe et du charbonnage artisanal. Cette situation favorise l'émergence de zones à forte vulnérabilité écologique, notamment dans les collines de Ruhinga, Randa, et Kivumu, où les glissements de terrain et les ravinements deviennent fréquents en saison pluvieuse.

Sur le plan climatique, Kabarore subit une variabilité pluviométrique de plus en plus marquée. Les périodes de sécheresse sont plus longues, tandis que les saisons de pluies deviennent plus intenses, provoquant des inondations localisées et la perte de fertilité des sols arables. Selon l'Institut Géographique du Burundi IGEBU (IGEBU, 2022), la région connaît une augmentation progressive des températures moyennes annuelles, ce qui a un impact direct sur les rendements agricoles et les ressources hydriques. Ces observations sont conformes aux constats du Rapport National sur l'État de l'Environnement du Burundi (OBPE, 2021), qui classe la commune de Kabarore parmi les zones à risque modéré à élevé de vulnérabilité climatique.

La localisation de la zone d'étude et les délimitations administratives de la commune Kabarore sont indiquées sur la Figure 1 ci-après.

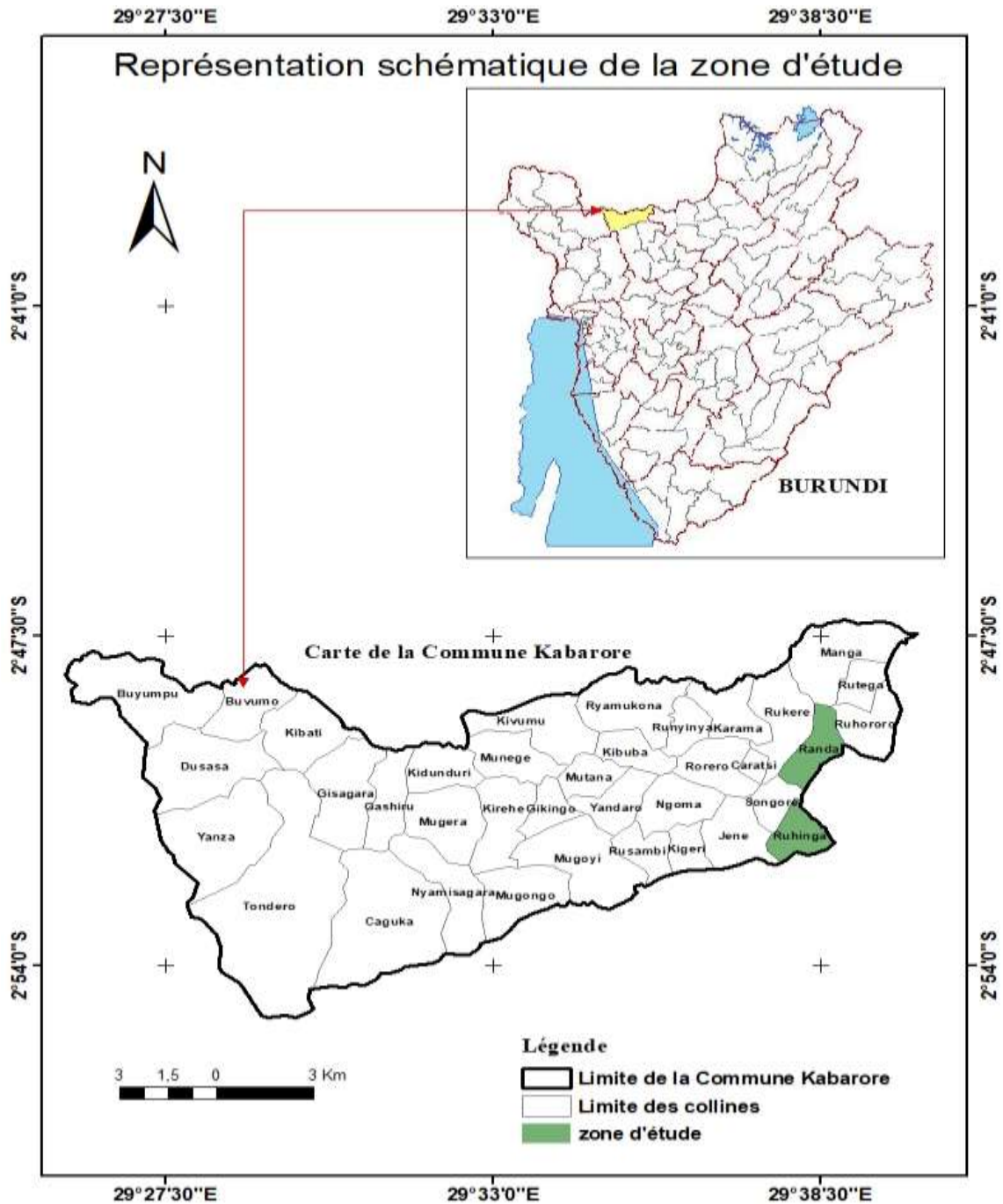


Figure 1. Carte de la zone d'étude

II.2. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour notre travail reposait sur une approche expérimentale. Pour recueillir les données de notre travail, une enquête socio-économique auprès des agriculteurs a été réalisée afin de se renseigner sur les pratiques agro-écologiques du milieu.

Pour la culture du maïs, seize parcelles d'expérimentation ont été choisies sur les collines de Randa et Ruhinga dont chacune comptait huit parcelles pendant la saison culturale A, en septembre 2023.

Quatre parcelles ont été aussi choisies, deux à Randa et deux à Ruhinga pour la culture du haricot pendant la saison culturale B, en février 2024. Les champs expérimentaux ont été suivis régulièrement dès le semis jusqu'à la récolte.

Pour la culture du maïs, les paramètres agronomiques tels que la hauteur du plant, la biomasse totale (BT), la biomasse racinaire (BR), la biomasse aérienne (BA), rapport racines sur parties aériennes (root-shoot (R/S)), l'indice de récolte (HI=Harvest Index) ont été mesurés au moment de la récolte. Le rendement en grains a été calculé en T/ha et mis ensuite en valeur selon les prix du marché et puis comparé aux coûts de production afin de dégager la rentabilité de la culture de maïs.

Pour la culture du haricot, le sarrasin a été testé comme engrais vert en Mars 2024, saison B. Des formulations des différents intrants (fertilisants) ont été élaborées. Les traitements sous investigation étaient : T0 (sol +chaux), T1 (sol +fumier de ferme + FOMI-Imbura + chaux) et le T2 (sol + sarrasin +chaux). A la récolte du haricot, les paramètres agronomiques évalués étaient : la biomasse totale (BT), la biomasse racinaire (BR), la biomasse aérienne (BA), le rapport racines/partie aérienne (R/S), le nombre de gousses par plant, le nombre de graines par gousse, le poids mille graines (PMG) et le rendement graine.

II.3. Matériels

II.3.1. Matériel végétal

II.3.1.1. Maïs

Au cours de l'enquête socio-économique dans la saison agricole A, 2023-2024, les variétés hybrides PAN 53, PAN 691 et la variété composite ISEGA ont été observées en milieu réel chez 16 agri-chercheurs. Ces variétés ont été choisies par ces agriculteurs, en raison de leur bonne adaptabilité à la zone d'étude.

Les caractéristiques des variétés PAN 53, PAN 691 avec les rendements potentiels à l'hectare et leurs zones d'adaptation sont décrites dans les généralités. Selon l'ISABU (2021), la variété ISEGA est adaptée aux zones de moyenne altitude (1200-1800 m) et haute altitude (1800 m et +) avec un rendement optimal de 2 à 3 T/ha en station et 0,8 T/ha en milieu réel.

II.3.1.2. Haricot

Le matériel végétal test dans cette étude est la variété de haricot semi-volubile Mukungugu (Figure 2), qui a été choisie pour son cycle végétatif relativement court, d'une durée de 90 jours pendant la saison agricole B. Elle a été semée en Mars 2024. Cette variété a été introduite au Burundi en 2008 par l'ISABU.

Elle est particulièrement adaptée aux conditions locales et est cultivée dans des zones situées à des altitudes comprises entre 1400 et 2200 m, dans un certain nombre de régions naturelles, à savoir : Bugesera, Bweru, Buyogoma, Buragane, Buyenzi, Kirimiro, Mumirwa, Bututsi et Mugamba.

L'une des caractéristiques notables de cette variété est sa capacité à bien s'adapter aux sols pauvres. En outre, elle présente une bonne tolérance face à diverses maladies, qu'elles soient bactériennes ou virales, ainsi qu'aux attaques d'insectes ravageurs (ISABU, 2025)

Concernant son rendement, il atteint environ 1,5 T /ha à 1,8 T/ha dans des conditions contrôlées en station, et environ 0,8 T/ha dans des conditions réelles de culture (chez les agriculteurs), ce qui en fait une option viable pour les producteurs dans les zones précitées (ISABU, 2025).



Figure 2. Photo d'illustration de la variété Mukungugu

II.3.1.3. Sarrasin

Le matériel végétal du sarrasin que nous avons semé est la variété du sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum Moench*) originaire d'Asie. L'introduction de cette nouvelle culture est récente au Burundi via le projet "Tubungabunge Isi Ndimwa"(TIN) exécuté par l'ADISCO.

Les agriculteurs l'utilisent comme engrais vert pour améliorer la teneur en azote (fixer et restituer les éléments nutritifs du sol), étouffer les mauvaises herbes et attirer les abeilles

favorisant la pollinisation. Elle a une croissance rapide capable de produire (34-39T/ha de biomasse à enfouir) (Mazollier, 2023).

La densité de semis recommandée est de 60 à 80 kg/ha.



Figure 3. Illustration du sarrasin utilisé lors de l'expérimentation

(a) : semences de sarrasin semées ; (b) le sarrasin prêt à l'enfouissement ;
(c) Enfouissement du sarrasin avant le semis du haricot

II.3.2. Autres matériels

Parmi les autres matériels utilisés peuvent être cités : Mètre ruban, Corde, Guide d'entretien, Stylo, GPS marque Garmin, Carnet, Houe, Piquets, Machette, panier, corbeille, Balance numérique, Une tarière Riverside ; sans oublier les fertilisants organiques et organo-minéraux, ainsi que la dolomie pour la correction de l'acidité.

II.4. Méthodes

II.4.1. Expérimentation sur le maïs

II.4.1.1. Choix des traitements et du dispositif expérimental

Dans le contexte de cette recherche participative, les dispositifs expérimentaux en milieu réel ont été installés par et chez 16 agri-chercheurs accompagnés par ADISCO /TIN, en gardant les conditions de culture au plus proche des conditions habituelles de production.

Les parcelles étaient réparties à égalité entre les deux collines (Randa et Ruhinga) de la commune Kabarore. Du fait que les superficies parcellaires totales étaient variables d'agri-chercheur à agri-chercheur, une parcelle élémentaire centrale de 3 m × 3,2 m a été choisie et délimitée chez chaque agriculteur pour le suivi de l'expérimentation et la collecte des données.

II.4.1.2 Conduite de l'essai

II.4.1.2.1. Préparation du sol

La préparation du sol a impliqué un labour à plat effectué avec une houe, à une profondeur d'environ 20 cm, visant à écraser entièrement les mottes de terre et à éliminer toutes les mauvaises herbes.

II.4.1.2.2. Semis

Le semis a été réalisé manuellement, en plaçant deux grains par poquet, avec un espacement de 80 cm entre les lignes et de 50 cm entre les poquets tel que recommandé par ISABU dans la fiche technique de la culture du maïs au Burundi. Tel qu'observé lors de l'enquête socio-économique auprès des agriculteurs, Ces espacements, peuvent toutefois varier d'un exploitant à un autre.

II.4.1.2.3. Entretien

L'entretien des essais a principalement consisté en trois interventions de sarclage (sarclage, binage et buttage), ainsi qu'en l'application de fumures organique et minérale. Le premier sarclage a eu lieu deux semaines après le semis. Les fertilisants organiques (fumier de ferme) et minéraux (FOMI-Imbura) ont été appliqués le jour du semis. Selon les informations collectées lors de l'enquête socio-économique menée avec ces agri-chercheurs, un seul traitement a été appliqué, comprenant FOMI-Imbura (2 bouchons de bouteille de bière par poquet, comme recommandé par l'ISABU), ainsi que deux poignées de fumier de ferme par poquet. La fertilisation recommandée par l'ISABU consiste en 15 à 20 T/ha de fumier de ferme ou organique (soit 2 poignées de main environ, 400 g par poquet) et une fertilisation minérale avec une formule NPK 40-60-30. Cette formule correspond à un mélange de 37 kg d'urée, 130 kg de DAP (18-46-0) et 50 kg de KCl (0-0-60) par hectare (Nyabyenda, 2005).

II.4.1.2.4. Collecte des données

Dans chacun des seize champs de maïs, un carré de rendement de 3 m x 3,2 m a été délimité pour les mesures des paramètres de croissance et de rendement du maïs. Dans chaque carré de rendement, trois lignes comportant 5 poquets chacune ont été choisies au hasard et, le poquet central a été choisi pour l'échantillonnage (Figure 4).

La récolte a eu lieu à la maturité physiologique des épis, l'apparition d'une tache noirâtre est visible à l'endroit où le grain se fixe à l'épi, avec une teneur en eau de 20 à 30%.

A ce stade, le grain est dur et ne peut plus être perforé avec un ongle, conformément aux recommandations de l'ISABU.

Pendant la récolte, les plants destinés à être échantillonnés pour la collecte des données sont sélectionnés de la manière suivante :

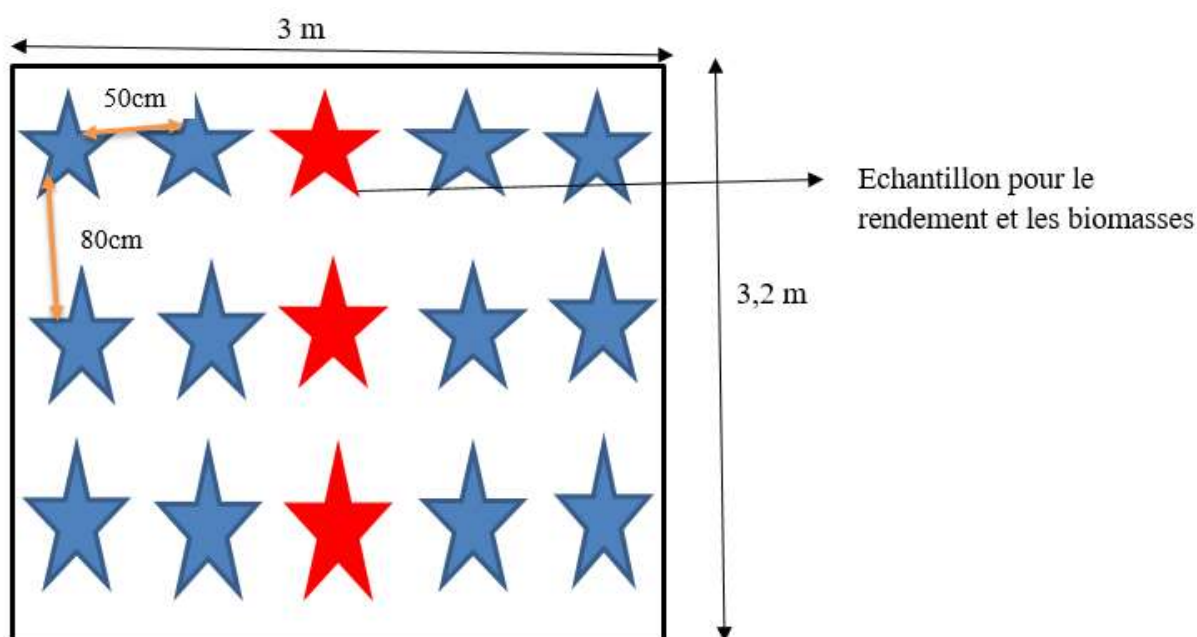


Figure 4. Parcelle élémentaire et illustration de la technique d'échantillonnage

Après la récolte, les plants échantillonnés ont été transportés à Bujumbura, dans la serre de la FABI, pour un mois pour un séchage complet. A la fin de cette période, plusieurs paramètres ont été mesurés : la biomasse totale, la biomasse aérienne, la biomasse racinaire, le rendement en grains et le ratio racine/tige (R/S). Le rendement en tonnes par hectare a été estimé en pesant les grains des six plants échantillonnés, puis en extrapolant les résultats obtenus au nombre de plants par hectare.

II.4.2. Expérimentation sur le haricot

II.4.2.1. Choix des agriculteurs

Les quatre agri-chercheurs choisis pour l'essai sarrasin ont été sélectionnés parmi les bénéficiaires du projet ADISCO/TIN, en tenant compte de la disponibilité de leurs parcelles, chacune ayant une superficie de 36 m².

II.4.2.2. Dispositif expérimental

L'étude sur le haricot a suivi un dispositif expérimental en blocs dispersés à 4 répétitions (4 blocs), chaque champ d'un agri-chercheur constituant un bloc expérimental. Au niveau de chaque bloc expérimental (chez un agri-chercheur), trois parcelles correspondant à trois traitements étaient installées. Ces traitements sont le témoin intégral chaulé (T0), application du fumier de ferme et de FOMI imbura sur le sol chaulé (T1), et enfouissement du sarrasin sur sol préalablement chaulé (T2).

Chaque placette avait une superficie de 12 m², correspondant à des dimensions de 4 m de longueur sur 3 m de la largeur.



Figure 5. Dispositif expérimental de l'essai sarrasin

T0 : Témoin intégral (sol chaulé seulement)

T1 : Sol chaulé + Engrais FOMI-IMBURA+ Fumier de ferme

T2 : Sol chaulé +sarrasin

II.4.2.3. Conduite de l'essai

Le terrain d'expérimentation a été sélectionné parmi les agri-chercheurs collaborateurs du projet ADISCO/TIN. La préparation du sol s'est limitée à un labour effectué à l'aide d'une houe, suivi de l'application de dolomie. La délimitation du terrain a été réalisée le 15 janvier 2024 à l'aide d'un décamètre et de piquets.

La dolomie a été appliquée par épandage à raison de 0,5 T/ha comme recommandée par l'ISABU. Deux semaines après l'application de la chaux sur tout le dispositif expérimental, le semis du sarrasin (engrais vert) a été effectué à la volée sur un tiers du dispositif expérimental.

II.4.2.4. Pratiques culturales des essais en champ

II.4.2.4.1. Préparation du sol

Le labour a été réalisé à l'aide d'une houe pour aérer le sol, favoriser un bon enracinement des plantes et améliorer la circulation de l'eau et de l'air. De plus, les parcelles ont été délimitées afin de distinguer clairement les différents traitements.



Figure 6. Photos d'illustration de la préparation et délimitation du terrain avant le semis du haricot à Ruhinga

II.4.2.4.2. Semis

Le semis du haricot a précédé l'enfouissement du sarrasin, après un mois et demi de croissance. Le semis du haricot a été effectué aussitôt après l'enfouissement du sarrasin, à un écartement de 40 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets et à raison de 2 graines par poquet (Ruraduma et al., 2012). Le semis a été effectué le 16 mars 2024, immédiatement après l'enfouissement du

sarrasin. Le fumier a été incorporé comme fumure de fond à une dose de 10 T/ha, tandis que FOMI-Imbura a été appliqué à une dose de 150 kg par hectare au semis du haricot.



Figure 7. Illustrations de l'enfouissement du sarrasin et mise en poquet du haricot à Randa

II.4.2.4.3. Soins culturaux

L'entretien a commencé par un premier sarclage suivi d'un buttage, réalisé environ 15 à 20 jours après le semis. Par la suite, des désherbages réguliers ont été effectués pour assurer une propreté continue des parcelles expérimentales et de leurs environs.

II.4.2.4.4. Collecte des données

La collecte des données a été réalisée à la mi- Juin et se faisait manuellement en une seule fois, avec une grande précaution pour éviter de mélanger les productions des différents traitements. Après la récolte, trois plants échantillonnés par traitement ont été sélectionnés pour déterminer le nombre de gousses par plant, ainsi que le nombre de graines par gousse. Le rendement en graines, exprimé en kilogrammes par hectare, a été estimé à partir du poids des graines séchées récoltées dans une parcelle de 12 m² pour chaque traitement, puis les résultats obtenus ont été extrapolés à l'hectare.

Lors de la collecte des données, les paramètres mesurés étaient : nombre de gousses par plant, nombre de graines par gousse, poids de 1000 graines, rendement par parcelle, biomasse totale sèche, biomasse aérienne sèche, biomasse racinaire sèche. Les paramètres calculés étaient : rapport racines sur parties aériennes (RS) et indice de récolte (HI). Le nombre de gousses produites par plant a été évalué sur chacun des trois plants sélectionnés lors de l'échantillonnage.

Le nombre de graines par gousse produite par chaque plant a été enregistré le même jour que le comptage des gousses par plant.

Pour déterminer le poids de 1000 graines (en grammes), nous avons d'abord compté puis pesé les graines récoltées lors de la récolte. La masse totale des graines a ensuite été extrapolée à 1000 graines à l'aide d'une règle de trois simples.

Pour déterminer le rendement par parcelle, nous avons pesé le poids des graines en gramme provenant sur toute la parcelle (12 m²) pour chaque traitement. La masse totale des graines a ensuite été extrapolée à l'hectare en kg à l'aide d'une règle de trois simples. Le Root-Shoot (R/S) est le rapport entre la biomasse racinaire sur la biomasse aérienne. L'indice de récolte est défini comme le rapport entre le rendement en graines et le rendement biologique, le rendement biologique désignant la matière sèche aérienne produite par la plante, y compris les gousses décortiquées (Donald, 1962).

Pour déterminer la biomasse totale sèche, nous avons pesé ensemble le poids (en gramme) des plants provenant dans la parcelle de 12 m² pour chaque traitement puis, nous avons fait l'extrapolation en kg par hectare à l'aide d'une règle de trois simples. La biomasse aérienne a été déterminée par la différence entre la biomasse totale sèche et la biomasse racinaire sèche en gramme des plants récolté dans la parcelle de 12 m² pour chaque traitement suivi par l'extrapolation en kg par hectare à l'aide d'une règle de trois simples.

II.4.3 Analyses des données

Dans le cadre de notre étude, les données collectées lors de l'enquête socio-économique ont été enregistrées et organisées dans un fichier Excel 2013, ce qui nous a permis de constituer une base de données. Par la suite, ces données ont été importées dans le logiciel SPSS 25 pour leur analyse. Une analyse descriptive a été effectuée afin de présenter les caractéristiques des enquêtés et de la zone d'étude. Les effectifs ainsi que les fréquences y relatives ont été obtenus pour les variables qualitatives. Les statistiques descriptives dont le minimum, le maximum, moyenne et l'écart type ont été réalisées pour les variables quantitatives. Le test ANOVA à un seul facteur (ANOVA1) a été réalisé pour l'essai sarrasin pour le facteur fertilisation et a permis de déterminer les niveaux de signification des différences entre les traitements testés que ce soit pour le haricot ou le maïs sur les différents paramètres agronomiques et aussi pour l'analyse physico-chimique du sol qui ne comprenait que la mesure du pH_{eau}. Celle-ci a suivi la méthode standard suivie par le laboratoire LASPA de l'ISABU.

Une analyse économique a été étudiée via l'établissement des corrélations entre les coûts de production et la valeur monétaire du rendement en se basant sur les bénéfices monétaires engendrés (rapport V/C) au regard des normes de la FAO. Par ces normes, tout investissement est considéré rentable/profitable, lorsque son rapport (V) sur le coût (C), $V/C > 2$ (Young, 1989). Pour effectuer cette analyse, toutes les opérations qui découlant de la production du maïs et l'application des traitements sont relevées. Les principales dépenses prises en compte sont : coûts de la main d'œuvre, coûts des intrants (fumure organique, engrais chimique, semences, produits phytosanitaires ainsi que d'autres coûts nécessaires à la production du maïs. La valeur (V) de la production est obtenue en multipliant le rendement (kg) obtenu par le prix pratiqué pendant la période agricole.

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Analyse de pH des sols sous expérimentation avec le maïs

Les échantillons de sol ont été prélevés dans les parcelles d'expérimentation de maïs et les résultats d'analyses du pH sur les deux collines enquêtées sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous. Les valeurs de pH variaient entre un minimum de 3,88 à 6,17.

Tableau 3: Variation de pH eau entre les différentes parcelles expérimentales (essai maïs)

Collines	Noms des agriculteurs	pH eau
Randa	1. NTAGISIGIMANA Fabien	3,88
	2. NZEYIMANA Sébastien	5,08
	3. NDAYIZIGA Ezéchiel	4,05
	4. MUKESHIMANA Jeannette	4,96
	5. MBARUBUKEYE Espérance	4,91
	6. NZEYIMANA Goreth	4,4
	7. CONGERA Gaspard	4,94
	8. MIBURO soter	4,62
Ruhinga	9. MINANI Judith	4,17
	10. MANIRAKIZA Emmanuel	5,43
	11. MUDEYIDEYI Nicodème	6,17
	12. HABOGORIMANA Jacqueline	5,29
	13. HITIMANA Félix	4,08
	14. MBONIMPA Athanase	4,7
	15. NIYORUGIRA Therence	5,33
	16. NTAMPARI Etienne	5,27

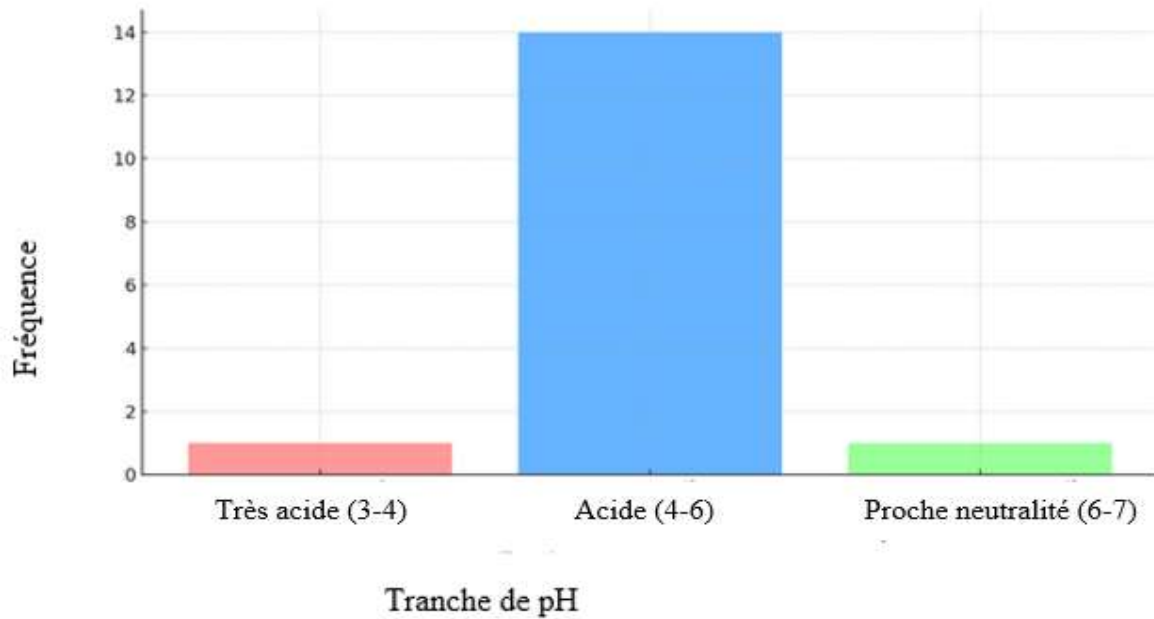


Figure 8. Représentation des exploitations des collines Randa et Ruhinga selon le pH du sol
Classification de l'acidité des sols selon (Anjos et al., 2015):

- Sol très acide (3–4) : 1 échantillon
- Sol Acide (4–6) : 14 échantillons
- Sol Proche de la neutralité (6–7) : 1 échantillon

L'analyse montre que près de 88 % des échantillons se situent dans la tranche acide (4–6), ce qui traduit une acidité généralisée des sols dans les collines de Randa et Ruhinga. Cette acidité pourrait résulter de la nature géologique du sol, ou encore de l'influence des pratiques agricoles (engrais azotés acidifiants).

Seules deux mesures s'écartent légèrement : une très acide et une autre presque neutre, ce qui confirme que le milieu reste globalement acide et chimiquement contraignant pour certaines cultures sensibles.

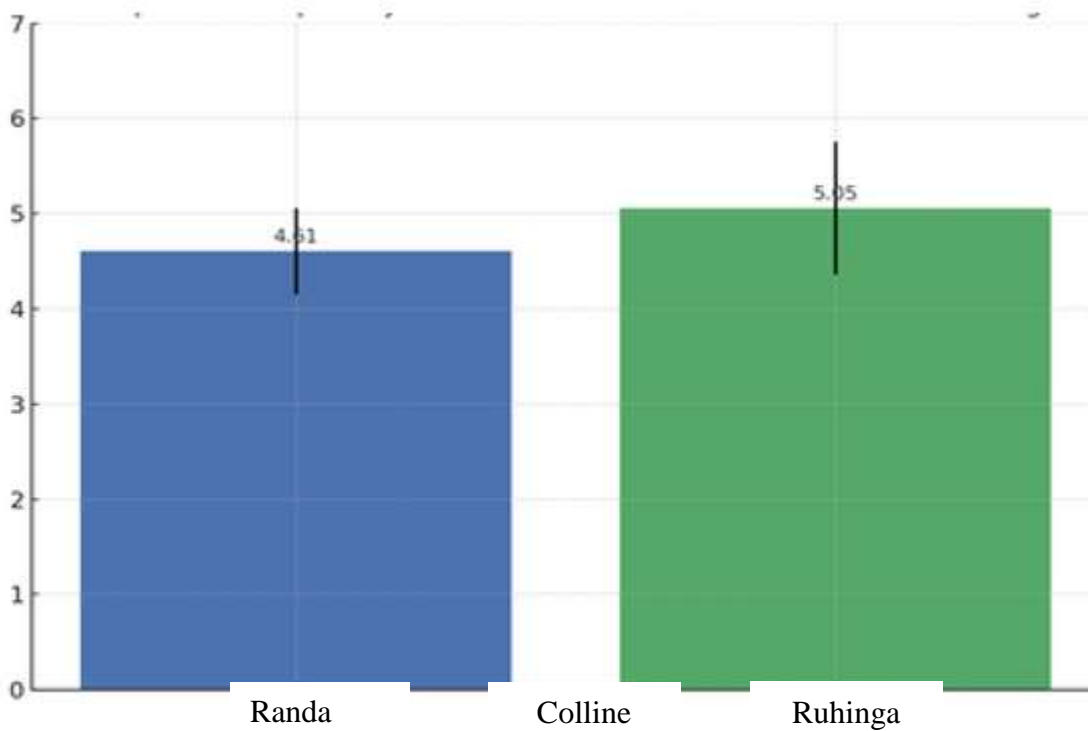


Figure 9. Comparaison graphique des valeurs moyennes des pH des sols des collines Randa et Ruhinga

- L'histogramme montre que la colline de Ruhinga possède un pH moyen légèrement plus élevé que celle de Randa, indiquant des sols moins acide.

-Les barres d'erreur (écarts-types) traduisent une variabilité plus grande du pH à Ruhinga qu'à Randa, probablement due à des différences locales (nature du sol, pratiques agricoles)

Le pH joue un rôle déterminant dans la disponibilité des éléments nutritifs ainsi que dans l'activité microbienne, deux éléments essentiels à la croissance et au rendement des plantes. Ainsi, l'analyse du pH permet de détecter d'éventuelles conditions défavorables à la production, et, le cas échéant, de recommander des interventions correctives appropriées afin d'optimiser la performance agronomique de la culture.

Les résultats de l'analyse de variance (Tableau 4) appliquée au paramètre du pH du sol, considéré comme un facteur clé dans l'évaluation de la fertilité des sols destinés à la culture du maïs sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous. Les moyennes qui sont suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ($p > 0.05$).

Tableau 4: Variation du pH des sols dans les exploitations des collines Randa et Ruhinga

Collines	Moyennes et écart-type	Minimum	Maximm	C.V (%)
Randa	4,60 ± 0,45a	3,88	5,08	9,78
Ruhinga	5,10 ± 0,70a	4,08	6,17	13,73
Combinées	4,85±0,59	3,88	6,17	12, 17
Probabilité	0,149 NS			

L'analyse de la variance ne montre pas de différence statistique entre les pH moyens des échantillons moyens de sols de Randa et Ruhinga. Sur la colline de Randa, le pH moyen est de 4,60, avec des valeurs extrêmes allant de 3,88 pH de 5,08 avec un coefficient de variation (CV) de moins de 10 %. Cette valeur relève d'une faible variabilité des valeurs de pH généralement observée dans les sols de mêmes sites non perturbés (Kibiriti et al, 1986).

La figure suivante représente la cartographie d'acidité des différents sols des régions du Burundi

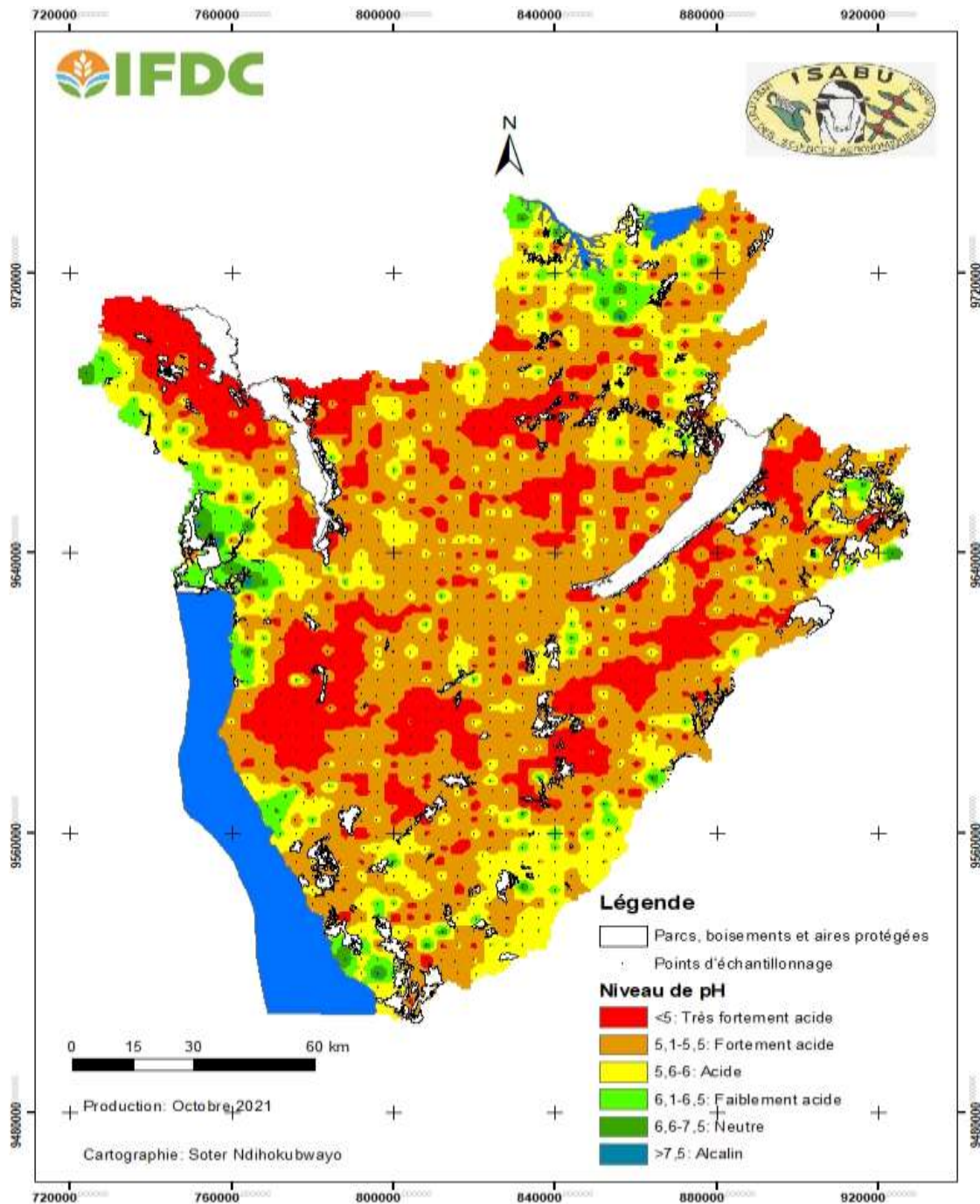


Figure 10. Cartographie de l'acidité des sols du Burundi. Source : (ISABU/IFDC-PAGRIS, 2021)

Pour la colline de Ruhinga, le pH moyen est légèrement plus élevé, s'établissant à 5,10. Les valeurs extrêmes varient entre 4,08 et de 6,17 avec un coefficient de variation de 14 %. Il traduit une plus grande dispersion des données, révélant une variabilité accrue des caractéristiques chimiques des sols de Ruhinga par rapport au site de Randa. Le pH moyen enregistré à Ruhinga est supérieure de 11 % à celui de Randa. Cette valeur observée pourrait avoir certainement des implications agronomiques notamment en matière de disponibilité des éléments nutritifs et d'absorption par les cultures. De manière globale, les sols des deux collines sont essentiellement acides (Figure 10) tel que illustré par la récente carte d'acidité produite par l'ISABU avec l'appui du projet PAGRIS de l'IFDC (ISABU/IFDC-PAGRIS, 2021)

III. 2. Caractéristiques sociodémographiques et agroenvironnementales des agri-chercheurs

III. 2.1. Caractéristiques sociodémographiques des agri-chercheurs

Le tableau 5 ci-dessous présente une synthèse des caractéristiques sociodémographiques, agronomiques et environnementales des agri-chercheurs enquêtés dans les collines de Randa et Ruhinga. Il met en évidence des données quantitatives relatives au genre, à l'âge, au niveau d'instruction, à la taille des ménages.

Tableau 5:Caractéristiques sociodémographiques des agri-chercheurs

Indicateur		Collines			
		Randa		Ruhinga	
		Effectif	%	Effectif	%
Genre	Masculin	5	62,5	6	75
	Féminin	3	37,5	2	25
Age	Max	70		65	
	Min	34		34	
	Moyenne	52		49,5	
	Ecart-type	7		8	
Statut matrimonial	Mariée	8	100	7	87,5
	Veuve	0	0	1	12,5
Niveau d'instruction	Primaire	8	100	1	12,5
	Sans formation	0	0	1	12,5
	Yagamukama	0	0	6	75
Taille du ménage	Max	9		9	
	Min	3		4	
	Moyenne	6		7	
	Ecart-type	2		2	

Le tableau 5 montre que la majorité des agri-chercheurs enquêtés dans les deux collines sont de sexe masculin (69% sont des hommes contre 31% de femmes). L'âge des enquêtés varie entre 34 et 70 ans, cela traduit une population adulte expérimentée, en âge actif et bien insérée dans les dynamiques agricoles locales. Tous les enquêtés ont suivi l'école primaire, à défaut ils ont été formés dans le cadre de l'initiative communautaire « Yagamukama ».

Le niveau d'instruction est hétérogène, avec une forte proportion de formation par apprentissage communautaire (75%) sur la colline Ruhinga, alors tous les exploitants enquêtés sur la colline Randa ont fréquenté l'école primaire. Cette différence de formation présente une meilleure réception des technologies de développement à Randa plutôt qu'à Ruhinga.

Les tailles des ménages enquêtés varient entre 3 et 9 personnes soit une moyenne de 7. Ces données indiquent des ménages de grande taille, ce qui est courant dans les zones rurales du Burundi. Cela a conduit à une implication diversifiée des partenaires agricoles, avec une prépondérance de TIN/ADISCO dans les deux zones afin d'améliorer la rentabilité des cultures selon les besoins familiaux en alimentation.

III. 2. 2. Caractéristiques agroenvironnementales des agri-chercheurs

Le tableau 6 ci-dessous renseigne sur les pratiques de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), ce qui permet de cerner le profil global des exploitants locaux engagés dans des pratiques agro-écologiques durables et à la productivité agricole.

Tableau 6: Caractéristiques agronomiques et environnementales des agri-chercheurs

Indicateur		Collines			
		Randa		Ruhinga	
		Effectif	%	Effectif	%
Partenaires agricoles	TIN/ADISCO	6	75	4	50
	TUBURA	2	25	3	37,5
	SANGWE	0	0	1	12,5
Sources des matières à composter	Déchets ménagers	4	50	4	50
	Fumier du bétail	5	62,5	8	100
	Herbes	7	87,5	8	100
	Tiges de maïs	5	62,5	4	50
	Tiges de bananiers	5	62,5	8	100
	Tithonia diversifolia	0	0	1	12,5
Niveau de remplissage des compostières	Plein	0	0	2	25
	Moitié	2	25	3	37,5
	Presque vide	1	12,5	3	37,5
	Remplie	5	62,5	0	0
Pratiques de la GIFS	Lutte antiérosive	8	100	8	100
	Apport fumure organique	8	100	8	100
	Fertilisants minéraux	8	100	8	100
	Rotation des cultures	4	50	7	87,5
	Jachère	0	0	0	0
	Paillage	0	0	1	12,5
	Cultures associées	7	87,5	3	37,5
	Agroforesterie	8	100	8	100
Pratiques antiérosives	Haies antiérosives	8	100	7	87,5
	Fossés antiérosifs	5	62,5	3	37,5
	Fosses antiérosives	0	0	2	25
	Billons	4	50	4	50

Les agri-chercheurs enquêtés sur les deux collines ont des compostières avec différents matériaux à composter dont les plus remarquables sont les déchets ménagers, le fumier de bétail, les tiges de bananiers, les tiges de maïs et les herbes. Le niveau de remplissage des compostières révèle que les agri-chercheurs connaissent l'avantage des composts.

Ils pratiquent largement la lutte antiérosive avec des haies antiérosive, l'agroforesterie et les fossés antiérosifs. L'apport de fumure organique est pratiqué par tous les agri-chercheurs indistinctement des collines. Les fertilisants minéraux sont relativement utilisés : 100 % à Randa et 100 % à Ruhinga. La pratique de la jachère a disparu sur les deux collines, alors que la rotation des cultures à Randa est de 50% tandis que pour Ruhinga est de 87,5% ; les cultures associées à Randa (87,5 %) et pour Ruhinga (37,5%).

III.3. Rentabilité agronomique de maïs

L'évaluation de la rentabilité agronomique de la culture du maïs repose sur l'analyse de plusieurs paramètres de performance, notamment le rendement moyen, la hauteur moyenne des plants, la biomasse totale, la biomasse aérienne et la biomasse racinaire et le rapport racines sur parties aériennes (R/S).

III.3.1. Rendement du maïs

Le tableau7 présenté ci-après montre les résultats de l'analyse de la variance (ANOVA) appliquée aux données de rendement moyen du maïs, collectées dans la zone d'étude. Cette analyse compare spécifiquement les performances agronomiques observées sur les collines de Randa et Ruhinga.

Tableau 7:Variation du rendement du maïs dans les champs de Randa et Ruhinga

Colline	Rendement (T/ha)			
	Moyenne et écart-type	Min	Max	C.V (%)
Randa	3,21 ± 0,70a	2,13	4,15	22
Ruhinga	4,15 ± 1,16a	1,54	5,44	28
Probabilité	0,068 NS			

Les valeurs suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
NS : Non significatif ($p > 0,05$)

L'analyse de la variance appliquée aux rendements moyens du maïs révèle une probabilité de 0,068 supérieure à 0,05. Elle indique une différence non significative entre les rendements des collines Randa et Ruhinga.

Bien qu'il n'y ait pas une différence statistique stricte, le tableau révèle une différence notable entre les deux collines étudiées en termes de rendement de maïs.

A Randa, le rendement moyen observé est de $3,21 \pm 0,70$ T/ha avec des valeurs extrêmes de 2,13 T/ha (minimum) et 4,15 T/ha (maximum). A Ruhinga, les valeurs correspondantes sont de $4,15 \pm 1,16$ T/ha et 1,54 T/ha (minimum) et 5,44 T/ha (maximum).

Dans les deux cas, les coefficients de variation sont de 22 % à Randa et de 28 % à Ruhinga, révélant une hétérogénéité moyenne des données de rendements en maïs. Le rendement moyen à Ruhinga est supérieur de près de 29,3 % à celui de Randa. Cette différence de rendement observée pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs agro-environnementaux, tels que la fertilité des sols, la qualité des semences, les pratiques culturales. Selon Niyonzima (2018), la colline de Ruhinga est située sur un versant mieux drainé avec des sols plus riches en matières organiques, ce qui favorise un développement végétatif optimal et une meilleure productivité du maïs. Une pauvreté des sols en P, une pratique limitée de l'amendement organique comme le soulignent FAO (2016) dans l'étude sur les facteurs limitant la productivité du maïs dans les collines de l'Afrique de l'Est. Aussi, les résultats trouvés lors de cette étude sont cohérents avec les observations de (Kaboneka, Kwizera, et al., 2021; Tshiabukole, 2018) qui indiquent que dans les zones à topographie accidentée dans les zones de hautes altitudes, les différences de rendement du maïs peuvent être marquées par des facteurs pédoclimatiques locaux, mais aussi par l'accès aux intrants agricoles.

III.3.2. Evaluation des paramètres Hauteur, BT, BR, BA et R/S

Le tableau 8 ci-dessous récapitule l'analyse de la variance effectuée sur la hauteur (H) ; biomasse totale (BT) ; biomasse racinaire (BR) ; Biomasse aérienne (BA) et Root-Shoot ratio (R/S) de maïs.

Tableau 8: Résultats de l'ANOVA sur la hauteur, la biomasse totale, la biomasse racinaire, la biomasse aérienne et le rapport R/S

Paramètres	Colline				
		Randa	Ruhinga	Probabilité	CV (%)
Hauteur (m)	Moyenne	2,38 ±0,34	2,76 ±0,46	0,082 NS	17
	Minimum	1,78	2,12		
	Maximum	2,96	3,51		
	CV (%)	14,2	17		
BT (T/ha)	Moyenne	8,39 ±2,32	11,20 ± 3,6	0,088 NS	34
	Minimum	4,5	8,55		
	Maximum	11,7	19,2		
	CV (%)	28	33		
BR (T/ha)	Moyenne	0,68±0,4a	1,03±0,76a	0,268 NS	73
	Minimum	0,3	0,46		
	Maximum	1,61	2,79		
	CV (%)	60,2	74		
BA (T/ha)	Moyenne	7,70±2,07a	10,17±2,92a	0,072 NS	31
	Minimum	4,2	7,9		
	Maximum	10	16,4		
	CV (%)	27	29		
R/S	Moyenne	0,08±0,03a	0,1±0,03a	0,729 NS	37
	Minimum	0,05	0,06		
	Maximum	0,16	0,17		
	CV (%)	37,5	30		

Les valeurs suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.
NS : Non significatif ($p > 0,05$)

L'analyse des paramètres agronomiques du maïs révèle une tendance à de meilleures performances sur la colline de Ruhinga par rapport à Randa, en conformité avec les observations relevées sur le rendement en grains de maïs (Tableau 7). En effet, la hauteur moyenne des plants ($2,76 \pm 0,34$) m contre $2,38 \pm 0,34$ m, avec des p-values de 0,0821 et 0,088 respectivement indiquent des différences non significatives.

Les hauteurs extrêmes vont de 1,78 m à Randa à 2,96 m. Le faible coefficient de variation observé dans cette colline indique une certaine homogénéité des hauteurs du maïs autour de la moyenne dans ce site. Pour Ruhinga, les valeurs extrêmes de hauteurs varient de 2,12 à 3,51 m. Le coefficient de variation plus élevé à Ruhinga signifie une plus grande hétérogénéité des hauteurs.

La biomasse totale respectivement à Randa ($8,39 \pm 2,32$ T/ha) et à Ruhinga ($11,20 \pm 3,6$ T/ha) révèlent des différences non significatives entre les deux collines ($p > 0,05$). La biomasse racinaire est également plus élevée à Ruhinga ($1,03 \pm 0,76$ contre $0,68 \pm 0,4$ T/ha à Randa), bien que la différence ne soit pas statistiquement significative ($p = 0,268$). Ces résultats sont conformes à ceux de Poorter et al., (2012) et de (Kwizera et al., 2020), qui ont observé que la fertilisation organo-minérale accroît significativement la hauteur et la vigueur du maïs au Burundi. La forte variabilité des données à Ruhinga, notamment pour la biomasse racinaire (C.V = 74 %), est comparable aux observations (Pelletier, 2024), qui notait une grande dispersion des performances dans les systèmes collinaire intensifs. Ces résultats confirment que les conditions édaphiques et les pratiques culturales influencent significativement la croissance du maïs, comme le rapportent également (Téné, 2011) et FAO (2016).

L'analyse de la variance sur la biomasse aérienne (BA) et le rapport racine/tige (R/S) du maïs montre une tendance à la supériorité de Ruhinga sur Randa. En effet, la Biomasse aérienne moyenne est plus élevée à Ruhinga ($10,17 \pm 2,92$ T/ha) qu'à Randa ($7,70 \pm 2,07$ T/ha), mais sans différence statistique détectable au seuil de 5 %. Cette supériorité quantitative est probablement liée à de meilleures conditions édapho-climatiques et à une gestion plus efficace des intrants. Des études conduites par Lynch, (2007) ont montré que l'intégration des résidus organiques et d'engrais minéraux augmente significativement la biomasse du maïs dans les agroécosystèmes d'Afrique subsaharienne.

Concernant le rapport racine/tige (R/S), aucune différence significative n'est observée ($p = 0,729$), ce qui suggère une allocation biomasse similaire entre la partie souterraine et la partie aérienne des plants dans les deux collines. Ce résultat corrobore les travaux de Poorter et al., (2012), qui soulignent que le R/S est davantage influencé par les contraintes hydriques que par la fertilité seule.

La biomasse aérienne moyenne est plus importante à Ruhinga, les résultats de cette analyse de la variance n'indiquent pas de différence statistiquement significative entre Randa et Ruhinga au seuil de 5 % ($p = 0,072$). Cette p-value relativement proche du seuil critique pourrait traduire une tendance vers une différence potentielle, possiblement liée à des conditions agro-écologiques ou des pratiques culturales plus favorables à Ruhinga.

L'étude du rapport racine/tige (R/S) a révélé des valeurs moyennes de 0,08 à Randa et de 0,10 à Ruhinga. Cette légère différence montre que les conditions de culture à Ruhinga pourraient favoriser un développement racinaire proportionnellement plus élevé, ce qui pourrait également être influencé par divers facteurs tels que le stress subi par la plante, la variété cultivée, la fertilité du sol (notamment son pH) ainsi que les intrants appliqués.

III. 3.3. La Rentabilité économique de la culture du maïs

L'analyse de la rentabilité de la culture du maïs est basée sur les bénéfices engendrés et la performance économique (V/C). Selon Young (1989), tout investissement est considéré rentable/profitable, lorsque son rapport (V) sur le coût (C), $V/C > 2$.

Le tableau 9 ci-dessous décrit les coûts engagés (par ha), les valeurs monétaires, les bénéfices monétaires et la performance économique dans la production du maïs, tels que collectés auprès des agri-chercheurs accompagnés par le Projet ADISCO/ TIN.

Tableau 9: Rentabilité économique (en FBU) de la production du maïs

Colline	Les exploitants	Rdt (T/ ha)	CT en FBU	V.Maïs en FBU	Bénéfice	V/C
Randa	1. NZEYIMANA Sébastien	3,53	2 933 333.3	6 001 000	3 067 667	2
	2. MIBURO Soter	3.98	2 132 231	6 766 000	4 633 769	3,2
	3. MBARUBUKEYE Espérance	3.10	2 424 675	5 270 000	2 845 325	2,2
	4. MUKESHIMANA Jeannette	3.28	2 424 4 56	5 576 000	3 151 543	2,3
	5. NDAYIZIGA Ezéchiel	3.09	2 443 697	5 253 000	2 809 303	2,1
	6. NTAGISIGIMANA Fabien	2.13	3 043 478	3 621 000	577 522	1,2
	7 CONGERA Gaspard	4.15	3 256 400	7 055 000	3 798 600	2,2
	8. NZEYIMANA Goreth	2.38	3 780 000	4 046 000	266 000	1,1
Ruhinga	9 HITIMANA Félix	4.93	1 702 222	8 381 000	6 678 778	4,9
	10. MBONIMPA Athanase	1.54	660 416.67	2 618 000	1 957 583	4
	11. HABOGORIMANA Jacqueline	4.18	2 605 500	7 106 000	4 500 500	2,7
	12.. MANIRAKIZA Emmanuel	4.52	1 382 010.6	7 684 000	6 301 989	5,6
	13. NTAMPARI Etienne	4.18	2 006 667	7 106 000	5 099 333	3,5
	14. MINANI Judith	3.95	3 277 778	6 715 000	3 437 222	2,0
	15. MUDEYIDEYI Nicodème	5.44	2 599 441	9 248 000	6 648 559	3,6
	16. NIYORUGIRA Therence	4.46	1 633 333	5 948 667	4 315 334	3,6

Rdt : rendement ; CT : Coût Total ; V/C : Valeur sur Coût de production

Les résultats de l'analyse de la rentabilité économique du maïs sur les collines de Randa et Ruhinga montrent des différences notables tant au niveau des rendements que des bénéfices nets et des ratios de rentabilité (V/C). Les exploitations de Ruhinga sont caractérisées par un rapport V/C moyen de 3,74, alors que celles de Randa atteignent seulement 2,03, traduisant une rentabilité économique plus faible sur cette dernière colline.

La nette différence observée est liée à plusieurs facteurs, dont l'efficacité des pratiques culturales, l'accès aux intrants de qualité, la formation des producteurs, une gestion optimisée des coûts de production et la fertilité naturelle des sols.

Cette observation est à en accord avec les caractéristiques socio-économiques et agronomiques différentielles entre les deux collines, tel que discuté dans les paragraphes précédents. Certains exploitants de Ruhinga atteignent des bénéfices nets très élevés, avec des rendements supérieurs à 4 T/ha.

Ces exploitants tirent profit non seulement de leur efficacité technique, mais aussi d'une meilleure organisation de la production comme le soulignent Tiftonell et Giller, (2013), pour qui la rentabilité en milieu paysan dépend à la fois des facteurs biophysiques et socio-économiques.

Contrairement à Randa, deux des exploitations de cette localité sont caractérisées par des valeurs V/C proches de 1, ce qui traduit une rentabilité marginale ou déficitaire. Ceci est confirmé par la théorie de Kayuki et al. (2016) qui montre les producteurs moins performants ont un rapport V/C <1,5 dans des exploitations marginalisées sans accès aux semences améliorées ni fertilisants. Ces exploitations sont exposées à des pertes nettes ou à une rentabilité très limitée. Cette situation peut résulter de coûts de production trop élevés par rapport à la valeur du maïs produit, souvent causés par une dépendance aux intrants coûteux ou à une faible productivité, comme observé et rapporté par Mulinge et al. (2016) dans les zones rurales africaines. Une étude comparative conduite par les chercheurs de l'université du Burundi, a démontré que la mise en œuvre de pratiques telles l'utilisation de compost enrichi, le paillage, et la rotation culturale peut accroître les marges économiques de plus de 40 % tout en réduisant les coûts d'intrants (Hari et al., 2020)

L'analyse du tableau 9 nous montre que les valeurs de la performance économique sur ces deux collines sont totalement différentes à Randa, les valeurs extrêmes de la performance économique sont faibles par rapport à Ruhinga.

Les écarts observés corroborent les constats de (Ker et Malithano, 1996), qui ont montré que la rentabilité du maïs au Burundi varie fortement selon la zone agro-écologique, les pratiques utilisées et le niveau de la maîtrise de la technique culturale appliquée.

La figure 11 ci-dessous représente le groupement par tranche de la rentabilité (V/C) observée chez les exploitants

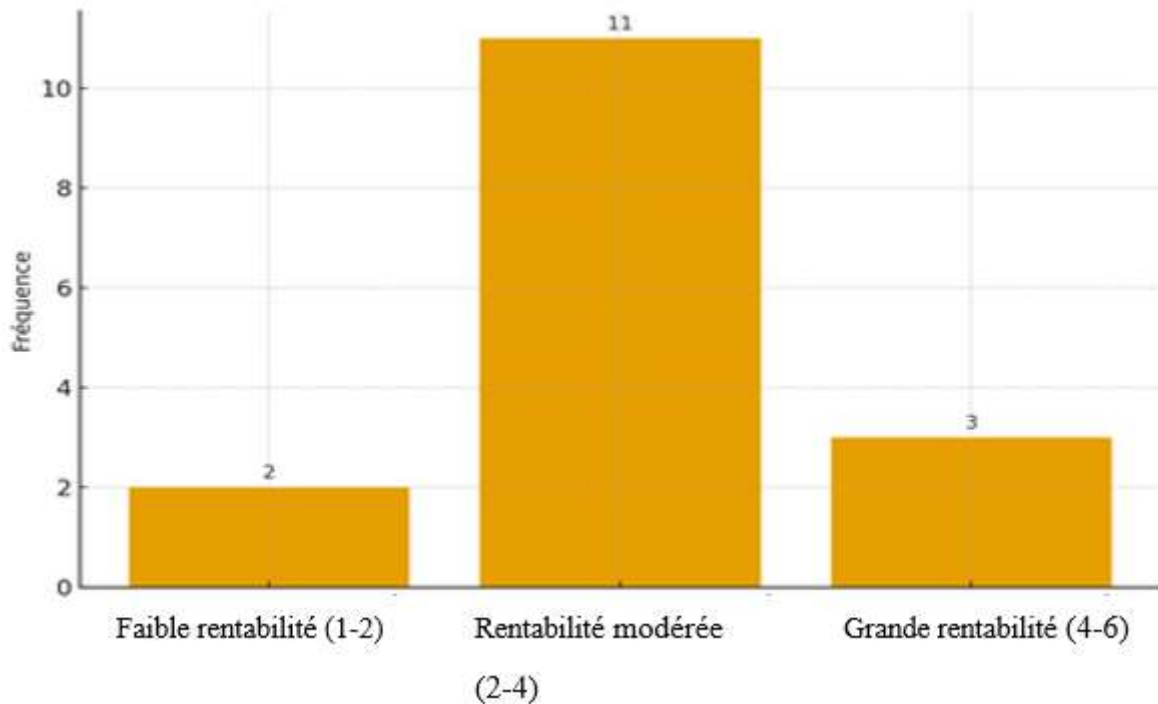


Figure 11. Représentation graphique de la rentabilité du maïs (V/C) par tranches

La majorité des exploitations (près de 69 %) se situent dans la tranche 2–4, correspondant à une rentabilité modérée.

Seuls 2 cas présentent une faible rentabilité ($V/C < 2$), indiquant une performance économique faible, probablement liée à des coûts élevés ou des rendements faibles. 3 exploitations affichent une grande rentabilité ($V/C > 4$).

La variabilité des bénéfices entre exploitants met également en évidence l'existence d'inégalités d'accès aux facteurs de production, à l'information technique, au crédit agricole, et aux débouchés commerciaux, tel que prouvé par (Bizoza, 2022). Celui-ci insistait sur l'importance de l'intensification intégrée, combinant les fertilisants organiques et minéraux, pour accroître durablement la rentabilité dans les systèmes de culture à faibles intrants d'Afrique subsaharienne, comme le Burundi.

III.4. Evaluation des performances agronomiques du sarrasin sur la culture du haricot

III.4.1. Effets sur le nombre de gousses par plant, le nombre de graines par plant et le poids de mille graines

Le tableau 10 ci-dessous montre l'effet des traitements testés sur le nombre de gousses par plant (NGousse/par plant), le nombre de graine par gousse (NGraine /gousse) et le poids de mille graine (PMG) du haricot.

Tableau 10: Variation du nombre de gousses par plant, du nombre de graines par plant et du poids de mille graines du haricot

Traitements	Nbre gousses/plant			Nbre graines/gousse			PMG		
	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moy.	Min	Max
T0 (Témoin intégral + chaux)	1,7±0,1 b	1,50	1,86	2,4±0,7a	1,7	3	247,5±5a	157,8	312,5
T1 (Fumier de ferme +Fomi-Imbura + Chaux)	2,4± 0,4 a	1,88	2,77	3,18±0,5a	2,5	3,7	292,8±3a	280	340,4
T2 (Sarrasin + chaux)	1,9± 0,3 ab	1,71	2,33	2.2±0,3a	1,9	2,6	248,8±2a	218,8	275,4
p-value	0,0192*			0,0665NS			0,17NS		
C.V. (%)	20,80			25,14			16		

Les valeurs suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

*Simplement significatif ($p < 0,05$)

NS : Non significatif ($p > 0,05$)

Les effets de trois traitements formulés de fumure ont été évalués sur une même variété de haricot pour le nombre de gousses par plant, le nombre de grains par gousse et le poids de mille grains (PMG). Les résultats trouvés montrent que la combinaison des amendements organiques et minéraux influence différemment ces paramètres, avec un effet significatif sur le développement reproductif ($p < 0,05$).

Le nombre de gousses par plant a varié de manière significative selon les traitements ($p = 0,0192$), ainsi le traitement T1 (fumier de ferme + FOMI-Imbura + chaux) a induit la meilleure performance ($2,4 \pm 0,4$ gousses/plant), suivi par T2 (sarrasin +chaux) ($1,9 \pm 0,3$ gousses/plant),

tandis que le témoin T0 n'a donné qu'une moyenne de $1,7 \pm 0,14$ gousses/plant de haricot. L'analyse du test de comparaison des moyennes indique que T1 est significativement supérieur à T0, tandis que T2 occupe une position intermédiaire sans différenciation statistiquement établie. Le coefficient de variation de 20,80 %, reflétant une variabilité modérée.

Ces résultats ressemblent à ceux trouvés par (Mazina et al., 2014; Razafintsalama, 2018) dans une étude menée au Burundi et à Madagascar qui a montré que l'ajout combiné de fumier et d'amendements minéraux augmente la ramification et la floraison du haricot de plus de 30 %.

Pour le nombre des graines par gousse, la différence entre traitements est à la limite de la signification ($p = 0,0665$). Cependant, une tendance à l'augmentation du nombre de grains par gousse est observée. C'est ainsi que le traitement T1 présente une moyenne plus élevée ($3,18 \pm 0,5$ graines/gousse), contre $2,4 \pm 0,7$ pour T0 (témoin intégral chaux) et $2,23 \pm 0,3$ pour T2 (sarrasin + chaux). Le coefficient de variation y associé est 25,14 %, assez modéré. La fertilité du sol par les intrants organo-minéraux favorise la formation et le développement des graines comme le montre (Nduwimana et al., 2020) dans l'influence des apports minéraux sur la croissance reproductive du haricot en sol acide du Nord Burundi

Le PMG (Poids de 1000 graines) n'a pas varié de façon significative entre les traitements ($p = 0,173$), mais la tendance générale révèle un avantage pour T1 ($292,8 \pm 3$ g), comparé à T0 ($247,5 \pm 5$ g) et T2 ($248,8 \pm 2$ g). Le PMG dépend fortement des conditions de remplissage des graines, influencées par la disponibilité en nutriments et l'activité photosynthétique en fin de cycle tel que (Hicintuka, 2020) l'ont affirmé dans leurs travaux portant sur les performances de l'engrais organo-minéral "FOMI-IMBURA" sur le rendement du haricot commun au Burundi

L'utilisation du sarrasin comme engrais vert dans le traitement T2 (sarrasin + chaux) a montré des effets positifs modérés sur les paramètres agronomiques du haricot, notamment une amélioration tendancielle du nombre de gousses par plant et du poids de mille grains T2 par rapport au témoin. Bien que les différences ne soient pas toutes statistiquement significatives, ces résultats rejoignent plusieurs travaux récents qui soulignent les bénéfices agro-écologiques du sarrasin dans les systèmes de culture.

Tchatchoua et Fotio, (2021) soulignent que l'intégration du sarrasin avec des légumineuses en rotation ou en association permet d'améliorer la productivité du sol et la rentabilité des systèmes vivriers, en particulier par l'augmentation de la biomasse, l'amélioration de l'efficacité de l'azote, et la diminution du besoin en engrais minéraux.

Les résultats de notre essai ont été contrariés par les conditions de mise en place de celui. La dolomie n'a été appliquée que quelques jours avant le semis pendant une période climatique peu favorable (déficit hydrique). Au grand mieux, l'essai devrait être répété pendant un minimum de deux saisons haricot.

III.4.2. Effets sur la biomasse racinaire, la biomasse aérienne, la biomasse totale et le rapport R/S

Le tableau 11 ci-dessous montre une analyse de variance (ANOVA) qui permet d'évaluer l'effet de trois traitements (T0 : témoin intégral +chaux ; T1 : engrais FOMI-Imbura + fumier de ferme +chaux ; et T2 : sarrasin +chaux) sur la biomasse racinaire (BR), la biomasse aérienne (BA), la biomasse totale (BT), ainsi que sur le rapport racinaire/aérien (R/S).

Tableau 11: Valeurs de la biomasse racinaire, la biomasse aérienne, la biomasse totale et le rapport parties racinaires sur parties aériennes

Paramètre		T0	T1	T2	P value	C.V (%)
BR	Moyenne	16,2 ±7,2b	44,00 ±12,4a	21,45 ±8,5 b	0,0063**	56
	Minimum	5,8	35	13,3		
	Maximum	22,5	61,67	30		
BA	Moyenne	149,6 ±120,4b	414,4 ±16,0a	163±10,1b	0,032*	72
	Minimum	18,3	17,7	75,8		
	Maximum	269,2	540	286,7		
BT	Moyenne	165,9±124,3b	458,3±17,3a	184±108,4b	0,026*	70
	Minimum	24,2	206,7	89,1		
	Maximum	287,5	601,7	316,7		
R/S	Moyenne	0,19±0,13a	0,12±0,05a	0,14±0,03a	0,533NS	55
	Minimum	0,07	0,08	0,10		
	Maximum	0,32	0,20	0,18		

Les valeurs suivies par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

***Très hautement significatif (p < 0,001)

**Hautement significatif (p < 0,01)

*Simplement significatif (p < 0,05)

NS : Non significatif (p > 0,05)

L'analyse de la variance (ANOVA) appliquée aux paramètres de la biomasse du haricot a révélé des différences significatives entre les traitements pour les variables BR, BA et BT.

Par contre, aucune différence statistique notable ($p > 0,05$) n'a été observée pour le rapport racine/tige (R/S). Ces observations mettent en évidence l'influence marquée des modalités de fertilisation sur l'accumulation de matière sèche, tant dans les parties souterraines que dans les parties aériennes de la plante.

Pour la biomasse racinaire (BR), les résultats du tableau montrent une différence hautement significative entre les traitements ($p = 0,00633$). Le traitement T1 s'est distingué par une biomasse racinaire nettement plus élevée ($44,00 \pm 12,4$ kg/ha), statistiquement supérieure à celle observée pour le traitement T2 ($21,45 \pm 8,50$ kg/ha) et T0 ($16,2 \pm 7,2$ kg/ha). Des recherches récentes menées par (Chen, 2022) et (Djouider, 2023) ont également rapporté une amélioration significative du système racinaire des légumineuses en réponse à une fertilisation intégrée en améliorant la disponibilité des nutriments essentiels (N, P, Ca) et en favorisant la structure du sol.

Quant à la biomasse aérienne (BA), une différence simplement significative a été observée ($p=0,032$). Le traitement T1 a produit la valeur moyenne la plus élevée ($414,4 \pm 16,0$ kg/ha), largement supérieure à celles obtenues sous T2 ($163 \pm 10,1$ kg/ha) et T0 ($149,6 \pm 120,4$ kg/ha). Ces résultats confirment que le traitement T1 favorise également la croissance des parties aériennes, contrairement au sarrasin, qui n'induit pas d'effet significatif comparé au témoin. Ces résultats corroborent ceux de (Birachi et al., 2011; Muke et al., 2019), qui ont montré que la double fertilisation organo-minérale améliore la hauteur des tiges, le développement foliaire et la photosynthèse chez le haricot en zone tropicale.

S'agissant de la biomasse totale (BT), le traitement T1 a permis d'obtenir la biomasse totale la plus importante ($458,3 \pm 17,3$ kg/ha), contre $184 \pm 108,4$ kg/ha pour T2 et $165,9 \pm 124,3$ kg /ha pour T0. La différence entre les traitements est simplement significative ($p = 0,026$), renforçant l'observation selon laquelle l'association FOMI + fumier de ferme +chaux exerce un effet bénéfique global sur la croissance de la plante.

Ce résultat montre que l'intégration du FOMI-Imbura et du fumier permet non seulement une meilleure répartition des nutriments, mais aussi un accroissement global de la capacité de

croissance du haricot, dans les conditions de l'essai, lesquelles n'étaient toutefois pas à l'optimum.

Concernant le rapport racine/aérien (R/S), les résultats montrent qu'aucune différence significative n'a été observée pour le rapport racinaire/aérien ($p = 0,533$), bien que des variations aient été observées entre les traitements. Le rapport moyen s'élève à $0,19 \pm 0,13$ pour T0 ; $0,12 \pm 0,05$ pour T1 et $0,14 \pm 0,03$ pour T2.

Ces valeurs indiquent que les traitements ont influencé de manière proportionnelle les croissances racinaire et aérienne, sans modifier sensiblement leur équilibre. En l'absence de nutriments suffisants, les plantes tendent à allouer davantage de ressources au système racinaire au détriment des parties aériennes, comme l'ont décrit Poorter et al. (2012) dans une méta-analyse sur l'allocation de biomasse chez les plantes cultivées.

Les coefficients de variation et les indicateurs de l'homogénéité des données, sont relativement élevés pour l'ensemble des paramètres mesurés, variant de 55 % à 72 %. Le coefficient de variation le plus élevé a été observé pour la biomasse aérienne (72 %), indiquant une forte dispersion des données et une variabilité importante entre les répétitions. La biomasse totale et la biomasse racinaire présentent également des coefficients de variations élevés (respectivement 70 % et 56 %), traduisant une certaine hétérogénéité des réponses individuelles.

III.4.3. Effets sur le rendement du haricot (kg/ha) et l'indice de récolte (HI)

Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée afin d'évaluer l'effet de trois traitements T0 : (témoin intégral +chaux), T1 : (Engrais FOMI-Imbura + fumier de ferme + chaux), T2 : (sarrasin +chaux) sur l'indice de récolte (H.I) et le rendement moyen en kg/ha.

Tableau 12:Variation du rendement et de l'indice de récolte du haricot

Traitement	H.I			Rdt moyen (kg/ha)		
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum
T0	$0,38 \pm 0,15a$	0,20	0,54	$56 \pm 65,9a$	2,50	130,83
T1	$0,58 \pm 0,12a$	0,42	0,69	$207,83 \pm 155,6a$	15,83	373,73
T2	$0,44 \pm 0,20a$	0,18	0,62	$65,5 \pm 64,2a$	13,33	142,5
p-value	0,241 NS			0,0711NS		
C.V.	35%			10%		

Les résultats de l'ANOVA montrent que les traitements appliqués influencent différemment l'indice de récolte (HI) et le rendement moyen du haricot, bien que les différences ne soient pas statistiquement significatives au seuil de 5 % ($p = 0,241$ pour HI et $p = 0,0711$ pour le rendement).

Pour l'indice de récolte (HI), le traitement T1 est caractérisé par la meilleure la moyenne la plus élevée ($HI = 0,58 \pm 0,12$), contre $0,44 \pm 0,20$ pour T2 et $0,38 \pm 0,15$ pour le traitement témoin T0.

Bien que non significative, cette différence indique une meilleure conversion de la biomasse totale en grains sous T1. Cette absence de signification peut être attribuée à la variabilité relativement importante des données de HI (C.V = 35 %), indiquant une hétérogénéité entre les répétitions. Ces résultats sont en cohérence avec ceux de Kayiranga et al. (2021) au Rwanda, qui ont observé une amélioration significative de l'indice de récolte (HI) chez le haricot lorsque la fertilisation organo-minérale était combinée à la correction de l'acidité du sol. De même, Rodriguez et al. (2022) ont noté que l'HI peut dépasser 0,55 dans les systèmes agro-écologiques équilibrés, surtout lorsque le P et le K sont disponibles en quantité suffisante.

Concernant le rendement moyen, les résultats montrent une tendance vers la signification statistique ($p = 0,0711$). Encore une fois, le traitement T1 a permis d'obtenir un rendement nettement supérieur ($207,83 \pm 155,6$ kg/ha) par rapport à T2 ($65,5 \pm 64,2$ kg/ha) et T0 ($56,00 \pm 65,9$ kg/ha). Cette observation est en accord avec les travaux de Desta et al. (2023) qui ont démontré que l'application combinée d'engrais organiques et amendements minéraux améliorent significativement le rendement des cultures dans les sols tropicaux.

Par-dessus tout, la comparaison classique des rendements moyens entre les traitements révèle des écarts notables. Le traitement T1 présente une amélioration substantielle (+ 271 %) du rendement par rapport au traitement témoin T0. La même supériorité de T1 est aussi observée par rapport au traitement à sarrasin (+ 217 %). Ce dernier n'est supérieur au traitement témoin que de moins de 20 %.

Nous devons garder à l'esprit que l'essai sarrasin ne s'est pas déroulé dans de bonnes conditions climatiques (déficit hydrique). De là une très faible production à l'hectare par rapport au potentiel de production de la variété Mukungugu utilisée. Cependant, l'écart observé entre T1 et les deux autres traitements souligne la supériorité de la combinaison organo-minérale en termes d'efficacité agronomique, grâce à l'amélioration simultanée de la fertilité chimique, de la structure du sol, et de la capacité d'absorption racinaire. En revanche, le traitement T2 au sarrasin, bien que un peu plus performant que le témoin, reste limité, probablement en raison de la minéralisation plus lente du sarrasin, ce qui retarde la libération des nutriments, comme le soulignent (Sia et Quinet, 2020) et Wang et al. (2025) dans leurs travaux sur les engrais verts en systèmes tropicaux. En définitive, la seule saison d'essai avec le sarrasin ne permet pas de tirer aucune conclusion sur le potentiel du sarrasin comme engrais vert. Deux ou même trois saisons (incluant l'étude de l'effet résiduel) sont nécessaires pour pouvoir apprécier les potentialités du sarrasin.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Le présent travail visait à répondre à un double enjeu : d'une part, analyser la rentabilité économique de la culture du maïs (*Zea mays* L.) dans un contexte de petite agriculture familiale confrontée à la dégradation des sols, et, d'autre part, explorer les potentialités du sarrasin (*Fagopyrum esculentum* Moench) en tant qu'engrais vert pour améliorer la productivité du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.).

Sur le plan économique, l'étude sur la culture du maïs a permis de comparer les coûts de production, les recettes générées et la marge brute de la monoculture de cette culture. Une analyse comparative de la rentabilité économique du maïs dans les collines de Randa et Ruhinga révèle des performances économiques variées selon les exploitants et les localités.

Les résultats de cette analyse montrent des différences notables tant au niveau des rendements que des bénéfices nets et des ratios de rentabilité (V/C). L'analyse du rapport bénéfice/coût (V/C) révèle une rentabilité plus élevée sur la colline de Ruhinga, avec une moyenne de 3,9 contre 2,03 à Randa.

Les valeurs extrêmes confirment cette tendance. A Randa ces valeurs oscillent de 1,1 à 3,2 tandis qu'à Ruhinga, elles varient de 2 à 5,6.

Sur le plan agronomique pour la culture du haricot, les résultats montrent que l'intégration du sarrasin comme engrais vert lorsqu'il est enfoui au moment du semis n'améliore pas significativement la croissance végétative et les rendements du haricot.

Cependant, nous devons nous convenir qu'en termes absolus, les rendements obtenus dans cet essai sarrasin sur le haricot sont drastiquement faibles, dénotant des conditions non optimales qui ont prévalu pendant la durée de l'essai. Notamment un déficit hydrique hors norme. L'essai devrait donc être répété au moins pendant deux à trois saisons culturales pour avoir plus de valeur scientifique.

Perspectives

A l'issue de cette double étude sur la rentabilité de la culture de maïs et les performances agronomiques du sarrasin sur la culture du haricot dans la commune Kabarore, collines Ruhinga et Randa, quelques perspectives peuvent être dégagées :

1. Vérifier et confirmer la rentabilité de la culture de maïs dans les autres zones d'intervention d'ADISCO.
2. Etendre cette étude socio-économique sur les autres cultures et systèmes culturaux, notamment le haricot, le plus souvent en rotation ou en association avec le maïs.
3. Elargir les essais dans d'autres zones agro-écologiques du Burundi pour tester la performance du sarrasin dans des conditions pédoclimatiques variées notamment dans les plaines de l'Imbo, les plateaux de l'Est et les zones arides.
4. Reproduire l'essai sarrasin lors des saisons culturales différentes et tout en faisant l'enfouissement de biomasse au moins deux semaines avant le semis du haricot pour assurer une meilleure minéralisation et libération des éléments nutritifs.
5. Etudier la dynamique microbienne et la biologie des sols après enfouissement du sarrasin, afin d'analyser les effets biologiques et microbiologiques à moyen et long termes
6. Evaluer l'effet du sarrasin en association non seulement en rotation, mais aussi en cultures intercalaires avec d'autres légumineuses ou céréales.

Références bibliographiques

1. ADISCO. (2019). Innovations agricoles endogènes : Rapport d'implémentation des pratiques agroécologiques dans les provinces de Kayanza et Muramvya. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/238794>
2. ADISCO. (2022). Adisco – Kayanza : Le projet « Tubungabunge isi ndimwa » continue à faire ses preuves [Billet]. <https://adip-burundi.org/articles/6/details>
3. Aicha, K., & Lalia, L. (2012). Impacts des systèmes agroforestiers sur la fertilité des terres agricoles dans les piémonts Nord-Ouest du Dahra (W. Mostaganem). <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/2287/memoire%20final%202018.pdf?sequence=1>
4. Aubert, L., Decamps, C., Jacquemin, G., & Quinet, M. (2021). Comparison of plant morphology, yield and nutritional quality of *Fagopyrum esculentum* and *Fagopyrum tataricum* grown under field conditions in Belgium. *Plants*, 10(2), 258.
5. Anjos, L., Gaistardo, C. C., Deckers, J., Dondeyne, S., Eberhardt, E., Gerasimova, M., Harms, B., Jones, A., Krasilnikov, P., & Reinsch, T. (2015). *World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC91947>
6. Balestrini, R., Brunetti, C., Chitarra, W., & Nerva, L. (2020). Traits photosynthétiques et absorption d'azote dans les cultures : Le rôle des champignons mycorhizonaux arbusculaires. *Plants*, 9(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/plants9091105>
7. Benider, C. (2018). Performances de l'association céréales-légumineuses en systèmes fourragers des régions semi-arides [PhD Thesis]. <http://dspace.univ-setif.dz:8888/jspui/handle/123456789/1690>
8. Bibron, M. (2015). Évaluation des capacités mellifères de différentes variétés de sarrasin [PhD Thesis, France. Institut Universitaire de Technologie (IUT), FRA.]. <https://hal.science/hal-01458646/document>
9. Birachi, E. A., Ochieng, J., Wozemba, D., Ruraduma, C., Niyuhire, M. C., & Ochieng, D. (2011). Factors influencing smallholder farmers' bean production and supply to market in Burundi. *African crop science journal*, 19(4), 335-342.
10. Bizoza, S. (2022). Resultats d'étude sur la chaine de valeurs maïs au burundi (p. 39). <https://www.researchgate.net/publication.IITA-BURUNDI/372157367>

11. Blair, M. W., González, L. F., Kimani, P. M., & Butare, L. (2010a). Diversité génétique, introgression des réservoirs intergéniques et qualité nutritionnelle des fèves communes (*Phaseolus vulgaris* L.) d'Afrique centrale. *Theoretical and Applied Genetics*, 121(2), 237-248. <https://doi.org/10.1007/s00122-010-1305-x>
12. Boughaba, H. R., & Mefatih, S. (2015). Effets de divers facteurs biotiques et abiotiques sur la croissance et la nodulation de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) inoculé. <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/18766>
13. Campbell, C. G. (1997). *Buckwheat: Fagopyrum esculentum* Moench (Vol. 19). Bioversity International. <https://books.google.bi/books?hl>
14. Cazenave-Piarrot, A., Ndayirukiye, S., & Valton, C. (2015). Atlas des pays du Nord-Tanganyika. IRD Éditions, Institut de recherche pour le développement. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010066443>
15. Chabni, S., & Belabbas, A. (2022). Activité insecticide des huiles essentielles de la sauge officinale (*Salvia officinalis* L.) et la menthe poivrée (*Mentha piperita* L.) à l'égard des adultes de la bruche chinoise *Callasobruchus chinensis* L. (Coleoptera : Chrysomelidae) [Université Mouloud Mammeri]. <https://dspace.ummt.dz/handle/ummt/18496>
16. Chen. (2022). Synergistic effects of manure and chemical fertilizers on root development in legumes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 327, 107811
17. Choy, A.-L., Morrison, P. D., Hughes, J. G., Marriott, P. J., & Small, D. M. (2013). Quality and antioxidant properties of instant noodles enhanced with common buckwheat flour. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 281-287.
18. Clark, A. (2008). *Managing Cover Crops Profitably* (3rd Ed.). DIANE Publishing.
19. Cochet, H. (1999). Le secteur agricole au Burundi : Enjeu majeur des politiques de développement. <https://hal.science/hal-02536734/document>
20. Cuq, M. (2017). L'accès à l'alimentation : Un objectif de développement mondial. <https://shs.hal.science/halshs-01676785/>
21. Dakora, F. D., & Keya, S. O. (1997). Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(5), 809-817. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(96\)00225-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00225-8)
22. Deffan, K. P., Akanvou, L., Akanvou, R., Nemlin, G. J., & Kouamé, P. L. (2015). Evaluation morphologique et nutritionnelle de variétés locales et améliorées de maïs (*Zea*

- mays L.) produites en Côte d'Ivoire. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 11(3), 181-196.
23. Desta, G., Agegnehu, G., Legesse, G., Agumas, B., Tebeje, A. K., Patil, M., Desalegn, H., & Rozarios, G. (2023). Liming Impacts on Soil Acidity and Crop Productivity : A Meta-Analysis. Available at SSRN 4972178.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4972178
24. Diogo, R. V. C., Dossou, J. A., Amadji, F., Bolo, P. O., Kihara, J. M., Gbedjissokpa, M. G., Hoek, R. van der, Kinyua, M., Mukiri, J., & Sommer, R. (2021a). Les engrais verts et les cultures de couverture au Bénin-informations tirées de la revue littéraire, de l'évaluation agronomique et de la modélisation de la durabilité des systèmes de culture. <https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/5bd215cf-aa88-4fb6-8bf4-198ed777747b/download>
25. Djouider, S. I. (2023). Interaction des légumineuses avec des microorganismes du sol sous contraintes abiotiques [PhD Thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT; Université Djilali ...]. <https://theses.hal.science/tel-04776925/>
26. Doebley, J. F., Gaut, B. S., & Smith, B. D. (2006). La génétique moléculaire de la domestication des cultures. *Cell*, 127(7), 1309-1321.
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.12.006>
27. Drinkwater, L. E., & Snapp, S. S. (2007). Nutriments dans les agroécosystèmes : Repenser le paradigme de la gestion. In D. L. Sparks (Éd.), *Advances in Agronomy* (Vol. 92, p. 163-186). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)92003-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92003-2)
28. Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. (2006). *Physiology of crop production*. crc Press. <https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identfierName=doi&identfierValue=10.1201/9781482277807&type=googlepdf>
29. Fandohan, P., Hell, K., Marasas, W. F. O., & Wingfield, M. J. (2003). Infection du maïs par les espèces de *Fusarium* et contamination par la fumonisine en Afrique. *African Journal of Biotechnology*, 2(12), Article 12. <https://doi.org/10.5897/AJB2003.000-1110>
30. FAO. (2014). Effet des différents taux de chamage sur les caractéristiques des grains communs du sol, p et les caractéristiques agronomiques des haricots communs dans l'est de l'Ouganda. <https://ir.busitema.ac.ug/handle/20.500.12283/4132>
31. FAO. (2016). L'agriculture en Afrique subsaharienne : Perspectives et enjeux de la décennie à venir. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/17ce2b38-9085-4505-9727-c69b7b5f3371/content>

32. FAO. (2020). Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles: L'agriculture face au changement climatique : pratiques agroécologiques recommandées. Food & Agriculture Org.
33. Fontana, M., Borgatti, D., Elfouki, S., Grosjean, Y., Brancaloni, L., & Bragazza, L. (2024). Effets d'un biostimulant foliaire à base de zéolite sur le maïs et le blé d'automne. https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2024/06/176-184_Bragazza_Production_vegetale_Biostimulant_FR.pdf
34. Gahiro, L. (2011). Compétitivité des filières rizicoles burundaises : Le riz de l'Imbo et le riz des marais. Université de Liege (Belgium). <https://search.proquest.com/openview/e3a2395d5667adb2954c88dcc0f0786c/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
35. Giller, K. E. (2001). Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CABI.
36. Gittinger, J. P. (1981). Economic analysis of agricultural projects. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19811883620>
37. Gouvernement du Burundi. (2025). Recensement général de la population du Burundi 2025. Bing. <https://www.bing.com/search>.
38. Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003). Légumineuses : Importance et contraintes à une plus grande utilisation. *Plant Physiology*, 131(3), 872-877. <https://doi.org/10.1104/pp.017004>
39. Habonimana et Ndayiragije. (2019). Caractérisation agro-morphologique des variétés de maïs cultivées au nord du Burundi. *Bulletin ISABU*, 12(1), 45–60.
40. Halbrech, B., Romedenne, P., & Ledent, J.-F. (2005). Evolution of flowering, ripening and seed set in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) : Quantitative analysis. *European Journal of Agronomy*, 23(3), 209-224.
41. Hamdani. (2012). Action des poudres et des huiles de quelques plantes aromatiques sur les paramètres biologiques de la bruche du Haricot, *Acanthoscelides obtectus* Say. (Coleoptera : Bruchidae). <https://dspace.ummo.dz/items/2c9047fe-6893-4ca8-8f47-4e909205e697>
42. Hari, L., Rusuku, G., & Rwamo, M. (2020). Teneur en N, P₂O₅, Ca⁺⁺ et K⁺ dans le fumier d'étable, effluents d'un digesteur méthanique et leurs effets sur la production du maïs. *Série: Sciences Exactes et Naturelles*, 1(28), 16-19.

43. Hicintuka, C., Kaboneka, S., Bizimana, S., Nduwarugira, E., Manyange, H., Niyongabo, E., Bayubahe, J., (2020). Evaluation des performances de l'engrais organo-minéral "FOMI-IMBURA" sur le rendement du haricot commun au Burundi—FOMI. <https://fomi.bi/evaluation-des-performances-de-lengrais-organo-mineral-fomi-imbura-sur-le-rendement-du-haricot-commun-au-burundi/>
44. Hicintuka, C., & Masilya, P. M. (2013). Gestion optimale et intégrée de la fertilité des sols acides du Burundi. VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 17.
45. Huda, M. N., Lu, S., Jahan, T., Ding, M., Jha, R., Zhang, K., Zhang, W., Georgiev, M. I., Park, S. U., & Zhou, M. (2021). Treasure from garden : Bioactive compounds of buckwheat. *Food chemistry*, 335, 127653.
46. Hungria, M., Nogueira, M. A., & Araujo, R. S. (2013). Co-inoculation de soja et de haricots communs avec rhizobia et azospirilla : Stratégies pour améliorer la durabilité. *Biology and Fertility of Soils*, 49(7), 791-801. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>
47. Hunt, H. V., Shang, X., & Jones, M. K. (2017). Buckwheat : A crop from outside the major Chinese domestication centres? A review of the archaeobotanical, palynological and genetic evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*. <https://doi.org/10.1007/s00334-017-0649-4>
48. IFDC. (2018). Rapport technique sur l'introduction du sarrasin comme engrais vert au Burundi. <https://scholar.google.com/scholar?hl; Arusha. publish: 11-15>
49. IFDC. (2020). Contraintes et Stratégies D'amélioration de la Filière Maïs au Burundi : Valorisation et intégration des phosphates naturels dans les pratiques agroécologiques. rapport de mise en œuvre du projet PAPAB. Bujumbura. **Consulté le 15/02/2025**
50. IGEBU. (2022). Données climatiques historiques de la province Kayanza. Institut Géographique du Burundi, Bujumbura. <https://p:www.google> **Consulté le 15/02/2025**
51. IRAZ. (2019). Catalogue des variétés de maïs cultivées au Burundi. Bujumbura. <https://scholar.google.com/> **Consulté le 08/02/2025**
52. ISABU. (2016). Fiche techniques harmonisée de la culture de maïs hybrides au Burundi. VOLET SEMENCE /PAIOSA **Consulté le 08/02/2025**
53. ISABU. (2021). Fiche technique du maïs composite (2021^e éd.). <https://hub.ifdc.org/items>.

54. ISABU (Éd.). (2025). Catalogue des espèces et variétés vivrières sélectionnées par l'ISABU (2e édition). **Consulté le 08/02/2025**
55. ISABU/IFDC-PAGRIS. (2021). Cartographie de la fertilité des sols du Burundi et des besoins des principales cultures vivrières en éléments nutritifs.
<https://hub.ifdc.org/handle/20.500.14297/2598>
56. ISTEERBU. (2008). Pauvreté multidimensionnelle au Burundi : Analyse fondée sur les données du Recensement Général de la Population de 2008 et de l'enquête Quibb de 2006. **Consulté le 05/02/2025**
57. ISTEERBU. (2011). Burundi-Enquete Nationale Agricole 2011-2012-Data catalog.
<https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=ISTEERBU%2C2011> **Consulté le 05/02/2025**
58. ISTEERBU. (2017). ISTEERBU. (2017). Annuaire statistique du Burundi 2017. In ISTEERBU-DIRECTION GENERALE. <https://doi.org/10.1108/eb057704> **Consulté le 05/02/2025**
59. Jacquemart, A.-L., Gillet, C., & Cawoy, V. (2007). Floral visitors and the importance of honey bee on buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) in central Belgium. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 82(1), 104-108.
<https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512205>
60. Jagadish, S. V. K. (2020). Heat stress during flowering in cereals – effects and adaptation strategies. *New Phytologist*, 226(6), 1567-1572.
<https://doi.org/10.1111/nph.16429>
61. Jones, P. G., & Thornton, P. K. (2003). Les incidences potentielles du changement climatique sur la production de maïs en Afrique et en Amérique latine en 2055. *Global Environmental Change*, 13(1), 51-59. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)
62. Jourdain et al. (2014). Économie de la production agricole. CIRAD.
<https://scholar.google.pdf>
63. Kaboneka, S., Kwizera, C., Nijimbere, S., Irakoze, W., Nsengiyumva, P., Ndiokubwayo, S., & Habonimana, B. (2021). Yield responses of maize (*Zea mays* L.) and successive potato (*Solanum tuberosum* L.) crops to maize stover co-composted with *Calliandra calothyrsus* Meisn green manure. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering (IJASRE)*, 7(4), 1-15.

64. Kaboneka, S., Ntukamazina, N., Gacoreke, S., & Butoki, N. (2021). Analyse biologique, nutritionnelle et économique de l'association maïs-haricot. Série: Sciences Exactes et Naturelles, 2(29), 23-33.
65. Kagisye, A. (2022). Fertilisation des sols : Le rôle de la matière organique méprisé. Burundi Eco. <https://burundi-eco.com> **Consulté le 19/06/2025**
66. Karima. (2015). Contribution à la caractérisation morphologique de quelques accessions locales de haricot commun. <https://scholar.google>.Mémoire de Master, Université de Batna
67. Kataliko. (2023). Valeur nutritionnelle des légumineuses au Kivu : Cas du haricot. Revue Congolaise des Sciences Agronomiques, 9(1), 34-45
68. Katungi, E. M., Nduwarigira, E., Ntukamazina, N., Niragira, S., Mutua, M. M., Kalemera, S. M., Onyango, P., Nchanji, E. B., Fungo, R., & Birachi, E. A. (2020). Food security and common bean productivity : Impacts of improved bean technology adoption among smallholder farmers in Burundi. <https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/bc930f42-b85e-4923-acf3-eceefd6867f5/download>
69. Kayiranga. (2021). Effets de la fertilisation combinée sur l'indice de récolte du haricot commun en milieu acide. Revue Rwandaise de l'Agriculture Durable, 5(2), 60–69
70. Kayuki, M., Oduor, G., macharia, C., & Rware, H. (2016). L'approche de l'optimisation des engrais : Une innovation pour accroître la rentabilité agricole des agriculteurs africains. African Journal of Agricultural Research, 11(38), 3587-3597. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11408>
71. Ker, A., & Malithano, D. (1996). Maïs à rendement élevé pour les paysans du Burundi. <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstreams/download>
72. Kibiriti. (1986). Détermination du pH, la conductivité et l'analyse de la matière organique. Bulletin de la recherche agronomique_9-13 p
73. Kihara, J., Fatondji, D., Jones, J. W., Hoogenboom, G., Tabo, R., & Bationo, A. (2012). Improving Soil Fertility Recommendations in Africa using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Springer Science & Business Media.
74. Kim, J., & Hwang, K. T. (2020). Fagopyrins in different parts of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and Tartary buckwheat (*F. tataricum*) during growth. Journal of Food Composition and Analysis, 86, 103354.
75. Kocira, A., Staniak, M., Tomaszewska, M., Kornas, R., Cymerman, J., Panasiewicz, K., & Lipińska, H. (2020). Corbeaux de légumineuses parmi les éléments de la gestion

- stratégique des mauvaises herbes et de l'amélioration de la qualité des sols. *Agriculture*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090394>
76. Kwizera, C., Kaboneka, S., Ndiokubwayo, S., Habonimana, B., Nijimbere, S., & Nsengiyumva, P. (2020). Comparative analysis of different fertilizers effects on maize growth parameters. *International Journal In Advances in Scientific Research and Engineering-IJASRE*, 6(8), 89-94.
77. Latati. (2015). Importance agricole, socioéconomique et culturelle des parents de la nature sauvage des cultures, en particulier des rizières alimentaires, en Afrique du Nord—Soins de l'eau et plantes de cultures—Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781119054450.ch20>
78. Lynch, J. P. (2007). Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany*, 55(5), 493-512.
79. Manirakiza, D. (2021). Impact des coopératives agricoles des cultures vivrières sur les conditions de vie des ménages ruraux au Burundi : Cas des coopératives de la province de Ngozi. Université de Liege (Belgium). <https://search.proquest.com/openview/e3346eb2737e36a57474de14e6f6cf03/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
80. Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press. <https://books.google.com/books>
81. Motsara, M. R., & Roy, R. N. (2008). *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis* (Vol. 19). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. https://www.researchgate.net/profile/Cp-Rahangdale/post/Recommended_Chemical_Physical_Soil_Test_Procedures/attachment/5aa194ff4cde266d589023b7/AS%3A601997841555461%401520538878998/download/a-i0131e.pdf
82. Masunga, H., Tariku, M., Ezui, K., Mlay, P., Olojede, A., Olowokere, F., Busari, M. A., Hauser, S., Kreye, C., Baijukya, F., Merckx, R., & Pypers, P. (2023). Relatif de la variabilité locale de l'administration d'éléments nutritifs à l'aide d'un engrais dans les conditions d'exploitation du vésibétaire dans les conditions d'exploitation numérique (SSRN Scholarly Paper No. 4343503). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4343503>

83. Maliki, R., Amadji, F., Adjé, I., N'djolossè, K., & Bello, S. (2016). *Évaluation participative du labour et non-labour pour l'amélioration de la productivité du maïs au Centre Bénin*. <https://publications-chercheurs.inrab.bj/uploads/fichiers/lots2>
84. Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., Sanchez G., J., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(9), 6080-6084. <https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>
85. Mazina, N. N., Ruraduma, C., & Ntibashirwa, S. (2014). Relative performance of staking techniques on yield of climbing bean in highlands of Burundi. *African Crop Science Journal*, 22, 997-1001.
86. Mazollier, C. (2023). Les engrais verts sous abris : Choix des espèces et itinéraire cultural. *Fruits & Légumes Biologiques*, 25.
87. Mbeugang. (2017). Impacts nutritionnels et thérapeutiques du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.). *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 31(4), 273-282
88. Minani, B. (2014). Analyse et stratégies de développement de l'agriculture familiale dans un pays post-conflit : Cas de la Province de Kirundo au nord du Burundi. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/169109>
89. Minani, B., wallonie-europe, a. U., post-conflit, f. D. U. P., de kirundo, c. D. L. P., & du burundi, a. N. (2014). Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. https://www.academia.edu/download/118492067/Minani_20Bonaventure_2014.pdf
90. MINEAGRIE. (2020). Rapport annuel sur les performances agricoles 2020-2021 : Document d'orientation de la politique environnementale, agricole et élevage (No. 13/26005-031). <https://mineagrie.gov.bi>
91. MINEAGRIE. (2023). Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et de l'Élevage (Burundi). (2022). Rapport national sur les impacts du changement climatique au Burundi. <https://webapps.ifad.org/members/eb/135/docs/french/EB-2022-135-R-15.pdf>
92. Miracle, M. P. (1965). The Introduction and Spread of Maize in Africa. *The Journal of African History*, 6(1), 39-55. <https://doi.org/10.1017/S0021853700005326>
93. Moll, H. A. J. (2005). Coûts et avantages des systèmes d'élevage et rôle des relations de marché et non marchandes. *Agricultural Economics*, 32(2), 181-193. <https://doi.org/10.1111/j.0169-5150.2005.00210.x>

94. Muke, A., Asanzi, M., & Christopher Kijana, R. (2019). Usage approprié des engrais dans la production du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) dans les régions tropicales humides de l'Est de la République Démocratique du Congo. *Afrique SCIENCE*, 15(3), 176-189.
95. Mulinge, W., Gicheru, P., Murithi, F., Maingi, P., Kihui, E., Kirui, O. K., & Mirzabaev, A. (2016). Economics of land degradation and improvement in Kenya. *Economics of land degradation and improvement—A global assessment for sustainable development*, 471-498.
96. Myers. (1994). Le sarrasin : Un produit polyvalent et court. Alternative de saison. extension.missouri.edu/xplor/agguides
97. Ndayishimiye. (2018). Biodiversité des écosystèmes intertropicaux—. Identification des zones importantes de conservation de la biodiversité au Burundi—IRD Éditions. <https://books.openedition.org/irdeditions/41184?lang=fr>
98. Ndikumana, R., Sindiwenumwe, C., Ghins, L., & Demanet, C. (2019). Analysis of price incentives for maize in Burundi over the period 2005-2014. *Gates Open Res*, 3(1211), 1211.
99. Nduwimana. (2013). Evaluation de la fertilité des sols burundais. *Sciences Agronomiques*, 3, 18-21.
100. Nduwimana, O., Nzohabonayo, Z., Hicintuka, C., & Nibasumba, M. (2020). Cartographie de la fertilité des sols du Burundi et des besoins des principales cultures vivrières en éléments nutritifs. <https://hub.ifdc.org/handle/20.500.14297/2598>
101. Niyuhire, M.-C. (2018). Integrated soil fertility management for bean-maize based farming systems in Gitega Province, Burundi : Understanding and enhancing the agronomic and economic benefits of organic and mineral inputs. <https://lirias.kuleuven.be/retrieve/510050>
102. Nkurikiye, J. B., Uwizeyimana, V., Van Ruymbeke, K., Vanermen, I., Verbist, B., Bizoza, A. R., & Vranken, L. (2024). Farmers' preferences for adopting agroforestry in the Eastern Province of Rwanda : A choice experiment. *Trees, Forests and People*, 16, 100592. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100592>
103. Nkurunziza. (2018). Diagnostic participatif de l'élevage rural au nord du Burundi. [Entretien]. Gouvernement du Burundi **Consulté le 11/05/2025**

104. Nkurunziza, G., Ndayisenga, M., Ndayihanzamaso, P., Ndayiragije, P., & Niyongabo, D. (2012). Techniques de culture, de protection et de conservation du maïs—Cas des variétés à pollinisation libre (Manuel. ISABU). Bujumbura.
105. Nusura, H., & Ngendakumana, P. C. (2014). Implication de la femme rurale dans la gestion des ressources naturelles : Cas des communes Kabarore et Rutegama. *Bull. sci. Inst. natl. environ. conserv. nat*, 13, 13-27.
106. Nyabyenda, P. (2005). Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : Généralités, Légumineuses alimentaires, Plantes à tubercules et racines, Céréales (Vol. 1). Presses agronomiques de Gembloux. <https://books.google.com/books?hl>
107. Nyandwi, S., Barankanira, E., & Congera, A. (2019). Modélisation de la production agricole au Burundi. *Afrique SCIENCE*, 15(3), 34-48.
108. Nyirigira. (2018). Gestion durable des mauvaises herbes dans les cultures vivrières au Burundi. <https://scholar.google.com>. *Revue burundaise d'agronomie*, 12(3), 45-56.
109. Nzirorera. (2012). AfricaBib et La croissance économique du Burundi face aux défis du développement durable. <https://www.africabib.org/rec.php?RID=354172255>
104. OBPE. (2021). Bulletin Scientifique de l'Office Burundais pour la Protection de l'Environnement : (No. 014/21116-03; p. 11-12). Documents /obpe-numero-4 **Consulté le 25/04/2025**
110. ONCCS. (2020). Catalogue national des espèces et variétés végétales admises a la certification des semences. <https://bi.chm-cbd.net/fr/implementation/documents-envir-biodiv/enabi-campagne>
111. Osborne, W. (2013). Improving farm management decisions by analyzing production expenditure allocations and farm performance standing. Theses and Dissertations-- Agricultural Economics. https://uknowledge.uky.edu/agecon_etds/20
112. Pelletier, K. (2024). Arrière-effet des rotations de cultures sur les traits racinaires du maïs fourrager et du soya. <https://corpus.ulaval.ca/entities/publication/d1630ff6-8738-4268-ad5f-8fd315d990e2>
113. Polanía Perdomo, J. A., Poschenrieder, C., Rao, I. M., & Beebe, S. E. (2015). Physiological basis of improved adaptation to drought in common bean. <https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/648f2fa7-381c-4250-83c8-61a638e6eebd/download>
114. Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots : Meta-analyses of interspecific variation

- and environmental control. *New Phytologist*, 193(1), 30-50.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
115. Quinet, M., Cawoy, V., Lefevre, I., Van Miegroet, F., Jacquemart, A.-L., & Kinet, J.-M. (2004). Inflorescence structure and control of flowering time and duration by light in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Journal of Experimental Botany*, 55(402), 1509-1517.
116. Razafintsalama, H. (2018). La culture du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra : Effets d'apports de Phosphore et de l'inoculation par des Rhizobia [PhD Thesis, Thèse de Doctorat. Université d'Antananarivo]. https://www.dpspad.org/content/download/4759/35174/version/1/file/Th%C3%A8se_Harimenja_Razafintsalama_Final.pdf
117. Rodriguez. (2022). Harvest index as a productivity indicator in legume cropping systems under nutrient optimization. *Journal of Agronomic Studies*, 13(1), 44–52.
118. Roudame. (2018). Analyse des caractères morphologiques des légumineuses alimentaires. <https://scholar.google.com/scholar?hl>. INRA Maroc. Agri Sciences
119. Roy, R. N., & Roy, R. N. (Éds.). (2009). Plant nutrition for food security : A guide for integrated nutrient management. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
120. Ruraduma, C ., Ntukamazina, N., Ntibashirwa, S., & Niko, N. (2012). Conduite De La Culture Du Haricot (*Phaseolus Vulgaris* L.) Au Burundi. Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU), Bujumbura, 69.
121. Rurihose, F. ,(2021). Gestion économique des exploitations agricoles dans les zones de collines du Burundi. <https://scholar.google.com/scholar?hl> Conference sur l'agriculture durable. Université de Ngozi
122. Rwabahungu, M., Niyonkuru, D., & Bukobero, L. (2013). Dégradation et prédation des boisements communaux avant, pendant et après la guerre au Burundi. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors-série 17. <https://journals.openedition.org/vertigo/13811>
123. Sanginga, N., & Woomer, P. L. (2009). Integrated Soil Fertility Management in Africa : Principles, Practices, and Developmental Process. CIAT.
124. Schwartz, H. F., & Corrales, M. A. P. (1989). Bean Production Problems in the Tropics. CIAT.

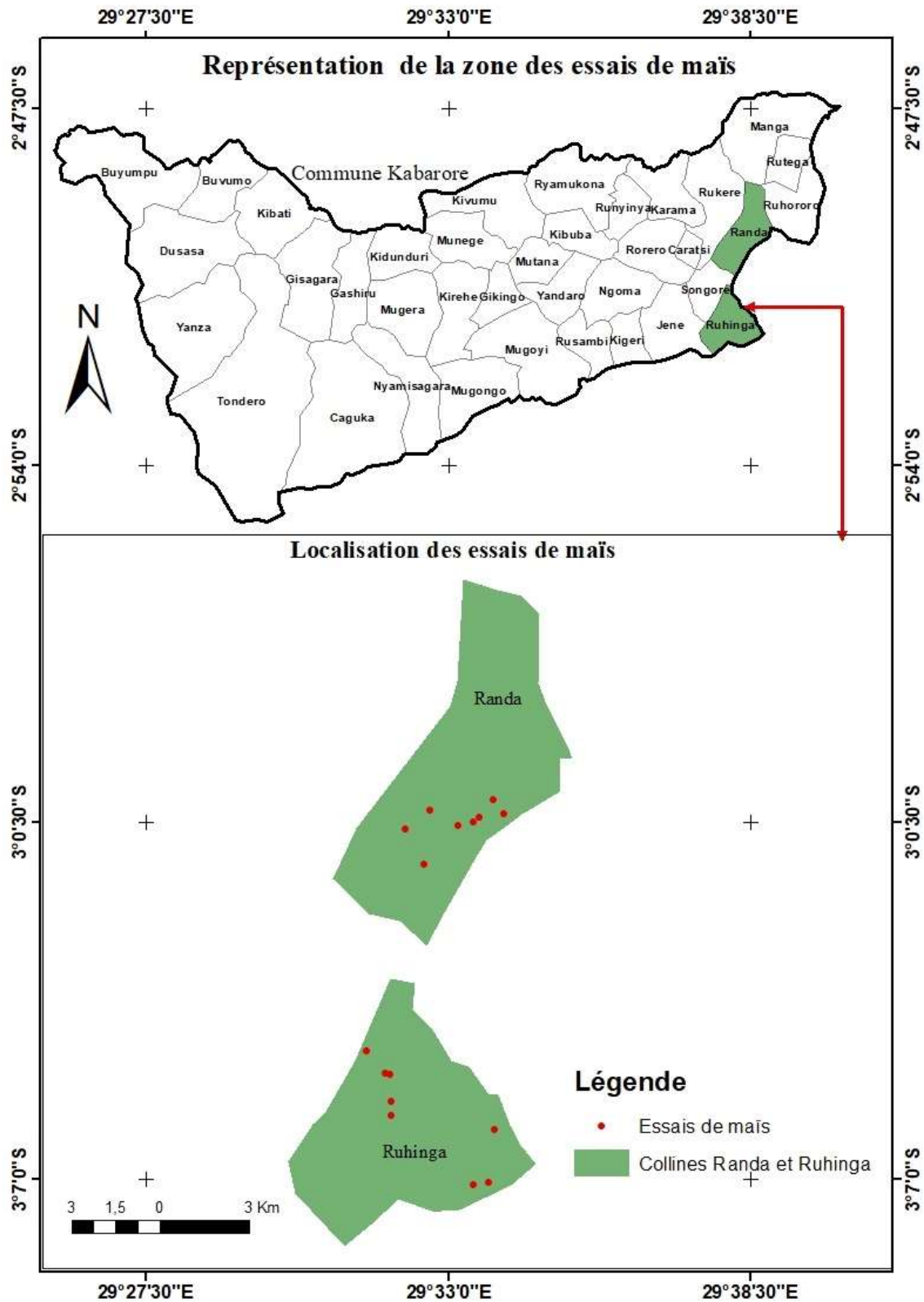
125. Sendegeya. (2008). Impacts des exploitations de colombo-tantalite dans la région de Kabarore (Nord-Ouest du Burundi). [.www/@ub.ed.bi](http://www/@ub.ed.bi). Université du Burundi.
126. Sia, C. L. F., & Quinet, M. (2020). Comparaison des qualités nutritionnelles du sarrasin commun (*Fagopyrum esculentum*) et de Tartarie (*Fagopyrum tataricum*) et impact des changements climatiques sur la croissance et la production du sarrasin de Tartarie (*Fagopyrum tataricum*).
127. Sibomana, R., Kaboneka, S., Bakundukize, N., Bukobero, L., Niyonkuru, D., & Nsaguye, D. (2023). Effects of Plant Density and Delayed Bean Sowing on Yields, Economic and Nutritional Performances of Cassava-Maize-Bean Intercrops : A Case Study in Kirimiro and Mumirwa Agro-ecological zones, Burundi. <https://www.researchgate.net/profile/Sibomana-Remy/publication/372333411.pdf>
128. Smale, M., Byerlee, D., & Jayne, T. (2013). Maize Revolutions in Sub-Saharan Africa. In K. Otsuka & D. F. Larson (Éds.), *An African Green Revolution* (p. 165-195). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5760-8_8
129. Suárez Salazar, J. C., Polanía, J., Contreras Bastidas, A. T., Rodríguez Suárez, L., Machado Cuellar, L., Ordoñez Espinosa, C. M., Beebe, S. E., & Rao, I. M. (2020). Adaptation des lignées de haricots communes aux conditions de température élevées : Différences génotypiques dans les performances phénologiques et agronomiques. <https://doi.org/10.1007/s10681-020-2565-4>
130. Tchatchouaet Fotio. (2021). Influence du compost et du phosphate naturel sur le rendement du haricot commun au Cameroun [Journal of West African Agronomy, 10(1), 98–109].
131. Téné, A. P. (2011). Détermination des options de fertilisation: Le maïs en Afrique de l'Est : Guide de bonnes pratiques agricoles pour les petits exploitants. Nairobi, Kenya : Centre International pour l'Amélioration du Maïs et du Blé. <https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2013-ABG-DET/IDR-2013-ABG-DET.pdf>
132. Tittonell, P., & Giller, K. E. (2013). When yield gaps are poverty traps : The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76-90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.007>
133. Trumbo et al. (2002). Dietary reference intakes : Vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc - ProQuest.

<https://www.proquest.com/openview/ef80741b682178d8716225fd8ba20b25/1?pq-origsite=gscholar&cbl=49142>

134. Tshiabukole, J. P. K. (2018). Evaluation de la sensibilité aux stress hydriques du maïs (*Zea mays* L.) cultivé dans la savane du Sud-Ouest de la RD Congo, cas de Mvuazi [PhD Thesis, Université Pédagogique Nationale Kinshasa (République démocratique du Congo)]. <https://hal.science/tel-02062632/>
135. Uzayisenga, B., Bizimana, J. P., Dusengemungu, L., Karangwa, P., & Rukundo, P. (2020). Perceptions et préférences des agriculteurs sur la consommation de pesticides dans la gestion du ver de l'attaque au Rwanda Chapitre Première ligne : 14 juillet 2020. In S. Niassy, S. Ekesi, L. Migiro, & W. Otieno (Éds.), *Sustainable Management of Invasive Pests in Africa* (p. 159-168). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41083-4_13
136. Van Wambeke, A., & Van Oosten, M. (1963). Carte des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi. Publications de l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo (INEAC), 1.
137. Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K. E., Huisling, J., Merckx, R., Nziguheba, G., Wendt, J., & Zingore, S. (2015). Gestion intégrée de la fertilité des sols en Afrique subsaharienne : Décompression de l'adaptation locale. *SOIL*, 1(1), 491-508. <https://doi.org/10.5194/soil-1-491-2015>
138. Wang, Y., Yu, A., Shang, Y., Wang, P., Wang, F., Yin, B., Liu, Y., Zhang, D., & Chai, Q. (2025). Decomposition dynamics and nutrient release from green manures in tropical conditions. *Agriculture; Basel*, 15(7). <https://search.ebscohost.com/login>. *Agricultural Sciences in China*, 19(3), 145–153.
139. Young, . (1989). Méthodes d'enquête sur la gestion des entreprises agricoles en vue d'augmenter le rendement de la production. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO).
140. Zhong-Ze, Z., Zuo-Cheng, Z., Xu-Ying, W., Ren-Xin, X. U., & Yu-Cheng, L. I. (2003). Pollen morphology, tepal and fruit microcharacteristics of the genus *Fagopyrum* Mill. From China. *Journal of Systematics and Evolution*, 41(1), 63.

ANNEXES

Annexe A:



Localisation géographique des parcelles expérimentales pour le maïs

Annexe B : Evaluation des paramètres agronomiques du maïs

Colline	Exploitants	Rdt en T/ha	Hauteur (m)	BT	BR	BA	R/S
RANDA	NZEYIMANA Sébastien	3,53	2,33	9,07	0,74	8,33	0,09
	MIBURO Soter	3,98	2,69	10,52	0,48	10,04	0,05
	MBARUBUKEYE Espérance	3,10	2,22	9,24	0,43	8,81	0,05
	MUKASHEMA Jeannette	3,28	2,32	7,2	0,57	6,63	0,09
	NDAYIZIGA Ezéchiel	3,09	2,43	8,72	0,83	7,89	0,11
	NTAGISIGIMANA Fabien	2,13	1,78	4,5	0,3	4,2	0,07
	CONGERA Gaspard	4,15	2,96	11,65	1,61	10,04	0,16
	NZEYIMANA Goreth	2,38	2,3	6,2	0,5	5,7	0,09
RUHING A	HITIMANA Félix	4,93	2,4	9,57	0,53	9,04	0,06
	MBONIMPA Athanase	1,54	2,12	19,18	2,79	16,39	0,17
	HABOGORIMANA Jacqueline	4,18	2,43	8,55	0,65	7,9	0,08
	MANIRAKIZA Emmanuel	4,52	3,24	8,58	0,46	8,12	0,06
	NTAMPARI Etienne	4,18	2,8	10,5	0,89	9,61	0,09
	MINANI Judith	3,95	2,86	9,93	0,78	9,15	0,09
	MUDEYIDEYI Nicodème	5,44	2,7	14,03	1,36	12,67	0,11
	NIYORUGIRA Thérance	4,46	3,51	9,29	0,82	8,47	0,1

Annexe C : Les coûts de la production du maïs

Collines	Exploitants	Coûts Semences/ha	Coûts Fomi-Totahaza/ha	Coûts Fomi-Imbura/ha	Coûts de Fumure Organique/ha	Coûts Labour /ha	Coûts Semis/ha
RANDA	NZEYIMANA Sébastien	571429	125714	236190	476190	476190	238095
	MIBURO Soter	495868	109091	204959	413223	413223	206612
	MBARUBUKEYE Espérance	389610	128571	120779	487013	487013	324675
	MUKASHEMA Jeannette	489130	143478	202174	163043	407609	271739
	NDAYIZIGA Ezéchiel	504202	147899	138936	560224	280112	280112
	NTAGISIGIMANA Fabien	489130	143478	235870	543478	339674	271739
	CONGERA Gaspard	600000	158400	248000	600000	500000	250000
	NZEYIMANA Goreth	600000	132000	248000	500000	500000	333333
RUHINGA	HITIMANA Félix	226667	146667	137778	555556	120000	80000
	MBONIMPA Athanase	41667	68750	64583	104167	62500	50000
	HABOGORIMANA Jacqueline	637500	198000	232500	625000	225000	150000
	MANIRAKIZA Emmanuel	126984	279365	131217	317460	107937	95238
	NTAMPARI Etienne	166667	165000	258333	416667	200000	100000
	MINANI Judith	231481	305556	287037	868056	347222	347222
	MUDEYIDEYI Nicodème	171429	226286	361727	285714	171429	171429
	NIYORUGIRA Thérance	125000	216667	258333	291667	150000	125000

Les coûts de la production du maïs (suite)

Collines	Exploitants	Coûts Sarclage/ha	Coûts binage/ha	Coûts des sacs	Coûts de récolte	Coûts sacs de conserve	transport	Coûts Totaux
RANDA	NZEYIMANA Sébastien	238095	238095	95238	238095	0	0	2933333
	MIBURO Soter	206612	206612	82645	206612	0	0	2545455
	MBARUBUKEYE Espérance	162338	162338	0	162338	0	0	2424675
	MUKASHEMA Jeannette	203804	203804	135870	203804	0	0	2424457
	NDAYIZIGA Ezéchiél	140056	140056	112045	140056	0	0	2443697
	NTAGISIGIMANA Fabien	203804	203804	108696	203804	0	0	2743478
	CONGERA Gaspard	200000	200000	120000	200000	120000	60000	3256400
NZEYIMANA Goreth	333333	333333	133333	333333	0	0	3446667	
RUHINGA	HITIMANA Félix	66667	66667	71111	106667	0	106667	1684444
	MBONIMPA Athanase	50000	31250	33333	50000	104167	0	660417
	HABOGORIMANA Jacqueline	150000	150000	0	112500	112500	0	2605500
	MANIRAKIZA Emmanuel	50794	50794	42328	95238	84656	0	1382011
	NTAMPARI Etienne	100000	100000	133333	175000	166667	25000	2006667
	MINANI Judith	138889	138889	132037	243056	173611	34722	3277778
	MUDEYIDEYI Nicodème	137143	147143	114286	617143	171429	34286	2599441
NIYORUGIRA Thérénce	125000	125000	0	175000	0	41667	1633333	

Annexe D : Evaluation des paramètres agronomiques du haricot

Traitements	Répetitio n.	Gousses/ Plant	Graine s/gouss e	BA	BT	BR	R/S	PMG (g)	Rdt kg/ha	HI
(T0)Témoin intégral +chaux	1	1,86	1,86	18,33	24,16	5,83	0,32	241,3	5,83	0,32
	2	1,67	1,67	78,33	100,8	22,5	0,29	266,6	15,8	0,2
	3	1,67	3	269,2	287,5	18,3	0,07	157,8	2,5	0,49
	4	1,50	3	232,5	250,8	18,3	0,08	260	130	0,54
(T1) Engrais FOMI -Imbura + fumier de ferme + chaux	1	1,88	2,50	171,7	206,7	35	0,20	280	71,6	0,42
	2	2,40	3,30	540	601,7	61,6	0,11	340,4	373	0,69
	3	2,77	3,69	464,2	500	35,8	0,08	243,59	15,8	0,58
	4	2,50	3,25	481,7	525	43,3	0,09	300	269	0,64
(T2) Sarrasin + chaux	1	1,71	1,86	75,83	89,16	13,3	0,18	240	13,3	0,18
	2	1,71	2,57	87,5	102,5	15	0,17	275,36	40	0,46
	3	1,71	2,14	201,7	229,2	27,5	0,14	218,7	5,83	0,62
	4	2,33	2,33	2,86	316,7	30	0,10	260	125	0,5

Annexe E : Listes des agri-chercheurs bénéficiaires des essais d'expérimentation sur le maïs et le haricot avec leurs coordonnées géographiques

Collines	Noms des agri-chercheurs	GPS	Téléphone
RANDA	NZEYIMANA Sébastien	(S : 2,83622°; E: 29,63689°)	-
	MIBURO Soter	(S: 2,8335°; E: 29,63547°)	-
	MBARUBUKEYE Espérance	(S: 2,83196°; E : 29,63735°)	-
	MUKASHEMA Jeannette	(S: 2,83322°; E: 29,63961°)	-
	NDAYIZIGA Ezéchiel	(S : 2,83111°; E : 29,64236°)	67122973
	NTAGISIGIMANA Fabien	(S : 2,83226°; E : 29,64328°)	68455094
	CONGERA Gaspard	(S : 2,83290°; E : 29,64084°)	66015628
	NZEYIMANA Goreth	(S : 2,83256 ; E : 29,64125°)	67264814
RUHINGA	HITIMANA Félix	(S : 2,86143°; E : 29, 64202°)	69201606
	MBONIMPA Athanase	(S : 2,85719° ; E : 29,64248°)	-
	HABOGORIMANA Jacqueline	(S : 2,86159°; E : 29,64078°)	-
	MANIRAKIZA Emmanuel	(S : 2,85613°; E : 29,6343°)	-
	NTAMPARI Etienne	(S : 2,85284°; E : 29,63427°)	69635817
	MINANI Judith	(S : 2,85503°; E : 29,63434°)	71967421
	MUDEYIDEYI Nicodème	(S : 2,85273°; E : 29,63383°)	68635817
	NIYORUGIRA Thérance	(S : 2,85105° ; E : 29,63239°)	69304574

Annexe F : Variétés de haricot en diffusion au Burundi (ISABU, 2025)

Variété	Année de diffusion	Type	Couleur des graines	Zone de culture (m)	Cycle cultural (jours)	Rendement
MOORE 88002	1997	Nain à croissance déterminée	Jaune	800-2200	75-90	500-1200 kg/ha
INAMUNIHIRE (IZ0201245)	1999	Nain à croissance déterminée	Beige crème	800-2200	75	500-1200 kg/ha
MUBOGORA (IZO201299)	2003	Nain à croissance déterminée	Violette	800-2200	80	1000-1500 kg/ha
DORE DE KIRUNDO	1983	Semi-volubile à croissance indéterminée	Jaune doré	1000-2200	85	500-800 kg/ha
VUNINKINGI	1993	Volubile	Rouge clair	800-2200	100-130	1000-1500 kg/ha
BISHAZA (AND 10)	1993	Volubile	Brun tacheté rouge	1400-2200	115-130	750-1000 kg/ha
TWUNGURUM URYANGO (G13607)	2006	Volubile	Rouge bordeaux	1400-2200	120-130	750-1000 kKg/ha
MBUNDUGURU (KATB1)	2008	Nain à croissance déterminée	Jaune doré	800-1400	65	1,0-1,3 T/ha
INAKAYOBA (KATB9)	2008	Nain à croissance déterminée	Rouge	800-1400	65	1,3 T/ha
KATX56	2008	Nain à croissance déterminée	Mauve	800-1400	65	1,4 T/ha

Variétés de haricot en diffusion au Burundi (suite)

Variété	Année de diffusion	Type	Couleur des graines	Zone de culture (m)	Cycle cultural (jours)	Rendement
KATX69	2008	Nain à croissance déterminée	Rouge blanc	800-1400	65 au Moso	1 T/ha
MUKUNGUGU	2008	Semi-volubile	Gris	1400-2200	80-90	1,5-1,8 T/ha
BIHOGO (MLV206/96B)	2008	Volubile	Jaune rouge	Moyenne et haute altitude	120-130	2T/ha
BISERA (LM9220492)	2008	Nain à croissance déterminée	Rouge de tacheté de blanc	Moyenne altitude	65	1000-1500 kg/ha
MUSENGO (MLB122-94B)	2008	Nain à croissance indéterminée	Blanc strié brun	Moyenne altitude	75-85	800-1000 kg/ha
NYAWERA (VCB81013)	2009	Volubile	Blanche	Moyenne et haute altitude	100	1500-3000Kg/ha
MIRUNDI (GLP2)	2010	Nain à croissance indéterminée	Rouge blanc	800-1500	80	1500Kg/ha
Gasilda	2010	Type IVa, croissance indéterminée	Marron	800-2200	75	1500-2500 kg/ha
KIRYUGARAMYE (RWR2091)	2011	Nain déterminée	Rouge foncé	800-1800	80	800-1500 kg/ha
MUSORE (Mso'le)	2001	Croissance indéterminée	Brune	800-2200	75	500-1200 kg/ha

Variétés de haricot en diffusion au Burundi (suite)

MAC13	2021	Volubile	Rouge striée	775-1850	105	2000 kg/ha
MAC52	2021	Volubile	Blanc striée	774-1850	105	2000 kg/ha
MAC54	2021	Volubile	Beige striée	774-1850	90	2000 kg/ha
BFS18	2021	Semi-volubile	Rouge	1200-1700	83	1300 kg/ha
BFS30	2021	Semi-volubile	Rouge	1200-1700	82	1200 kg/ha
BFS24	2021	Semi-volubile	Rouge	1200-1700	83	1300 kg/ha
BFS24	2021	Semi-volubile	Rouge	1200-1700	83	1300 kg/ha
BFS24	2021	Semi-volubile	Rouge	1200-1700	82	1350 kg/ha
DAB580	2022	Nain à croissance déterminée	Rouge blanc	800-1500	77	1200 kg/ha
DAB581	2022	Nain à croissance déterminée	Rouge blanc	800-1500	77	1300 kg/ha
AKAJONE (IZO2015110)	2013	Nain	Jaune	774-1850	70	800-1200 kg/ha
MAGORORI (MAC44)	2015	Volubile	Rouge blanc	1125-1850	95	2000-2500 kg/ha
RWIZIBIGEGA (MAC70)	2015	Volubile	Rouge blanc	774-1850	90	1500-2000 kg/ha
MUHORO	2015	Volubile	Beige gris	1500-2650	110	1500-2500 kg/ha
NAKAJE	2015	Volubile	Brune	1500-2650	100	1500-2500 kg/ha
MURENGETI (RWV1129)	2015	Volubile	Pourpre	1125-2650	108	2000-2500 kg/ha
MUTWENZI (RWV1272)	2015	Volubile	Brun pourpre	1125-2650	110	1500-2500 kg/ha

Variétés de haricot en diffusion en Burundi (suite)

MAKUTSAPATARO (IZO201543)	2015	Volubile	Rouge	1125-2650	110	1500-2500 kg/ha
RUFUTAMADENI (CODMLB003)	2015	Nain	Beige-violet	774-1850	70	800-1200 kg/ha
TSIMBATARA (GSZ611)	2016	Volubile	Blanc casse	1125-2200	120	2000-2500 kg/ha
MURWIZA (RWR2154)	2016	Semi volubile	Beige brun	774-1850	75	800-1200 kg/ha
KANEZA (RWR2245)	2016	Semi volubile	Rouge blanc	774-1850	75	800-1200 kg/ha
MASO (BCB-11-315)	2017	Nain	Beige crème	774-1850	75	800-1000 kg/ha
MABONDO (BCB-11-444)	2017	Semi volubile	Jaune pale	774-1850	90	800-1400 kg/ha
GAHAMA (RWR1092)	2017	Semi volubile	Rouge	774-1850	75	800-1000 kg/ha
MARIBORI (KENYA SUGAR)	2018	Nain	Rose striée	774-1850	70	900-1800 kg/ha
MAHARAGISOJA (ECDHR)	2018	Semi volubile	Beige	1125-1850	95	1000-1500 kg/ha
MAKAKI (NUV30)	2018	Volubile	Kaki	1125-2200	95	1200-2000 kg/ha
MUHIMBARE (NUV130)	2018	Volubile	Rouge	1125-2200	95	1200-2000 kg/ha
NDEMBERA (NUV91)	2018	Volubile	Rouge	1125-2200	95	2000 kg/ha
KINURE	2018	Volubile	Rouge claire	1125-2200	100	1500-2500 kg/ha
NOKIYA	2018	Volubile	Rouge claire	1125-2200	98	1200-1900 kg/ha
BUFU (JAUNE VOLUBILE)	2018	Volubile	Jaune	1125-2200	92	1000-1800 kg/ha
GISETSABAGORE	2018	Volubile	Jaune claire	1125-2200	97	1500-2500 kg/ha
RUSENYANZEGO	2018	Volubile	Jaune foncée	1125-2200	103	1500-2500 kg/ha