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

Réponse du haricot commun (Phaseolus vulgaris L.) aux amendements organiques et minéraux du sol acide de Kirimiro au Burundi

Nizigiyimana, Désiré; Sous la direction de : Pr. Séverin Nijimbere

2024
UB, FS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1787

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE DES SCIENCES

REPONSE DU HARICOT COMMUN (*Phaseolus vulgaris L)* AUX AMENDEMENTS ORGANIQUES ET MINERAUX DU SOL ACIDE DE KIRIMIRO AU BURUNDI

Par

Désiré NIZIGIYIMANA

Mémoire

Présenté en vue d'obtenir : Le Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement ; Option : Génie de l'Environnement.

Sous la direction de :

Pr. Séverin NIJIMBERE

Bujumbura, Avril 2024

COMPOSITION DU JURY

Président : Prof. Bernadette HABONIMANA

Secrétaire : Prof. Salvator KABONEKA

Membre : Prof. Richard HABONAYO

Directeur : Prof. Séverin NIJIMBERE

DEDICACES

A mon père Astère NZEYIMANA;

A ma mère Daphrose NIRAGIRA;

A la famille de Fidèle GAHUNGU ;

A mes frères et sœurs ;

A mes amis et connaissances ;

Je dédie ce mémoire.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de maîtrise est certes le fruit de mes propres efforts. Mais cela n'aurait pas été possible sans le soutien conjoint de différentes personnes à qui j'ai l'honneur d'exprimer ma gratitude.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Prof. Dr. Ir. Séverin NIJIMBERE, Doyen de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie de l'Université Burundi en même temps promoteur de ce travail qui, malgré ses multiples responsabilités, a accepté de le superviser. Ses conseils prodigués à mon égard, ses suggestions et orientations méritent une reconnaissance éternelle. Merci également pour tout le temps consacré à ce mémoire dès sa conception jusqu'à sa fin.

Je tiens à remercier vivement Prof. Dr. Ir. Salvator KABONEKA pour sa franche collaboration pendant la collecte des données jusqu'à leurs traitements.

Mes sincères remerciements vont également à l'endroit de l'*International Fertilizer Development Center* (IFDC) à travers son projet PAGRIS qui a bien voulu financer la FABI pour l'exécution de du projet de recherche *«Récupération agroécologique des sols fortement acides et appauvris en éléments nutritifs de la région d'altitude du Burundi pour accroître la production agricole (RASAB)»* auquel ce mémoire a été réalisé.

Ma gratitude s'adresse également à tous mes éducateurs, de l'école primaire à l'Université du Burundi, particulièrement ceux du Master en Science et Gestion Intégrée de l'Environnement, pour la qualité de la formation tant morale qu'intellectuelle qu'ils m'ont donnée.

Ce travail n'aurait pas pu prendre sa forme sans un bon environnement de travail. Je suis reconnaissant envers tous mes promotionnaires de classe en MSGIE pour les bons moments passés ensemble. Qu'ils trouvent l'expression de mes sincères gratitudes.

Une mention spéciale est faite à tous les membres de ma famille pour le soutien tant moral que matériel durant nos études. A tout un chacun dans son honneur, nous saisissons de cette belle occasion pour lui adresser notre gratitude.

Enfin, mes remerciements s'adressent à tous ceux qui, de près ou de loin qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Nous leur exprimons notre reconnaissance.

NIZIGIYIMANA Désiré

RESUME

L'amélioration de la qualité des sols acides est une condition nécessaire pour la production agricole. Cette étude expérimentale, conduite sur un sol acide du Kirimiro, avait pour objectif d'évaluer l'interaction entre les amendements organiques et la dolomie sur les performances agronomiques du haricot nain, variété Rufutamadeni. L'expérimentation a été réalisée sur quinze traitements suivant un dispositif en blocs aléatoires complets à trois répétitions. Les traitements étaient des combinaisons de quatre types de fumures organiques (fumiers de vache et de chèvre, composts de *Tithonia diversifolia* et de *Lantana camara*) et le témoin et de trois doses de dolomie (0 t/ha, 2 t/ha et 4 t/ha).

Après la collecte des données et leurs traitements, les résultats ont révélé que l'application du fumier de chèvre combiné avec 4 t/ha de dolomie a donné une biomasse totale (7111 kg/ha) statistiquement plus élevé que celles obtenues en cas d'usage des composts de *Tithonia* et de *Lantana* sans dolomie (2701 kg/ha et 2736 kg/ha respectivement), en cas de la seule application de 2 t/ha de dolomie sans fumure organique (2007 kg/ha) et sur le traitement témoin (2240 kg/ha). Par ailleurs, l'application du fumier de vache et d'une dose de 4 t/ha de dolomie a permis d'obtenir un rendement (1141 kg/ha) significativement plus élevé que celui du traitement au fumier de chèvre et 2 t/ha de dolomie (398 kg/ha).

En définitive, les fumures organiques augmentent considérablement le rendement du haricot comparativement aux seules doses de dolomie. Les actions combinées de ces deux types d'amendements permettent d'optimiser la production en grain du haricot.

Mots clés : Amendement organique, dolomie, haricot, rendement, sol acide.

ABSTRACT

Improving the quality of acid soils is a prerequisite for agricultural production. This experimental study, conducted on an acidic soil in Kirimiro, was to evaluate the interaction between organic amendments and dolomite on the agronomic performance of the dwarf bean variety Rufutamadeni. Fifteen treatments were tested in a randomized complete block design with three replications. The treatments were combinations of four types of organic manures (cow and goat manures, *Tithonia diversifolia* and *Lantana camara composts*) and the control, plus three doses of dolomite (0 t/ha, 2 t/ha and 4 t/ha).

After data collection and processing, the results revealed that the application of goat manure combined with 4 t/ha of dolomite gave a statistically higher total biomass (7111 kg/ha) than those obtained using *Tithonia and Lantana* composts without dolomite (2701 kg/ha and 2736 kg/ha respectively), the application of 2 t/ha of dolomite without organic fertilizer (2007 kg/ha) and the control treatment (2240 kg/ha). On the other hand, the application of cow manure and 4 t/ha of dolomite resulted in a significantly higher yield (1141 kg/ha) than the treatment with goat manure and 2 t/ha of dolomite (398 kg/ha).

In the end, organic fertilizers significantly increase bean yield compared with dolomite alone. The combined actions of these two types of amendment optimizes bean grain production.

Key words: Organic amendment, dolomite, bean, yield, acid soil.

TABLE DES MATIERES

COMPOSITION DU JURY i

DEDICACES ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

TABLE DES MATIERES vi

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS x

LISTE DES TABLEAUX xii

LISTE DES FIGURES xiii

AVANT PROPOS xiv

0. INTRODUCTION GENERALE 1

0 .1. Contexte et problématique 1

0.2. Objectifs du travail 2

0.3. Hypothèse de l'étude 3

0.4. Subdivision du travail 3

CHAP I: REVUE DE LA LITTERATURE SUR LE HARICOT 4

I.1 Origine 4

I.2. Place et description du haricot 4

I.3. Exigences édaphiques du haricot 5

I.4.Techniques de semis du haricot 6

I.5. Importance de la culture du haricot 6

I.5.1. Importance nutritionnelle 6

I.5.2. Importance économique 7

I.5.3. Importance agronomique 7

I.6. Les contraintes de production de la culture du haricot 7

I.6. 1. Contraintes biotiques 7

I.6. 2. Contraintes édaphiques 7

I.7. Différentes variétés du haricot 8

I.8. Les différentes maladies et ravageurs de la culture du haricot 8

I.8.1. Maladies fongiques 9

I.8.1.1. Anthracnose (Colletotricurn lindemuthianum) 9

I.8.1.2. Fonte de semis 10

I.8.1.3. La tache angulaire 10

I.8.1.4. Graisses bactériennes 11

I.8.2. Ravageurs 11

CHAPITRE II. TECHNIQUES DE GESTION DES SOLS ACIDES AU BURUNDI 13

II.1. Les facteurs de dégradations des sols 13

II.2. Rôle des amendements dans la gestion des sols acides 15

II.2.1. Impact de la dolomie sur les sols acides 15

II.2.2. Les différentes doses d'application de la chaux selon les différents types du sol. 16

II.3. Influence de la matière organique dans la gestion des sols acides 17

II.3.1. Définition et importance de la matière organique 17

II.3.2. Interaction engrais et matière organique 17

II.3.3. Rôle du fumier de vache 17

II.3.4. Rôle du fumier de chèvre 17

II.4. Contribution de *Tithonia diversifolia* et *Lantana camara* dans la fertilisation des sols acides 18

II.4.1. Description, origine et Classification du *Tithonia diversifolia* 18

II.4.2. Impact du *Tithonia diversifolia* dans la gestion des sols 18

II.4.3. La composition nutritionnelle du *Thitonia diversiforia* 20

II.4.4. Description et Classification de Lantana camara 20

II.4.4.1. Description.....20

II.4.4.2. Classification selon Cronquist (1988) 21

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES.....23

III.1. Présentation de la zone d'étude.....23

III.2. Matériels utilisés 25

III.2.1. Matériels végétaux 25

III.2.2. Autres matériels.....25

III.3. Méthodologie 25

III.3.1. Semis du haricot.....27

III.3.2. Travaux d'entretien du haricot 28

III.3.3. Collecte des données 28

CHAPITRE IV. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 30

IV.1. Présentation des résultats.....30

IV.1.1. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le taux de survie.....30

IV.1.2. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la biomasse totale sèche (BTS) .31

IV.1.3. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la biomasse aérienne sèche (BAS) 32

IV.1.4. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la biomasse racinaire sèche (BRS) 34

IV.1.5. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le nombre de gousses par plant .35

IV.1.6. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le nombre de graines par gousse37

IV.1.7. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la longueur des racines 38

IV.1.8. Effet de la matière organique et de la dolomie sur le poids de mille graines 39

IV.1.9. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le rendement du haricot 41

IV.2. Discussion des Résultats.....44

CONCLUSION ET PERSPECTIVES 46

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....48

ANNEXES.....53

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

%	: Pourcentage
B	: Bore
BAS	: Biomasse Aérienne Sèche
BASC	: Biomasse Aérienne Sèche dans une parcelle élémentaire
BRS	: Biomasse Racinaire Sèche
BRSC	: Biomasse Racinaire Sèche dans une parcelle élémentaire
BTS	: Biomasse Totale Sèche
BTSC	: Biomasse Totale Sèche dans une parcelle élémentaire
Ca	: Calcium
$CaCO_3$	: Carbonate de Calcium
CIAT	: Centre International de l'Agriculture tropicale
Co	: Cobalt
Cu	: Cuivre
FAO	: Food and Agriculture Organization
Fe	: Fer
g/T	:Gramme par Traitement
ha	: Hectare
hab/km^2	:Habitat par Kilomètre carré
IFDC	: International Fertilizer Development Center
ISABU	: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
K	: Potassium
LASPA	: Laboratoire d'Analyse du Sol et des produits Agroalimentaires
M	: Mètre
Mg	: Magnésium

MINEAGRIE : Ministère de l'Environnement, Agriculture et l'Elevage

Mn : Manganèse

Mo : Molybdène

N : Azote

n : Nombre de plant trouvé dans la parcelle élémentaire

NG/P : Nombre de gousse par Plant

OMS : Organisation Mondiale de la santé

ONCCS : Office Nationale de Contrôle et de Certification des Semences

P : Phosphore

PC : Poids dans une parcelle élémentaire

Ph : Potentiel d'Hydrogène

PMG : Poids de Mille Grain

R/S : Roots/Shout

S : Soufre

S : Surface

s/ha : Surface par hectare

t : Tonne

T : Traitement

t/ha : Tonne par hectare

TS : Taux de survie

Y : Nombre de plants total dans une parcelle élémentaire

Zn : Zinc

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Tableau illustratif des différentes doses de chaux selon les différents types de sol 16
Tableau 2:Nombre de graines par gousse des plants du haricot.....37
Tableau 3:Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la longueur des racines (cm).38
Tableau 4: Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le poids de mille graines (g/ha) 40
Tableau 5:Tableau illustratif des différents paramètres de croissance et de production pour le haricot 54
Tableau 6:Résultats d'analyse de la variance pour les différents paramètres observés 56

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Description morphologique du haricot 5
Figure 2:Symptômes de l'Anthracnose (Colletotricurn lindemuthianum) sur les feuilles sur les gousses 10
Figure 3 : symptômes de la fonte de semis du haricot 10
Figure 4:Symptômes de la tache angulaire de haricot sur les feuilles et les gousses 11
Figure 5:pucerons noirs sur le haricot 12
Figure 6:Carte de la fertilité des sols au Burundi 14
Figure 7:Tithonia diversifolia 20
Figure 8: Lantana camara 21
Figure 9:Localisation du site expérimental 24
Figure 10:Dispositif expérimental utilisé 26
Figure 11:Taux de survie des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée 31
Figure 12:Biomasse totale sèche des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée 32
Figure 13:Biomasse aérienne sèche des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée 34
Figure 14:Biomasse racinaire sèche des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée 35
Figure 15:Nombre de gousses de haricot par plant en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée 36
Figure 16:Le rendement des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée 43
Figure 17:Chaulage des parcelles (photo prise en février 2023 57
Figure 18:Evaluation du taux de levée (à gauche) et du taux de survie (à droite) (photos prises respectivement en mars et en mai 2023) 58
Figure 19:Stade de maturité (photos prise sur terrain en Mai 2023) 58
Figure 20:Maladies (à gauche et ravageurs (à droite) (photos prise sur terrain en Mars 2023) 58

AVANT PROPOS

Le présent travail intitulé « Réponse du haricot commun (*Phaseolus Vulgaris L.)* aux amendements organiques et minéraux du sol acide de Kirimiro au Burundi » est un mémoire de fin d'études de master en Science et Gestion Intégrée de l'Environnement, spécialité : Génie de l'Environnement.
Il permet de déterminer le type de la combinaison de la fumure organique (fumier de ferme ou compost) et de la dose de la dolomie qui améliore le rendement du haricot.

L'idée de ce travail de recherche est venue du constat que la dégradation des sols par acidification en Afrique en général et au Burundi en particulier est un problème sérieux qui impacte négativement sur la productivité des cultures.
Au Burundi, peu de travaux de recherches ont été faites pour évaluer l'interaction entre la chaux dolomitique et les fumiers de fermes sur les sols extrêmement acides des plateaux centraux.

Ainsi, beaucoup d'agriculteurs Burundais n'ont pas des connaissances particulières sur les avantages de l'utilisation de la dolomie une fois combiné avec les fumiers de ferme ou du compost.

Dans ce travail nous avons essayé de mener une étude sur la combinaison de ces derniers pour se rassurer d'une bonne méthode agronomique qu'il faut recommander aux agriculteurs de la région de hautes altitudes du Burundi (plateau centraux). Néanmoins, l'étude était faite sur de courte période c'est-à-dire pendant une seule saison d'où les effets positifs sur la combinaison de ces amendements n'ont pas été très remarquables.

0. INTRODUCTION GENERALE

0 .1. Contexte et problématique

La plupart des sols du Burundi sont dégradés par acidification et très désaturés en bases (Ca, Mg et K), très bourrés en aluminium et pauvres en éléments nutritifs. Selon une étude récente (ISABU, 2021), qui a cartographié les paramètres de fertilité chimique des sols du Burundi, 73 % des sols du Burundi sont acides. Cette dégradation est plus accentuée sur la crête Congo-Nil et dans les Plateaux centraux. La réaction acide du sol est d'autant plus grave qu'elle induit une série de contraintes à la croissance des plantes et qu'elle affecte les propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols (Salvator *et al.*, 2020).

Au Burundi, l'agriculture emploie une grande majorité de la population active. Ainsi, en 2010, la population agricole (7,9 millions) représentait 89% de la population totale. L'agriculture contribue à 35% du PIB et les productions sont très majoritairement vivrières (principalement banane, riz, maïs, haricot, manioc, patate, etc). Ce type de production garantit la plus grande partie de l'alimentation de la population burundaise (Levard & Aler, 2014).

Au niveau mondial, le haricot se positionne en tant que deuxième source de calories après le maïs. En Afrique, la culture du haricot commun est présente dans diverses zones agroécologiques à haute et moyenne altitude, des millions de petits agriculteurs dans les pays en développement le considère comme un aliment essentiel dans la lutte contre la malnutrition (Goudjo et al., 2023)**.**
Le haricot est ainsi devenu indispensable dans la vie quotidienne du point de vue de la nourriture (Andriamiarisoa L, 2014) .
Selon Eric,(2016a); la consommation du haricot intéresse la majorité de la population burundaise si bien que les habitants du Burundi sont comptés parmi les plus grands consommateurs du haricot sec dans le monde. C'est l'aliment de base pour la majorité des burundais et la première source de protéines et de micronutriments particulièrement le Fer et le Zinc. Il est cultivé au Burundi à toute altitude. Il emblave de la superficie en culture vivrière.
Au Burundi, le haricot est cultivé sur une superficie d'environ 16% du territoire national et dans toutes les zones agroécologiques du pays (Birachi, 2015)

Bien que cette culture n'ait pas d'exigence particulière concernant le type de sol, elle est sensible aux pH bas (optimum entre 6,1 et 7,4) et à l'aluminium échangeable (Al^{3+}) (Salvator *et al.,* 2020). Pour cette raison, il est toujours conseillé d'amender le sol avant la culture du haricot.

Les amendements les plus utilisés au Burundi pour corriger l'acidité du sol sont la chaux dolomitique et des fumiers. Les quantités à appliquer sont généralement les mêmes pour tous les sols du pays et tiennent rarement compte du degré d'acidité. De plus, peu de travaux de recherche ont été déjà conduits pour évaluer l'interaction entre la dolomie et les fumiers de ferme.

C'est dans cette optique qu'un travail de recherche intitulée *« Réponse du haricot commun (Phaseolus vulgaris L.) aux amendements organiques et minéraux du sol acide de Kirimiro au Burundi»* a été menée par essai expérimental en champ sur le site de Zege dans la région agroécologique des Plateaux centraux.
Les fumiers de ferme (de vache et de chèvre) sont parmi les plus appliquées au Burundi. Ils ont été utilisés en combinaison avec la chaux dolomitique. De plus, l'usage des composts étant actuellement vulgarisé pour servir dans les ménages sans bêtes d'élevage, des composts de *Tithonia diversifolia* et de *Lantana camara* ont été aussi testés dans cette étude au même titre que les fumiers de ferme. Ces deux espèces, bien qu'elles ne soient pas de la famille de légumineuses, contiennent une bonne quantité d'azote et ont déjà montré leurs effets sur la fertilisation des sols et sur l'augmentation des rendements des plantes cultivées à travers les études antérieures (Chikuvire *et al.*, 2013).De nos jours, il apparaît que très peu de travaux de recherche sont conduit pour évaluer l'interaction entre la chaux dolomitique et les fumiers de fermes au Burundi.

0.2. Objectifs du travail

Le présent travail avait pour objectif global de déterminer le type de la combinaison de la fumure organique et de la dose de la dolomie qui améliore le rendement du haricot.

Pour atteindre cet objectif global, des objectifs spécifiques suivants ont été explorés :

- Déterminer le type de fumure organique qui permet d'avoir un meilleur rendement pour une dose donnée de dolomie
- Pour chaque type de fumure organique, déterminer la dose de dolomie qui permet d'obtenir un meilleur rendement du haricot

0.3. Hypothèse de l'étude

Pour atteindre les objectifs ci-haut-cités, nous avons été guidés par les hypothèses suivantes :

1° La dose de dolomie déterminée par la formule de Yamoah (1990) permet d'obtenir un meilleur rendement du haricot
2° La fumure organique (fumiers et composts) améliore le rendement du haricot pour une dose quelconque de dolomie

0.4. Subdivision du travail

A part l'introduction et la conclusion qui débute et clôture le présent document respectivement, ce travail s'articule autour de quatre chapitres. Le premier chapitre décrit la synthèse bibliographique sur le haricot ; le deuxième chapitre porte sur la gestion des sols acides ; la troisième relate le matériel et méthodes utilisés ; le quatrième parle des résultats obtenus et de leur discussion.

CHAP I: REVUE DE LA LITTERATURE SUR LE HARICOT

I.1 Origine

Il est originaire d'Amérique. L'espèce, *Phaseolus vulgaris,* occupe une place importante dans le système agricole, particulièrement en Afrique et dans les pays du Sud en général à Madagascar. Sa culture est pratiquée presque dans toute l'île, dont la plus grande partie se trouve dans les régions des hauts plateaux (Gentiane , 2015).

La première apparition du haricot commun dans des sites archéologiques est datée de 7.000 ans av. J.-C. au Pérou, de 4.000 ans av. J.-C. au Tamaulipas (nord-est du Mexique) et de 3.000 ans av. J.-Tehuacán (sud-est de Mexico). La première introduction du haricot en Europe serait due à Christophe Colomb qui le découvrit à Nuevitas (Cuba) lors de son premier voyage en octobre 1492 (Eric, 2016a)**.**

Selon MINEAGRIE (2020), le haricot commun a été introduit au Burundi à partir de l'Angola entre le 17ème et le 18ème siècle. Le haricot est classé parmi les premières cultures de subsistance dans ce pays. C'est un aliment le plus consommé sur tous les repas et il procure 20% de calories et 50% de protéines. C'est l'aliment de base pour la majorité des burundais et la première source de protéines et de micronutriments particulièrement le Fer et le Zinc. Il est cultivé au Burundi à toute altitude entre 774 m et 2200 m.

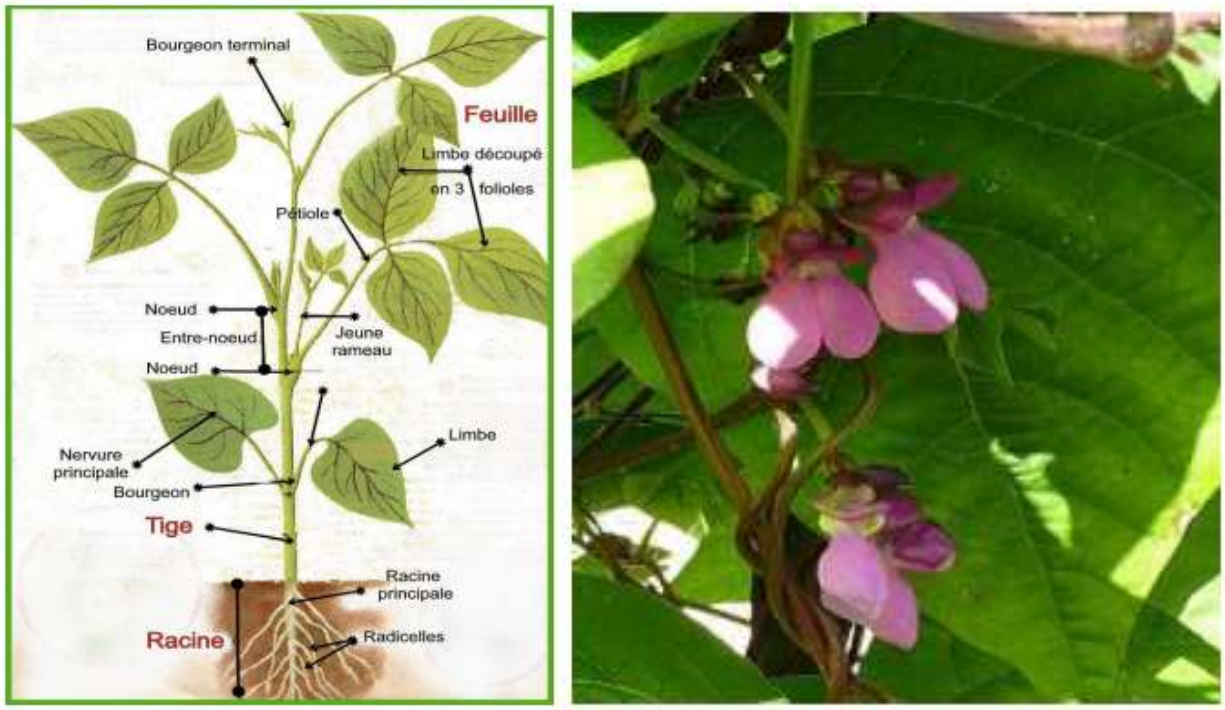
I.2. Place et description du haricot

L'espèce, *Phaseolus vulgaris*, occupe une place importante dans le système agricole, particulièrement en Afrique et dans les pays du Sud en général (MINEAGRIE, 2022).

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris L.)* est une plante annuelle de la famille des Fabacées ou Légumineuses. Il est de deux types : les nains (50 cm de hauteur) et à rames ou grimpantes (2 à 3 m de hauteur). Le haricot est une plante autogame, car les ovaires d'une fleur sont fécondés par le pollen provenant de la même fleur. Le fruit du haricot est une gousse qui contient les graines. Généralement, les gousses mesurent entre 8 et 20 cm de long (Deslauriers, 2014).

Il est une plante annuelle appartenant à l'ordre des Fabales et à la famille des Fabacées dont les feuilles sont trifoliées. Le système radiculaire est constitué d'une racine principale et de nombreuses racines latérales qui se tiennent horizontales sur 10 cm de long. Les feuilles de haricot

sont attachées à la tige en différents points qu'on appelle des nœuds. Elles sont disposées une par une à chaque nœud ; on dit qu'elles sont alternées. La feuille du haricot est composée de chaque partie qui est une foliole. Chaque feuille s'attache au nœud de la tige par une queue ou pétiole dont la base élargie est la gaine Des deux côtés de la gaine, on voit deux petites lames vertes ou stipules (Belaadi *et al*., 2014).



Source : (Belaadi *et al*., 2014)

Figure 1:Description morphologique du haricot

I.3. Exigences édaphiques du haricot

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est une légumineuse très plastique. Il est cultivé dans toutes les régions naturelles du Burundi mais la productivité dépend des conditions édapho-climatiques du milieu. Dans des bonnes conditions climatiques, les régions du Buyenzi, Kirimiro, Bugesera, Moso et Buragane constituent les principales régions productrices (MINEAGRIE, 2022).

Le haricot peut pousser dans plusieurs types de sols avec un pH optimal se situant entre 6,0 et 6,5. Il se développe bien dans les sols argilo-sableux, meubles, riches, frais, bien drainés et profonds.

Des conditions de sols trop humides peuvent entraîner des maladies racinaires et des carences en éléments nutritifs (Aguiar *et al*., 1998).

La formule (N-P-K-Ca-Mg) recommandée pour la fertilisation du haricot est (9-22-4-13-2) à une dose de 100kg/ha (haricot nain) et 150 kg/ha (haricot volubile) de FOMI Imbura utilisée en une seule application au semis. Sur des sols faiblement acides (pH entre 5 et 5,5), un apport de fumure organique de 5 à 10 t/ha est nécessaire (ISABU,2023).

I.4.Techniques de semis du haricot

Le semis du haricot se fait en ligne. Pour le haricot nain et semi-volubile, les écartements sont de 20 cm dans la ligne et 40 cm entre les lignes avec 2 graines par poquet. Pour le haricot volubile, le semis se fait aux écartements de 50 cm entre les lignes et 20 cm dans la ligne à raison de 2 graines par poquet. Ce qui conduit à une quantité de semences estimées entre 60-100 kg/ha pour le haricot nain et entre 50-80 kg/ha pour le haricot volubile (Ochieng, 2011).

Le déficit pluviométrique après floraison, lorsqu'il est combiné aux fortes températures, entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage, provoquant une chute de rendement (Aggoun *et al*., 2006).

I.5. Importance de la culture du haricot

I.5.1. Importance nutritionnelle

Le haricot constitue la source principale de protéines, de glucides, de sels minéraux et de vitamines. Il 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 exempte 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 (Ochieng, 2011). Les variétés de haricot commun ont une teneur en protéines totales entre 18,53 % et 28,53 % En plus de la richesse des haricots en protéines, d'autres variétés du haricot sont riches en micronutriments, notamment en Fer et en Zinc (Arsène, 2016).

I.5.2. Importance économique

A part son importance alimentaire, le haricot joue un rôle important au niveau économique puisqu'il est une source de revenu pour les simples paysans et aussi pour le pays tout entier. De nombreux pays utilisent ce produit agricole comme source de revenu par l'exportation de grains de haricot sec. Le haricot est aussi la denrée la plus commercialisée au niveau des marchés et centres du Burundi (Arsène, 2016).

I.5.3. Importance agronomique

Après la récolte, on peut valoriser les appareils végétatifs comme matériels de fertilisation et les exploiter pour l'alimentation du bétail. Le haricot fait partie de la classe des Légumineuses. Il est donc caractérisé par la présence de nodosités où vivent les bactéries fixatrices d'azote appelées Rhizobium *Phaseolus*. L'azote atmosphérique fixé par ces bactéries enrichit le sol en azote afin d'assurer la fertilisation du sol pour le besoin des cultures de la saison suivante (Souana, 2013)

I.6. Les contraintes de production de la culture du haricot

I.6. 1. Contraintes biotiques

Les contraintes biotiques présentent une grande difficulté pour les agriculteurs. Ces contraintes sont dues à des cryptogames non vasculaires (à savoir la maladie fongique), des bactéries, des maladies virales, les nématodes parasites (les nématodes à galles) et des insectes ravageurs (Arsène, 2016).

I.6. 2. Contraintes édaphiques

La fertilité du sol est une contrainte majeure dans beaucoup de régions pour le haricot. Le haricot, très sensible à de mauvaises conditions du sol, réagit plus vite aux améliorations du sol. Comme toute autre légumineuse, il peut bénéficier d'une symbiose avec le Rhizobium, mais cette symbiose n'est efficace que dans des conditions de sol très limitées en ce qui concerne le pH, la toxicité chimique, etc (Eric, 2000).

Cependant, en plus de toutes ces contraintes, les petits exploitants agricoles rencontrent aussi d'autres contraintes telles que l'insuffisance de capital, le manque d'accès à des semences améliorés, des infrastructures de commercialisation médiocres, une faible productivité du travail et

des conditions peu fiables. Cela a conduit à une faible productivité agricole et une faible offre de haricots sur le marché par les petits exploitants. Au Burundi la production de haricots a diminué, passant de 250 000 tonnes en 2003 à 202 934 tonnes en 2009, ce qui n'est pas ne permet pas de répondre à la demande intérieure croissante (MINEAGRIE, 2018).

I.7. Différentes variétés du haricot

Au Burundi, le haricot connaît plusieurs variétés en diffusion, mais ces dernières peuvent aussi varier selon les différentes zones agroécologiques. Au cours de l'année 2016, l'Office de Contrôle et de Certification des Semences (ONCCS) a homologué des variétés qui sont les suivantes : MAC44, RWV1129, RWV1272, GSZ611, MUHORO, CODMLB003 et MAC70. Parmi ces variétés, il y a les variétés riches en micronutriments à savoir MAC44, RWV1129 et MAC70 et les variétés à haute valeur marchande telles que RWV1272, GSZ611, MUHORO et CODMLB003. Toutes ces variétés sont de type volubile à l'exception de CODMLB003 qui est naine (Eric, 2016b).

Contrairement aux autres variétés, CODMLB003 connu en kirundi sous le nom de Rufutamadeni ou Mutwenzi,cette variété est Originaire du Centre International de l'Agriculture tropicale (CIAT). Elle a été introduite au Burundi en 2008 et elle a été diffusée en 2015 pour etre cultivée sur le territoire national (Ruraduma *et al*., 2012).

Cette variété a une très grande valeur marchande. Elle est cultivé dans les différentes zones agroécologique du Burundi avec 1200 à 1700 m d'altitude dont : Imbo, Bugesera, Bweru, Buyogoma, Moso, Buragane, Buyenzi, Kirimiro, Mumirwa. Elle est de type « semi-volubile », ses fleurs sont de Couleur blanchâtre et ses graines sont réniforme (en forme de reins) caractérisées aussi par une Couleur beige-violet. Selon la fiche technique produite par l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) en collaboration avec l'ONCCS cette variété est tolérante aux maladies et ravageurs. Son cycle végétatif est compris entre 65-70 jours pour atteindre sa maturité. C'est une variété productive et qui peut donner un rendement potentiel de 1,2 t/ha (MINEAGRIE, 2018).

I.8. Les différentes maladies et ravageurs de la culture du haricot

Le haricot commun est l'une des des cultures vivrières les plus cultivées et les plus attaquées par les maladies et les ravageurs ; ce qui affecte sa production (Ossey *et al.*, 2021).

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) peut être affecté par trois types de maladies. Il s'agit de : maladies fongiques, maladies bactériennes(la Bactériose commune et la Bactériose à halo) et maladies virales (le virus de la mosaïque commune du haricot et la Nécrose systémique ou Blackroot) (Bernier, 2011).

I.8.1. Maladies fongiques

Les principales maladies fongiques du haricot sont : les fontes de semis et les pourritures racinaires, l'anthracnose, les tâches anguleuses, les taches concentriques (aschochytoses), la rouille et les tâches farineuses. Leurs transmissions se font par les semences infectées, le sol et fanes des récoltes.

I.8.1.1. Anthracnose (Colletotricurn lindemuthianum)

Cette maladie est très répandue sur le haricot commun et peut entraîner la perte complète de la culture lorsque de la semence contaminée d'un cultivar sensible est utilisée et que, durant la saison de croissance, les conditions favorables au développement de la maladie se réalisent (INRAE, 2017).

Les symptômes de cette maladie se manifestent par des nécroses noirâtres sur les nervures, entourées d'une tache nécrotique allongée à la face supérieure, et tache nécrotique allongée sur nervures à la face inférieure sur les feuilles. Sur gousses : taches rondes ou ovales, noires avec centre grisâtre, en creux, se recouvrant de pustules roses en conditions humides Sur tiges : nécroses noirâtres allongées (Bernier, 2011).



Source : *https://www.google.com/search?q=anthracnose+du+haricot+sur+les+feuilles visite le 29/05/2024 à 18h41.*

Figure 2:Symptômes de l'Anthracnose (Colletotricurn lindemuthianum) sur les feuilles sur les gousses

I.8.1.2. Fonte de semis

La fonte de semis est une maladie dite cryptogamique. Aussi appelé maladie fongique, elle est causée par des champignons parasitaires filamenteux. Les racines et le collet sont affectés, entraînant la mort des jeunes pousses **(Serres, 2021).**



Source *: Photo prise sur terrain 2023*

Figure 3 : symptômes de la fonte de semis du haricot

I.8.1.3. La tache angulaire

La tache angulaire est une maladie fongique du haricot, due au champignon *Phaeoisariopsis griseola*, est considérée comme une maladie grave du haricot dans de nombreuses régions. Toutes les parties aériennes de la plante, dont les feuilles, les pétioles, les tiges et les gousses, peuvent être infectées mais c'est sur les feuilles que les symptômes sont les plus reconnaissables. Sur les feuilles, les lésions prennent habituellement la forme de taches brunes, brun clair ou argentées en leur centre, d'abord délimitées par les nervures, d'où leur apparence angulaire (Ontario, 2022a)**.**



Source : *https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/full/10.1079/pwkb.20167800902*

Figure 4:Symptômes de la tache angulaire de haricot sur les feuilles et les gousses

I.8.1.4. Graisses bactériennes

Quatre types de graisses bactériennes sont recensées dans la littérature, à savoir la graisse à halo, le dépérissement bactérien (bacterial brown spot), la graisse commune et enfin une autre graisse à Xanthomonas (bacterial wilt). La maladie est transmise d'une année sur l'autre par les semences. La propagation d'une plante à l'autre se fait en fonction des intempéries et de la circulation des travailleurs et du matériel agricole dans la parcelle quand les plantes sont mouillées. La pluie est également un facteur favorisant la dispersion des bactéries (Barhahakana *et al*., 2014)

I.8.2. Ravageurs

Parmi les ravageurs du haricot, la mouche du haricot et les pucerons sont actuellement considérés comme des ravageurs les plus dangereux (Eric, 2000).

De tous les insectes ravageurs, le puceron noir du haricot, *Aphis fabae*, est un insecte qui peut envahir les jeunes pousses, la face inférieure des feuilles, les pétioles, les fleurs et la jeune gousse. Les plantes fortement infestées se développent mal, leurs feuilles se recroquevillent et se boursouflent (Kulimushi, 2014).

Sans compter la transmission de virus par les pucerons, les dégâts qu'ils occasionnent peuvent conduire à une baisse de rendement (Tardé, 2022)



Source : *https://www.bayer-agri.fr/cultures/pucerons-du-haricot-eviter-les-foyers-dinfestation-et-encourager-les-predateurs_2529/.Visité le 01/05/2024 à 10h09*

Figure 5:pucerons noirs sur le haricot

CHAPITRE II. TECHNIQUES DE GESTION DES SOLS ACIDES AU BURUNDI

II.1. Les facteurs de dégradations des sols

Le Burundi fait face de façon très préoccupante à une dégradation continue des ressources naturelles à cause de plusieurs facteurs dont les plus importants sont : la surexploitation des terres agricoles consécutive à une pression démographique très forte, l'érosion, les feux de brousses, la déforestation, les pratiques culturales inappropriées, la mauvaise utilisation de ressources en eaux et en sols et la mauvaise affectation des terres. La dégradation de l'environnement en général et des ressources foncières en particulier débouche sur la détérioration des conditions de vie des populations et la baisse des capacités de production, particulièrement au niveau du secteur agricole. La dégradation des terres apparaît sous différentes formes(chimique, physiques et biologique), selon le type d'utilisation des terres (MINEAGRIE, 2016)**.**

La première forme majeure de dégradation est l'érosion hydrique, processus par lequel l'eau de pluie détache et emporte les particules de sol. Elle est liée en grande partie au ruissellement, c'est-à-dire à l'écoulement à la surface du sol des eaux de pluie ou de celles de la fonte des neiges. L'érosion s'aggrave avec l'exploitation agricole qui empêche, pour diverses raisons, une pénétration optimale de l'eau dans le sol, ce qui augmente le ruissellement(Mathieu, 2020).

Selon Mathieu, (2020), les principales causes de dégradation des sols sont généralement anthropiques : agriculture intensive, déforestation, surpâturage, pollution industrielle, irrigation… et cette dégradation risque de s'aggraver si rien n'évolue dans les pratiques agricoles et environnementales. L'absorption des éléments minéraux du sol par la plante, qui sont ensuite exportés dans celle-ci lors des récoltes, diminue la réserve en cations des sols. Par conséquent, si l'apport d'intrants (fumier, compost, engrais) ne vient pas compenser les exportations, petit à petit le sol va s'appauvrir en cations (Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+} …). Ceux-ci seront remplacés par des ions H^{+}, ce qui se traduira par une acidification.

- Carte de la fertilité des sols du Burundi selon IFDC et ISABU 2021

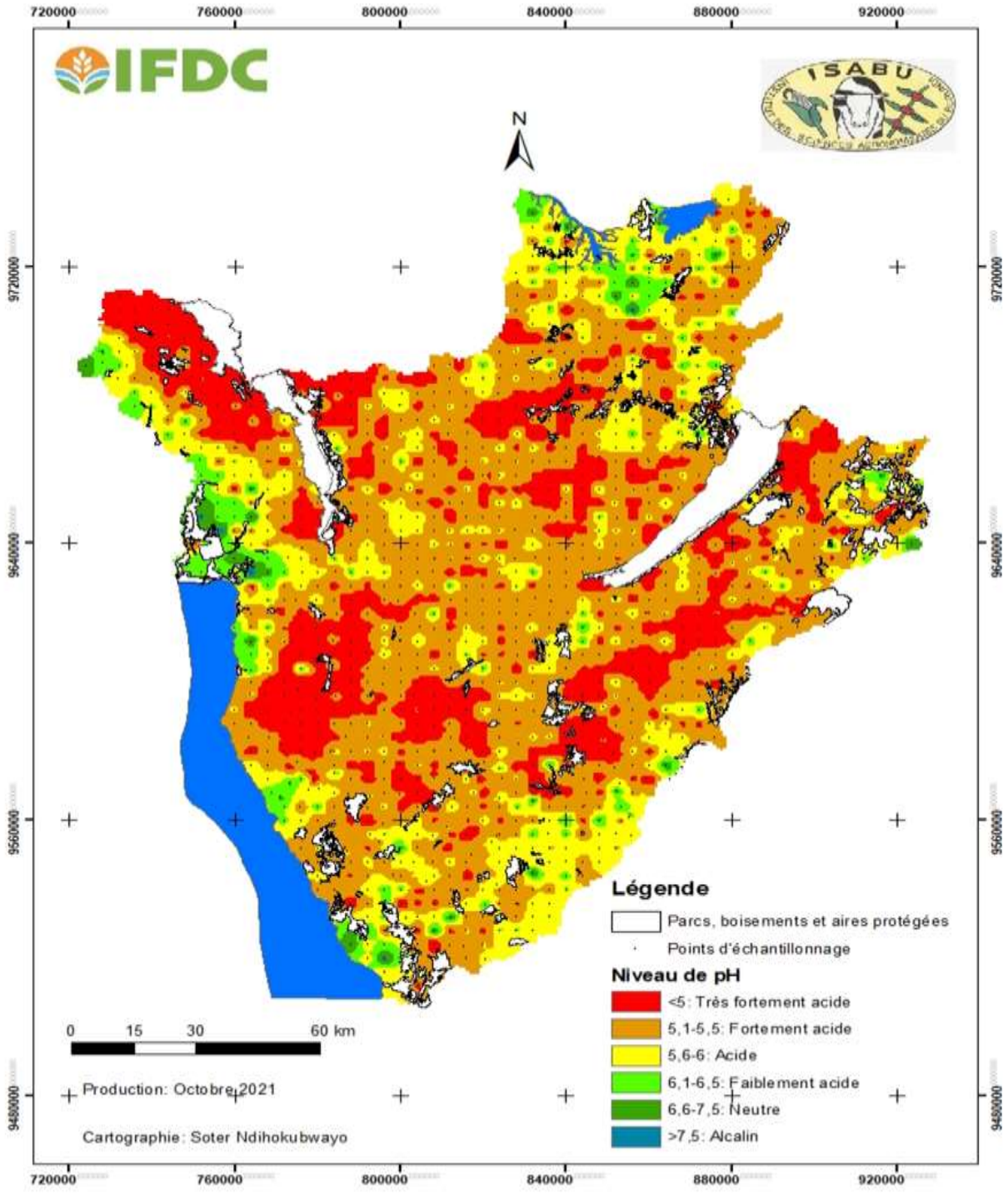


Figure 6:Carte de la fertilité des sols au Burundi

II.2. Rôle des amendements dans la gestion des sols acides

II.2.1. Impact de la dolomie sur les sols acides

L'objectif général du chaulage est la restauration de la fertilité des sols afin de soutenir une meilleure production agricole. Ce but peut être atteint par un amendement raisonné et approprié au milieu de production (Laguesse, 2017).

Au Burundi, la majorité des sols cultivés sont acides avec des pH situés entre 4,2 et 5,7. Les études faites par ISABU, MINEAGRIE et IFDC l'ont confirmé. Les plantes cultivées sur ces types de sols sont très chétives et rabougries parce qu'elles n'ont pas suffisamment de nutriments à leur disposition. Leur très faible développement racinaire ne permet pas l'absorption optimale de l'eau et des nutriments. Il est donc nécessaire de corriger ces types de sols par le chaulage. Le constat est que beaucoup d'agriculteurs n'ont pas encore compris cette nécessité. Les spécialistes du sol avancent que les meilleurs sols ont des valeurs de pH situés entre 6 et 7 (MINEAGRIE, 2022).

La technique du chaulage par l'application d'amendements calcaires permet de corriger l'acidité, d'augmenter le pH des sols et donc diminuer la concentration des ions H^+. La chaux agricole améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et rend les éléments nutritifs (du sol ou apportés par les engrais) plus disponibles aux plantes et aux organismes du sol. Cela permet une augmentation de la production des cultures, aussi bien en quantité qu'en qualité (MINEAGRIE, 2022).

Selon les fiches techniques de vulgarisation agricole de 2022 au Burundi, on distingue quatre types de chaux suivants :

i) la chaux vive : oxyde de calcium anhydre, CaO ;
ii) la dolomite : roche constituée essentiellement de carbonate de calcium et de magnésium ;
iii) le travertin: constitué essentiellement de carbonate de calcium, avec peu ou pas de magnésium ;
iv) la chaux éteinte qu'on obtient en ajoutant de l'eau à la chaux vive.

II.2.2. Les différentes doses d'application de la chaux selon les différents types du sol.

La majorité des sols burundais sont acides et posent problèmes sur la rentabilité des différentes cultures. C'est pourquoi, tenant compte du tableau ci-avant, on a proposé qu'un agriculteur utilise une dose de correction de 10 à 15 kg/are/an, soit 5 à 7,5 kg/are/saison ou 500 à 750 kg/ha/saison. Après 2 ans, il est recommandé d'appliquer une dose d'entretien de 3 à 6 kg/are/an, équivalente à 300 à 600 kg/ha/an (MINEAGRIE, 2022).

Tableau 1:Tableau illustratif des différentes doses de chaux selon les différents types de sol

Type du sol	**pH du sol**	**Dose de correction des sols**	**Dose d'entretien des sols**
		Apport de dolomie par kg/are	**Apport de dolomie par kg/are**
Sol argileux	< 4,7	17	6
	4,7-5,2	14	6
	5,2-5,7	7	5
	>5,7	0	0
Sol limoneux	< 4,7	14	5
	4,7-5,2	10	5
	5,2-5,7	7	4
	>5,7	0	0
Sol sableux	< 4,7	8	4
	4,7-5,2	5	4
	5,2-5,7	3	3
	>5,7	0	0
Cet apport est basé sur l'utilisation de la dolomie burundaise dont la composition est la suivante : CaO :27% à 30%; MgO:20% à 21%			

Source : MINEAGRIE, 2022

II.3. Influence de la matière organique dans la gestion des sols acides

II.3.1. Définition et importance de la matière organique

La matière organique est produite en général par des êtres vivants (végétaux, animaux, ou micro-organismes). Ses composants principaux sont le carbone (C) et l'eau (H2O) mais aussi l'hydrogène (H), oxygène (O), azote (N), phosphore (P), soufre (S), fer (Fe)...

La matière organique est un indicateur essentiel de la qualité d'un sol. La matière organique améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (MINEAGRIE, 2022)**.** Il est reconnu que des apports importants de matière organique, et en particulier de fumier, sont efficaces pour améliorer la productivité des sols acides du Burundi (Christophe et al., 2022).

II.3.2. Interaction engrais et matière organique

L'utilisation combinée d'engrais minéraux et des matières organiques est la meilleure approche pour maintenir la fertilité et augmenter la production. La matière organique, en plus de fournir des nutriments, permet d'amender le sol (MINEAGRIE, 2022).

II.3.3. Rôle du fumier de vache

Le fumier d'animaux d'élevage est une excellente source d'éléments nutritifs et de matière organique pour le sol. Toutefois, la composition du fumier, les caractéristiques du sol et les méthodes d'application ont une incidence sur la teneur du sol en éléments nutritifs et en matière organique. La composition du fumier varie selon le type d'animal, son âge, la ration qu'on lui sert et l'environnement. En plus de cette utilité, le fumier de vache conduit à une amélioration la fertilité des sols ; il contribue aussi l'amélioration de la qualité des récoltes et favorise un bon rendement des cultures (Ontario, 2022b).

II.3.4. Rôle du fumier de chèvre[1]

Ce fumier contient des quantités adéquates de nutriments dont les plantes ont besoin pour une croissance optimale, en particulier lorsque les chèvres sont couchées dans des stalles.

[1] https://www.rtbf.be/article/le-fumier-de-chevre-la-rolls-des-engrais-11216790.Site visité le 27/11/2023

Comme l'urine s'accumule dans les excréments des chèvres, le fumier retient davantage d'azote, ce qui accroît son pouvoir fertilisant.

Le fumier de chèvre est composé d'azote naturellement contenu en grande quantité. Il n'y a pas de nitrate. Il est très riche en potassium, de quoi favoriser la floraison des plantes.

II.4. Contribution de *Tithonia diversifolia* et *Lantana camara* dans la fertilisation des sols acides

II.4.1. Description, origine et Classification du *Tithonia diversifolia*

Originaire de l'est du Mexique et d'Amérique centrale, cette herbacée prolifique est actuellement largement répandue sous les tropiques. On la retrouve en Afrique et en Asie où elle a été introduite sur la base de ses multiples utilisations en tant que plante fourragère, engrais vert, insecticide naturel et en tant que plante ornementale (Ayokun-nun & Moteetee, 2017).

Tithonia diversifolia, un arbuste de la famille des Asteraceae, est largement répandu le long des limites des exploitations agricoles dans les zones tropicales humides et subhumides d'Afrique. La biomasse verte du *tithonia* a été reconnue comme une source efficace de nutriments (Jama et al., 2000a).

Selon (Jacques Fournet & al., 2012), *Tithonia diversiforia* est classé d'une manière suivante :

Règne : Plantae
Ordre : Astérales
Famille : Asteraceae
Genre : Tithonia
Espèce : *Tithonia diversiforia*

II.4.2. Impact du *Tithonia diversifolia* dans la gestion des sols

L'augmentation de la pression démographique entraîne une intensification des pratiques agricoles et une extension des surfaces cultivées qui s'est traduite par une réduction du temps de jachères. Cette situation non seulement prédispose le sol à l'érosion, mais entraîne aussi un épuisement rapide de ses éléments nutritifs notamment l'azote et le phosphore (Jouve, 2006). En 2005, deux campagnes agricoles ont été conduites au Cameroun en vue d'évaluer l'effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des amendements chimiques sur les rendements des cultures, les études ont prouvé que *Tithonia diversifolia* est une espèce rudérale qui produit de grandes quantités de

feuilles facilement décomposables et riches en éléments nutritifs (Kaho *et al*., 2011). L'utilisation des engrais chimiques seuls ne permet pas de maintenir durablement la fertilité des sols pendant longtemps (Bakababenesha & Kabamba, 2023). Elle entraîne d'ailleurs l'augmentation de l'acidité, la dégradation du statut physique, la perte de la matière organique du sol, et génère ainsi des problèmes écologiques et environnementaux non négligeables (Bakababenesha & Kabamba, 2023).

Les études ont montré que l'utilisation de la biomasse de *Tithonia diversifolia* a donné un rendement moyen non significativement différent de celui obtenu avec l'application des engrais chimiques à la dose de 100 Kg/ha. Il a été également démontré que le sol fertilisé avec la biomasse de *Tithonia diversifolia* reste fertile pendant trois saisons culturales. De plus, le *Tithonia diversifolia* peut être utilisé pour fertiliser les autres cultures à savoir le maïs, la patate douce, le sorgho, la pomme de terre, les légumes, etc (Ruraduma *et al*, 2014)

Sur les sols acides (pH<5), un apport de 10 à 20 t de fumier avec 500 kg de chaux par hectare est recommandé. Les doses de fumure organique peuvent être substituées par l'engrais vert *Thitonia diversifolia* à raison de 22.5 t/ha de matière fraîche (ISABU, 2023).



Source : *Fiche technique de la vulgarisation agricole 2022*

Figure 7:Tithonia diversifolia

II.4.3. La composition nutritionnelle du *Thitonia diversiforia*

Tithonia diversifolia, un arbuste de la famille des Asteraceae largement répandu le long des limites des exploitations agricoles dans les zones tropicales humides et subhumides d'Afrique. La biomasse verte du *Tithonia* a été reconnue comme une source efficace de nutriments pour les céréales en Asie plus récemment et les légumineuses en Afrique orientale et australe du fait que sa biomasse aérienne de *Tithonia* est riche en nutriments, avec une moyenne de 3,5 % de N, 0,37 % de P et 4,1 % de K sur la base de la matière sèche. La biomasse de *Tithonia* se décompose rapidement après son application au sol, et la biomasse incorporée peut être une source efficace de N, P et K pour les cultures (Jama et al., 2000b).

II.4.4. Description et Classification de Lantana camara

II.4.4.1. Description

Lantana camara est un arbuste dressé ou buisson sarmenteux de 2 à 5 m de haut, à nombreux rameaux anguleux partant dès le collet et garnis de protubérances épineuses plus ou moins recourbées. L'écorce est grise à beige, lenticelle, à tranche jaune verdâtre. Le rameau est carré, pubescent à scabre, épineux, gris beige. Les feuilles sont opposées, plus ou moins scabres dessus, pubescentes dessous, ovales et allongées, de 2-7x2-4 cm, à sommet atténué en triangle, à base en coin ou arrondie, à bord régulièrement denté, dégageant une odeur camphrée plus ou moins désagréable au froissement (Bangou, 2012).

Le lantana (*Lantana Camara L*) est une mauvaise herbe nuisible qui pousse dans de nombreuses régions tropicales et subtropicales du monde (Sarita *et al*; 2008).



Source : https://www.google.com/search?sca_esv=7978873cf7ff4aec&sca_upv.Visité le 01/05/2024 à 10h24

Figure 8: Lantana camara

Des rapports ont suggéré une teneur élevée en certains nutriments végétaux (K, Ca, Mg, Zn, Fe et Cu) dans la biomasse des feuilles de Lantana, ce qui suggère son utilité possible dans la production de fumier à valeur ajoutée pour les programmes de gestion durable de la fertilité des sols. Le Lantana est un arbuste à feuilles persistantes qui produit une grande quantité de feuillage pouvant être utilisé pour divers produits industriels tels que le bioéthanol ,le biogaz, le lombricompost et la production de compost (Rawat & Suthar, 2014).

II.4.4.2. Classification selon Cronquist (1988)

La plante L. camara est classée comme suit :

Règne	: Plantae
Sous-règne	: Tracheobionta
Embranchement	: Spermaphytes
Sous-embranchement	: Angiospermes
Division	:Magnoliophyta
Classe	: Dicotylédones
Sous-classe	:Asteridae
Ordre	:Lamiales
Famille	:Verbenaceae

Genre :Lantana

Section :Camara

Espèce :Lantana camara L.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude s'est déroulée en commune Gitega sur la colline de Zege (province Gitega) sur un terrain au sol avec une acidité très prononcée dont le pH est de 4,2.

Le site expérimental de notre étude est situé à Zege en commune Gitega de la province Gitega dans la région agroécologique de Kirimiro (Figure 9). La région de Kirimiro connaît un climat tropical humide. C'est un climat doux avec un réseau hydrographique dense. Les précipitations sont inférieures à 1400 mm /an mais supérieures à 1040 mm/an et les températures sont supérieures à 15°C mais inférieures à 20°C, la moyenne se situant entre 17°C et 18°C. Les coordonnées géographiques de cette zone sont 3°24'82" S et 29°55'20,42" E en DMS (degrés, minutes, secondes) ou -3.400223 et 29.922388 (en degrés décimaux). Nous avons choisi cette zone car les analyses faites sur ces sols ont montré que les sols de la région de Kirimiro sont fortement acides. Selon MINEAGRIE (2022), la région de Kirimiro connaît des sols à majorité constitués de ferralsols. Les sols des collines ont une fertilité variable, en baisse constante à cause de la surexploitation, de l'érosion et des mauvaises pratiques agricoles. Les analyses faites au laboratoire de l'ISABU avant le labour et avant la mise en place des amendements organo-minéraux ont montré que ces sols ont un pH de 4,2. Selon Landon (1991) les sols avec un pH < 5,5 sont acides c'est-à-dire qu'ils ont une toxicité aluminique et excès de Co, Cu, Fe, Mn, Zn et d'efficience en Ca, K, N, Mg, Mo, P, S et B.

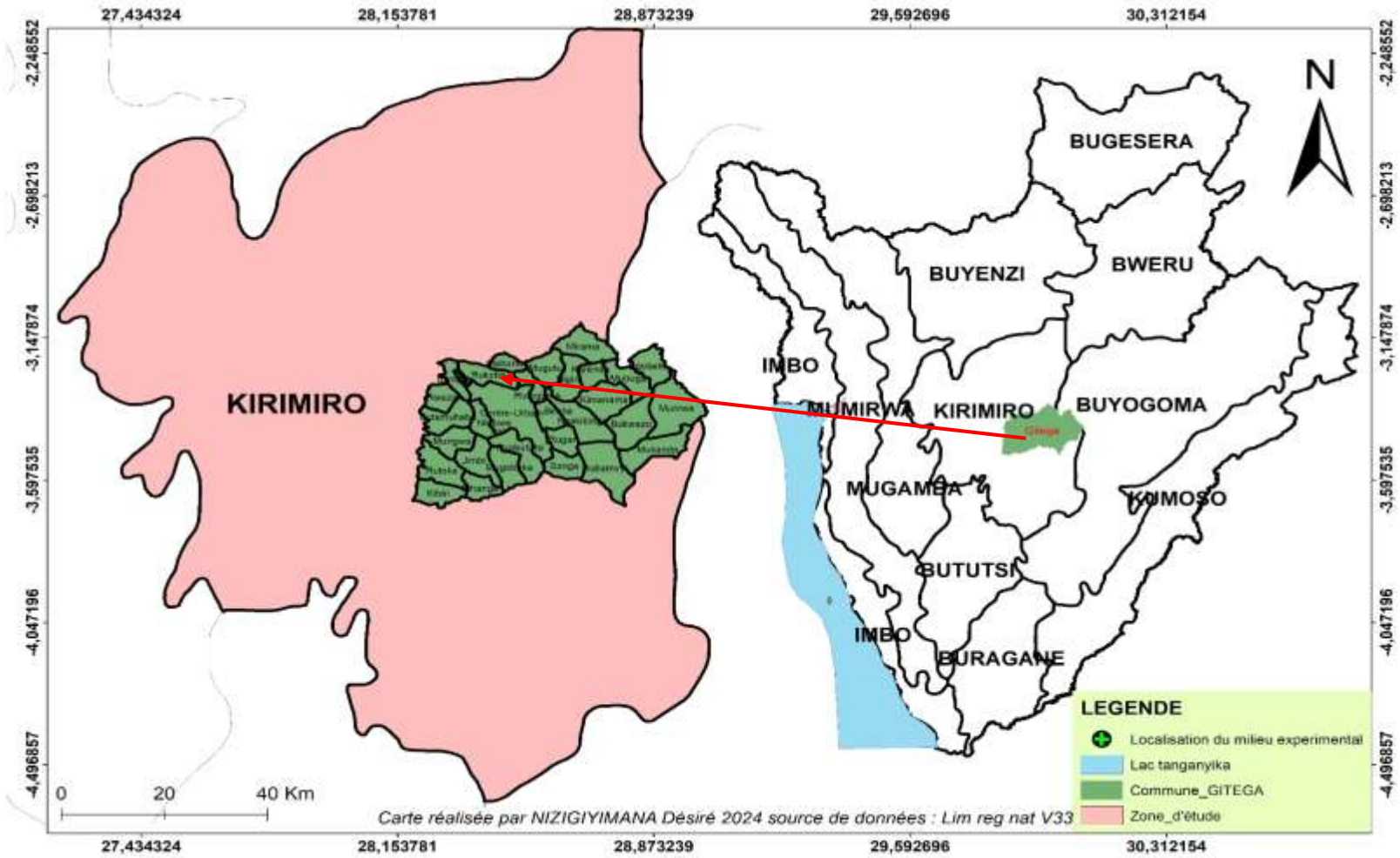


Figure 9:Localisation du site expérimental sur la carte de régions naturelles du Burundi

III.2. Matériels utilisés

III.2.1. Matériels végétaux

Au cours de la réalisation de notre travail de recherche, nous nous somme servis des matériaux végétaux suivants :

- ✓ Une variété du haricot Rufutamadeni. C'est une variété de haricot semi-volubile introduite au Burundi en 2008 en provenance du CIAT où elle portait le code CODMLB003 (Nduwarugira *et al.*, 2018).
- ✓ Des espèces végétales à haute valeur fertilisante, *Tithonia diversifolia et du Lantana camara*, pour la production du compost.

III.2.2. Autres matériels

- ✓ Du fumier de vache et de chèvre achetés chez un fermier de la colline Rukoba de la commune Gitega.
- ✓ Un engrais organo-minéral (Fomi Imbura)
- ✓ De la dolomie commandée au PNSEB 28% de CaO et 19% de MgO.
- ✓ D'un ordinateur portable pour la saisie et l'enregistrement des données ;
- ✓ D'un appareil photos pour la prise des photos ;
- ✓ Un mètre ruban pour mesurer le carrée de rendement
- ✓ Un GPS pour la collecte des données géographiques du terrain
- ✓ Des sachets biodégradables pour emballer les récoltes de haricot en biomasse et en graines
- ✓ Une balance pour peser les pesées
- ✓ Des piquets et une corde pour la délimitation des parcelles.
- ✓ Des logiciels, Excel et Word pour la saisie des textes et tableaux, ArcGIS pour cartographier la zone d'étude et SPSS pour le traitement des données par analyse de la variance (ANOVA)

III.3. Méthodologie

Au cours de notre travail sur terrain, nous avons prélevé un échantillon sur un terrain homogène avant le labour du terrain. Les échantillons de sols prélevés ont été transportés vers Bujumbura afin

d'être analysés au laboratoire de l'ISABU. Cet échantillon a été traité au laboratoire d'analyse des sols et des produits agroalimentaires (LASPA) et le pH était de 4.2.

L'étude comprend deux facteurs :

- Le facteur type de matière organique avec 5 modalités : témoin, fumier de vache, fumier de chèvre, compost de *Tithonia diversifolia* et compost de *Lantana camara*.
- Le facteur dose de dolomie qui comprend trois niveaux à savoir 0 t/ha, 2 t/ha et 4 t/ha.

La combinaison de ces deux facteurs conduit à 15 traitements montrés dans le protocole expérimental schématisé à la Figure 9. L'essai a été mené en blocs aléatoires complets avec trois répétitions (ou 3 blocs) ; ce qui correspond à un total de 45 traitements matérialisés par 45 parcelles expérimentales.

Chaque parcelle élémentaire avait une forme carrée de 8m de côté. Ces traitements étaient délimités sur 3 blocs en raison de 15 traitements par blocs (Figure 9), entre une parcelle et une autre, on a laissé un sentier de 1m et entre un bloc et un autre on a laissé un sentier de 3 m.

La délimitation de ces parcelles expérimentales a été réalisée en date du 03 au 05 janvier 2023.

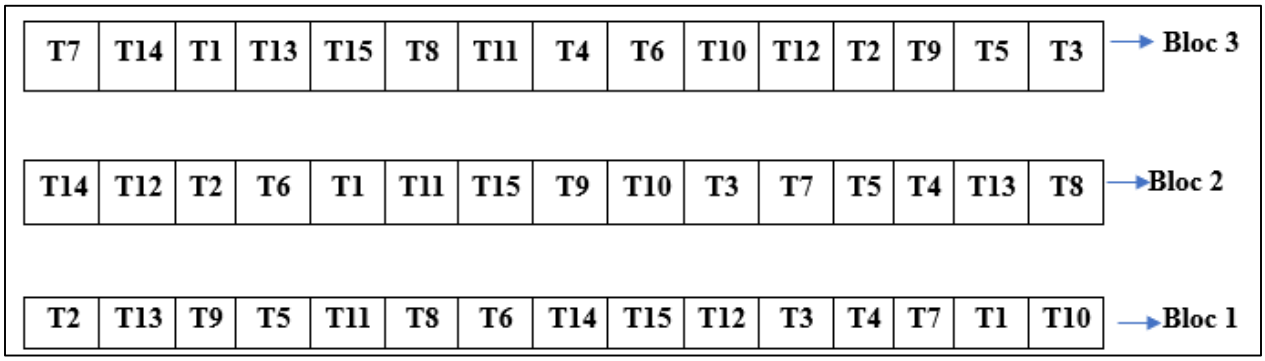


Figure 10:Dispositif expérimental utilisé

Les 15 traitements mis en place sont les suivants :

- T1 : Témoin (0 t/ha de fumure organique + 0 t/ha de chaux),
- T2 : 10 t/ha de fumier de vache + 0 t/ha de chaux,
- T3 : 10 t/ha de fumier de chèvre + 0 t/ha de chaux,
- T4 : 10 t/ha de compost de *Tithonia diversifolia* + 0 t/ha de chaux

- T5 : 10 t/ha de compost de *Lantana camara* + 0 t/ha de chaux
- T6 : Témoin (0 t/ha de fumure organique + 2 t/ha de chaux),
- T7 : 10 t/ha de fumier de vache + 2 t/ha de chaux,
- T8 : 10 t/ha de fumier de chèvre + 2 t/ha de chaux,
- T9 : 10 t/ha de compost de *Tithonia diversifolia* + 2 t/ha de chaux
- T10 : 10 t/ha de compost de *Lantana camara* + 2 t/ha de chaux
- T11 : Témoin (0 t/ha de fumure organique + 4 t/ha de chaux),
- T12 : 10 t/ha de fumier de vache + 4 t/ha de chaux,
- T13 : 10 t/ha de fumier de chèvre + 4 t/ha de chaux,
- T14 : 10 t/ha de compost de *Tithonia diversifolia* + 4 t/ha de chaux
- T15 : 10 t/ha de compost de *Lantana camara*+ 4 t/ha de chaux

Au cours de la réalisation de notre travail, des fumiers de vache et de chèvre ont été utilisés et ces derniers provenaient des fermes des agriculteurs environnantes. En plus de ce fumier, on a utilisé le compost de *Lantana Camara* et de *Tithonia diversifolia* qui étaient mises dans le compostière pendant une durée de trois semaines pour se décomposer. On a aussi utilisé la chaux dolomitique (0 t/ha, 2 t/ha et 4 t/ha) pour l'amendement. Ces doses ont été fixées en considérant la dose de 4 t/ha déterminé par la formule de Yamoah (1990) et une possible interaction de la chaux avec les fertilisants organiques qui réduirait la dose efficace de la dolomie à 2 t/ha en cas d'une telle synergie.

L'application de la chaux dolomitique a été commandée au PNSEB. Sa composition est de 28% de CaO_3 et 19 %de MgO. L'application de la dolomie a été faite par épandage en commençant par la bordure de la parcelle et on a ensuite appliqué la chaux de manière homogène à l'intérieur de la parcelle.

III.3.1. Semis du haricot

Cette culture a été réalisée dans tous les 15 traitements avec des écartements de 20 cm x 40 cm en raison de 2 graines par poquets. La trouaison a été faite dans les sens perpendiculaires de la pente du terrain. La variété cultivée provenait du CIAT avec code d'origine CODMLB003 connu en Kirundi sous le nom de RUFUTAMADENI. Elle a été introduite au Burundi par l'ISABU.

L'application des engrais organo-minéraux (FOMI) dans tous les traitements a été faite en se basant sur une dose recommandée de 200 kg/ha de FOMI-IMBURA (correspondant à la formule 18 N, 44 P, 8 K, 26 Ca et 4 Mg). Le semis a été réalisé en date du 18 février 2023.

Mais, après le semis, des contraintes issues des aléas climatiques s'étaient manifestées où on a passé deux semaines sans précipitation.

Sur la troisième semaine après le semis on est parti sur terrain pour évaluer le taux de levée. Cette activité était faite dans 100 poquets pour chaque parcelle. Après quelques semaines, nous avons aussi déterminé le taux de survie et l'activité était faite dans un carrée de rendement de 2 m*2 m.

Les traitements assignés pour recevoir la dolomie étant au nombre de 30 dont 15 traitements à 2 tonnes par hectare et 15 traitements à 4 tonnes par hectare. Avant l'épandage de la dolomie dans les différents traitements, on a quantifié la chaux nécessaire pour chaque parcelle. Par calcul, pour les traitements à 2 tonnes par hectare, devrait avoir une quantité de 12,8kg et ceux répondant à une dose de 4 tonnes par hectare recevait une quantité de 25,6 kg. Rappelons que chaque traitement avait une superficie de 64 m^2. Une quantité de 576 kg de dolomie était épandu dans 30 traitements. Le semis était fait à la main.

III.3.2. Travaux d'entretien du haricot

L'entretien a consisté au sarclage et au traitement Le sarclage a été effectué en 2 passages. Le premier sarclage a eu lieu le treizième jour du mois de mars 2023 tandis que le second s'était le 29 mars 2023. Le sarclage se faisait manuellement à l'aide des houx.

III.3.3. Collecte des données

La collecte des données a été réalisée au cours de la croissance du haricot et à la récolte. Les données collectées pendant la croissance du haricot sont le nombre de plants germés à deux semaines après le semis et le nombre de plants survivants à huit semaines après le semis.

La collecte des données relatives au taux de survie et celles collectées à la récolte a été effectuée dans un carré de rendement de 2 m de côté installé à l'intérieur de chaque parcelle.

A la récolte, les activités de collecte des données ont été menées successivement comme suit :

1° Comptage des plantes se trouvant dans le carré de rendement ;
2° Arrachage des plants à l'aide d'une houe pour le retrait de toutes les parties y compris les racines ;
3° Mesure de la longueur des racines ;
4° Ensachage des plants dans les sacs biodégradables pour faciliter leur transport ;
5° Comptage des gousses de tous les plants issus d'une même carrée de rendement ;
6° Comptage des graines par gousse ;
7° Séchage à l'air libre des graines et résidus de récolte pendant deux semaines ;
8° Pesées des graines et des résidus ; les résidus des racines et des parties aériennes a été d'abord effectuée sur 5 plants choisis au hasard parmi les plants de chaque carré puis on a passé à l'extrapolation des données à l'hectare ;
9° Analyse des différents paramètres de production du haricot dans SPSS pour determiner l'ANOVA.

Les formules utilisées pour l'estimation du taux de survie, de la biomasse racinaire et aérienne et du rendement à l'hectare sont les suivantes :

- ✓ Taux de survie :

  $T = \frac{n*100}{Y}$ où : T= Taux de survie ; n= Nombre de plant trouvé dans la parcelle élémentaire, Y= Nombre de plants total dans une parcelle élémentaire

- ✓ Biomasse totale sèche :

$$BTS = \frac{BTSC(g) * N * 10000}{4}$$

- ✓ Biomasse aérienne sèche :

$$BAS = \frac{BASC * N * 10000}{4}$$

- ✓ Biomasse racinaire sèche :

$$BRS = \frac{BRSC * N * 10000}{4}$$

- ✓ Rendement :

$$R = \frac{PC * 10000}{4}$$

CHAPITRE IV. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

IV.1. Présentation des résultats

Les résultats bruts collectés au site expérimental concernent les paramètres de rendement du haricot (taux de survie, biomasse aérienne sèche, biomasse racinaire sèche, biomasse totale, nombre de gousses par plants, nombre de graines par gousse, poids de mille grains, longueur des racines et rendement en grains). Ceux-ci sont montrés dans le Tableau 6 en annexe. Dans ce chapitre, nous montrons leur synthèse sous forme de figures ou de tableaux.

IV.1.1. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le taux de survie

Le taux de survie des plants du haricot des différents traitements est montré à la Figure 10. L'observation de cette figure montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements pour cette variable ($p>0,05$). Cependant, les traitements se rangent par ordre décroissant comme suit FV-D4≥TI-D4≥TI-D2≥FV-D0≥FV-D2≥FC-D4≥TE-D4≥LA-D4≥LA-D2≥LA-D0≥TI-D0≥FC-D2≥TE-D0≥TE-D2≥FC-D0.

La moyenne de 3 répétitions a montré un taux de survie élevé sur le traitement témoin où on a utilisé 10 t du fumier de vache associé avec 4 t/ha de dolomie. Ce dernier a donné un taux de survie plus élevé (TS= 60 %) par rapport aux autres traitements et le traitement qui a donné un taux de survie faible est celui avec 10 t/ha de fumier de chèvre + 0 t/ha de dolomie en raison de 33% de TS.

L'observation de la Figure montre aussi que les traitements réalisés avec 4 tonnes de dolomie par hectare ont montré une différence significative par rapport aux traitements réalisés avec 2 t/ha ou 0 t/ha de dolomie. Le test de Tukey au seuil de 5% montre qu'il existe un seul groupe de moyenne homogène.

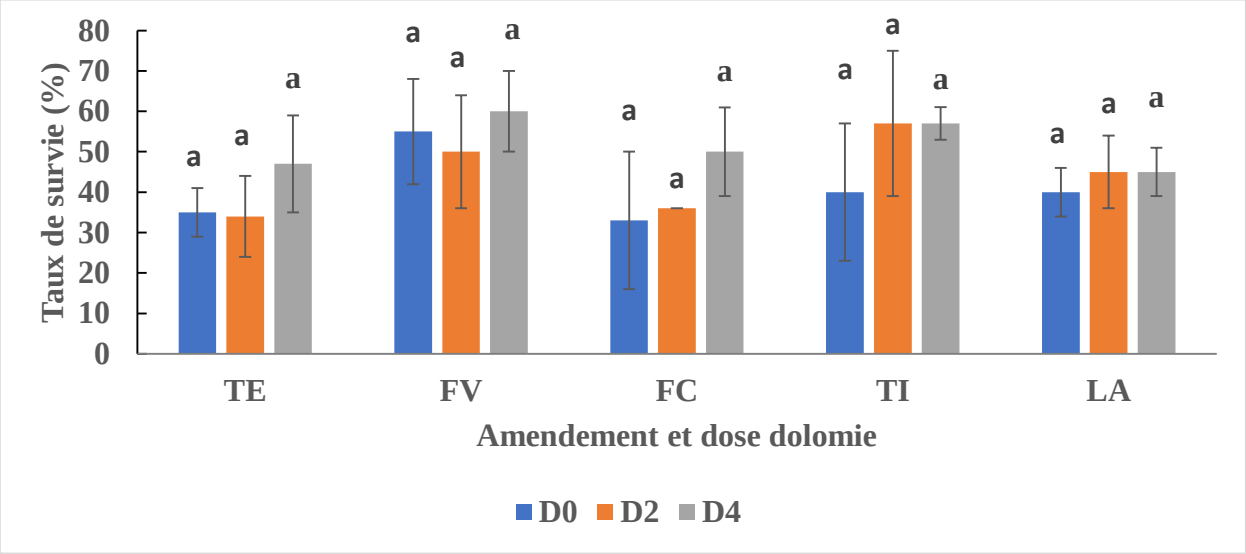


Figure 11:Taux de survie des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée

Où TE : témoin ; FV : fumier de vache ; FC : fumier de chèvre ; TI : compost de Tithonia diversifolia ; LA : compost de Lantana camara ; D0 : dose 0 t/ha de dolomie ; D2 : dose de 2 t/ha de dolomie ; D4: dose de 4 t/ha de dolomie

Note : Histogramme des moyennes ; les barres représentent les écart-types. Les traitements dont les valeurs d'une variable sont suivies d'une même lettre ne sont ***pas*** *significativement différents pour la variable au seuil de 5%.*

IV.1.2. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la biomasse totale sèche (BTS)

La biomasse totale sèche des plants du haricot des différents traitements est montrée à la Figure 11. L'observation de cette figure montre qu'il y a une différence très hautement significative au seuil de 5% entre les traitements ($p<0,05$).

En effet, L'ANOVA pour BTS indique que l'utilisation de 10 t/ha de fumier de chèvre combiné avec 4 t/ha de dolomie a donné un BTS élevé en raison de 7111 kg/ha. La figure 12 montre aussi que le traitement témoin (TE) combiné avec 2 t/ha de la dolomie a donné une biomasse totale sèche (BTS) très faible par rapport aux autres avec 2006 kg/ha.

Des variations de la biomasse totale sèche permettent de ranger les groupes par ordre décroissant : FC-D4≥FV-D0≥FV-D2≥FV-D4≥TI-D4≥FC-D2≥TI-D2≥FC-D0≥LA-D4≥TE-D4≥LA-D2≥LA-D0≥TI-D0≥TE-D0≥TE-D2.

Par ailleurs, la Figure 11 montre également qu'à l'exception du fumier de vache, les biomasses totales augmentent avec l'augmentation des quantités de dolomie appliquées bien que ces augmentations ne soient pas statistiquement significatives.

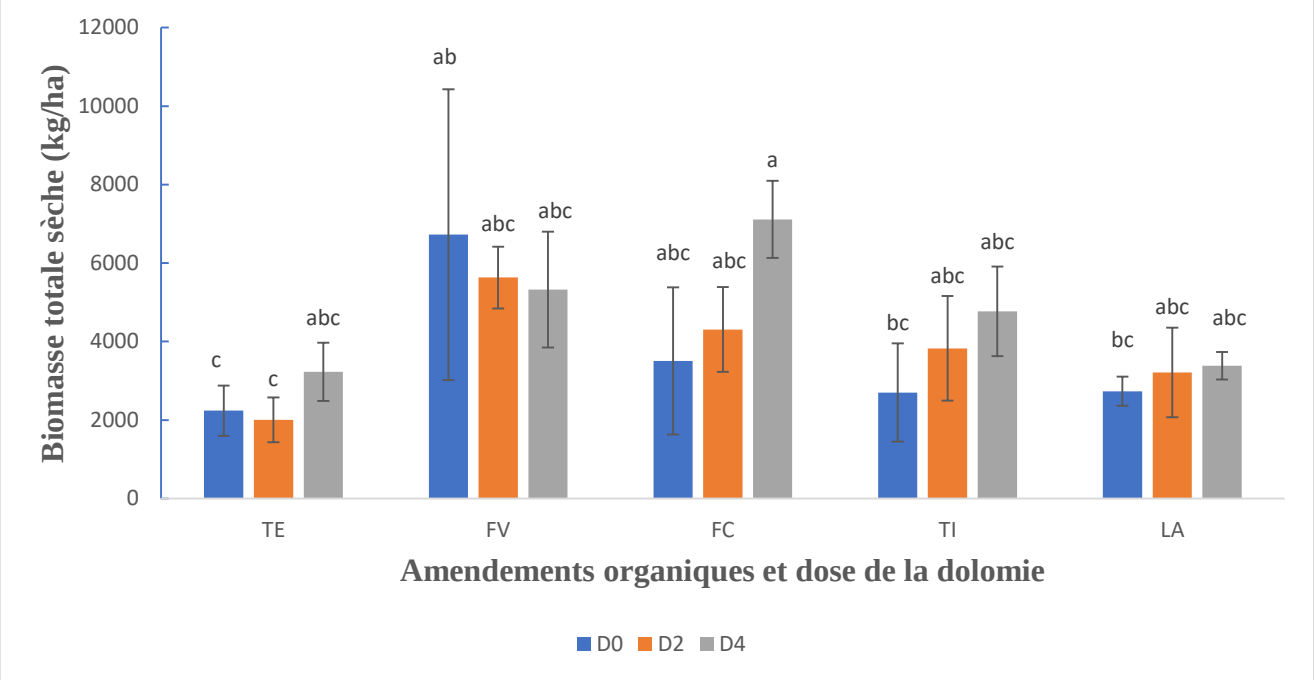


Figure 12:Biomasse totale sèche des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée

Où TE : témoin ; FV : fumier de vache ; FC : fumier de chèvre ; TI : compost de Tithonia diversifolia ; LA : compost de Lantana camara ; D0 : dose 0 t/ha de dolomie ; D2 : dose de 2 t/ha de dolomie ; D4: dose de 4 t/ha de dolomie

Note : Histogramme des moyennes ; les barres représentent les écart-types. Les traitements dont les valeurs d'une variable sont suivies d'une même lettre sont significativement différents pour la variable au seuil de 5%. Par contre les traitements suivis des lettres différents ne sont pas significativement différents au seuil de 5% de probabilité

IV.1.3. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la biomasse aérienne sèche (BAS)

La Biomasse aérienne sèche des plants de haricot des différents traitements est montrée à la figure 12. En analysant la figure, nous constatons que les résultats moyens sur la biomasse aérienne sèche

varient selon le traitement. L'observation de cette figure représente qu'il y a une différence très hautement significative au seuil de 5% entre les traitements ($p<0,05$).

Cependant, des variations de la biomasse aérienne sèche permettent de ranger les groupes par ordre décroissant : FC-D4≥FV-D0≥FV-D2≥FV-D4≥TI-D4≥FC-D2≥TI-D2≥LA-D4≥FC-D0≥TE-D4≥LA-D2≥LA-D0≥TI-D0≥TE-D0≥TE-D2.

Ces résultats montrent qu'une grande biomasse aérienne sèche s'est observé sur le traitement réalisé avec utilisation 10 t/ha du fumier de chèvre combiné avec 4 t/ha de la dolomie soit 5828 kg/ha ou plus de 5 t/ha de BAS tandis que le traitement ayant donné une très petite quantité de la biomasse aérienne sèche est le traitement témoins réalisé avec 2 t/ha de la dolomie. Pour ce traitement, la BAS trouvée est de 1721 kg/ha soit 1,7 t/ha.

Cette figure montre également que le fumier de vache avec 0 tonne de dolomie (10 t FV+0 t/ha) a aussi subi une valeur élevée par rapport aux autres traitements où la biomasse aérienne totale est d'environ 5208 kg/ha. Les résultats illustrés la Figure 12, montrent que le fumier de vache en combinaison avec 2 t/ha de dolomie (10 t FV+2 t/ha vient en troisième position avec une moyenne d'environ 4500 kg/ha de la biomasse aérienne sèche

Le test de Tukey au seuil de 5% montre l'existence de 3 groupes de moyennes homogènes qui se chevauchent pour cette variable BAS.

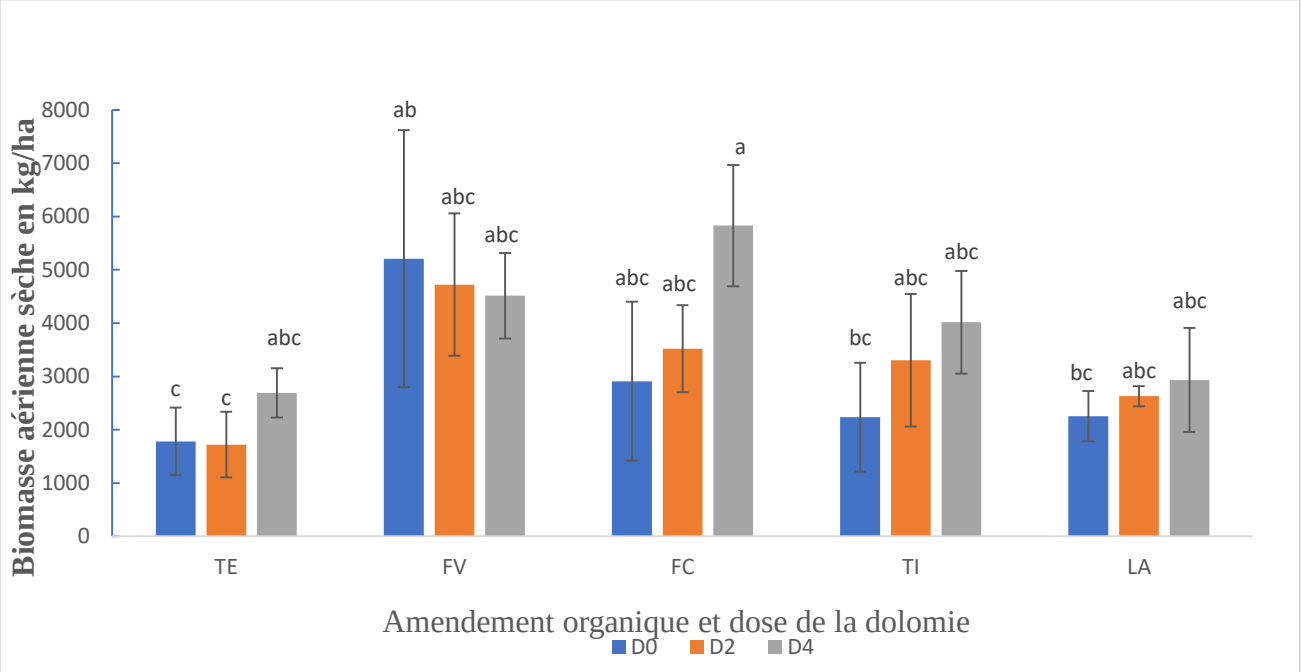


Figure 13:Biomasse aérienne sèche des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée

Où TE : témoin ; FV : fumier de vache ; FC : fumier de chèvre ; TI : compost de Tithonia diversifolia ; LA : compost de Lantana camara ; D0 : dose 0 t/ha de dolomie ; D2 : dose de 2 t/ha de dolomie ; D4: dose de 4 t/ha de dolomie

Note : Histogramme des moyennes ; les barres représentent les écart-types. Les traitements suivis d'une même lettre sont significativement différents au seuil de 5% de probabilité.

IV.1.4. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la biomasse racinaire sèche (BRS)

La biomasse racinaire sèche des plants de haricot des différents traitements est montrée à la Figure 13. L'observation de cette figure montre qu'il y a une différence faiblement significative au seuil de 5% entre les traitements car (p value=0,053) ou (p<0,05).

Des variations de la biomasse aérienne sèche permettent de ranger les groupes par ordre décroissant : FV-D0≥FC-D4≥FV-D2≥FV-D4≥FC-D2≥TI-D4≥FC-D0≥LA-D2≥TE-D4≥TI-D2≥LA-D0≥TI-D0≥TE-D0≥LA-D4≥TE-D2.

En observant la Figure 13 nous constatons que la biomasse racinaire sèche élevée s'observe sur le traitement réalisé avec 10 t de fumier de vache sans combinaison de la dolomie (10 t FV+0 t/ha)

en raison de 1515 kg/ha soit 1,5 t/ha. Ce traitement est suivi respectivement par celui effectué avec l'utilisation de 10 t fumier de chèvre associé avec 4 t/ha de dolomie (10 t FC+4 t/ha) en raison de 1283 kg/ha soit 1,2 t/ha alors qu'une biomasse racinaire très faible s'observe sur le traitement témoin combiné avec 2 t/ha de dolomie (TE+2 t/ha) où la moyenne des traitements trouvée est de 285 kg/ha.

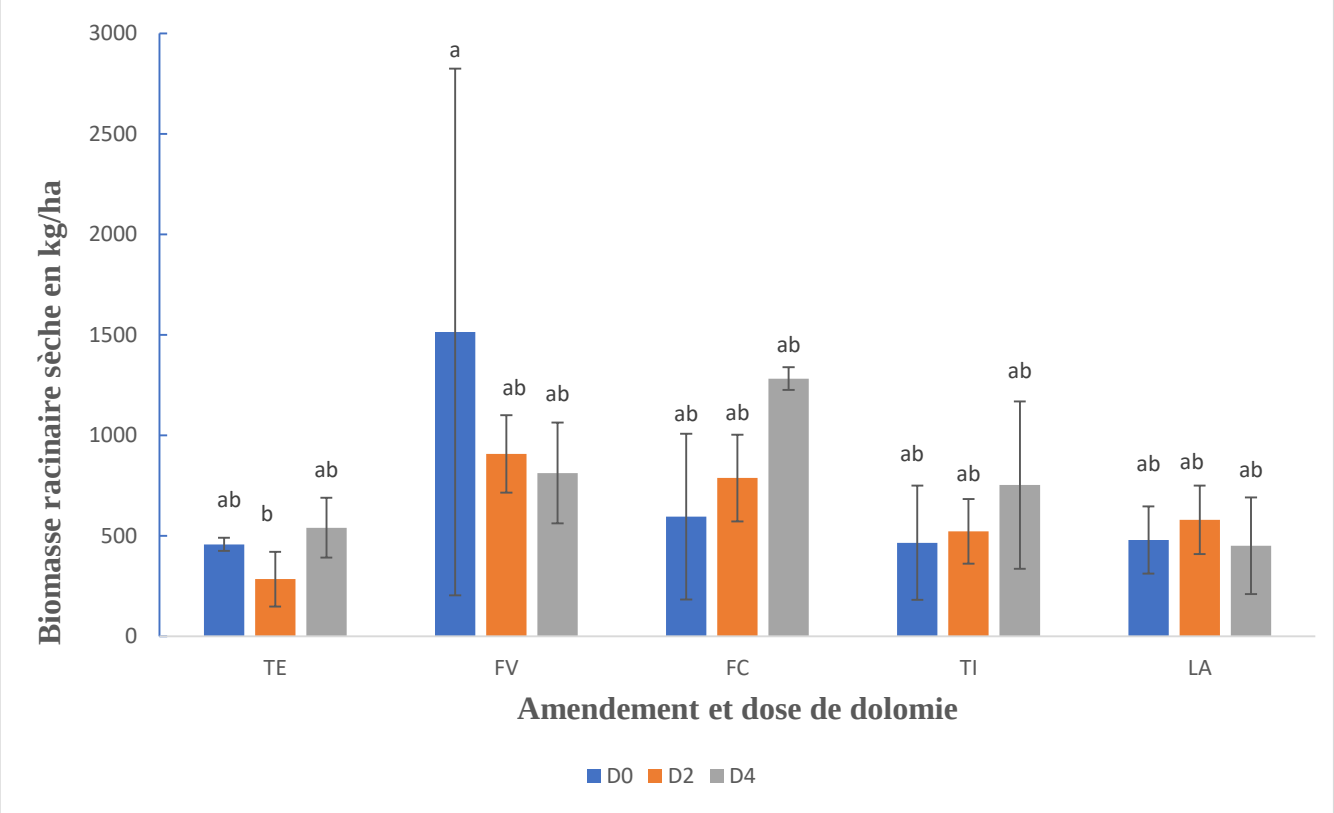


Figure 14:Biomasse racinaire sèche des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée

Où TE : témoin ; FV : fumier de vache ; FC : fumier de chèvre ; TI : compost de Tithonia diversifolia ; LA : compost de Lantana camara ; D0 : dose 0 t/ha de dolomie ; D2 : dose de 2 t/ha de dolomie ; D4: dose de 4 t/ha de dolomie

Note : Histogramme des moyennes ; les barres représentent les écart-types. Les traitements suivis d'unemême lettre sont significativement différents au seuil de 5% de probabilité.

IV.1.5. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le nombre de gousses par plant

Le nombre de gousse par plant des plants de haricot des différents traitements est montré à la Figure 14. L'observation de cette figure montre qu'il n'y a pas une différence significative au seuil de 5%

entre les traitements pour cette variable (p>0,05) ; p value = 0,495. En effet, les traitements se rangent par ordre décroissant comme suit : FV-D4≥TI-D4≥TI-D2≥FV-D0≥FV-D2≥FC-D4≥TE-D4≥LA-D4≥LA-D2≥LA-D0≥TI-D0≥FC-D2≥TE-D0≥TE-D2≥FC-D0.

Sur cette même figure, les traitements effectués en utilisant de fumier de chèvre et de vache (10 t FC+0 t/ha et 10 t FV+2 t/ha) ont donnés des gousses élevées par rapport aux autres soit 7 gousses par plant tandis que la moyenne faible des traitements s'observe sur le traitement témoins sans combinaison avec de la dolomie (TE+0 t/ha) en raison de 4 gousses.

Néanmoins, le test de Tukey au seuil de 5% a permis de répartir les traitements en un seul groupe de moyenne homogène ; ce qui signifie qu'il n'y a pas une différence significative entre les traitements au seuil de 5% de probabilité.

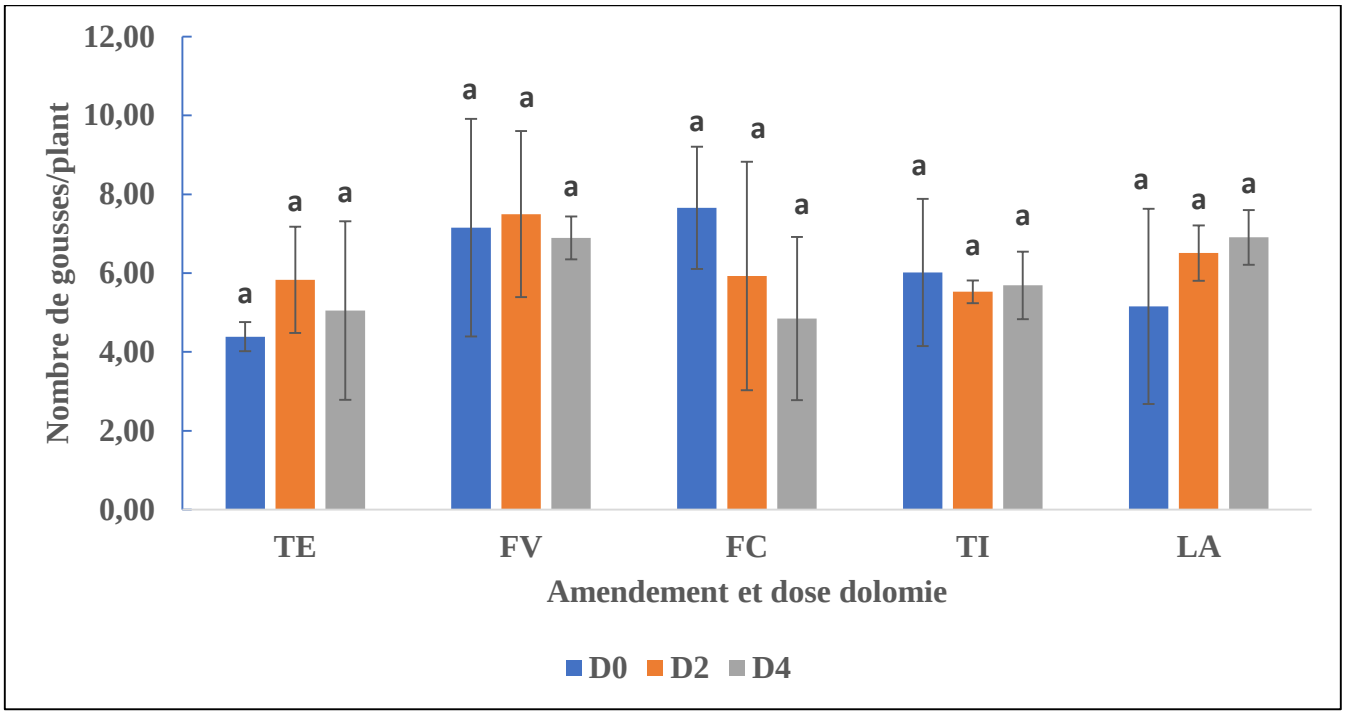


Figure 15:Nombre de gousses de haricot par plant en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée

Où TE : témoin ; FV : fumier de vache ; FC : fumier de chèvre ; TI : compost de Tithonia diversifolia ; LA : compost de Lantana camara ; D0 : dose 0 t/ha de dolomie ; D2 : dose de 2 t/ha de dolomie ; D4: dose de 4 t/ha de dolomie

Note : Histogramme des moyennes ; les barres représentent les écart-types. Les traitements dont les valeurs d'une variable sont suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différents pour ladite variable au seuil de 5% de probabilité.

IV.1.6. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le nombre de graines par gousse

Le tableau 2 montre l'effet des amendements organiques et de la dolomie sur le nombre de graines par gousse pour le haricot nain sur les sols acides de la région d'altitude du Burundi.

Tableau 2:Nombre de graines par gousse des plants du haricot

Type de fumure organique	Dose de la dolomie		
	D0 (0t/ha)	**D2 (2t/ha)**	**D4 (4t/ha)**
TE (Aucune fumure organique)	**2,6033±0,162a**	**2,9121±0,044a**	**2,9181±0,151a**
FV (Fumier de vache)	**2,6294±016a**	**2,688±0,317a**	**3,0602±0,265a**
FC (Fumier de chèvre)	**2,7931±0,334a**	**2,4741±0,488a**	**2,0646±0,057a**
TI (Compost de Tithonia)	**2,741±0,291a**	**2,9324±0,073a**	**2,5079±0,358a**
LA (Compost de Lantana)	**2,7573±0,269a**	**3,0719±0,134a**	**3,0146±0,212a**

Note : Moyenne ± Erreur standard. Les traitements dont les valeurs d'une variable sont suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différents pour ladite variable au seuil de 5% de probabilité.

Les résultats statistiques du tableau 2 trouvés sur les 15 traitements montrent qu'il n'avait pas une différence significative entre les traitements par rapport au nombre de graines par gousse car le p value=0,381. Cependant, cette différence indique que les traitements ayant donné le nombre des graines par gousses élevé sont constitués de : traitements réalisés avec le compost du *Lantana*

camara combiné avec 2 ou 4 t/ha de la dolomie (10 t LA+2 t/ha ou 10 t LA+4 t/ha) soit 3 graines par plant alors que tous les autres traitements ont donné 2graines/gousse.

Le test de Tukey au seuil de 5% a permis de repartir les différents traitements testés en un seul groupe en fonction du nombre de graines par gousse.

IV.1.7. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la longueur des racines

Le tableau 3 montre les résultats statistiques sur l'effet des amendements organiques et de la dolomie sur la longueur des racines.

La longueur des racines des plants de haricot des différents traitements est montrée au tableau 3. En analysant ce tableau, nous constatons que la moyenne des traitements ayant donné des racines très longues s'est observé sur FC+2 avec LR=24 cm. Ce traitement est succédé directement par FC+4 avec LR=22 cm tandis que le traitement ayant donné des moyennes sur la longueur des racines très petites s'observe sur La+2 avec LR=11 cm par rapport aux autres traitements.

Tableau 3:Effet des amendements organiques et de la dolomie sur la longueur des racines (cm)

Type de fumure organique	Dose de la dolomie		
	D0 (0t/ha)	**D2 (2t/ha)**	**D4 (4t/ha)**
TE (Aucune fumure organique)	**15±2a**	**15±2a**	**18±10a**
FV (Fumier de vache)	**18±8a**	**18±9a**	**18±3a**
FC (Fumier de chèvre)	**15±5a**	**24±2a**	**22±6a**
TI (Compost de Tithonia)	**14±3a**	**20±10a**	**20±8a**
LA (Compost de Lantana)	**20±6a**	**11±4a**	**16±5a**

Note : Moyenne ± Erreur standard. Les traitements dont les valeurs d'une variable sont suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différents pour ladite variable au seuil de 5% de probabilité.

Les résultats de l'analyse de la variance ont montré qu'il n'y a pas une différence significative entre les traitements (P value= 0,685) en fonction de l'évolution de la longueur des racines des plants de la culture du haricot.

Ainsi, tous les 15 traitements se retrouvent dans un seul groupe par le test de Tukey au seuil de 5% pour cette variable étudiée LR.

IV.1.8. Effet de la matière organique et de la dolomie sur le poids de mille graines

Le tableau 4 montre les résultats statistiques de l'effet des amendements organiques et de la dolomie sur le poids de mille graines (PMG) du la culture du haricot nain sur les sols fortement acides du Burundi.

Les résultats du tableau 4 montrent que le poids de mille grains obtenus pour la culture du haricot nains dans les différents traitements ne diffèrent pas statistiquement car le p value = 0,263

En effet, les moyennes trouvées permettent de visualiser que le traitement témoin (TE+0 t/ha) a donné un poids de mille graines élevées par rapport aux autres traitements soit 412 g/ha alors que le traitement effectué avec la combinaison de 10 t du fumier de chèvre avec 2 t/ha de la dolomie (10 t FC+2 t/ha) a donné un poids de mille grains faibles par rapport aux autres traitements soit 288 g/ha. La combinaison de 10 t/ha du compost de *Tithonia diversifolia* + 0 t/ha de chaux suit respectivement le traitement témoins avec PMG=377 g/ha.

En revanche, cette même analyse (ANOVA) pour le PMG a montré que le test de Tukey au seuil de 5% permet de caractériser la composition d'un seul groupe entre les traitements.

Tableau 4: Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le poids de mille graines (g/ha)

Type de fumure organique	Dose de la dolomie		
	D0 (0t/ha)	**D2 (2t/ha)**	**D4 (4t/ha)**
TE (Aucune fumure organique)	**412±70a**	**357±16a**	**326±59a**
FV (Fumier de vache)	**350±36a**	**356±21a**	**362±15a**
FC (Fumier de chèvre)	**361±8a**	**288±37a**	**328±107a**
TI (Compost de Tithonia)	**377±26a**	**351±7a**	**357±10a**
LA (Compost de Lantana)	**331±17a**	**352±27a**	**364±10a**

Note : Moyenne ± Erreur standard. Les traitements dont les valeurs d'une variable sont suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différents pour ladite variable au seuil de 5% de probabilité.

IV.1.9. Effet des amendements organiques et de la dolomie sur le rendement du haricot

Les résultats sur les rendements en grains du haricot obtenus aux différents traitements testés sont montrés à la Figure 15. L'ANOVA réalisée pour cette variable indique qu'il y a une différence significative entre les traitements (p value=0,020). Ainsi, cette analyse permet de ranger les traitements par ordre décroissant comme suit : FV-D4≥FV-D2≥LA-D4≥FV-D0≥TI-D2≥LA-D2≥TI-D4≥TI-D0≥FC-D0≥TE-D4≥TE-D2≥LA-D0≥FC-D4≥TE-D0≥FC-D2.

L'observation de la Figure 15 montre que le traitement réalisé avec le fumier de vache et une dose de 4 t/ha de dolomie (FV-D4) a permis d'obtenir un rendement plus élevé que ceux des autres traitements soit 1141 kg/ha. Néanmoins, ce rendement n'est statistiquement différent que de celui

du traitement au fumier de chèvre et 2 t/ha (FC-D2) et du traitement témoin sans fumure organique ni dolomie (TE-D0) dont les valeurs sont respectivement de 398 kg/ha et 416 kg/ha.

Economiquement, on pourrait gagner 29% de rendement si on applique le fumier de vache avec 4 t/ha de dolomie au lieu d'en appliquer 2 t/ha.

Par ailleurs, il apparait que les rendements ont augmenté avec les augmentations de dose de dolomie sauf pour les cas d'application de fumier de chèvre et du compost de *Tithonia.*

Dans les traitements sans fumure organique, la dose 4 de la dolomie a donné un meilleur rendement bien que la différence ne soit pas statistiquement significative.

A la dose de 2 t/ha de dolomie, les différents types de fumure organique utilisés se rangent de la façon suivante par ordre d'influence positif du rendement suivant : fumier de vache, compost de *Tithonia,* compost de *Lantana*, Témoin et fumier de chèvre.

A la dose de 4 t/ha de dolomie, ces fertilisants organiques se rangent de la même façon que dans le cas de la dose de 2 t/ha sauf que les composts de *Lantana et de Tithonia* permutent de places.

On constate donc que le fumier de vache l'emporte sur tous les autres types de fumures organiques à toutes les doses de dolomie. En outre, le fumier de chèvre se range en dernière position, derrière le témoin dans les doses de 2 t/ha et 4 t/ha ; tandis que les composts de *Tithonia diversifolia* et de *Lantana camara* suivent le fumier de vache en termes de rendement en grains.

En outre, tous les types de fumures organiques avec ou sans dolomie, sauf le fumier de chèvre, ont permis d'obtenir un rendement relativement supérieur à celui obtenu en cas d'application de 4 t/ha sans application de fumure organique mais avec une dose de dolomie de 4 t/ha.

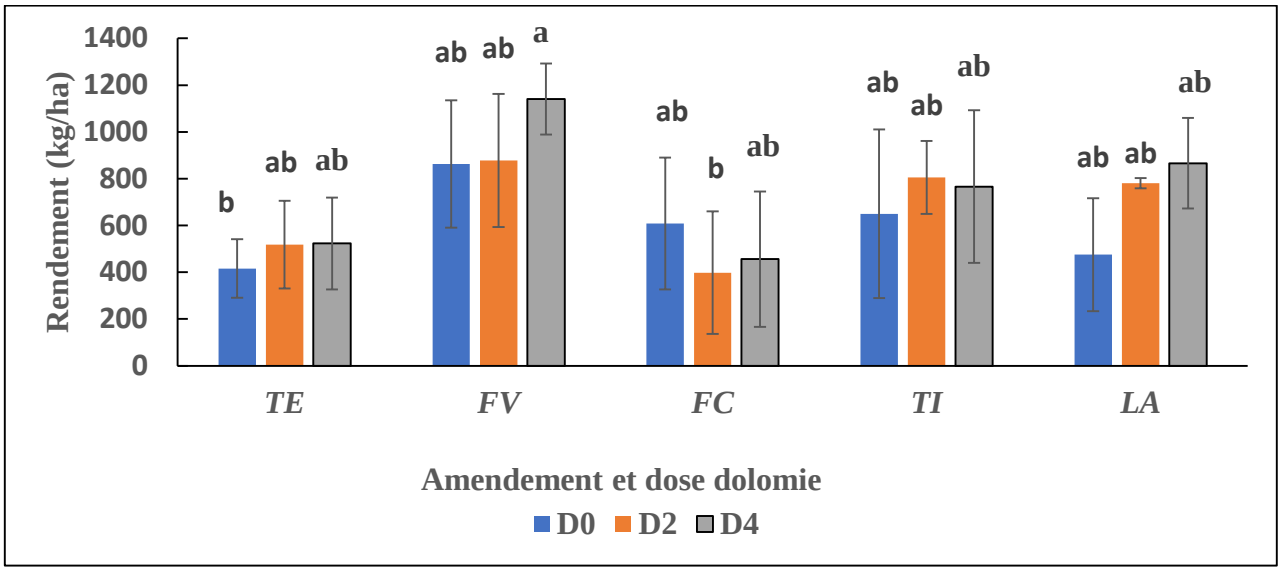


Figure 16:Le rendement des plants de haricot en fonction du type d'amendement organique et de la dose de dolomie appliquée

Où TE : témoin ; FV : fumier de vache ; FC : fumier de chèvre ; TI : compost de Tithonia diversifolia ; LA : compost de Lantana camara ; D0 : dose 0 t/ha de dolomie ; D2 : dose de 2 t/ha de dolomie ; D4 : dose de 4 t/ha de dolomie

Note : Histogramme des moyennes ; les barres représentent les écart-types.

Les *traitements suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% de probabilité*

IV.2. Discussion des Résultats

L'analyse des résultats de la biomasse totale sèche des plants de haricot a montré l'existence d'une différence très significative entre les traitements ($p< 5\%$) ; la combinaison entre la dose de 10 t MF de fumier de chèvre et 4 t/ha de dolomie ayant montré une biomasse totale sèche la plus élevée.

La valeur trouvée pour ce traitement est significativement plus élevée que celles observées dans les traitements aux composts de Tithonia et de Lantana mais sans dolomie et dans les traitements sans fumures organiques mais avec 0 ou 2 t/ha de dolomie.

Cette supériorité du fumier de chèvre pourrait aussi être due à sa composition chimique car après les analyses du laboratoire, les résultats ont montré que ledit fumier contenait une grande quantité d'azote comparativement aux autres fumiers ou compost utilisé pendant l'expérimentation.

En revanche, cette valeur enregistrée dans le cas de la combinaison du fumier de chèvre et 4 t/ha de dolomie ne différant pas significativement de celles observées dans les autres traitements aux fumiers de chèvre ou de vache combinés ou non à la dolomie, on peut dire que ces fumiers contiendraient des nutriments assez suffisants pour la production de la biomasse.

Les résultats des rendements moyens en graines de haricot obtenus dans les quinze traitements ont montré une différence significative entre les traitements pour cette variable. Tous les traitements aux doses de 4 t/ha de dolomie (y compris le traitement témoin), tous les traitements avec 2 t/ha de dolomie (sauf la combinaison fumier de chèvre et 2 t/ha de dolomie) et les traitements avec 0 t/ha de dolomie avec fumure organique (quelle que soit sa nature), sont groupés dans un même groupe de moyenne homogène.

Cela démontre l'effet bénéfique de la dolomie sur le rendement du haricot. Ça démontre que les fumures organiques jouent un grand rôle dans la nutrition de la plante afin d'avoir un grand rendement et dans le conditionnement du sol pour la croissance optimale.

En comparant ces résultats avec ceux qui sont mentionnés dans le catalogue des variétés de haricot cultivés au Burundi (MINEAGRIE, 2018) nous constatons qu'aucun traitement n'a pu atteindre le rendement en station de la variété Rufutamadeni qui est de 1200 kg de graines par hectare et que seuls les traitements aux fumiers de vache avec 0, 2 ou 4 t/ha de dolomie, les traitements au compost

de *Lantana camara* et 4 t/ha de dolomie et de *Tithonia* avec 2 t/ha de dolomie ont pu atteindre des rendements en graines généralement observés chez les agriculteurs qui est de 800 kg/ha.

La réaction du sol étant au départ très acide (pH de 4,2), cette étude vient de montrer l'effet chaulant très marqué des fumiers de vache dont l'application sans dolomie manifeste des effets qui ne sont pas significativement différents de leur combinaison avec une dose de 4 t/ha de dolomie.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le présent travail de recherche avait comme objectif de déterminer la combinaison de la fumure organique et de la dose de la dolomie qui améliore le rendement du haricot. Ce travail a été conduit dans les 15 traitements installés sur trois blocs à Zege en commune Gitega. La variété de haricot testée était CODMLB003 connu en kirundi sous le nom de Rufutamadeni ou Mutwenzi. Les différents paramètres évalués étaient : le taux de survie ; biomasse totale sèche ; biomasse aérienne sèche ; biomasse racinaire sèche, longueur des racines ; poids de mille graines ; nombre de gousse par plant ; nombre de graines par gousse et le rendement et l'évaluation était faite de façon comparée pour chaque paramètre et sur les différents traitements.

Après la collecte des données et leurs analyses, il ressort qu'il y a une différence significative entre les différents traitements pour certains paramètres à savoir la biomasse totale sèche, la biomasse aérienne, la biomasse racinaire et le rendement. D'autre part, il n'y a pas de différence significative entre les traitements pour la longueur des racines, le nombre de gousses par plant, le nombre de graisses par gousses et le poids de mille graines.

Par ailleurs, l'application de 10 tonnes de fumier de chèvre et 4 tonnes de dolomie manifeste une biomasse totale sèche statistiquement plus grande que le traitement sans usage de fumure organique mais avec 2 t/ha de dolomie et sans dolomie.

Quant au rendement grains, le fumier de vache combiné à 4/ha de dolomie a donné un rendement statistiquement plus élevé que le traitement témoin et le traitement au fumier de chèvre combiné à 2t/ha de dolomie. Bien que la biomasse totale issue des traitements au fumier de chèvre soit meilleure, ce traitement donne un mauvais rendement.

Le rendement obtenu par l'application du fumier de vache et les composts de *Tithonia diversifolia* et de *Lantana camara* sans dolomie surpasse celui qui est issu de l'application de 4 t/ha de dolomie sans fumure organique ; ce qui traduit que l'application de la seule chaux dolomitique sur les sols acides du Burundi n'a pas d'importance.

En définitif, la fumure organique présente des effets positifs sur le rendement du haricot cultivé sur les sols fortement acides et appauvris en éléments nutritifs du Burundi.

Pour compléter les acquis de cette étude, nous suggérons aux futurs chercheurs de :

- Répéter cette étude pendant plusieurs saisons culturales (au moins 3 saisons) ;
- Initier cette recherche pour d'autres cultures et dans d'autres régions agroécologiques du pays ;
- Mener une étude minutieuse sur les effets de ces combinaisons de doses de dolomie et des fumures organiques sur les propriétés physiques ; chimiques et biologiques du sol

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aggoun & dekhili, (2006). Effets des facteurs environnementaux sur le poids des grains dans cinq populations algeriennes du haricot dur (triticum durum desf.). 431p.
2. Aguiar *et al.* (1998). Snap bean production in california. University of california, agriculture and natural resources. Https://doi.org/10.3733/ucanr.7240p
3. Andriamiarisoa l. (2014). Lutte biologique contre le champignon sclerotium rolfsii, un agent causal de la pourriture du collet du haricot. Universite d'antananarivo faculte des sciences departement de biologie et ecologie vegetales memoire pour l'obtention du diplome d'etudes approfondies option: physiologie vegetale, 78p.
4. Arsene, r. T. (2016). Etude des reactions physiologiques de cinq varietes de haricots, vis-a-vis de la rouille provoquee par uromyces [phd thesis, universite d'antananarivo].
5. Ayokun-nun, a., & moteetee, a. (2017). *Tithonia diversifolia* (hemsl) a. Gray. (asteraceae : heliantheae), an invasive plant of significant ethnopharmacological importance: a review. South african journal of botany, 113, 396-4 03p.
6. Bakababenesha, e. T., & kabamba, c. L. (2023). Reponse de glycine max l. A l'apport de la matiere organique a base de *Tithonia diversifolia* (hemsl.) A. Gray sur un ferralsol a mbuji-mayi/rdc. Journal of oasis agriculture and sustainable development, 5(1), article 1.
7. Bangou, m. J. (2012). Etude phytochimique et activites biologiques des tiges feuillees de lantana camara l. Et de lippia chevalieri moldenke : deux verbenaceae du burkina faso. Universite de ouagadougou.
8. Barhahakana *et al.* (2014). Haricot dans la region bugorhe, milieu rural, cote occidentale du lac kivu, sud kivu, republique democratique du congo. 7(1).

9. Belaadi *et al.* (2014). Etude de l'effet de la salinite sur la germination et la croissance de quelques varietes d'haricot (phaseolus vulgaris l.). Universite 8 mai 1945 guelma, 54p.
10. Bernier, m. (2011). Étude de la variabilite des symptomes pathologiques affectant le haricot commun. (p. 69 p.). France. Ecole superieure d'agriculture (groupe esa) (esa), fra.
11. Birachi. (2015). Factors influencing smallholder farmers' bean production and supply to market in burundi. 9p.
12. Chikuvire t. J et al. (2013). Lantana camara and tithonia diversifolia leaf teas improve the growth and yield of brassica napus. Department of crop science, bindura university of science education, p. Bag 1020, bindura, zimbabwe, 6p.
13. Christophe *et al.* (2022). Evaluation des proprietes physicochimiques liees a la disponibilite du phosphore des differents types de sols du burundi. Volume 33 (2022) 1-12, 1-12p.
14. Deslauriers, g. (2014). Meta-analyse d'essais de fertilisation n, p et k sur le haricot et le pois. Universite laval, 88p.
15. Eric, n. (2000). Identification des souches de pseudomonas syringae pv. Phaseolicola et criblage pour la resistance a la bacteriose a halo du harico. Universite du burundi, 53p.
16. Eric, n. (2016b). Caracteristiques des nouvelles varietes de haricot homologuees par l'office national de controle et de certification des semences (onccs) pretes a la diffusion.53p.
17. Eric, n. (2016c). Recherche agronomique : amont de l'agriculture et de l'elevage au burundi. 12p.
18. Eric. (2016a). Bulletin de la recherche agronomique au burundi n°12. 12.

19. Gentiane, (2015). Impacts de l'inoculation du haricot vert nain avec des bacteries symbiotiques fixatrices d'azote sur le fonctionnement microbien du sol de culture. 81p.
20. Goudjo *et al.* (2023). Revue analytique des maladies fongiques affectant la production du haricot vert (phaseolus vulgaris). European scientific journal, esj, 19(36), 67p.
21. INRAE. (2017). Vigi-semences—*colletotrichum lindemuthianum* (anthracnose du haricot).
22. ISABU. (2021). Cartographie des sols du burundi.
23. ISABU. (2023). Varietes de haricot biofortifiees en diffusion au burundi: fiche technique. 3.
24. Jacques fournet & al. (2012). Eflore. Place du taxon dans la classification apg ii.
25. Jama *et al.* (2000a). *Tithonia diversifolia* as a green manure for soil fertility improvement in western kenya : a review. Agroforestry systems, 49(2), 201-221p.
26. Jama *et al.* (2000b). Tithonia diversifolia as a green manure for soil fertility improvement in western kenya : a review. Agroforestry systems, 49(2), 201-221p.
27. Jouve, (2006). Transition agraire : la croissance demographique, une opportunite ou une contrainte ?: afrique contemporaine, n° 217(1), 43-54p.
28. Kaho *et al.* (2011). Effet combine des feuilles de tithonia diversifolia et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les proprietes d'un sol ferralitique au centre cameroun. 7p.
29. Kulimushi, e. (2014). Evaluation des effets d'insecticides botaniques sur les pucerons noirs du haricot (aphis fabae) a goma en republique democratique du congo. Cridhac, vol 1, 365-380p.

30. Laguesse, m. (2017). Etude de l'impact du chaulage sur les proprietes physico-chimiques du sol et les cycles biogeochimiques en ecosysteme forestier. 71p.
31. Levard, l., & aler, d. (2014). La commercialisation des produits agricoles vivriers au burundi – pertinence et conditions de succes de possibles initiatives s'inspirant de l'experience tanzanienne des marches de gros. 41p.
32. Mathieu, c. (2020). La degradation des sols en france et dans le monde, une catastrophe ecologique ignoree. Planet-vie. Https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/gestion-de-l-environnement-pollution/la-degradation-des-sols-en-france
33. MINEAGRIE, (2016). Directives et bonnes pratiques de gestion durable des terres au burundi.
34. MINEAGRIE, (2018). Catalogue des varietes de haricot en diffusion au burundi - pdf free download. Isabu;51p
35. MINEAGRIE, (2020). Document d'orientation de la politique environnementale, agricole et d'elevage.
36. MINEAGRIE,. (2022). Fiche technique de la vulgalisation agricole. 36p.
37. Ochieng, d. (2011). Factors influencing smallholder farmers' bean production and supply to market in burundi. African crop science journal, 19(4) : 335-342. Rapports de recherche d'oxfam.
38. Ontario, (2022a). La tache angulaire dans les haricots mange-tout | ontario.ca.
39. Ontario, (2022b). Les effets du fumier sur la teneur du sol en matière organique | ontario.ca.

40. Ossey *et al.* (2021). Entomofaune associee a la culture du haricot commun (phaseolus vulgaris l.) Et evaluation des degats causes par les insectes ravageurs en station au centre de la cote d'ivoire. Agronomie africaine, 33(1), article 1.
41. Rawat & suthar (2014). Composting of tropical toxic weed lantana camera l. Biomass and its suitability for agronomic applications. Compost science & utilization, 22, 105-115p.
42. Ruraduma *et al.* (2014). Augmentation de la production par l'utilisation de la biomasse de tithonia diversifolia a la place du dap: cas de la culture de haricot. Isabu, 16p.
43. Salvator, k.*et al.* (2020). Effet de la combinaison dap, chaux dolomitique et fientes de poule sur la reduction de la toxicite aluminique d'un sol acide d'altitude du burundi. 7p.
44. Sarita *et al.* (2008). A review of the hepatotoxic plant lantana camara : critical reviews in toxicology : vol 37, no 4.
45. Serres, p. De f. (2021, juillet 7). Reconnaitre et eviter la fonte des semis. France serres.
46. Souana, k. (2013). «etude de l'interaction «acide salicylique-salinite» sur la reponse physiologique et moleculaire de deux fabacees : la feve et le haricot [phd thesis, universite de tiaret-ibn khaldoun].
47. Tarde, c. (2022). Utilisation de plantes de service dans la lutte contre les pucerons en culture de salade. 101p.

ANNEXES

ANNEXE 1. DONNEES COLLECTEES SUR TERRAIN

Tableau 5:Tableau illustratif des différents paramètres de croissance et de production pour le haricot

Traitement	TS en %	BTS en kg/ha	BAS en kg/ha	BRS en kg/ha	LR	R/S	Poids GR g/1000	RAS en kg/ha	H/I	GOUS/Plant	NG/Plant	NG/GOUS	RDT Kg/ha
T1	43	2580	2150	430	16,2	0,2	491,23	2240	1,04	4,65	10,60	2,3	560
T1	30	1500	1050	450	13	0,43	391,57	1300	1,24	3,97	11,07	2,8	325
T1	33	2640	2145	495	17,3	0,23	355,23	1460	0,68	4,55	12,45	2,7	365
T2	68	4760	4080	680	11,7	0,17	309,42	2200	0,54	3,99	10,46	2,6	550
T2	55	11000	7975	3025	27,2	0,38	366,64	4000	0,50	8,47	19,84	2,3	1000
T2	42	4410	3570	840	15,8	0,24	376,47	4160	1,17	9,00	26,31	2,9	1040
T3	50	3750	3250	500	10,5	0,15	371,03	3740	1,15	6,90	20,16	2,9	935
T3	16	1520	1280	240	16,4	0,19	357,43	1780	1,39	9,44	31,13	3,3	445
T3	35	5250	4200	1050	20,6	0,25	355,29	1780	0,42	6,63	14,31	2,2	445
TI+0	60	3900	3300	600	16,8	0,18	357,14	3900	1,18	5,90	18,20	3,1	975
TI+0	33	2805	2145	660	16,6	0,31	366,67	2860	1,33	7,94	23,64	3,0	715
TI+0	28	1400	1260	140	11	0,11	407,84	1040	0,83	4,21	9,11	2,2	260
La+0	45	3150	2700	450	19	0,17	313,00	1180	0,44	3,53	8,38	2,4	295
La+0	33	2640	2310	330	14,4	0,14	346,82	3000	1,30	8,00	26,21	3,3	750
La+0	44	2420	1760	660	27	0,38	334,80	1520	0,86	3,93	10,32	2,6	380
TE+2	37	1665	1480	185	12,8	0,13	361,70	1700	1,15	4,41	12,70	2,9	425
TE+2	44	2860	2420	440	17,8	0,18	371,21	2940	1,21	6,00	18,00	3,0	735
TE+2	23	1495	1265	230	15,34	0,18	339,78	1580	1,25	7,09	20,22	2,9	395
FV+2	54	5940	4860	1080	25,6	0,22	349,66	4640	0,95	7,76	24,57	3,2	1160
FV+2	35	4025	3325	700	7,37	0,21	380,65	3540	1,06	9,46	26,57	2,8	885
FV+2	63	6930	5985	945	22,2	0,16	340,55	2360	0,39	5,27	11,00	2,1	590
FC+2	36	3420	2880	540	27,2	0,19	286,02	2640	0,92	7,56	25,64	3,4	660

Traitement	TS en %	BTS en kg/ha	BAS en kg/ha	BRS en kg/ha	LR	R/S	Poids GR g/1000	RAS en kg/ha	H/I	GOUS/Plant	NG/Plant	NG/GOUS	RDT Kg/ha
FC+2	36	4140	3240	900	25,6	0,28	252,34	540	0,17	2,58	5,94	2,3	135
FC+2	37	5365	4440	925	22	0,21	327,20	1600	0,36	7,65	13,22	1,7	400
TI+2	79	5135	4740	395	32,6	0,08	344,10	3940	0,83	5,20	14,49	2,8	985
TI+2	47	3290	2585	705	15,2	0,27	352,50	2820	1,09	5,64	17,02	3,0	705
TI+2	47	3055	2585	470	13,5	0,18	358,91	2900	1,12	5,74	17,19	3,0	725
La+2	56	3080	2520	560	6,19	0,22	324,66	3120	1,24	6,09	17,16	2,8	780
La+2	42	2940	2520	420	12,34	0,17	379,05	3040	1,21	6,12	19,10	3,1	760
La+2	38	3610	2850	760	16	0,27	353,46	3220	1,13	7,32	23,97	3,3	805
TE+4	43	3870	3225	645	30	0,20	258,57	1660	0,51	5,63	14,93	2,7	415
TE+4	37	2775	2405	370	10,34	0,15	365,85	3000	1,25	6,97	22,16	3,2	750
TE+4	61	3050	2440	610	14,4	0,25	355,26	1620	0,66	2,56	7,48	2,9	405
FV+4	72	5760	4680	1080	16	0,23	345,79	5180	1,11	6,26	20,81	3,3	1295
FV+4	58	5800	5220	580	22,4	0,11	377,14	3960	0,76	7,16	18,10	2,5	990
FV+4	52	4420	3640	780	17,6	0,21	363,35	4560	1,25	7,25	24,13	3,3	1140
FC+4	52	7020	5720	1300	25,4	0,23	440,68	2340	0,41	5,12	10,21	2,0	585
FC+4	38	6080	4750	1330	26,4	0,28	227,27	500	0,11	2,66	5,79	2,2	125
FC+4	61	8235	7015	1220	15,2	0,17	316,55	2640	0,38	6,77	13,67	2,0	660
TI+4	62	3720	3410	310	16,4	0,09	369,39	4200	1,23	6,08	18,34	3,0	1050
TI+4	54	4320	3510	810	15	0,23	355,75	1640	0,47	4,70	8,54	1,8	410
TI+4	57	6270	5130	1140	30,2	0,22	348,55	3360	0,65	6,28	16,91	2,7	840
La+4	51	3315	3060	255	13,9	0,08	372,94	4300	1,41	6,90	22,61	3,3	1075
La+4	38	2280	1900	380	13	0,20	368,49	2760	1,45	6,21	19,71	3,2	690
La+4	48	4560	3840	720	23	0,19	352,69	3340	0,87	7,60	19,73	2,6	835

ANNEXE 2. RESULTATS D'ANOVA

Tableau 6:Résultats d'analyse de la variance pour les différents paramètres observés

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TS	Between Groups	3476,133	14	248,295	1,813	0,084
	Within Groups	4108,667	30	136,956		
	Total	7584,8	44			
BTS	Between Groups	1,03E+08	14	7370114	3,721	0,001
	Within Groups	59410000	30	1980431		
	Total	1,63E+08	44			
BAS	Between Groups	66540000	14	4753151	3,93	0,001
	Within Groups	36290000	30	1209549		
	Total	1,03E+08	44			
BRS	Between Groups	4643087	14	331649	2,009	0,053
	Within Groups	4952733	30	165091,1		
	Total	9595820	44			
LR	Between Groups	470,078	14	33,577	0,776	0,685
	Within Groups	1297,546	30	43,252		
	Total	1767,624	44			
Ratio	Between Groups	0,051	14	0,004	0,601	0,843
	Within Groups	0,183	30	0,006		
	Total	0,234	44			
PMG	Between Groups	31265,17	14	2233,227	1,302	0,263
	Within Groups	51438,16	30	1714,605		
	Total	82703,34	44			
RAS	Between Groups	31270000	14	2233829	2,436	0,02
	Within Groups	27520000	30	917173,3		
	Total	58790000	44			
IR	Between Groups	2,959	14	0,211	2,053	0,048
	Within Groups	3,087	30	0,103		
	Total	6,046	44			
Gouss	Between Groups	41,98	14	2,999	0,981	0,495
	Within Groups	91,735	30	3,058		
	Total	133,715	44			
Grain	Between Groups	544,749	14	38,911	0,978	0,497
	Within Groups	1193,801	30	39,793		
	Total	1738,55	44			
Grgou	Between Groups	3,011	14	0,215	1,12	0,381
	Within Groups	5,759	30	0,192		
	Total	8,77	44			
Rdt	Between Groups	1954600	14	139614,3	2,436	0,02
	Within Groups	1719700	30	57323,33		
	Total	3674300	44			

ANNEXE 3. Illustration photographique de quelques activités de terrain



Figure 17:Chaulage des parcelles (photo prise en février 2023





Figure 18:Evaluation du taux de levée (à gauche) et du taux de survie (à droite) (photos prises respectivement en mars et en mai 2023)



Figure 19:Stade de maturité (photos prise sur terrain en Mai 2023)



Figure 20:Maladies (à gauche et ravageurs (à droite) (photos prise sur terrain en Mars 2023)