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

Mise au point d'un système de culture continu en semis direct dans un couvert végétal permanent de Stylosanthes guianensis (Aublet) Swartz adapté aux conditions naturelles de la plaine de l'Imbo au Burundi

Nkeshimana, Fulgence; Sous la direction de : Pr. Salvator Kaboneka; Pr. Paluku Mutiviti Gilbert

2025
UB, Ecole doctorale
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1652

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

ECOLE DOCTORALE

FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE

CENTRE DE RECHERCHE EN SCIENCES DES PRODUCTIONS ANIMALES, VEGETALES ET ENVIRONNEMENTALES (CRAVE)



Mise au point d'un système de culture continu en semis direct dans un couvert végétal permanent de *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz adapté aux conditions naturelles de la plaine de l'Imbo au Burundi

Dissertation originale présentée et soutenue publiquement par **Fulgence Nkeshimana** en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique

Spécialité : Systèmes agraires et fertilité des sols

<u>Co-promoteurs</u> :

Pr. Salvator Kaboneka, Université du Burundi

Pr. Paluku Mutiviti Gilbert, Université Catholique du Graben, (RDC)

Bujumbura, Mars 2025

Le jury composé de :

Pr. André Nduwimana, Professeur Associé, Université du Burundi, Président

Pr. Séverin Nijimbere, Professeur Associé, Université du Burundi, Secrétaire

Pr. Salvator Kaboneka, Professeur Associé, Université du Burundi, Co-Promoteur

Pr. Paluku Mutiviti Gilbert, Professeur Ordinaire, Université Catholique du Graben, (RDC), Co-Promoteur

Pr. Bernadette Habonimana, Professeur Ordinaire, Université du Burundi, membre

Epigraphie

« Ainsi parle l'Éternel, qui fait ces choses, l'Éternel, qui les conçoit et les exécute, lui, dont le nom est l'Éternel : invoque-moi, et je te répondrai ; Je t'annoncerai de grandes choses, des choses cachées, que tu ne connais pas » Jérémie 33 :1-3.

« C'est le Dieu du ciel qui nous donnera le succès et nous, ses serviteurs, nous allons nous lever et nous mettre au travail » Néhémie 2 :20.

Table des matières

Epigraphie ..... **i**

Liste des tableaux ..... **vii**

Liste des figures ..... **viii**

Dédicaces ..... **xii**

Remerciements ..... **xiii**

Résumé ..... **xvi**

Abstract ..... **xvii**

INTRODUCTION GENERALE **1**

0.1. Problématique et contexte de l'étude *2*

0.2. Objectifs de la recherche *8*

0.2.1. Objectif global 8

0.2.2. Objectifs spécifiques 8

0.2.3. Hypothèses du travail 8

0.2.4. Articulation générale de la thèse 9

Première partie : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE **11**

CHAPITRE 1 : AMELIORATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION EN ZONE TROPICALE : ROLE DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* **12**

1. Introduction *15*

1.1. Importance des légumineuses dans les systèmes de production *16*

1.2. Considérations sur Stylosanthes guianensis *17*

1.2.1. Origine et domestication 17

1.2.2. Taxonomie 17

1.2.3. Biologie 18

1.3. Mécanisme d'amélioration des systèmes de production par utilisation d'un couvert végétal de Stylosanthes guianensis *18*

1.4. Importance de la couverture du sol *19*

1.5. Avantages du Stylosanthes guianensis dans les systèmes de production *19*

1.5.1. Pouvoir fertilisant de S*tylosanthes guianensis* 19

1.5.2. Effet inhibiteur de *Stylosanthes guianensis* sur les adventices 20

1.5.3. Contrôle de l'érosion 21

1.5.4. Amélioration des rendements des cultures et intérêt économique 22

1.5.5. Amélioration dans la productivité des animaux 23

1.6. Conclusion partielle *23*

CHAPITRE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE ET SYSTEME DE PRODUCTION DE LA PLAINE DE L'IMBO 25

2.1. Situation géographique de la région de l'Imbo en général *26*

2.2. Caractéristiques des sols de la plaine de l'Imbo *28*

2.3. Hydrologie *29*

2.4. Climatologie *32*

2.4.1. Température 32

2.4.2. Précipitations 33

2.4.3. Humidité relative 33

2.4. 4. Vents 33

2.4.5. Insolation 34

2.5. Systèmes de production au Burundi *34*

2.6. Systèmes de production dans l'Imbo-Centre et leurs contraintes *37*

2.7. Démarche méthodologique *38*

2.7.1. Présentation du site d'essai 38

2.7.2. Protocole expérimental 39

Deuxième partie : ASPECTS PRATIQUES ET EXPERIMENTAUX DE LA RECHERCHE 44

CHAPITRE 3. COMPORTEMENT DE DEUX VARIETES DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* (AUBLET) SWARTZ EN CULTURE PURE ET EN ASSOCIATION AVEC LE MANIOC DANS LES CONDITIONS DE LA PLAINE DE L'IMBO (BURUNDI). 45

3.1. Introduction 48

3.2. Matériel et méthodes 50

3.2.1. Description des caractéristiques du site expérimental 50

3.2.2. Dispositif expérimental 50

3.2.3 Matériel végétal utilisé 51

3.2.4. Plantation des boutures de manioc et Semis de graines de *S. guianensis* 51

3.2.5. Levée de dormance et semis de *S. guianensis* 52

3.2.6. Méthode de collecte des données pour *Stylosanthes guianensis* 53

3.2.7. Evaluation du rendement des tubercules frais de manioc 55

3.2.8. Analyse statistique des données 56

3.3. Présentation des résultats 57

3.3.1. Paramètres de croissance et de production du *S. guianensis* en culture pure et en association avec le manioc 57

3.3.2. Paramètres de croissance et de production pour la culture du manioc 59

3.3.3. Détermination du temps de travaux des opérations culturales 62

3.4. Discussion des résultats 63

3.4.1. Taux de levée des poquets de semences de stylo et des boutures de manioc plantées 63

3.4.2. Le nombre de ramifications 63

3.4.3. Production de biomasse aérienne totale 64

3.4.4. Rendements en graines de stylo 64

3.4.5. Rendement en racines tubéreuses fraîches de manioc 65

3.4.6. Temps de travaux des opérations nécessaires pour les systèmes de culture 66

3.5. Conclusion partielle 67

CHAPITRE 4. EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA CULTURE DU MAÏS EN SEMIS DIRECT SOUS UN COUVERT VEGETAL DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* (AUBLET) SWARTZ DANS LES CONDITIONS DE LA PLAINE DE L'IMBO (BURUNDI). 68

4.1. Introduction *71*

4.2. Matériel et méthodes *72*

4.2.1. Caractéristiques climatiques durant cette expérimentation 72

4.2.2. Matériel végétal utilisé 73

4.2.3. Semis de la variété du maïs 74

4.2.4. Application des engrais et entretiens culturaux 74

4.2.5. Calcul de la rentabilité économique 78

4.3. Présentation des résultats *78*

4.3.1. Paramètres de croissance et de production pour la culture du maïs en culture pure et en association avec *Stylosanthes guianensis* 78

4.3.2. Paramètres de croissance et de production de biomasse pour les systèmes de cultures à base de *Stylosanthes guianensis* en rotation 81

4.3.3. Rentabilité économique de systèmes de culture en rotation de culture du maïs en semis direct dans un couvert de *S. guianensis* 85

4.4. Discussion des résultats *87*

4.4.1. Poids de mille graines (PMG) 87

4.4.2. Poids total d'épis récoltés par parcelle (PTER) 87

4.4.3. Effet résiduel de *S. guianensis* sur la production de maïs 88

4.4.4. Evolution et persistance du paillis 89

4.4.5. La rentabilité économique des systèmes testés 90

4.5. Conclusion partielle *90*

CHAPITRE 5. EFFETS DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* (AUBLET) SWARTZ SUR LA DYNAMIQUE DES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL : CAS DU SITE DE MUGERERO DANS LA PLAINE DE L'IMBO (BURUNDI) 92

5.1. Introduction *95*

5.2. Matériel et méthodes *97*
5.2.1. Dispositif expérimental 97
5.2.2. Détermination des caractéristiques climatiques 98
5.2.3. Méthode de l'échantillonnage et analyse des échantillons du sol 98
5.2.4 Méthodes d'analyse au laboratoire 99
5.2.5. Analyse et traitement des données 100
5.3. Présentation des résultats *100*
5.3.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol du site d'essai au début de l'expérimentation 100
5.3.2. Effets de la couverture végétale de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol 101
5.4. Discussion des résultats *112*
5.5. Conclusion partielle 116
CHAPITRE 6. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 117
6.1. Conclusion générale *118*
6.2. Avancées et perspectives de développement de la recherche *121*
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 123

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques du sol du site de Mugerero au début l'expérimentation..... 39
Tableau 2: Paramètres soumis à la comparaison pour les systèmes de cultures en pure ou en association avec *S. guianensis* 42
Tableau 3: Paramètres de croissance et de production de *S. guianensis* en culture pure et en association avec le manioc..... 58
Tableau 4: Paramètres de croissance et de production pour le manioc 60
Tableau 5: Temps des travaux des opérations nécessaires pour les systèmes testés 62
Tableau 6: Moyenne des données climatiques au cours de l'expérimentation (2016 à 2017) 73
Tableau 7 : Paramètres de croissance et de production pour le maïs en culture pure et en association avec stylo 79
Tableau 8:Paramètres de croissance et de production pour le *S. guianensis* en rotation..... 82
Tableau 9: Coût de producton et recettes tirées des systèmes de culture en rotation de culture du maïs en semis direct dans un couvert de *S. guianensis* 86
Tableau 10: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du pH..... 101
Tableau 11: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du carbone organique..... 102
Tableau 12: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de l'azote total du sol 104
Tableau 13: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du phosphore..... 105
Tableau 14: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du Calcium échangeable 107
Tableau 15: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du magnésium échangeable 108
Tableau 16: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du potassium échangeable... 109
Tableau 17: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du sodium échangeable 111

Liste des figures

Figure 1: Carte des régions naturelles du Burundi (ISABU, 2018) 27
Figure 2: Réseau hydrographique du Burundi 31
Figure 3: Schéma de fonctionnement d'une exploitation agricole au Burundi (Source : ISABU, 2010) 36
Figure 4: Plan du dispositif expérimental du site de Mugerero réalisé sur trois ans (2016-2019) 41
Figure 5: Mise en place et développement des différents systèmes culturaux (a. Plantation des boutures du manioc, b. Développement végétatif des objets testés (Photos prises par l'auteur en Octobre 2015)..... 52
Figure 6: Développent des systèmes culturaux (c. culture pure de Stylo, d. culture pure du manioc ; Photos prises par l'auteur en octobre 2016)..... 53
Figure 7: Association manioc/ stylo (Photo prise par l'auteur en octobre 2016) 53
Figure 8: Recépage de Stylosanthes guianensis au ras du sol (Photo prise par l'auteur en octobre 2016) 54
Figure 9: Collecte des graines de stylo (e. Raclage des graines au niveau du sol, f. Tamisage des graines de stylo ; Photos prises par l'auteur 2016)..... 55
Figure 10: Mise en place du paillis après la collecte des graines 55
Figure 11: Récolte et détermination des paramètres évalués pour le manioc (g: Récolte du manioc, h: détermination des paramètres évalués pour le manioc ; Photos prise octobre 2017) 56
Figure 12: Association maïs /stylo (i. Semi direct de la culture du maïs, j. Association maïs /stylo ;Photo prise novembre 2016) 74
Figure 13: Systèmes culturaux à base du maïs (k. Association mais/Stylo, l. culture pure du maïs /stylo ; Photos prises en Janvier 2017)..... 76
Figure 14: Maturation des systèmes culturaux à base du maïs (m. Maïs/stylo : prêt pour la récolte, n. Récolte du maïs ; Photos prises en Février 2017)..... 76
Figure 15: Détermination des différents paramètres pour le maïs en rotation (o. Levée des données de différents paramètres, p. Champs après récolte ; Photos prises en Février 2017)..... 77
Figure 16: Mise en jachère du terrain après la récolte du maïs (q. Jachère améliorée du Stylo après la récolté du maïs, r. Jachère non améliorée après la récolté du maïs ; Photos prises en Mai 2017) 77
Figure 17: Prélèvement des échantillons du sol (s: Prélèvement des échantillons du sol en association stylo/ maïs, t: prélèvement des échantillons du sol en culture pure de stylo ; Photos prises en octobre 2018)..... 98
Figure 18: Préparation des échantillons à analyser..... 99

Sigles et abréviations

%	: Pour cent
˚C	: Degré Celsius
A .C	: Agriculture de Conservation
AB	Agriculture biologique
Al	: Aluminium
ANOVA	: Analyse de la variance
B	: Bore
C	: Carbone
C/N	: Rapport Carbone Azote
Ca	: Calcium
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CEC_{eff}	: Capacité d'Echange Cationique effective
CIAT	: Centre International pour l'Agriculture Tropicale
CM	: Carré moyen
CM ajus	: Carrés Moyens ajustés
CO_2	: Dioxyde de carbone
CT	: Carbone total
Cu	: Cuivre
DAP	: Diamonium phosphate
DDL	: Degré de liberté
DPAE	: Direction Provinciale de l'Agriculture et de l'Elevage
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
g/kg	: gramme par kilogramme
g C/kg	: gramme de Carbone par kilogramme
ha	: Hectare
HS	: Hautement Significatif
INEAC	: Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo
ISABU	: Institut des Sciences Agronomiques du Burundi
ISTEEBU	: Institut des Statistiques et des Etudes Economiques du Burundi

K	: Potassium
K_2O	: Oxyde de Potassium
KCl	: Chlorure de potassium
Kg/ha	: Kilogramme par hectare
M	: mètre
M.SC	: Maitre en sciences
m^2	: mètre carré
meq	: Milléquivalent
Mg	: Magnésium
MINAGRIE	: Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage
Mn	: Manganèse
MOS	: Matière organique sèche
N	: Azote
N_2	: Azote atmosphérique
Na	: Sodium
NPK	: Azote-Phosphore-Potassium
NS	: Non significatif
NT	: Azote total
P	: Phosphore
P_2O_5	: Hémi pentoxyde de phosphore
pH	: Potentiel d'hydrogène
PNIA	: Programme National d'Investissement Agricole
PPDS	: Plus petite différence significative
ppm	: partie par million
RDC	: République Démocratique du Congo
RE	: Rentabilité économique
RIFFEAC	: Réseau des Institutions de Formation Forestière et Environnementale de l'Afrique Centrale
SCE	: Somme des carrés des écarts
SCV	: Semis sous Couvert Végétal
t/ ha	: tonne par hectare

THS : Très hautement significatif

U.B : Université du Burundi

Dédicaces

Cette thèse est dédiée à ma famille et à mes parents: A Claudine Nizigiyimana, mon épouse, et à nos enfants Roy Héritier Irashoboye, Ella Dorante Irishura et Liora Batia Ineza pour leur patience pendant la réalisation de cette étude, pour avoir supporté toute la période d'absence durant cette étude; A mon regretté père Henri Bacahirya et ma mère Gertrude Minani pour tous les peines et sacrifices encourus depuis ma naissance.Aux familles Donatien Ntikahavuye et Gilbet Habonimana pour tout soutien matériel et moral.

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier les personnes, tant morales que physiques, qui ont joué un rôle important pour son aboutissement. Cette thèse a bénéficié du soutien financier du Gouvernement du Burundi, à travers le Bureau des Bourses d'Etude et des Stages (BBES), à qui je me dois d'exprimer mes sincères remerciements.

Je suis reconnaissant envers l'Institut des Sciences Agronomique du Burundi (ISABU) pour m'avoir accordé un terrain d'expérimentation à Mugerero (Gihanga) et l'accès au laboratoire d'Analyse des Sols et des Produits Agroalimentaires (LASPA) pour des analyses physicochimiques.

En mémoire, j'adresse mes respectueux remerciements à mon regretté Professeur Guy MERGEAI, Professeur titulaire à l'université de Liège-Gembloux Agro-Biotech et chef de département de l'unité de Phytotechnie tropicale et horticulture, qui m'a donné l'opportunité de faire cette thèse et assuré son encadrement. Sa disponibilité, ses conseils et ses critiques scientifiques ont été déterminants dans l'élaboration de ce travail. Quand il a eu connaissance de moi, il a réservé un intérêt sans pareil à mon dossier pour me décrocher l'admission et l'inscription à l'Université de Liège-Gembloux Agro-Biotech. Cher Professeur, merci infiniment pour m'avoir ouvert les portes à la formation doctorale. Par ailleurs, je n'oublierai jamais un accueil chaleureux qu'il m'a toujours témoigné sur le sol Belge et les bonnes conditions de travail qu'il m'a offertes.

Par ailleurs, je remercie l'Ecole Doctorale de l'Université du Burundi pour avoir reçu favorablement ma demande d'admission en thèse de doctorat dans le pôle des Sciences Naturelles, de la vie et de l'ingénieur, après le décès de mon ancien promoteur Belge, Professeur Guy MERGEAI.

J'adresse mes respectueux remerciements au Professeur Salvator Kaboneka, enseignant à Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI) de l'Université du Burundi pour avoir accepté de diriger et de prendre en main la continuité de cette thèse depuis le commencement des activités malgré une interruption liée à l'absence du 1er promoteur. Sa disponibilité, ses conseils et ses critiques scientifiques ont été déterminants dans l'élaboration de ce travail. Cher Professeur, merci infiniment.

Mes sentiments de reconnaissance vont également à l'endroit de Professeur Gilbert Paluku Mutiviti, Doyen de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben en RDC et Président du Conseil d'Administration du RIFFEAC (RDC) pour avoir assuré la codirection de ce

travail. Sa disponibilité, ses conseils et ses critiques scientifiques ont été déterminants dans l'élaboration de ce travail.

J'aimerais exprimer mes remerciements au professeur André Nduwimana, enseignant à l'Université du Burundi, Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie (FABI). Cher Professeur vous avez accepté, malgré vos multiples activités, de présider le jury de cette thèse. Je vous promets de vous rendre tout ce que je vous dois, pour les encouragements à mon égard.

Mes sentiments de reconnaissance vont également à l'endroit de Madame Bernadette Habonimana, Professeur à la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie de l'Université du Burundi et membre du comité d'accompagnement de ma thèse pour m'avoir guidé et encouragé durant ce travail. Son appui administratif et le suivi régulier qu'elle a réservé à mon dossier de demande d'admission à l'école doctorale m'ont été d'une grande utilité. Votre dévouement au travail, vos conseils, votre disponibilité, tel une maman envers sa progéniture, ont façonné ma manière de travailler. Soyez rassurée de ma profonde gratitude.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au Professeur Séverin Nijimbere, pour ses sages conseils et son sens critique profond qui m'ont permis d'améliorer la qualité du document qui était déjà produit. Vous avez également accepté d'assurer le secrétariat du jury de cette thèse. Je vous en remercie infiniment.

Une pensée est réservée au Professeur Richard Habonayo, enseignant à la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie de l'Université du Burundi, pour l'aide précieuse qu'il m'a témoignée durant la phase de publication des articles scientifiques relatifs à cette thèse et durant la phase de rédaction de cette dernière.

Il m'est agréable de remercier mon collègue Dr. Ir. Soter Ndihokubwayo pour le soutien qu'il m'a témoigné en me servant de canal pour trouver un co-promoteur de thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury pour avoir accepté de lire, de corriger et de juger ce travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma plus vive reconnaissance.

Je n'oublie pas mes compagnons de lutte, les doctorants de l'Ecole Doctorale de l'université du Burundi en général et ceux de la troisième cohorte en particulier. Nous avons partagé plusieurs cours ensemble, en présentiel comme en ligne. Je garde en mémoire nos encouragements mutuels.

Je remercie tout le staff de l'école doctorale : le Directeur (Prof Juma Shabani), les Directeurs Adjoints, spécialement le Directeur Adjoint chargé du pôle Sciences Naturelles, de la vie et de

l'ingénieur (Prof Sébatien Manirakiza), les informaticiens et les secrétaires. Vous avez créé un environnement qui a rendu le travail des doctorats possible.

Je remercie les enseignants-chercheurs, les docteurs, les thésards, les étudiants, les contractuels, les administratifs et en particulier toute l'équipe de l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi pour m'avoir accueilli à l'ISABU et m'avoir aidé lors des analyses physicochimiques du sol sur les échantillons au laboratoire d'Analyse des Sols et des Produits Agroalimentaires (LASPA) de l'ISABU. Je resterai toujours reconnaissant de tous les gestes qu'ils ont posés en ma faveur.

Je témoigne ma reconnaissance à Monsieur Alexandre Mfisumukiza, le Directeur du BBES, pour s'être occupé de mon dossier auprès du Ministère de l'Education, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique et à Madame Violette Minani, membre du personnel du BBES, pour le suivi qu'elle a réservé dans le paiement de ma bourse. Je serais ingrat de ne pas remercier les personnes qui m'ont aidé pendant les travaux de terrain. Je pense spécialement au staff de l'ISABU pour les informations qu'il m'a données concernant la zone d'étude. J'ai une pensée émue à Jackson Bayubahe, Bonaventure Ndayisenga et Nimubona Jacques qui ont réalisé leur mémoire à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'UB dans le cadre de fin d'études pour leurs contributions au cours de la phase de collecte de données de cette thèse. Je remercie mille fois mes chers parents (mon regretté père Henri Bacahirya et ma mère Gertrude Minani) pour tous les peines et sacrifices encourus depuis ma naissance jusqu'à ce jour dans le seul souci de me voir émergé. Que ma satisfaction à tous ces égards soit pour vous une fierté sans égale. Je promets la reconnaissance permanente de tous ces gestes tout au long de ma vie et de ma descendance. Je serais ingrat de ne pas remercier mes frères et sœurs pour avoir été toujours au côté de ma famille durant mon absence pendant le déroulement de cette thèse.

Enfin, mes profonds remerciements sont adressés à ma très chère épouse Claudine Nizigiyimana et à nos enfants Roy Héritier Irashoboye, Ella Dorante Irishura et Liora Batia Ineza qui ont trop souffert de mes absences pendant la réalisation de cette thèse. Le courage et la patience que vous avez manifestés durant ces périodes de mon absence seront récompensés par mon attachement grandissant envers vous

Résumé

Dans le but de la mise au point d'un système de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV) permanent de *Stylosanthes* guianensis adapté aux conditions naturelles de la plaine de l'Imbo au Burundi, le comportement de deux variétés de *Stylosanthes* (variétés CIAT 184 et 202cc) a été évalué en culture pure et en association avec les systèmes des cultures adaptés. Cette étude a été menée au site de Mugerero à travers un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions. Les traitements consistaient en une combinaison d'un système de rotation culturale (manioc - maïs – maïs, jachère-maïs-maïs, manioc-maïs+engrais chimiques - maïs + engrais chimiques, pas de cultures vivrières) et d'une couverture permanente du sol avec une variété de Stylosanthes.

Les résultats montrent que ces deux variétés de Stylosanthes, produisent une quantité de biomasse suffisante pour la mise en place d'un système de culture continu en semis direct et une bonne production des graines. Les rendements moyens de la variété du manioc en culture pure étaient nettement élevés 30,827±1,8218 (t/ha) que ceux obtenus en cultures associées 20,799±1,1483 (t/ha). Dans les systèmes en rotation avec le maïs, tous les traitements à base du stylo ont un rendement supérieur à la moyenne générale qui était de 2,7 t/ha en grain tandis que le système à base de maïs seul vient en dernière position avec une moyenne de 2,4±0,2 t/ha.

Les résultats de l'analyse du sol, montrent que la couverture permanente de Stylosanthes améliore significativement ($p < 0,05$) les propriétés chimiques et physico-chimiques du sol (pH, CO, N, P, K, Ca et Mg). Par ailleurs, aucune différence significative n'a été notée entre la jachère permanente et pure de stylo CIAT 187 et le système de rotation cultural manioc-maïs-maïs conduit sous couverture permanente de cette variété de stylo pour le pH, le carbone organique, l'azote total et le potassium ($p > 0,05$).

Les systèmes évalués ont manifesté des résultats prometteurs pour la culture du manioc et la culture du maïs. *S. guianensis* apporte des éléments nutritifs nécessaires au développement de la culture qui lui est associée et permet une amélioration sensible des rendements des cultures subséquentes. En définitive, la fertilité chimique du sol peut être améliorée à moindre coût par l'intégration d'une couverture permanente de *S. guianensis.*

Mots clés : *Stylosanthes guianensis*, manioc, maïs, semis direct, couvert végétal, plaine de l'Imbo, fertilité du sol

Abstract

With the aim of developing a permanent direct seeding under plant cover (DMC) cropping system for S. guianensis adapted to the natural conditions of the Imbo plain in Burundi, the behaviour of two Stylosanthes varieties (CIAT varieties 184 and 202cc) was evaluated in pure culture and in association with adapted cropping systems. The study was carried out at the Mugerero site using a randomised complete block design with four replications. The treatments consisted of a combination of a crop rotation system (cassava - maize - maize, fallow - maize - maize, cassava - maize + chemical fertilisers - maize + chemical fertilisers, no food crops) and permanent soil cover with a variety of *Stylosanthes.* The results obtained show that the two varieties of Stylo produce a sufficient quantity of biomass for the establishment of a continuous cropping system using direct seeding and good seed production. The average yields of the manioc variety in pure cropping were significantly higher 30.827±1.8218 (t/ha) than those obtained in combined cropping 20.799±1.1483 (t/ha).In the systems in rotation with maize, all the treatments based on Stylosanthes had a higher yield than the overall average, which was 2.7 t/ha in grain, while the system based on maize alone came last with an average of 2.4±0.2 t/ha. The soil analysis results show that the permanent cover of Stylosanthes significantly improves ($p < 0.05$) the chemical and physico-chemical properties of the soil (pH, CO, N, P, K, Ca and Mg). Furthermore, no significant difference was noted between the permanent and pure fallow of CIAT 187 stylosanthes and the cassava - maize - maize crop rotation system conducted under permanent cover of this stylosanthes variety for pH, organic carbon, total nitrogen and potassium ($p > 0.05$).The systems evaluated showed promising results for cassava and maize crops. This shows that S. guianensis provides the nutrients required for the development of the associated crop and leads to a significant improvement in yields of subsequent crops. In short, the chemical fertility of the soil can be improved at lower cost by incorporating a permanent cover of *S. guianensis*.

Key words: *Stylosanthes guianensis*, cassava, maize, direct seeding, plant cover, Imbo plain, soil fertility

.

INTRODUCTION GENERALE

0.1. Problématique et contexte de l'étude

La forte croissance démographique a entraîné une forte pression sur les ressources en terres cultivables. Cette pression influence négativement la capacité des sols à produire la biomasse nécessaire aux besoins d'une population de plus en plus nombreuse. Dans un tel contexte, la jachère qui était le moyen traditionnel de restauration de la fertilité des sols est moins pratiquée à cause de la forte demande en terres cultivables (Berger *et al.*, 1987 ; Pieri, 1989 ; Bado *et al.*, 1997).

Le problème de la faim en zone tropicale est une question récurrente dans les pays où les rythmes de la croissance économique et de l'augmentation de la production vivrière restent bien inférieurs à celui de la hausse du nombre de bouches à nourrir (Dufumier, 2004). Selon Piraux (2000), les systèmes de production traditionnels pratiqués en zone tropicale sont fragiles et ne permettent pas de couvrir durablement les besoins des populations. Il faut donc amorcer une réflexion sur les alternatives pour rendre ces systèmes plus viables et plus performants.

Le Burundi est l'un des pays de l'Afrique tropicale dont l'économie est basée essentiellement sur l'agriculture et l'élevage qui sont pratiqués par plus de 90% de la population. L'agriculture procure environ 90% de l'emploi à la population active, elle reste la source principale de la croissance économique du pays (MINAGRIE, 2014). C'est une agriculture dominée par de petites exploitations familiales : agriculture de subsistance, extensive avec des associations culturales, et qui est basée essentiellement sur l'utilisation des pratiques agricoles traditionnelles (ISTEEBU, 2014 ; MINAGRIE, 2016).

Les principales contraintes limitant la production agricole au Burundi concernent: (i) l'insuffisance et la faible accessibilité des agriculteurs aux semences améliorées et aux intrants chimiques; (ii) les perturbations climatiques donnant lieu à de fréquentes inondations avec destructions des infrastructures économiques; (iii) l'insuffisance des institutions de crédit agricole; (iv) les feux de brousses qui aboutissent à la dénudation des sols, ce qui expose ces derniers à l'érosion hydrique (PNIA ,2011; MINAGRIE, 2012).

Une autre contrainte majeure concerne la baisse progressive de la fertilité des sols par suite d'une exploitation intensive sans jachère (MINAGRIE, 2016). Ainsi, il devient urgent de développer des

techniques de fertilisation accessibles aux producteurs et permettant d'augmenter la production par unité de surface tout en maintenant la fertilité des sols à long terme (Bado *et al.,* 1997).

Au regard de la forte pression démographique sur les terres agricoles, la mise en jachère des terres devient problématique. Dans ces conditions, les ménages agricoles, pour la plupart à faibles revenus, font face à l'insécurité alimentaire à cause de la faible productivité des terres cultivables (ISTEEBU, 2008 ; PNIA, 2011 ; ISABU 2013).

C'est ainsi qu'on constate l'utilisation permanente des terres caractérisées par une disparition de la jachère et une faible productivité. Ceci a entraîné, d'un côté, la mise en culture des terrains marginaux, et de l'autre côté une baisse généralisée des productions agricoles avec comme conséquence l'insécurité alimentaire des ménages (PNIA, 2011).

Face à une telle situation, la mise au point d'une approche pouvant améliorer le fonctionnement des systèmes de production en zone tropicale tout en s'orientant généralement vers l'amélioration de la fertilité des sols s'avère nécessaire (Mvondo *et al.,* 2012). Un exemple d'approche aux avantages d'améliorer la fertilité des sols est le maintien d'une biomasse de couverture sur le sol (Husson *et al.*, 2008 ; Chandra, 2009). En effet, il est indiqué que l'utilisation des plantes de couverture présente beaucoup d'avantages dans la mesure où elles permettent d'assurer la gestion de la fertilité du sol en minimisant le recours aux engrais inorganiques, assure une meilleure rétention de l'eau du sol, la stabilité des rendements, les marges nettes élevées, la lutte contre l'érosion et les mauvaises herbes et améliore la production de fourrage. En plus, les plantes de couverture peuvent être utilisées en rotation avec d'autres cultures ou dans le cadre d'associations culturales (Capillon et Séguy ,2000 ; Husson *et al.* ,2008).

De nombreuses expérimentations de longue durée ont montré qu'une gestion rationnelle des engrais minéraux et des amendements organiques permettrait d'augmenter les rendements des cultures et de maintenir durablement la fertilité des sols (Pieri, 1989 ; Bado *et al.,* 1997). De ce qui précède, la présence des légumineuses dans les systèmes de culture est une opportunité pour améliorer la fertilité des sols et les rendements des cultures (Chalk, 1993 ; Wani *et al.,* 1995 ; Chalk,1998). Des études ont montré que le maintien d'une biomasse de couverture sur le sol constitue une des alternatives pour restaurer la fertilité des sols (Husson *et al.,* 2008 ; Chandra, 2009).

Parmi les plantes de couverture, les légumineuses sont particulièrement intéressantes car elles permettent la fixation symbiotique de l'azote au niveau de leurs racines et contribuent à l'augmentation des rendements des cultures subséquentes et l'amélioration du bilan de l'azote dans les systèmes de cultures (Chalk, 1998 ; Tarawali *et al.,* 1999 ; Husson *et al.*, 2008, Erenstein, 2003). En plus de l'azote fixé dans les nodosités, les résidus des légumineuses sont aussi très riches en azote et contribuent à l'enrichissement du sol en cet élément. Un système de cultures utilisant une légumineuse fixatrice d'azote en rotation ou en association, aura probablement un meilleur bilan en azote et une meilleure productivité qu'une monoculture de céréales par exemple (Lal, 1989 ; Wani *et al*., 1995 ; Chalk, 1993 ; Chalk, 1998).

La culture en semis direct dans des couverts végétaux permanents constitue une forme d'association culturale particulièrement intéressante car l'accumulation de matière organique qu'ils génèrent contribuent à la fourniture d'éléments minéraux, mais aussi à enrichir le stock d'humus à travers l'apport carbone-azote élevé de matières végétales. La consommation d'intrants est également réduite du fait de l'enrichissement minéral de la couche superficielle du sol et de l'inhibition des plantes adventices par des couvertures végétales. Les niveaux de rendement sont comparables, voire supérieurs au travail du sol classique étant donné que les rotations et associations culturales sont bien programmées et les temps de travaux sont réduits très fortement ou supprimés (FAO, 2008 ; Husson *et al.,* 2008 ; Séguy *et al.,* 2009).

Cette pratique constitue une des trois composantes majeures de l'agriculture de conservation dont les principes fondamentaux sont essentiellement : i) le maintien de la couverture permanente du sol, ii) la mise en place des associations et les rotations culturales optimales et iii) la limitation au maximum du travail du sol et si possible le supprimer (FAO, 2008). Elle constitue un concept attractif du fait de la diversité des services éco systémiques qu'elle est susceptible de rendre (Derpsch *et al.,* 2010 ; Kassam *et al.,* 2012;), incluant, sur le long terme, l'augmentation et la stabilisation des rendements (Ngwira *et al.,* 2012 ; Thierfelder *et al.,* 2013). En plus, elle intervient dans l'amélioration de la fertilité des sols (Nyamangara *et al.,* 2013), résultant d'une séquestration accrue du carbone, et de l'effet à long terme d'une réduction immédiate et durable de l'érosion et du ruissellement (Corsi *et al.,*2012).

Des travaux réalisés à Madagascar et au Brésil, ont montré que *S. guianensis* (Aubl.) Sw. est une légumineuse qui constitue une plante de couverture particulièrement bien adaptée à la mise en place de systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal permanent en agriculture manuelle en

conditions tropicales de basse altitude sur des sols à la fois très pauvres et acides (FAO, 2008). Cette espèce présente des utilisations diverses, allant de la couverture du sol, la production de quantités importantes de biomasse utilisables comme couverture du sol et comme fourrage, sans oublier son rôle dans la fixation de l'azote ce qui permet l'amélioration des rendements des cultures subséquentes (Mvondo *et al.,* 2012 ; Bulakali *et al.,* 2013). *S. guianensis* est en outre bien adapté à l'agriculture manuelle à faible niveau de ressources car c'est une des seules plantes de couverture qui peut être contrôlée sans avoir recours à l'application d'herbicides (Ratsivalaka *et al.* ,2007).

Selon les études menées par Abayomi *et al.* (2001) au Nigéria, cette espèce présente des utilisations diverses, allant de la couverture du sol, la production de quantités importantes de biomasse (5 à 10 $t.ha^{-1}$ de matière sèche, et jusqu'à 20 t. ha^{-1} sur sol riche et de manière consistante) utilisables comme couverture du sol et comme fourrage, sans oublier son rôle dans la fixation de l'azote comme indiqué dans les paragraphes précédents.

Une fois le couvert végétal rabattu pour constituer un paillis, les éléments nutritifs accumulés dans les parties aériennes et souterraines de celui-ci sont rendus disponibles aux plantes cultivées installées en semis direct par minéralisation (Mvondo *et al.,* 2012).

L'utilisation du *S. guianensis* comme plante de couverture crée un environnement favorable au macrofaune, qui augmente la porosité du sol et favorise ainsi la circulation de l'air et de l'eau à son niveau (Erenstein, 2003). La présence d'un couvert permet de modérer la température du sol et de préserver son humidité, par rapport à la situation rencontrée dans les sols nus (Tarawali *et al.,* 1999 ; Ratsivalaka *et al.,* 2007 ; Emanoel *et al.,* 2008)

S. guianensis est caractérisé par une forte couverture végétale du sol doublée d'un enracinement profond et extensif. De ce fait, les observations réalisées au niveau de l'effet de systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent (SCV) ont montré que ceux-ci permettaient, dans toutes les situations pédoclimatiques étudiées, de contrôler totalement l'érosion, quelle que soit la pente, la pluviométrie et le type de sol (Ratsivalaka *et al.* ,2007 ; FAO, 2008).

Les aptitudes du *S. guianensis* sont très intéressantes sur le plan environnemental. L'espèce permet de protéger les zones fragiles, réduisant ainsi l'érosion et son impact en aval des zones fragiles. Il offre également la possibilité de pérenniser les cultures sur des sols en pente après abatis mais sans brûlis (culture sur couverture permanente) et assure la protection contre les feux de brousse grâce à sa capacité à rester verte pendant toute l'année. Il peut ainsi être utilisé comme pare-feu (Tarawali *et al.,* 1996 ; Erenstein, 2003 ; Husson *et al.,* 2008).

D'après Chandra (2009), les espèces de *Stylosanthes*, notamment *S. hamata* et *S. guianensis*, contrôlent mieux les mauvaises herbes que la plupart des autres légumineuses de couverture. Au Nigéria, l'étude d'Olorunmaiye (2010) a montré que l'intégration de cinq légumineuses dont *S. guianensis*, comme plantes de couverture dans l'association culturale maïs/manioc, s'est traduite par une réduction des densités de plantes adventices.

En plus de tous ces avantages, *S. guianensis* est doté de capacité de reprise facile par suite de simple fauche au ras du sol en saison sèche. Cette adaptation confère à l'espèce une qualité des plus intéressantes pour le développement de systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent en conditions d'agriculture manuelle à faible niveau de ressources (Mvondo *et al.,* 2012). Les systèmes de culture en association avec *S. guianensis* sont très souples et peuvent être appliqués dans le cadre d'une agriculture familiale manuelle à faible niveau d'intrants. En cas de concurrence avec la plante cultivée qui lui est associée, la fauche de la biomasse aérienne de *S. guianensis* peut servir de fourrage pour l'alimentation animale, ou être mélangée aux tiges de céréales après leur récolte pour accélérer la production d'un compost de qualité (Husson *et al.,* 2008 ; Ogunbode et Akinlade, 2012).

Pour limiter le coût d'installation de la plante de couverture, il est conseillé de l'associer avec une culture commerciale. Cette considération est particulièrement valable pour les agriculteurs à faible niveau de ressources qui ne peuvent pas se permettre de cultiver une plante de couverture sur une parcelle sans récolter quelque chose directement utile sur celle-ci (Mvondo et *al*, 2012).

C'est une plante qui est adaptée aux zones de 0 à 1600 m d'altitude avec une pluviosité annuelle variant de 600 mm à plus de 3 000 mm. Elle se comporte particulièrement bien en climat tropical humide et en climat de moyenne altitude, même avec une saison sèche marquée (Raemaekers, 2001.

Au Burundi, les recherches antérieures réalisées ont mis en lumière le comportement de *S. guianensis* dans deux régions naturelles: Mosso (Altitude de 1280 m) et la plaine de l'Imbo (Altitude de 800 m) dans l'amélioraion de la valeur fourragère des pâtures naturelles pauvres en légumineuses (Vancoppenolle *et al*., 1984;ISABU, 2016). Cependant, certains aspects sur le plan agronomique et environnemental de *S. guianensis* ont été insuffisamment explorés ou n'ont pas encore fait objet d'étude. Par exemple la production de la biomasse de la culture en tête de la rotation, son comportement en culture pure et en association avec d'autres cultures, la production en graines dans

les systèmes culturaux, l'importance de la culture sur la gestion durable de la fertilité des sols, etc. C'est dans ce contexte que cette thèse a été entreprise dans le but d'évaluer la pertinence et à promouvoir les pratiques agro écologiques, notamment celles d'agriculture de conservation basées sur la mise en place de la culture de *S. guianensis*.

La zone cible de notre recherche est la plaine de l'Imbo. Dans cette région, les agriculteurs produisent les différentes spéculations à faibles sources d'intrants et de manière non mécanisée. Les rotations culturales à base du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) et maïs (*Zea mays* L.) sont couramment pratiquées (Gahungu, 2012).

Le manioc est une des principales cultures pratiquées dans la plaine de l'Imbo où il entre généralement en rotation avec le maïs et la patate douce (*Ipomea batatas*). A Madagascar, sur sols pauvres et acides, Husson *et al.* (2008) recommandent d'installer le *S. guianensis* en association avec le manioc. Une telle pratique permet de mettre en place le couvert végétal recherché à moindre coût sans limiter le rendement du manioc (Bulakali *et al.*, 2013). Les critères retenus pour le choix de cette variété sont la résistance à la mosaïque et à la striure brune qui sont des principales maladies causant des dégâts sur cette culture (Husson *et al.*, 2008 ; Bulakali *et al.*, 2013).

Le manioc vient à la fin de l'assolement, réussit bien après un engrais vert et des légumineuses. Dans plusieurs cas, le manioc est considéré comme un médiocre précédent des cultures du fait de son épuisement les réserves de matières nutritives, l'humus et d'eau, et dessèche progressivement le sol (MINAGRIE, 2011).

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des cultures les plus pratiquées dans la plaine de l'Imbo et qui intervient souvent en rotation dans les différents systèmes de cultures pratiqués généralement sans jachère et sans apport de fumure. Dans la majorité des cas, le maïs est préféré par les agriculteurs car il arrive à maturité au bout de quatre ou cinq mois et constitue un aliment de base pendant la période de soudure. Il est largement cultivé comme céréale pour ses grains riches en amidon et aussi considéré comme deuxième céréale après le riz (*Oryza sativa*) en termes de volume de production et de superficie occupée (MINAGRIE, 2010 ; PNIA, 2011)

Sur base de ces considérations, nous avons choisi de mener un travail de recherche visant à étudier la possibilité de développer un système de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent sur la rotation manioc-maïs, en association avec *S. guianensis*

0.2. Objectifs de la recherche

0.2.1. Objectif global

L'objectif global est d'améliorer la productivité d'un système de culture intégrant la production de manioc en rotation avec le maïs grâce à l'installation d'un couvert végétal permanent de *S. guianensis* ainsi que la vulgarisation de la méthode si elle s'avère efficace. La finalité à moyen et long terme est la restauration de la fertilité du sol. Tout ceci, en vue d'arriver à l'amélioration du niveau de vie de la population de la plaine de l'Imbo.

0.2.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques poursuivis sont :

- Evaluer le comportement de deux variétés de *S. guianensis* en culture pure et en association avec les systèmes des cultures évalués

- Quantifier la biomasse produite par chaque variété de Stylo en culture pure et en association avec les systèmes de culture testés

- Evaluer l'effet de l'association de chaque variété de *S. guianensis* sur la production d'une variété de manioc en rotation avec la variété du maïs dont les performances sont bien connues.

- Suivre les conditions physico-chimiques du sol avec ou sans culture de *S. guianensis,*

- Evaluer la rentabilité économique à court terme des cultures en association avec la plante de *S. guianensis*

0.2.3. Hypothèses du travail

Cette recherche est conduite selon les quatre hypothèses suivantes :

i) Le *S. guianensis* se comporte bien en culture pure et en association avec les spéculations adaptées au niveau des sols de la plaine de l'Imbo

ii) L'association du Stylo avec les systèmes de culture testés contribue à la mise en place d'une couverture permettant un semi direct des systèmes des cultures en rotation
iii) Le *S. guianensis* améliore les rendements des cultures subséquentes en association ;
iv) La légumineuse influence à long terme les propriétés physico-chimiques du sol.
v) Les associations à base de *S. guianensis* sont économiquement rentables dans les systèmes de production de la plaine de l'Imbo

Afin de vérifier ces hypothèses, les performances du *S. guianensis* en association avec la culture du manioc et la culture subséquente du maïs ainsi que la dynamique des propriétés physico-chimiques du sol sous une telle association ont été étudiées.

0.2.4. Articulation générale de la thèse

La présente thèse est structurée en sept chapitres en plus de l'introduction. L'introduction générale présente un bref aperçu sur les systèmes des cultures avec un accent particulier sur *Stylosanthes guianensis* dans l'agriculture de conservation, et décrit les objectifs de l'étude et l'organisation du document.

Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur l'amélioration des systèmes de production en zone tropicale : rôle de l'espèce de *S. guianensis*. Il inclue les aspects en rapport avec l'importance des légumineuses dans les systèmes de production, les considérations sur le *S. guianensis*, mécanisme de l'amélioration des systèmes de production par utilisation d'un couvert végétal de *S. guianensis*. Le deuxième chapitre est consacré au cadre géographique et système de production de la plaine de l'imbo. Il s'intéresse à la situation géographique de la région naturelle de l'Imbo en général, caractéristiques des sols de la plaine de l'Imbo, hydrologie et climatologie. Il inclut ainsi le protocole expérimental réalisé dans la plaine de l'Imbo.

Le troisième chapitre aborde le comportement de deux variétés de *S. guianensis* en culture pure et en association avec le manioc dans les conditions de la plaine de l'imbo (Burundi). Il comprend le résumé, présentation des résultats ainsi que la discussion des résultats et la conclusion partielle. Le quatrième chapitre traite sur l'évaluation des performances de la culture du maïs en semis direct sous un couvert végétal de *S. guianensis* dans les conditions de la plaine de l'Imbo (Burundi). Il comprend également le résumé, présentation des résultats ainsi que la discussion des résultats et la conclusion

partielle. Le cinquième chapitre porte sur l'analyse de l'effet de *S. guianensis* sur la dynamique des propriétés chimiques du sol: cas du site de Mugerero dans la plaine de l'Imbo (Burundi) .Il montre aussi une connaissance sur le résumé, présentation des résultats ainsi que la discussion des résultats et la conclusion partielle. Le sixième chapitre est consacré à la discussion générale. Il met en lumière les principaux résultats obtenus et leur pertinence ainsi que les implications de *S. guianensis* pour l'amélioration des systèmes de production.

Le septième chapitre est la conclusion générale et perspectives de la recherche. C'est une synthèse des conclusions partielles des chapitres et inclue de nouvelles pistes de recherches. Les chapitres qui correspondent à des articles publiés sont entre autres le troisième, quatrième et cinquième chapitre.

Première partie : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : AMELIORATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION EN ZONE TROPICALE : ROLE DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS*

Résumé

En zone tropicale, les systèmes de production agricole traditionnels pratiqués sont fragiles et ne permettent pas d'assurer durablement les besoins des populations. Une réflexion est amorcée par plusieurs organisations de recherche et de développement pour rendre ces systèmes plus performants de manière durable. La culture de *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. est une voie prometteuse pour améliorer les systèmes de production à faibles niveaux d'intrants en zone tropicale. L'intégration de la légumineuse dans les systèmes de culture présente des avantages multiples. Elle permet l'amélioration de la fertilité des sols et des rendements des cultures qui lui sont associées ou en rotation avec elle, de mieux lutter contre les plantes adventices, de produire un fourrage de qualité, ainsi que de générer de revenus complémentaires pour les agriculteurs, même dans des conditions économiques et climatiques très limitantes. L'intégration du *S.guianensis* dans les systèmes de production en zone tropicale présente de nombreux bénéfices potentiels mais des mesures d'accompagnement s'avèrent nécessaires pour permettre son intégration harmonieuse dans les systèmes de production. Cependant, plusieurs contraintes majeures au développement de la culture (phytosanitaires, technique et socio-économique) doivent être surmontées pour permettre aux producteurs de bénéficier de ses avantages.

Mots clés : Plaine de l'Imbo, agriculture, système de production, *Stylosanthes guianensis*

Abstract

In tropical zones, the traditional agricultural production systems practised are fragile and cannot sustainably meet the needs of local populations. *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw is a promising way of improving low-input production systems in the tropics. Integrating legumes into cropping systems offers a number of advantages. It improves soil fertility and yields of crops grown in association with it or in rotation with it, provides better control of weeds, produces quality fodder and generates additional income for farmers, even in very limited economic and climatic conditions. The integration of S.guianensis into production systems in tropical zones has many potential benefits, but support measures are needed to ensure that it is smoothly integrated into production systems. However, several major constraints to the crop's development (phytosanitary, technical and socio-economic) need to be overcome to enable growers to benefit from its advantages.

Key words: Imbo plain, agriculture, production system, *Stylosanthes guianensis*

1. Introduction

Parmi les Objectifs de Développement Durable (ODD), également nommés objectifs mondiaux, la luttre contre la faim et ses conséquences est parmi les principaux objectifs (Bédécarrats *et al.,* 2020). Or, selon Dufumier (2004), le problème de la faim est une question récurrente dans les pays où les rythmes de la croissance économique et de l'augmentation de la production agricole ne suivent pas la croissance de la population. Il faut donc mener des recherches pour rendre ces systèmes de production plus viables et plus performants (Piraux, 2000). Cette réflexion sur les innovations pouvant améliorer le fonctionnement des systèmes de production s'oriente généralement vers l'amélioration de la fertilité des sols. Le maintien d'une biomasse de couverture sur le sol constitue une des alternatives pour atteindre cet objectif.

Les effets négatifs les plus apparents attribuables à l'intensification des cultures sont la baisse du taux de la matière organique (MO), associée à la réduction de la quantité d'azote dans le sol, et l'infestation des terres de culture par les mauvaises herbes (Buckles *et al.,* 1998).
Dans l'agriculture de subsistance des pays d'Afrique tropicale, les engrais minéraux sont très peu utilisés surtout à cause de leurs coûts élevés comparativement aux faibles revenus des producteurs (McIntire ,1986 ; Mvondo *et al.,* 2012)

L'utilisation des plantes de couverture présente beaucoup d'avantages dans la mesure où les petits fermiers n'ont pas de capital suffisant pour acheter les engrais inorganiques et participe dans la préservation de l'environnement (Tarawali, 1991 ; Séguy *et al.* ,2009). Derpsch (2001), mentionne que cette pratique constitue une des trois composantes majeures de l'agriculture de conservation ou agriculture de couverture du sol. L'agriculture de conservation vise des systèmes agricoles durables et rentables et tend à améliorer les conditions de vie des exploitants au travers de la mise en œuvre simultanée de ces trois principes. Elle présente un grand potentiel pour tous les types d'exploitations agricoles et d'environnements agro – écologiques.

Le choix de la plante de couverture doit se baser sur les contraintes agro-écologiques et socioéconomiques qui prévalent dans la région où l'on veut développer ce type de systèmes de culture. Selon les études menées à Madagascar et au Brésil (Mvondo *et al.,* 2012 ; Bulakali *et al.,* 2013), les plantes légumineuses et en particulier *S. guianensis* constituait une plante de couverture

particulièrement bien adaptée à la mise en place de systèmes de culture en semis direct sur couvert végétal permanant. Ceci dans le but d'améliorr les systèmes de production en agriculture manuelle de basse altitude et moyenne altitude sur des sols à la fois très pauvres et acides.

1.1. Importance des légumineuses dans les systèmes de production

Selon Lal (1989), la dégradation des terres et la baisse de la fertilité des sols entrainant une diminution de la production agricole totale sont des problèmes de l'agriculture dans la zone tropicale.

Mohamed-Saleem(1986) a montré que l'intégration de la culture des légumineuses comme plante de couverture dans les systèmes des cultures existant a été identifié comme un moyen potentiel pour résoudre ce problème. Les légumineuses possèdent la potentialité d'améliorer la fertilité du sol sans oublier l'augmentation des rendements des cultures subséquentes (MaCcoll, 1990 ; Tarawali *et al*., 1999).

Dans les systèmes de culture utilisant les rotations culturales, l'azote fixé par les légumineuses peut être utilisé d'abord par les légumineuses, puis par les cultures suivantes. Les légumineuses une fois utilisées en association ou en rotation dans les systèmes de culture, apportent une certaine quantité d'azote en fixant une partie de l'azote atmosphérique. Les résidus des légumineuses sont très riches en azote et contribuent dans l'enrichissement du sol en azote (Lal, 1989 ; MacColl, 1990).

Selon Mvondo *et al.* (2012), toutes les cultures qui peuvent succéder aux légumineuses bénéficient indirectement de l'azote fixé par l'intermédiaire des résidus laissés par la légumineuse, y compris l'azote contenu dans les nodosités. Séguy *et al.* (2006) montrent que les associations des plantes avec les légumineuses fixatrices d'azote dans les systèmes de cultures sont les plus connus et les plus efficaces. Ainsi, les légumineuses peuvent fournir aux autres espèces en association par l'intermédiaire de leurs racines mortes ou nodules une grande quantité d'azote.

Malézieux (2011) rapporte que dans certaines conditions, les légumineuses combinées avec des céréales peuvent fixer plus d'azote que des légumineuses en culture pure.

Un autre avantage potentiel des légumineuses comme plantes de couverture est leur aptitude à assurer la suppression des mauvaises herbes et des nématodes (Abayomi *et al.*, 2001). Les légumineuses peuvent être intégrées dans les systèmes de cultures existant comme plante de couverture, le paillis, fourrage ou amélioration de la production des cultures vivrières dans les systèmes de culture ou en association des cultures (Mvondo *et al.*, 2012).

Selon les études menées par Abayomi *et al.* (2001) au Nigéria, le *S. guianensis* s'est montré meilleur parmi les espèces de légumineuses évaluées en termes de couverture potentielle du sol, production de biomasse, le rendement en graines et la contribution dans la fixation d'une grande quantité d'azote.

1.2. Considérations sur *Stylosanthes guianensis*

1.2.1. Origine et domestication

S. guianensis (Aubl.) Sw.est une espèce la plus largement répandue du genre (Tarawali *et al.,* 1999). Dans l'ensemble, le genre Stylosanthes est adapté aux régions tropicales et subtropicales (Edye et Grof ,1994). Sa répartition naturelle s'étend du Mexique à l'Argentine et il a été introduit dans la plupart des pays tropicaux pour l'utilisation en tant que plante de couverture et comme légumineuse fourragère (Tarawali *et al.,* 1999).

C'est une espèce de légumineuses fourragères morphologiquement distribuées en zone tropicale entre la latitude 23 ° Nord et 27 ° Sud à travers l'Amérique du Sud et du Centre (Williams *et al.,* 1984). *S. guianensis* a été introduit en Afrique centrale probablement en 1947 (Latham et Konda Ku Mbuta, 2007). Selon Hopkinson (1984), Latham et Konda Ku Mbuta (2007)**,** l'espèce *S. guianensis* a été une source de plusieurs cultivars de fourrage abondant en Australie et en Amérique.

1.2.2. Taxonomie

Concernant sa systématique**,** les caractéristiques taxonomiques de *S. guianensis* sont les suivantes **:**

Règne : Végétal,
Embranchement : Spermatophyte,
Classe : Angiosperme,
Ordre : Fabales,
Famille : Fabacée,
Genre : Stylosanthes,
Espèce : *Stylosanthes guianensis* (T'Mannetje, 1984).

1.2.3. Biologie

Selon Chandra (2009), Ramesh *et al.* (1997), les espèces du genre *Stylosanthes* sont considérées comme des plantes des régions tropicales contribuant activement à l'amélioration de la fertilité et à la conservation des sols tout en fournissant un fourrage très utile aux animaux. *S. guianensis* (Aublet) Swartz est une légumineuse tropicale pérenne (bi- ou tri annuelle) à haute valeur fourragère utilisée pour l'amélioration des parcours et des jachères et comme plante de couverture dans les systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent (Husson *et al.,* 2008, Mondor *et al.,* 2012).

Selon les mêmes auteurs, l'espèce *S. guianensis* est une légumineuse herbacée, érigée à semi érigée, non volubile, originaire d'Amérique du Sud. EIle forme de petits buissons de 1 m à plus de 1,8 m. Son système racinaire est composé de nombreuses racines, avec un pivot principal et des racines secondaires concentrées dans les 20 premiers centimètres du sol, sur lesquelles se développent beaucoup de nodosités fixatrices d'azote. Le pivot principal peut descendre jusqu'à 1,5 m et plus.Selon le manuel pratique du semis direct à Madagascar (Husson *et al.,* 2008), *S. guianensis* est bien adapté aux sols acides (pH optimum entre 4,5 et 6) mais les sols très basiques (pH supérieur à 8,3) sont à éviter. Erenstein (2003) a montré que le paillage issu de la biomasse produite intervient activement comme amendement et couche protectrice du sol. *S. guianensis* se multiplie par graines. La germination est lente durant les premiers mois mais son caractère pérenne et sa forte production de biomasse lui permettent de dominer les adventices.

1.3. Mécanisme d'amélioration des systèmes de production par utilisation d'un couvert végétal de *Stylosanthes guianensis*

L'espèce *S. guianensis* a montré des résultats prometteurs dans les systèmes des cultures comme plante de couverture dans l'agriculture (Tarawali *et al.,* 1999).

Dans les systèmes de culture en semis direct sur couvert végétal (SCV), le rôle des cultures de couverture est de produire une biomasse destinée à protéger le sol en permanence et d'empêcher le lessivage des éléments nutritifs hors de la portée des racines des plantes cultivées en les remontant en permanence vers l'horizon supérieur du sol. Pour maintenir en permanence un tapis de végétation protectrice en surface, le semis s'effectue directement sans travailler le sol en utilisant les équipements adaptés à cet effet. Ainsi, plusieurs dizaines de millions d'hectares sont actuellement cultivés de cette

manière au Brésil (FAO, 2008) dont une grande partie dans des conditions climatiques proches de celles qui prévalent au niveau du Burundi (entre 950 et 1300 mm de pluie par an répartis sur huit à neuf mois).

S. guianensis est l'une des plantes de couverture particulièrement bien adaptée à la mise en place de systèmes de culture en semis direct sur couvert végétal permanant en agriculture manuelle en conditions tropicales de basse altitude sur des sols à la fois très pauvres et acides (Husson *et al.,* 2008).

1.4. Importance de la couverture du sol

L'utilisation de la couverture du sol peut avoir une influence très considérable sur les potentialités physiques de la qualité du sol dans des conditions de l'agriculture en régions tropicales (Mvondo *et al.*, 2012).

Selon Emanoel *et al*. (2008), ces potentialités sont très importantes pour la croissance des plantes dans les systèmes des cultures en zone tropicale, il s'agit entre autres de la capacité de rétention de l'eau, la température et la résistance du sol à l'érosion.

Ratsivalaka *et al.* (2007), Tarawali *et al.* (1999) montrent que le paillage crée un environnement plus favorable au macrofaune, qui modifie le sol en créant des pores, ce qui a pour rôle d'assurer l'augmentation de la capacité de circulation de l'air et de la perméabilité du sol. Le paillage joue aussi un rôle important dans la modération de la température du sol et participe activement à la conservation de l'humidité du sol, par rapport aux sols dépourvus de couverture.

1.5. Avantages du S*tylosanthes guianensis* dans les systèmes de production

1.5.1. Pouvoir fertilisant de S*tylosanthes guianensis*

S. guianensis possède le pouvoir de fixer de grandes quantités d'azote (70 à plus de 200 $kgha^{-1}an^{-1}$ d'azote). La production des nodules se fait sans intervention d'inoculation même en sols acides. En plus, il permet de recycler les bases (Ca, Mg) et les oligo-éléments (B, Cu, Zn et surtout Mn, qui fait souvent défaut dans les sols des zones tropicales humides). Le *S. guianensis* possède aussi la capacité d'extraire le phosphore des sols qui en sont très peu pourvus (Latham, 2007 ; Ratsivalaka *et al.*, 2007 ; Husson *et al.,* 2008 ; Bulakali *et al.,* 2013). Au Nigéria, on a observé dans une culture pure de *S.*

guianensis une production totale de 91 kg d'azote. ha^{-1} dont 60-70 % proviennent de la fixation symbiotique (Mohamed-Saleem, 1995; Tarawali *et al.*, 1995).

Husson *et al.* (2008), Mvondo *et al.* (2012) signalent qu'une fois le couvert de ces espèces rabattu pour constituer un paillis, tous les éléments nutritifs accumulés dans les parties aériennes et souterraines de celui-ci sont rendus disponibles aux plantes cultivées qui y sont installées en semis direct. Leurs tiges ligneuses et leurs grosses racines se minéralisent lentement, alors que les feuilles et les petites racines riches en azote (au rapport C/N bas) se minéralisent dans les 30-40 jours qui suivent la coupe, permettant une alimentation continue des plantes cultivées sur couverture de *S. guianensis;* son système racinaire puissant lui permet également d'améliorer progressivement la structure des sols compactés, même en profondeur. Cela entraîne donc une amélioration sensible de la fertilité de l'horizon arable des sols (Husson *et al.*, 2008).

D'une façon globale, le *S. guianensis* offre des avantages comme le maintien et l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol, l'augmentation de la matière organique et la capacité d'échange cationique du sol, augmentation de l'activité microbiologique, ainsi que la réduction de la température du sol (Mohamed saleem, 1986 ; Moulongoy and Kang, 1986 ; Tarawali *et al.*, 1995, Buckles *et al.*, 1998).

De ce qui précède, Tarawali et Mohamed-Saleem (1995) ont montré que dans tous les cas possibles, l'intégration du *S.guianensis* dans les systèmes de production améliore considérablement la densité apparente du sol, la capacité de rétention de l'humidité du sol, la capacité d'échange cationique, le carbone organique et l'azote du sol.

1.5.2. Effet inhibiteur de *Stylosanthes guianensis* sur les adventices

Selon Weber *et al.* (1997), le labour et la demande du travail pour contrôler de mauvaises herbes sont parmi les plus importantes contraintes dans les systèmes de production en zone tropicale.

Akobundu (2000) montre que les légumineuses de couverture se sont montrées plus efficaces pour la suppression des adventices qui dominent normalement les terres agricoles en particulier après avoir réalisé la récolte.

Le *S. guianensis* a pour grand avantage, notamment, de limiter l'apparition des mauvaises herbes nuisibles telles qu'*Imperata cylindrica,* qui étouffent la plupart des cultures dans bien des régions tropicales (Buckles et al. 1998).
Selon l'étude menée par Olorunmaiye (2004) au Nigéria, l'intégration de cinq légumineuses comme plante de couverture dans les cultures intercalaires maïs/manioc inhibe le développement des plantes adventices. Cet auteur a montré que des densités de mauvaises herbes sont plus faibles en vertu du *S. guianensis* et *Mucuna pruriens var. utilis* (7,83 et 8,08 mauvaises herbes/m², respectivement) par rapport aux densités, *Pueraria phaseoloides* (9,87 mauvaises herbes/m²), *Mucuna jaspeada* (9,37 mauvaises herbes/m²) et *Mucuna preta* (11,71 mauvaises herbes/m²).

Le *S. guianensis* présente aussi l'avantage de se maintenir facilement par semis naturel une fois installé dans une parcelle et de ne pas concurrencer fortement les plantes en association au début de son cycle (Husson *et al.,* 2008 ; Bulakali *et al.,* 2013).

En plus de tous ces avantages, il peut être contrôlé sans herbicide, par simple fauche au ras du sol en saison sèche, ce qui lui donne une qualité des plantes de couverture les plus intéressantes pour le développement de systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent en conditions d'agriculture manuelle (Mvondo *et al.,* 2012).

Buckles et al. (1998) ont montré qu'en zone tropicale, plusieurs agriculteurs utilisent à présent le *S. guianensis* pour remettre en état des champs auparavant abandonnés car le sol en était dégradé ou envahi par les adventices telles que l'*Imperata cylindrica, Cynodon dactylon, ...*

1.5.3. Contrôle de l'érosion

Les observations réalisées au niveau de l'effet de systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent sur la teneur en carbone du sol ont montré que ceux-ci permettaient, dans toutes les situations pédoclimatiques étudiées, de contrôler totalement l'érosion, quelle que soit la pente, la pluviométrie et le type de sol (Ratsivalaka *et al.,* 2007 ; FAO, 2008).

Des auteurs comme Husson *et al.* (2008) et Tarawali *et al.* (1996) ont montré que les aptitudes du *S. guianensis* sont très intéressants sur le plan environnemental car il permet de protéger des zones fragiles, réduisant ainsi l'érosion et son impact en aval des zones fragiles.

Le *S. guianensis* offre également la possibilité de pérenniser les cultures sur des sols en pente après abatis mais sans brûlis et assure la protection contre les feux de brousse (Ratsivalaka *et al.*, 2007).

1.5.4. Amélioration des rendements des cultures et intérêt économique

Selon le manuel pratique du semis direct à Madagascar (Husson *et al.,* 2008), *S. guianensis* a également l'avantage de ne pas faire de compétition importante quand il est associé à une culture et de ne pas être une plante envahissante : même si les semences peuvent être disséminées par les animaux ou l'eau, le risque d'être envahissant est très réduit, ceci a comme avantage l'augmentation du rendement des cultures en association.

Tarawali *et al.* (1999) ont signalé que les rendements du maïs en association avec la culture du *S. guianensis* étaient supérieurs aux rendements du maïs cultivé sur des pâturages naturels dans les essais effectués à quatre endroits au centre du Nigeria. Sans apport d'engrais azoté, la moyenne du rendement céréalier en association avec la légumineuse a été de 3,4 t. ha^{-1} et 1,6 t. ha^{-1} dans le pâturage naturel.

Mvondo *et al.* (2012) ont montré que dans l'association de *S. guianensis* avec le maïs, on a pu récolter jusqu'à 5,7 t. ha^{-1} de grain et 7,8 t. ha^{-1} de paille de maïs au sud de la zone cotonnière du Cameroun.

Selon Tarawali et Mohamed-Saleem (1995), les rendements des cultures en rotation avec *S.guianensis* ont été attribués à une augmentation de l'azote total du sol fixé par cette légumineuse et l'amélioration des propriétés physiques du sol comme la densité du sol, taux d'infiltration et l'humidité du sol. En plus du gain de rendement obtenu dès la première année dans le cas de l'association des cultures avec du *S. guianensis* sur base de travaux réalisés à Madagascar et l'amélioration du capital sol, selon Husson *et al.* (2008), les systèmes à base de *S.guianensis* présentent des avantages économiques:

(i) Ils ne demandent pratiquement pas d'investissement étant donné que les besoins en engrais sont réduits par le fait que la légumineuse apporte de l'azote, besoin en matériel réduit dans tous les systèmes de production, pas de besoin en herbicides, etc.

(ii) La réduction de temps des travaux est observée dès la première année en semis direct par suppression du labour et réduction particulièrement du temps de désherbage. Ce gain de temps est d'autant plus intéressant qu'il se produit à une période où la main d'œuvre n'est pas disponible.

1.5.5. Amélioration dans la productivité des animaux

S. guianensis est une plante à haute valeur fourragère utilisée pour l'amélioration des parcours et des jachères et comme plante de couverture dans les systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent (Husson *et al.,* 2008). La biomasse produite par les plantes de *S. guianensis* peut aussi être utilisée pour nourrir les animaux, ce qui encourage également à lutter contre les feux de brousse qui abiment les terres labourables (Buckles *et al.,* 1998, Adjolohoun *et al.,* 2008).

Le *S. guianensis* est un bon fourrage avec une teneur en protéine brutes de 12 à 18%, dont une faible quantité est assimilable (Latham et Konda Ku Mbuta, 2007). Selon les études menées par Adjolohoun *et al*. (2008) au Bénin, le *S.guianensis* est une légumineuse fourragère contenant 0,2 à 0,6 % de P, 0,6-1,6% de Ca avec 60% de taux digestibilité. Son fourrage offre un gain du poids vif de 300-500 kg par hectare et par an pour les moutons. C'est aussi un aliment excellent des porcs (Adjolohoun *et al.*, 2008)).

Dans cette dernière fonction, le *S. guianensis* est particulièrement efficace car il a l'avantage de se maintenir facilement par semis naturel (Bulakali *et al.,* 2013) et a la capacité de produire sans engrais une forte biomasse sur des sols acides et fortement dégradés (5 à 10 t. ha^{-1} de matière sèche, et jusqu'à 20 t. ha^{-1} sur sol riche). Cela permet d'obtenir le paillis nécessaire au semis direct des cultures subséquentes et la production d'une grande quantité du fourrage nécessaire pour alimentation des animaux durant la saison sèche (Adjolohoun, 2008 ; Husson *et al.,* 2008). Au Nigéria, l'alimentation des animaux avec *S. guianensis* pendant la saison sèche a permis une grande production laitière, la diminution de la perte du poids des animaux, favorise le vêlage à des intervalles de temps court et assure la survie des veaux (Pamo, 1992 ; Tarawali *et al.*,1999).

1.6. Conclusion partielle

A l'issue de cette revue bibliographique, nous pouvons conclure que *S. guianensis* est particulièrement adaptée aux contraintes naturelles rencontrées en zone tropicale où elle offre des possibilités d'intensification de l'agriculture. Les différents résultats obtenus en zone tropicale montrent que les légumineuses et en particulier le *S. guianensis* améliore la fertilité du sol notamment sa teneur en matière organique et en azote tout en stimulant le rendement des cultures subséquentes. L'utilisation

pratique de la fixation biologique d'azote est d'une importance notoire surtout pour les petites exploitations familiales qui ne disposent pas de ressources suffisantes pour fertiliser convenablement leurs champs. C'est aussi un excellent précédent pour de nombreuses cultures, permettant la culture en sous couvert végétal avec un minimum d'intrants, voire sans intrants, et un temps de travail réduit. L'utilisation des plantes de couverture comme *S.guianensis* s'est avérée bénéfique au niveau de l'exploitation dans la lutte contre les mauvaises herbes, l'amélioration des rendements des cultures, la production du fourrage utile pour l'alimentation du bétail pendant la saison sèche, ainsi que la procuration des revenus motivant les agriculteurs même dans les conditions économiques et climatiques très limitantes (irrégularité de la pluviométrie, coûts élevés des intrants).

Il y a la potentialité d'améliorer les sources alimentaires, la récupération des terres, et le contrôle des mauvaises herbes. Elle peut être intégrée à plusieurs systèmes de culture, en association ou en SCV, où elle permet d'améliorer la production céréalière, la production de biomasse fourragère de bonne qualité. Ces avantages sont très importants pour la production des cultures et pour le bétail dans les zones tropicales. Les agriculteurs peuvent intégrer les légumineuses dans leurs systèmes agricoles en cultivant le *S. guianensis* sous forme de jachères, dans les pâturages en rotation, ainsi qu'en association avec les cultures vivrières ou de rente.

CHAPITRE 2 : CADRE GEOGRAPHIQUE ET SYSTEME DE PRODUCTION DE LA PLAINE DE L'IMBO

2.1. Situation géographique de la région de l'Imbo en général

Le Burundi est l'un des pays de la zone intertropicale d'Afrique. Il est situé entre 2°20' et 4°30' de latitude Sud et 28°50' et 30°53' de longitude Est, à 1430 km de l'Océan Indien, 1900 km de l'Océan Atlantique, 3800 km de la Méditerranée et à 3500 km du Cap. (Sottiaux *et al*., 1986). Il est délimité au Nord par le Rwanda, à l'Ouest par la République Démocratique du Congo (R.D.C.) et, au Sud et à l'Est par la Tanzanie (Figure 1). Il couvre une superficie de 27834 km^2, dont 2000 km^2 sont occupés par la partie burundaise du lac Tanganyika. Le Burundi est subdivisé en 5 zones agro-écologiques (Figure 1) à savoir la plaine de l'Imbo correspondant au fossé d'effondrement du Rift Valley occidental, la région escarpée de Mumirwa, la zone montagneuse (la Crête Congo-Nil), les plateaux centraux et les dépressions de Kumoso et de Bugesera (Nzigidahera, 2012). Par ailleurs, le Burundi comprend 11 régions naturelles dont la plaine de l'Imbo (Figure 1). Cette dernière est constituée au Nord par de vastes étendues plates drainées par la rivière Rusizi qui prend sa source dans le lac Kivu au Rwanda. Au Sud, la plaine est mince et s'étend le long du lac Tanganika jusqu'à la frontière tanzanienne. L'altitude est située entre 774 et 1.000 m (Gahiro, 2011).

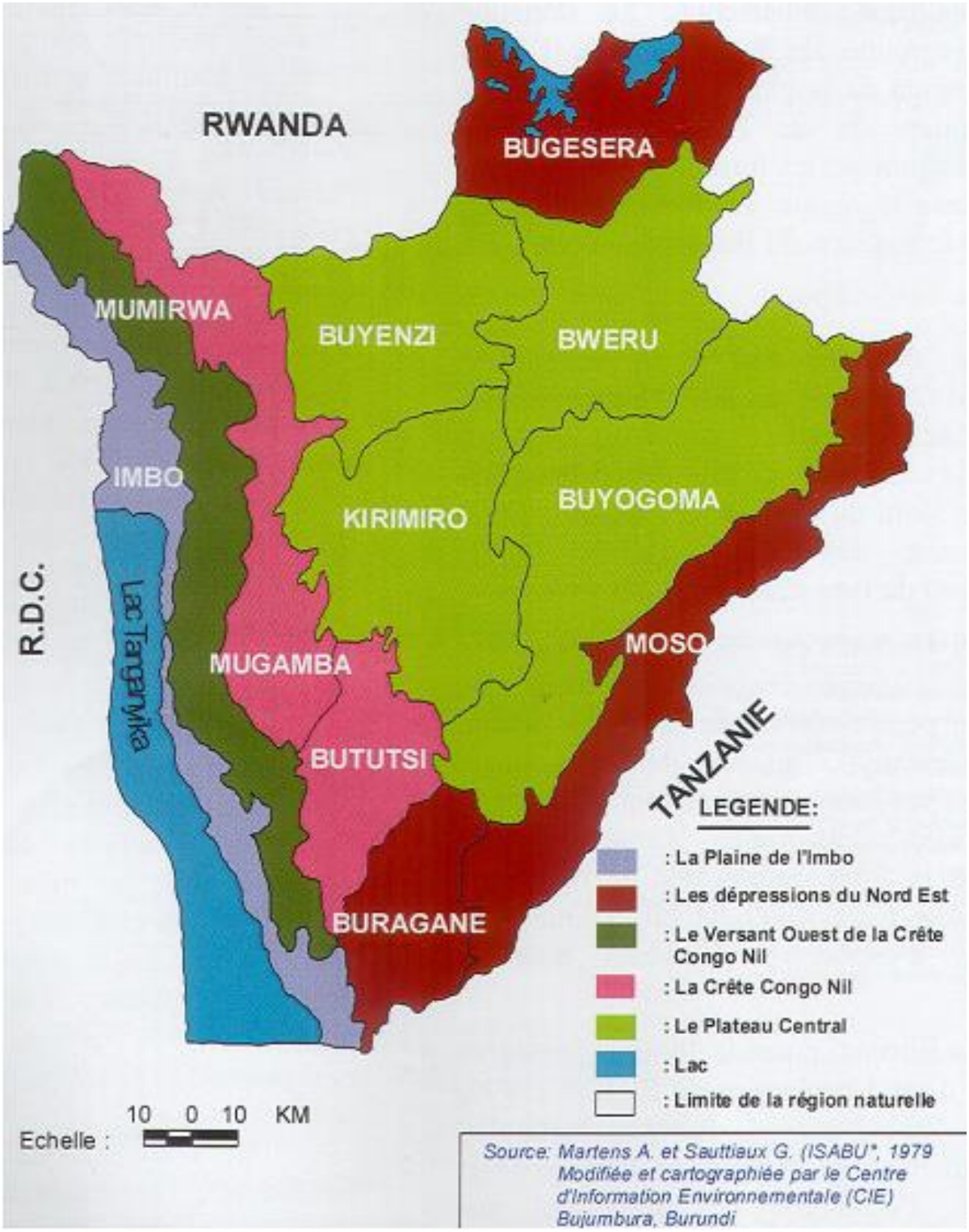


Figure 1: Carte des régions naturelles du Burundi (ISABU, 2018)

La plaine côtière du lac Tanganyika au Burundi, couplée à celle de la rive Est de la Rusizi, constituent la région naturelle de l'Imbo (Figure 1). Cette dernière comprend l'Imbo-Nord, l'Imbo-Centre et l'Imbo–Sud qui sont des zones côtières du lac Tanganyika. Cette région appartient à la partie occidentale du Grand Rift Est-Africain et, est comprise, au Burundi, entre 2°42' de latitude Sud (frontière rwandaise) et 4°20' de latitude sud (frontière tanzanienne).

La plaine de la Rusizi ou Imbo-Centre, objet de cette étude, est délimitée à l'Est par la route Bujumbura-Muzinda-Randa, au Nord par les piémonts et la rivière Nyamika, à l'Ouest par la rivière Rusizi et au Sud par le lac Tanganyika et la ville de Bujumbura. Elle s'élève par paliers successifs vers le Nord et vers l'Est dans la zone des piémonts. D'une largeur supérieure à 20 km au sud, elle se rétrécit considérablement vers le Nord pour ne plus former qu'une mince bande de largeur inférieure à 5 km (Nijimbere, 2014).

L'essai expérimental de la présente étude a été conduit sur un site communément appelé Mugerero (Imbo centre) situé en commune Gihanga de la province Bubanza. Ce site se trouve à une altitude de 830 m à environ 40 km au Nord de la ville de Bujumbura. L'Imbo- centre abritant le site Mugerero est délimitée par les parallèles 2°57' et 4°28' de latitude Sud et les méridiens 28°59' et 29°44' de longitude Est (Sottiaux *et al.,* 1986).

2.2. Caractéristiques des sols de la plaine de l'Imbo

En raison d'une forte variabilité de reliefs, de climats, de roche-mère et de période d'occupation, les sols du Burundi sont très différenciés. Ainsi, la plaine de l'Imbo est constituée de sols récents qui se sont établis sur des sédiments lacustres et alluvionnaires fluviaux. Ils se différencient en fonction de leur substrat et de leur position géographique. Pour la plupart, ils sont de trois types : les sols argileux, les sols sableux et les sols stratifiés. Les sols argileux ont une teneur en argile supérieure à 50% à travers tout le profil. Ils sont plus localisés au Sud de la plaine. Les sols sableux ont une teneur en sable supérieure à 50% (maximum 80%). Ils sont plus représentés dans la partie septentrionale de la plaine. Les sols stratifiés sont caractérisés par un sous-sol sableux, parfois avec une teneur en sel libre ou une saturation élevée en Sodium pouvant conduire à une désagrégation due à un lessivage de la matière organique (SRDI, 2009). Généralement, en fonction des caractéristiques ci-haut mentionnées,

on distingue des sols filtrants (sableux) et non filtrants (vertisols). Ces derniers sont les plus propices à la riziculture en raison de leur pouvoir élevé de rétention en eau qui favorise le développement végétatif de la plante.

2.3. Hydrologie

Les eaux des rivières du Burundi sont partagées entre le bassin du fleuve Congo situé à l'Ouest et le bassin du fleuve Nil à l'Est. La région de l'Imbo est située dans le bassin du Congo et toutes les rivières de ce bassin se jettent dans le lac Tanganika qui se déverse à son tour dans le fleuve Congo via la rivière Lukuga. La plaine de l'Imbo est traversée au Nord par huit rivières qui prennent leurs sources dans les massifs montagneux de la crête Congo-Nil. Elles se jettent dans la rivière Rusizi qui est le principal affluent du lac Tanganika**.** Ces rivières jouent un rôle important car elles alimentent en eau les cultures surtout celles bénéficiant d'un aménagement adéquat (Gahiro, 2013). La rivière Rusizi déverse dans le lac Tanganyika (niveau moyen : 774 m) les eaux excédentaires du lac Kivu (niveau moyen : 1462 m) dont le bassin versant couvre environ 7300 km². Il draine également 1.500 km² du bassin du lac Tanganyika (Nijimbere, 2014).

Dans la plaine de l'Imbo, le réseau hydrographique est peu développé, du moins dans la partie centrale de la plaine. Les rivières qui descendent de la crête s'approchent les formations lacustres dans des vallées profondes et poursuivent leur cours entre de hautes pentes, fortement inclinées. Au centre de la plaine, certaines rivières, comme la Kajeke et la Ninga, sillonnent les anciennes alluvions lacustres entre les berges à peine dessinées ; en aval, leur encaissement est accentué lorsqu'elles rejoignent la Rusizi. Le régime des rivières permanentes est caractérisé par des crues très fortes, souvent violentes, provoquant des inondations (Reekmans, 1980).

Signalons que les eaux de la Rusizi sont trop salées pour être utilisées à des fins d'irrigation. Au Centre et au Sud, la plaine de l'Imbo compte une douzaine de petites rivières qui se jettent directement dans le lac Tanganyika. Actuellement, on constate que le débit général de ces rivières est en diminution progressive par suite de la dégradation de l'environnement inhérente à la destruction des forêts de montagnes surplombant la plaine, aux feux non contrôlés en saison sèche, etc…Cela a comme conséquence les changements climatiques qui rallongent les saisons sèches et perturbent le

bilan hydrologique, réduisant ainsi le débit des rivières (MPDR, 2006). La figure 2 montre le relief et réseau hydrographique du Burundi (Lignes en bleu dans la carte).



Figure 2: Réseau hydrographique du Burundi

Source : Atlas du Burundi, 2010

2.4. Climatologie

Suite à la variabilité topographique, le Burundi jouit d'un climat tropical qui est tempéré par l'altitude. D'une part, les basses altitudes (inférieures à 1,400 m) comprenant la plaine de l'Imbo avec un climat semi-aride avec de faibles moyennes entre 1.000 et 1.200 mm avec des minima de 500 mm. De plus, elles sont irrégulières durant toute la saison culturale, ce qui nécessite une irrigation des cultures. L'année culturale comprend deux saisons à savoir la saison sèche qui compte quatre mois (juin à septembre) et la saison des pluies qui dure huit mois (octobre à mai). La saison des pluies est entrecoupée par une petite saison sèche en janvier/février. La température annuelle moyenne est de 23ºC avec un maximum de 36°C sous l'ombre en octobre et un minimum de 17°C en août. La plaine de l'Imbo est caractérisée par beaucoup de vents forts (alizés) souvent insupportables pour beaucoup de cultures (IGEBU, 2018). Les données climatologiques enregistrées aux stations météorologiques à la station d'Imbo-Centre (IGEBU, 2018), montrent que la plaine de la Rusizi jouit des conditions climatiques semi-arides, dues à une surchauffe du fond de la fosse provoquant une forte convection locale. Le climat tropical semi-aride est du type (AW4) suivant la classification de Köppen (Kottek *et al.,* 2006); c'est à dire qu'il y a quatre mois dont les précipitations qui tombent sont moins de 50 mm d'eau.

2.4.1. Température

Selon l'IGEBU (2018), les caractéristiques thermiques de la basse plaine de la Rusizi peuvent être synthétisées comme suit :

- La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25,4°C ; Cette valeur est proche de celle trouvée pour les eaux du lac Tanganyika ;
- Les amplitudes des variations annuelles sont faibles ; il y a des minima en saison sèche et des maxima au début de la saison des pluies.
- Les amplitudes moyennes journalières sont plus fortes en saison sèche qu'en saison des pluies ;
- Les amplitudes extrêmes sont relativement importantes ; les maximas absolus sont enregistrés pendant la saison des pluies et les minima absolus pendant la saison sèche.

2.4.2. Précipitations

Dans la plaine inférieure de la Rusizi, la moyenne annuelle des précipitations est d'environ 850 mm (IGEBU, 2018). L'altitude ne joue pratiquement aucun rôle, c'est la situation par rapport au lac et surtout la proximité du Piémont qui déterminent les précipitations. On constate en effet que les régions les plus éloignées de la crête et du lac souffrent d'un déficit chronique de précipitations. Il faut également noter que ces précipitations, provenant principalement d'orages violents dus à une intense convection thermique de l'air, sont très inégalement réparties sur l'année (Nijimbere, 2014). Pendant quatre mois (juin, juillet, août et septembre), les précipitations mensuelles restent inférieures à 50 mm. Il est important de mentionner que la moyenne des précipitations est inférieure à la moyenne de l'évapotranspiration potentielle (ETP) basés sur les données de température de la zone, soit 15 % de plus que la moyenne des précipitations annuelles (Nijimbere, 2014). Des conditions de températures élevées, de faibles précipitations et une évapotranspiration élevée conduisent à des climats arides et semi-arides pour le cas de la plaine de la Rusizi (IGEBU, 2018).

2.4.3. Humidité relative

Selon l'IGEBU (2018), l'humidité relative quotidienne moyenne de l'air varie de 56% à 93%, avec une moyenne de 73% pendant l'année. L'air a varié de 56% à 93% avec une moyenne de 73% au cours de l'année. Les minima journaliers sont de l'ordre de 50% à 6h 00, tandis que les maxima fluctuent entre 70% et 80% à 18h00. Au cours de l'année, l'humidité est plus élevée pendant la saison des pluies (novembre à mai) que le reste de l'année. Ceci est le résultat d'une couverture nuageuse beaucoup plus importante pendant cette période.

2.4. 4. Vents

A partir des alizés déviés dans le corridor du Tanganyika, les vents soufflent principalement du secteur Sud. En plus de ces vents dominants, il est également important de noter la présence de vents locaux, dont les plus fréquents sont : la brise de lac, la brise de mer et la brise de terre. La brise de lac souffle du lac vers la terre, surtout pendant la saison sèche, elle se lève à midi et disparaît au coucher du soleil. La brise de terre souffle de la terre vers le lac pendant la plus grande partie de l'année.

La brise de terre souffle de la terre vers le lac pendant la plus grande partie de la nuit et disparaît au lever du soleil. Les vents forts sont rares et la vitesse moyenne du vent pour l'année 2018 est de 1,3

m/s. Des vitesses élevées sont observées pendant la saison sèche (juin, juillet, août et septembre) (IGEBU, 2018).

2.4.5. Insolation

On peut estimer que l'insolation moyenne annuelle dans la plaine de Rusizi est de l'ordre de 55% de l'ensoleillement maximal théorique possible. La plaine de la Rusizi est donc l'une des régions les plus ensoleillées du pays. L'ensoleillement maximal est atteint pendant les mois secs (juin à août) et un minimum est observé pendant les mois pluvieux. L'insolation annuelle moyenne relevée au périmètre de l'Imbo-Centre au cours de l'année 2018 a été de 2200 heures (IGEBU, 2018).

2.5. Systèmes de production au Burundi

Selon Gahungu (2012), la caractéristique commune à l'agriculture dans des régions naturelles du Burundi est l'utilisation généralisée de plusieurs cultures en association dans lesquelles plusieurs espèces sont présentes dans la même parcelle, soit en rotation au cours d'une année de culture, ou en faisant la combinaison dans plusieurs formes de cultures intercalaires. La majorité de ces systèmes de culture sont dominées par des cultures pérennes, mais les différents systèmes peuvent être reconnus au moment où ces cultures sont considérées comme la principale source de revenus dans des parcelles pour les ménages (Cochet, 2001).

Au Burundi, l'agriculture tient une place importante dans la vie économique. En effet, ce secteur concerne plus de 90 % de la population active et contribue à la formation de 34,8% du produit intérieur brut (PIB)) (FAOSTAT, 2010). C'est une agriculture dominée par des petites exploitations familiales de moins de 0,5 ha orientés vers une agriculture de subsistance, extensive, et basée sur l'utilisation des pratiques agricoles traditionnelles (Cochet, 2001 ; ISTEEBU, 2008 ; MINAGRIE, 2010**)**. Cependant, cette agriculture a du mal à couvrir les besoins alimentaires d'une population en pleine expansion.

Selon Cochet (2001), la forte croissance démographique a provoqué une grande pression sur la surexploitation accrue de la terre entrainant la diminution de la surface moyenne par exploitation agricole, la mise en culture des terrains à forte pente et l'aggravation des phénomènes d'érosion, une baisse généralisée de la fertilité et une chute de rendements.

Selon MINAGRIE (2014), l'agriculture se pratique sur des exploitations très petites, soit en moyenne de 60 à 70 ares pour une famille de 5 personnes et plus. Cette rareté des terres cultivables est la conséquence d'une démographie galopante. La superficie cultivable atteint ainsi ses limites comme facteur principal de la sécurité alimentaire et des ressources des revenus (ISTEEBU, 2011 ; PNIA, 2011).

Les perturbations climatiques désorganisent les activités agricoles à majorités pluviales (Nzigidahera *et al.* ,2013). L'exploitation continue des terres dégrade les sols et présente comme conséquences la baisse de la production et l'insécurité alimentaire des ménages. Cette dégradation des sols, se manifestant par les pertes en terre par l'érosion hydrique ainsi que l'acidification, touche la plupart des terres burundaises (Bashirakandi, 2013). L'insuffisance de moyens ou de technicité pour maintenir ou restaurer la fertilité des sols et pour limiter de la perte des terres est une entrave majeure à la production agricole (Barihema, 2007 ; Nzigidahera *et al.,* 2013). Les animaux tirent l'essentiel de leurs besoins des parcours naturels. La plupart des pâturages sont dominés par des espèces à faible valeur alimentaire, suite à leur forte dégradation par dépassement des capacités de charge et l'élimination consécutive de certaines espèces bien appétées (Nahimana, 2000). Selon le même auteur, les parcours naturels représentent les principales sources d'alimentation des ruminants. La pression anthropique exercée sur les ressources naturelles (surtout dans les régions naturelles avec une densité élevée) a pour conséquence de réduire les pâturages au profit des terres cultivées, d'où la politique de l'état de stabulation permenante (ISABU, 2016).

Ainsi, même si la politique de subvention des engrais existe, la population rurale est incapable de s'acheter tous les engrais minéraux nécessaires pour fertiliser les champs et n'est pas aussi bien formée pour lutter contre la dégradation du sol. La situation est tellement alarmante qu'il est grand temps de prendre des mesures qui s'imposent pour augmenter la fertilité du sol, base de la production agricole (Bashirakandi, 2013).

Cependant, la majorité des fermiers peuvent difficilement consacrer leurs faibles revenus pour l'achat des intrants agricoles, ce qui conduit à la baisse de production agricole comme le montre le fonctionnement d'une exploitation agricole au Burundi selon la figure 3

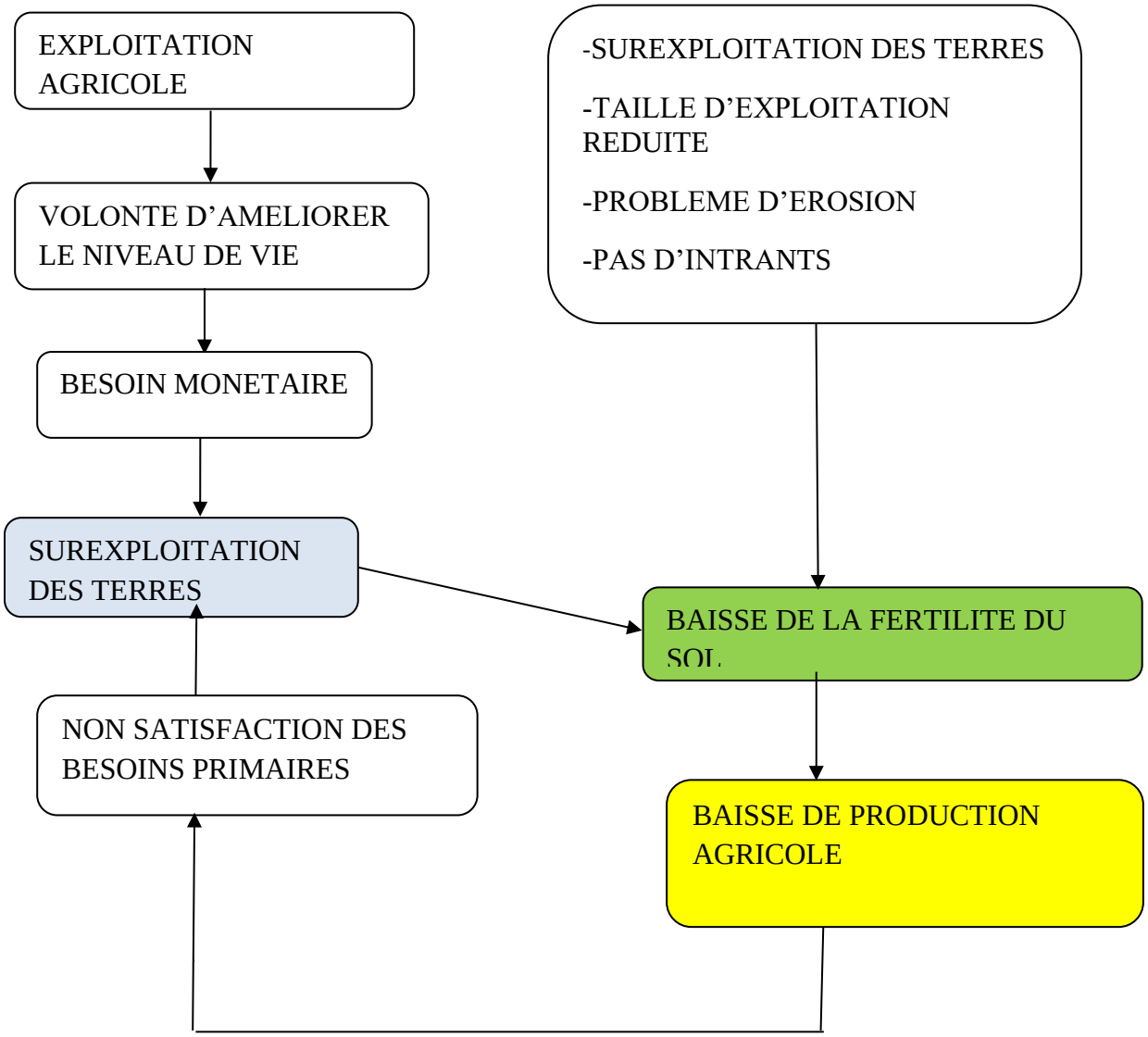


Figure 3: Schéma de fonctionnement d'une exploitation agricole au Burundi (Source : ISABU, 2010)

2.6. Systèmes de production dans l'Imbo-Centre et leurs contraintes

Les systèmes de production agricoles dans la plaine de l'Imbo sont dominés par de petites exploitations agricoles dans lesquelles les fermiers pratiquent un mélange de cultures vivrières et de rente (ISTEEBU, 2008 ; MINAGRIE, 2008). Dans la majorité des cas, le principal système de culture pratiqué est basé sur l'association et la rotation culturale, généralement sans jachère et sans apport de fumure (ISABU, 2008).

Depuis les années 1960, des travaux d'aménagements de la plaine de l'Imbo sous le financement de la Communauté Economique Européenne ont été réalisés dans le but de l'intensification agricole. Dans l'Imbo-Centre, ces travaux consistaient notamment en l'aménagement des terres en rizières et en polycultures irrigables, en la construction d'un barrage d'irrigation sur la rivière Mpanda et en la mise en place des ouvrages de lutte contre les inondations (Sottiaux *et al.,* 1988 ; Gahiro, 2011). Ces aménagements furent accompagnés par des travaux d'assainissement du milieu. Certaines parcelles furent affectées à la riziculture (dont celles du périmètre rizicole de Mugerero), d'autres à la polyculture, et d'autres à l'élevage. De petites portions de terre furent réservées aux boisements villageois.

La taille d'une exploitation agricole est inférieure à 1 ha et l'intensité des cultures est très élevée (70-80 %). L'agriculture est manuelle, la houe est principalement utilisée pour la préparation du sol et le désherbage. Dans la majorité des cas, deux labours sont souvent réalisés à cause de la présence des adventices. (Cochet, 2001 ; MINAGRIE, 2008 ; Gahiro, 2011).

Le manque de fertilisants est l'une des différentes contraintes à la production agricole car ils sont très chers pour la plupart des producteurs. En plus, si les terres sont remises en culture trop tôt, le cycle sera bouleversé et la matière organique des sols sera épuisée progressivement (Cochet, 2001).

L'usage de la matière organique permet d'améliorer la production par une augmentation de la productivité par une unité de surface cultivée et permet de promouvoir la restauration de la fertilité des sols ainsi que la stabilisation du système (ISABU, 2008)

2.7. Démarche méthodologique

2.7.1. Présentation du site d'essai

Les travaux de recherche ont été effectués au Burundi dans la région naturelle de la plaine de l'Imbo sur le site de Mugerero. Sur ce site, les expérimentations agronomiques ont été réalisées sur les stations de recherche agronomiques de l'Institut des Sciences Agronomiques (ISABU) et le terrain venait de passer deux ans en jachère. L'essai a été mené en novembre 2015 au site de Mugerero (altitude = 849 m) à environ 40 km au Nord de la ville de Bujumbura. L'emplacement de ce site est l'Imbo-Centre en commune Gihanga, province Bubanza**.** Le climat tropical humide de la région est du type (AW_4) S selon la classification de Köppen (Sottiaux et al. 1986). La végétation prédominante sur ledit site était composée essentiellement d'une savane arbustive dominée par *Hyparrhenia sp.* et *Syzygium sp.* dans la strate supérieure et de nombreuses plantes à bulbes (*Crinum, Gloriosa*,…) formant la strate inférieure.

Dans cette région, les plantes vivrières les plus cultivées sont le riz, le manioc, le maïs et la patate douce. En dehors des rizières, les systèmes de rotation les plus connues sont celui du manioc et du maïs. C'est pourquoi cette étude des effets du stylo sur les systèmes des cultures a été menée sous les systèmes manioc-maïs, jachère-maïs et jachère améliorée pure de stylo. Les principales caractéristiques physico-chimiques des sols des champs d'expérimentation sont présentées sur le tableau 1.

Le site d'expérimentation est caractérisé par des sols de type sablo-limoneux. Le sol de la couche arable a une composition granulométrique moyenne et les caractéristiques physico-chimiques présentées dans le tableau 1 (ISABU, 2016).

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques du sol du site de Mugerero au début l'expérimentation

	Elément	Valeur
Composition granulométrique moyenne	Argile (%)	8,20
	Limon fin (%)	4,00
	Limon grossier (%)	5,10
	Sable fin (%)	43,7
	Sable grossier (%)	39,00
Caractéristiques chimiques du sol	pH-H_2O	6,24
	pH-KCl	5,31
	C (%)	0,62
	Azote (%)	0,06
	C/N	9,95
	Phosphore assimilable (mg/kg)	14,5
	C.E.C (méq/100 g)	3,60
	Ca (méq/100 g)	2,34
	Mg (méq/100 g)	0,66
	K (méq/100 g)	0,57
	Na (méq/100 g)	0,02

2.7.2. Protocole expérimental

L'installation de l'essai a été précédée par le choix du terrain d'expérimentation suivi de sa préparation. Cette dernière a consisté en un débroussaillage, un labour à la houe à une profondeur d'environ 30 cm, l'émottage, l'hersage et le planage. L'essai a été conduit sur 4 ans (2015 à 2019). Les parcelles élémentaires, de 200 m² (20 m x 10 m) chacune, ont été installées selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions selon les systèmes des cultures testés. Tout le dispositif avait une longueur totale de 86 m sur 70 m de largeur. Les blocs consécutifs étaient séparés par une allée de 2 m de largeur.

Les graines de *Stylosanthes guianensis* désignée dans la suite par **stylo** ont été semées au début de l'expérimentation dans toutes les parcelles expérimentales à l'exception des parcelles témoins. Pour ce, deux variétés de stylo ont été utilisées : la variété désignée stylo 1 portant le code CIAT 187 (sélectionnée en Colombie) et la variété désigné stylo 2 codifiée 202 CC (sélectionnée en Australie). De la fumure minérale a été appliquée dans un traitement (4 parcelles) à couverture de stylo 1 du système cultural manioc – maïs – maïs pour évaluer leurs effets sur les propriétés physico-chimiques du sol. La dose appliquée est celle recommandée par l'ISABU pour le maïs et basée sur la formule de NPK (40-60-30) qui équivaut à 130 kg de DAP/ ha, 50 kg de KCl/ ha, 37 kg d'urée/ ha (ISABU, 2012).

Les traitements réalisés dans cette étude sont :

T1 : Couverture permanente du terrain par le stylo 1 et rotation des cultures manioc - maïs - maïs en première, deuxième et troisième année respectivement (Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1),

T2 : Couverture permanente du terrain par le stylo 2 et rotation des cultures manioc - maïs - maïs en première, deuxième et troisième année respectivement (Manioc
/stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2),

T3 : Couverture permanente du terrain par le stylo 1 et rotation des cultures manioc - maïs - maïs en première, deuxième et troisième année respectivement avec application d'engrais chimique NPK pour les cultures de maïs (Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais).

T4 : Traitement témoin, rotation des cultures manioc - maïs - maïs sur terrain sans plante de couverture (Manioc - maïs - maïs)

T5 : Couverture permanente du terrain par le stylo 1 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1),

T6 : Couverture permanente du terrain par le stylo 2 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2),

T7 : Couverture permanente du terrain par le stylo 1 sans aucune culture vivrière (stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Au sein de chaque bloc, chaque répétition a été subdivisée en parcelles de forme rectangulaire, la surface des unités expérimentales était de 200 m² (20 m x 10 m).

La taille d'un bloc est de 1400 m^2 soit 20 m x 70 m et la distance entre 2 blocs est de 2 m. La largeur totale de la parcelle est de 70 m soit 7 x 10 m, Longueur totale de la parcelle pour chaque bloc est de 86 m soit 4x 20 m + 3 x 2 m. La figure 4 montre le plan du dispositif expérimental du site de Mugerero réalisé sur les trois ans d'étude.

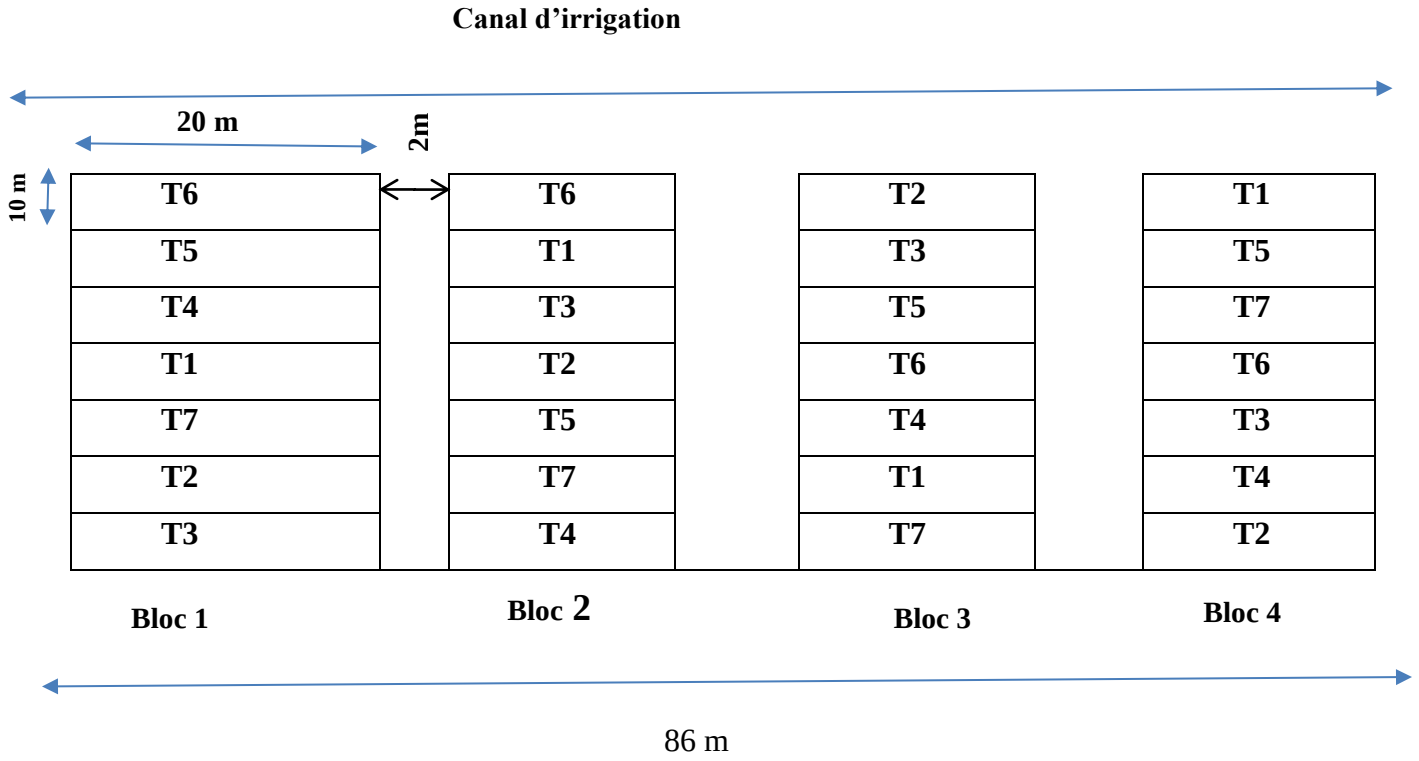


Figure 4: Plan du dispositif expérimental du site de Mugerero réalisé sur trois ans (2016-2019)

Tous les travaux ont été bien enregistrés pour chaque système de culture comparé (culture en semis direct dans le couvert de *S. guianensis* et culture avec travail classique du sol) afin d'avoir une idée de la diminution possible de la charge de travail du système de culture en semis direct sur couvert végétal.

Un sarclage manuel a été réalisé après la plantation des boutures de manioc et le semis du *S. guianensis* afin de favoriser la bonne installation de ce dernier. Des échantillons de sols ont été prélevés dans toutes les parcelles d'essai afin de déterminer les propriétés physico-chimiques du substrat au moment de la mise en culture.

Le tableau 2 montre les paramètres soumis à la comparaison pour les systèmes de cultures en pure ou en association avec *S. guianensis*

Tableau 2: Paramètres soumis à la comparaison pour les systèmes de cultures en pure ou en association avec *S. guianensis*

Systèmes de culture testés	**Paramètres soumis à la comparaison**	**Désignation**
S. guianensis en culture pure et en association avec manioc et maïs	Levée des poquets (%)	L.P
	Nombre de ramifications	N.R
	Longueur de la tige principale (cm)	LTP
	Poids de la biomasse fraiche par parcelle (kg)	P.B.F
	Teneur en matière sèche (%)	M.S
	Poids graines (kg/ ha)	P.G
	Biomasse fraiche par ha (kg/ ha)	B.F.H
	Biomasse sèche par ha (kg/ ha)	B.S.H
Manioc en culture pure et en association avec *S. guianensis*	Levée des plants (%);	L.P
	Nombre de tubercules par plante	N.T
	Nombre de ramifications,	N.R
	Longueur de la tige (cm)	L.T
	Diamètre de la tige (cm)	D.T
	Poids de la tige (kg),	P.T
	Poids des tubercules par plante (kg)	P. TU

Systèmes de culture testés	**Paramètres soumis à la comparaison**	**Désignation**
	Longueur des tubercules (cm)	L.TU
	Rendement par parcelle (kg)	R.P.P
	Rendement par ha (kg/ ha).	RDT /ha
Maïs en culture pure et en semis direct dans un couvert végétal de *S. guianensis*	Levée des poquets (%)	L.P
	Hauteur tige (cm)	H.T
	Diamètre au collet (cm)	D
	Poids tige (g)	P.T
	Nombre de pieds	N.P
	Nombre d'épis par plant	N.E
	Poids de l'épi (g)	P.E
	Nombre de rangées de graine par épis	N.R
	Poids de 1000 graines (g)	P.M.G
	Nombre total d'épis récoltés par parcelle	T.E
	Poids total épis récoltés par parcelle (kg)	P.T.E.R
	Rendement en grains par ha (T/ ha)	R.D.T

La mesure du rendement en grains a été homogénéisée en tenant compte de la teneur en eau de 12% à l'aide d'un humidimètre.

Deuxième partie : ASPECTS PRATIQUES ET EXPERIMENTAUX DE LA RECHERCHE

CHAPITRE 3. COMPORTEMENT DE DEUX VARIETES DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* (AUBLET) SWARTZ EN CULTURE PURE ET EN ASSOCIATION AVEC LE MANIOC DANS LES CONDITIONS DE LA PLAINE DE L'IMBO (BURUNDI).

Résumé

Stylosanthes guianensis est l'une des plantes de couverture les plus utilisées pour le développement de systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent en conditions d'agriculture manuelle à faible niveau d'intrants.Dans le but de la mise au point d'un système de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV) permanent de *S. guianensis (*Aublet) Swartz adapté aux conditions naturelles de la plaine de l'Imbo, le comportement de deux variétés de *Stylosanthes* (variétés CIAT 184 et 202cc) a été évalué en culture pure et en association avec le manioc MM 96/ 0287 (*M. esculenta* Crantz variété NGARUKIYE).

Les résultats obtenus montrent que des deux variétés de Stylo, la variété CIAT 184 est la plus productive comparativement à la variété 202 cc en graines avec (232,5±62,2) kg/ha et une production de biomasse très élevée en culture pure (4,7631±1,089) t/ha. Sa culture en association avec le manioc (*M. esculenta* Crantz) n'affecte pas sensiblement son niveau de production de biomasse. Les quantités de biomasse produites sont proches des résultats trouvés en zones tropicales où les espèces de *S. guianensis* sont capables de produire une biomasse (5 à 10 t/ ha^{-1} de matière sèche) sur des sols acides et fortement dégradés et sans engrais ajoutés. En tenant compte de la récolte des tubercules frais, les rendements moyens de la variété du manioc observés en culture pure au niveau du site de Mugerero étaient nettement élevés 30.827±1821,8 (kg/ ha) que ceux obtenus en cultures associées 20.799±1.148,3 (kg/ ha). Pour atténuer cette compétition, la solution pourrait être le rabattage du Stylosanthes (au moins deux fois) au cours de la première année de manière à limiter la concurrence avec le manioc.

Dans l'ensemble, les systèmes testés (variétés CIAT 184 et 202cc en culture pure et en association avec le manioc) ont manifesté des résultats prometteurs en comparant ceux provenant de recherches antérieures faites par l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) pour la culture du manioc.Donc, l'association du stylo avec le manioc permet la mise en place d'un couvert végétal qui sera utilisé en semis direct pour les autres systèmes de cultures en rotation.

Mots clés : *Stylosanthes guianensis*, manioc, plaine de l'Imbo, semis direct, couvert végétal, Burundi

Abstract

Behavior of two varieties of *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz in pure cultivation and in association with cassava under conditions in the imbo plain (Burundi)

Stylosanthes guianensis is one of the most widely used cover crops for the development of no-till cropping systems in a permanent vegetative cover under low-input manual farming conditions. With the aim of developing a permanent direct seeding under plant cover (DCV) cultivation system for *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz adapted to the natural conditions of the Imbo plain, the behavior of two varieties of *Stylosanthes* (varieties CIAT 184 and 202cc) was evaluated in pure culture and in association with cassava MM 96/0287 (*M. esculenta* Crantz variety NGARUKIYE).

The results obtained show that of the two Stylo varieties, the CIAT 184 variety is the most productive compared to the 202-cc variety in seeds with (232.5±62.2) kg/ha and a very high biomass production in pure culture. (4.7631±1 089) T/ha. Its cultivation in association with cassava *(M. esculenta* Crantz) does not significantly affect its level of biomass production. The quantities of biomass produced are close to the results found in tropical zones where the species of *S. guianensis* are capable of producing biomass (5 to 10 T/ ha^{-1} of dry matter) on acidic and highly degraded soils and without added fertilizers. Taking into account the harvest of fresh tubers, the average yields of the cassava variety observed in pure culture at the Mugerero site were significantly higher 30,827±1,821.8 (kg/ ha) than those obtained in associated crops 20,799±1,148.3 (kg/ha). To mitigate this competition, the solution could be the cutting back of *Stylosanthes* (at least twice) during the first year so as to limit competition with cassava.

Overall, the three systems evaluated showed promising results when comparing those from previous research done by the Institute of Agronomic Sciences of Burundi (ISABU) for growing cassava. Therefore, the association of Stylo with cassava allows the establishment of a plant cover that will be used in direct seeding for other cropping systems in rotation.

Keywords: *Stylosanthes guianensis*, cassava, imbo plain, direct seeding, plant cover, Burundi.

3.1. Introduction

Le *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz est une légumineuse tropicale pérenne (bi- ou tri-annuelle) à haute valeur fourragère utilisée pour l'amélioration des parcours et des jachères et comme plante de couverture dans les systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent (Husson *et al.,* 2008). C'est une plante adaptée à toutes les zones climatiques de 0 à 1600 m d'altitude, de 600 à plus de 3 000 mm de pluies. Elle se comporte particulièrement bien en climat tropical humide et en climat de moyenne altitude, même avec une saison sèche marquée **(**Raemaekers, 2001**,** Husson *et al.,* 2008, Bulakali *et al*.,2014 ; Camara *et al.,* 2015**).**

Le *S. guianensis* est particulièrement efficace car il a l'avantage de se maintenir facilement par semis naturel une fois qu'il est installé dans une parcelle et de ne pas concurrencer fortement au début de son cycle les plantes qui lui sont associées (Dugué, 1998). Sa capacité de produire sans engrais une forte biomasse sur des sols acides et fortement dégradés (5 à 10t. ha^{-1} de matière sèche, et jusqu'à 20 t. ha^{-1} sur sol riche), permet d'obtenir le paillis nécessaire au semis direct des cultures subséquentes (Husson *et al.,* 2008 ; Akinlade *et al.,* 2008 ; Bulakali *et al.,* 2013). Les hautes productions en biomasse sont liées à sa capacité à fixer de grandes quantités d'azote (70 à plus de 200 $kgha^{-1}.an^{-1}$ d'azote), à produire des nodules facilement sans nécessiter d'inoculation même en sols acides, à recycler les bases (en particulier le calcium) et les oligo-éléments (B, Cu, Zn et surtout Mn), ainsi qu'à sa capacité d'extraire le P des sols qui en sont très peu pourvus (Andrew, 1961 ; Gilchrist, 1967 ; Latham et Konda Ku Mbuta**,** 2007 ; Husson *et al.,* 2008 **;** Camara et al. ,2015).

Quand on rabat le couvert de ces espèces pour constituer le paillis, tous les éléments nutritifs accumulés dans les parties aériennes et souterraines de celui-ci sont rendus disponibles aux plantes cultivées qui y sont installées en semis direct (Husson *et al.,* 2008). Le système racinaire puissant de *S. guianensis* lui permet également d'améliorer progressivement la structure des sols compactés et entraîne donc une amélioration sensible de la fertilité de l'horizon arable des sols (Bulakali *et al.,* 2014). En plus de toutes ces qualités, le fait qu'il puisse être contrôlé sans herbicide, par simple fauche au ras du sol en saison sèche, en fait une des plantes de couverture les plus intéressantes pour le développement de systèmes de culture en semis direct dans un couvert végétal permanent en conditions d'agriculture manuelle à faible niveau de ressources (Séguy *et al*.,2001 ; Husson *et al.,*2008 ; Akinlade *et al.,* 2008 ; Bulakali *et al.,* 2013, Bulakali *et al.,* 2014 ; Camara *et al.,* 2015).

Les systèmes agricoles à base de *S. guianensis* sont extrêmement attractifs. Outre le gain de rendement (qui devrait être obtenu dès la première récolte de la première année dans le cas du manioc sur base de travaux réalisés à Madagascar) et l'amélioration du capital sol, les systèmes à base de *S. guianensis* présentent de nombreux avantages. Ils ne demandent pratiquement pas d'investissement en raison de la réduction des besoins en engrais compensés par l'apport en azote par la légumineuse, la réduction des besoins en matériel et en herbicides (FAO, 2008). Aussi, avec les systèmes à base de Stylosanthes, les temps de travaux sont fortement réduits dès la première année en semis direct par suppression du labour et réduction importante du temps de désherbage en particulier (Séguy *et al.*, 2001 ; Akinlade *et al.*, 2002 ; Calegari,2008 ; Husson *et al.*, 2008).
Ainsi, plusieurs dizaines de millions d'hectares sont actuellement cultivés de cette manière au Brésil (FAO, 2008), dont une grande partie dans des conditions climatiques proches de celles qui prévalent au niveau du Burundi (entre 950 et 1300 mm de pluie par an répartis sur huit à neuf mois) (ISABU, 2010).
Afin de développer un système de culture sous couvert végétal, deux variétés de *S. guianensis* résistantes aux souches locales d'anthracnose causée par *Colletotrichum gloeosporioides* ont été utilisées *:* var CIAT 184 sélectionnée en Colombie et var 202 CC sélectionnée en Australie. Ce lot de graines a été récolté sur le plateau de BATEKE (RDC) en Août 2013 (Bulakali *et a*l., 2014).
Le choix pour la culture à associer à *S. guianensis* a porté sur le manioc. Celui-ci est l'une des cultures les plus importantes pratiquées dans la plaine de l'Imbo où elle constitue une part importante d'alimentation quotidienne de nombreux ménages. Ses tubercules sont riches en amidons et ses feuilles constituent une source importante de protéines de qualité **(**Abayomi, 2001 ; Latham et Konda Ku Mbuta, 2007**).** De plus, selon des résultats obtenus lors de recherches menées par le CIRAD à Madagascar, la culture du manioc en association avec *S. guianensis* se ferait sans pertes de rendement en racines tubérisées et donc sans diminution de revenus pour les paysans (Husson *et al.*, 2008), qui ne sont généralement pas en mesure de subir ce type de pertes.

Compte tenu de l'importance majeure de la production de manioc dans la plaine de l'Imbo où les rendements variaient entre 20 à 30 t/ ha (ISABU, 2010), un essai expérimental a été mené en vue de déterminer quelles étaient les meilleures modalités pour l'installation d'un couvert végétal permanent de *S. guianensis* en culture pure et en association avec cette spéculation.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Description des caractéristiques du site expérimental

L'essai a été mené entre octobre 2015 et novembre 2016 dans le site de Mugerero (altitude = 849 m) à environ 40 Km au Nord de la ville de Bujumbura. L'emplacement de ce site est l'Imbo-Centre en commune Gihanga, province Bubanza. Cette région est délimitée par la latitude Sud 03°10' 17" et longitude Est 29°21' 16" (Sottiaux *et al.,* 1986 ; ISABU,2016). Le climat tropical humide de la région est du type (AW_4) S selon la classification de Köppen (Sottiaux *et al.,* 1986). Pendant la période de culture la pluviométrie enregistrée au niveau de cette zone a été de 1.014,45 mm, la température maximale mensuelle était de 30,25° C, avec une température minimale mensuelle de 19,01°C. L'humidité relative maximale mensuelle était de 93,33 %, tandis que l'humidité relative minimale mensuelle était de 56,13 % (IGEBU, 2016).

Le site d'expérimentation est caractérisé par des sols de type sablo-limoneux. Le sol de la couche arable a une composition granulométrique moyenne de 8,2% d'argile, 4,0 % de limon fin, 5,1 % de limon grossier, 43,7 % de sable fin et 39 % de sable grossier. Le sol du site de Mugerero présente les caractéristiques physico-chimiques suivantes : pH-H_2O : 6,235; pH-KCl1N :5,315; carbone : 0,6175 % ; azote : 0,0625 % ; C/N : 9,95 ; phosphore assimilable : 14,5 mg/kg ; C.E.C. : 3,585 méq/100 g ; Ca : 2,345 méq /100g ; Mg : 0,655 méq/100 g ; K : 0,57 méq/100g et Na : 0,015 méq/ 100g (ISABU, 2016).

Les pH_{eau}, pH_{KCl} ont été mesurés sur un mélange sol/solution selon le rapport 1/5 à l'aide d'un pH mètre, le carbone a été dosé par la méthode de Walkey-Black qui consiste à l'oxydation de $K_2Cr_2O_7$ en milieu acide et dosage en retour de $Cr_2O_7^{2-}$,l'azote total a été mesuré par la méthode Kjeldahl qui consiste à l'attaque de H_2SO_4 suivi d'une distillation et du titrage, le phosphore du sol a été mesuré par le Spectrophotomètre u.v visible, les bases échangeables et la capacité d'échange cationique ont été analysé à l'aide d'un Spectrophotomètre d'absorption atomique.

3.2.2. Dispositif expérimental

L'installation de l'essai d'expérimentation a été précédée par le choix du terrain d'expérimentation suivi de sa préparation. La préparation du terrain a consisté en un débroussaillage, un labour à la houe à une profondeur d'environ 30 cm, l'émottage, le hersage et le planage. Les parcelles élémentaires ont été installées selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions. Le plan du dispositif expérimental du site de Mugerero est représenté par la figure 4

Il comprenait 5 objets :

- Variété de stylo CIAT 187 sélectionnée en Colombie cultivée en pur désigné par stylo 1,
- Variété de stylo 202 CC sélectionnée en Australie cultivée en pure désigné par stylo 2,
- Variété de manioc MM 96/0287(*M. esculenta Crantz* variété NGARUKIYE) cultivée en pure désigné par M,
- Associations de chaque variété de stylo avec la variété du manioc (Manioc/stylo 1et Manioc/ stylo 2).

Au sein de chaque bloc, chaque répétition a été subdivisée en parcelles de forme rectangulaire, la surface des unités expérimentales était de 200 m² (20 m x 10 m).

3.2.3 Matériel végétal utilisé

Deux variétés de *S. guianensis* et une variété de manioc ont été utilisés dans l'essai. Pour le Stylo, la variété CIAT 184 sélectionnée en Colombie et la variété 202 CC sélectionnée en Australie récoltées sur le plateau de BATEKE (RDC) en Août 2014 ont été semées.

Ces deux variétés présentent un port érigé, un cycle de végétation court et une résistance bi-génique à la souche d'anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Pens) qui avait décimé le Stylo dans toute l'Afrique dans les années 1980 (Bulakali *et al.,* 2014 ; Camara., 2015). En plus de ces caractéristiques, la variété CIAT 184 se caractérise par un port érigé et par une plus grande précocité de floraison. Celle-ci produit en conséquence plus rapidement des quantités de graines plus élevées (Camara *et al.*, 2015).

La variété du manioc (*M. esculent* Crantz) ayant servi comme matériel expérimental est MM 96/0287 variété NGARUKIYE. Elle a été installée un mois avant le semis de *S. guianensis*. MM 96/0287 est une variété de manioc doux introduite à l'ISABU en 1999 et diffusée en 2006. Elle a été sélectionnée par l'IITA. C'est une variété qui est tolérante à la striure brune et à la mosaïque. Le matériel de plantation provenait d'un champ de multiplication des boutures saines de l'ISABU, les tiges étaient âgées de 18 mois (ISABU, 2014).

3.2.4. Plantation des boutures de manioc et Semis de graines de *S. guianensis*

Le semis du stylo et la plantation du manioc ont été réalisés après labour et hersage des parcelles expérimentales. La plantation des boutures de manioc a eu lieu un mois avant le semis du stylo. Elle est faite par enfouissement des boutures de 20 à 30 cm de long (4 à 6 nœuds) découpées sur des tiges saines tout en évitant les parties fortement aoûtées ou tendres. Pour la plantation, la position oblique d'une bouture a été optée sur une petite butte, couverte au 2/3, à un angle de 30 à 45° (ISABU, 2011). Les écartements entre deux boutures étaient de 1 m x 1 m (ISABU, 2012), donnant une densité de plantation de 10.000 plants ha^{-1}en culture pure comme en culture associée.

Les dates de plantation étaient du 13 au 14 novembre 2015. Les taux de levée des plants ont été déterminés deux semaines après la plantation. Aucun regarnissage n'a été effectué.

3.2.5. Levée de dormance et semis de *S. guianensis*

Afin de déterminer le nombre de graines à apporter par poquet pour assurer une bonne occupation du terrain par le *S. guianensis*, un test de germination a été effectué quatre semaines avant la date de semis dans le site de Mugerero (Husson *et al.*, 2008). La méthode retenue consistait à plonger les graines dans de l'eau à 55° C pendant 25 min (un volume d'eau bouillante pour un volume d'eau froide) et le semis de *S. guianensis* se faisait directement après le traitement à l'eau bouillante.

Le semis a été réalisé après le second sarclage du manioc et a été fait en petits poquets, très légèrement recouverts de la terre (plus ou moins 1 cm de profondeur). L'espacement entre poquets était de 30 cm x 30 cm, le nombre de graines par poquet était en moyenne de 7 à 12 graines (Husson *et al.,* 2008 ; Bulakali *et al.,* 2014). Etant donnée la très petite taille des semences, le semis a été effectué en prenant du sable grossier, aux grains de taille identique à la taille des graines de *S. guianensis*, et en mélangeant un volume de sable pour un volume de graines environ. Le semis de ces deux variétés de stylo a eu lieu du 10 au 11 décembre 2015. Le taux de levée des poquets a été déterminé deux semaines après le semis et aucun regarnissage n'a été effectué. Les entretiens culturaux se sont limités à la réalisation de cinq sarclages. Les figures 5, 6 et 7 montrent la mise en place et le développement des différents systèmes culturaux.

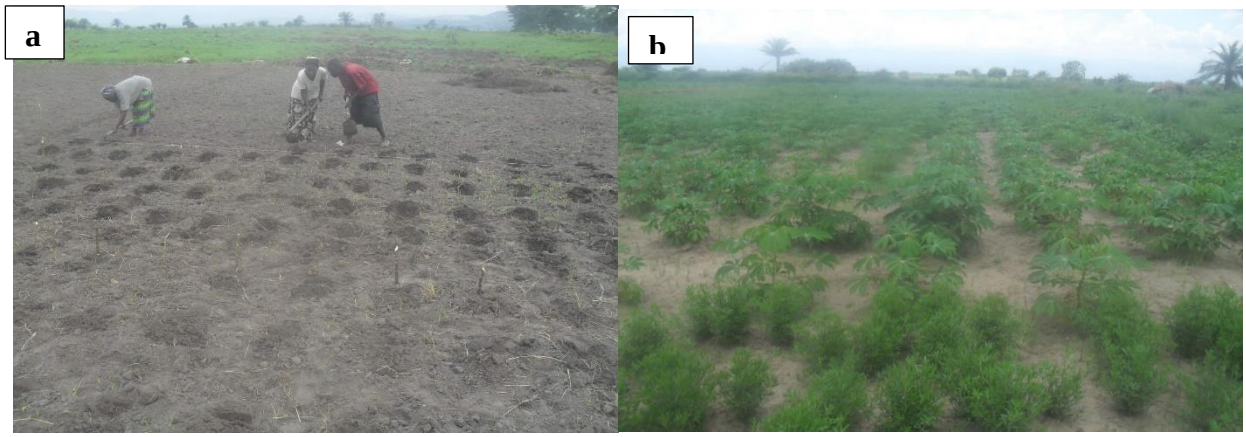


Figure 5: Mise en place et développement des différents systèmes culturaux (a. Plantation des boutures du manioc, b. Développement végétatif des objets testés (Photos prises par l'auteur en Octobre 2015)

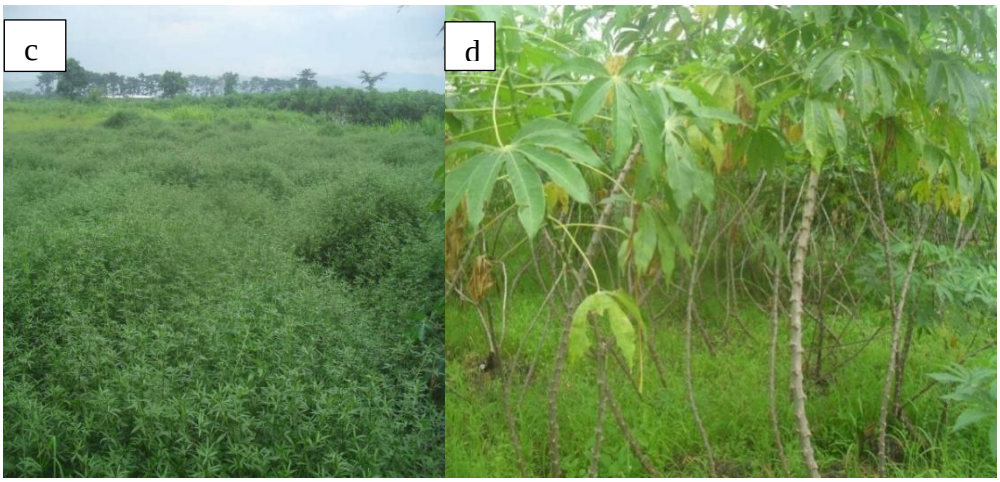


Figure 6: Développent des systèmes culturaux (c. culture pure de Stylo, d. culture pure du manioc ; Photos prises par l'auteur en octobre 2016)



Figure 7: Association manioc/ stylo (Photo prise par l'auteur en octobre 2016)

3.2.6. Méthode de collecte des données pour *Stylosanthes guianensis*

Les travaux de récolte et détermination de biomasse de *S. guianensis* ont été réalisés au début du mois de septembre 2017. Ces travaux consistaient principalement en la coupe des pivots juste au-dessus du collet chez toutes les plantes de S. guianensis au niveau de chaque parcelle. Cette opération était suivie de la quantification de la production de biomasse de stylo dans toutes les parcelles par pesée de la matière fraîche puis détermination de la teneur en matière sèche par étuvage (105° C pendant 24 heures) d'échantillons de 500 g prélevés dans les parcelles expérimentales.

Le pourcentage de matière sèche a été calculé selon la formule suivante (1) :

$$MS\ (\%) = \frac{PS}{PF} \times 100 \quad (1)$$

Où MS = matière sèche, PS = poids sec après séchage à 105°C à l'étuve pendant 24 heures et PF = poids frais avant séchage à l'étuve. La détermination de la biomasse aérienne totale sèche pour chaque unité expérimentale a été réalisée en multipliant le pourcentage moyen de matière sèche par la quantité de biomasse aérienne totale fraîche récoltée par parcelle, le tout a été calculé en kg MS/ha.

Pour faciliter la récupération des graines, les tiges de *S. guianensis* ont été coupées au ras du sol puis roulées en tapis de biomasse (Husson *et al.,* 2008 ; Bulakali *et al.,* 2013 ; Camara *et al.,* 2015). Ensuite, la collecte des graines a débuté par un raclage systématique de la couche supérieure arable du sol, à l'aide des mains et des petits balais réalisés en mauvaises herbes comme les chiendents, pour la constitution de plusieurs tas de terre mélangée avec les débris de nécromasse (figure 8).



Figure 8: Recépage de Stylosanthes guianensis au ras du sol (Photo prise par l'auteur en octobre 2016)

La séparation de ces impuretés avec les mottes de terre est réalisée par un criblage à travers des tamis à mailles de 2 mm pour éliminer les plus grossières et ceux de 1 mm pour la collecte des graines de stylo déjà nettoyées. Enfin, pour avoir un taux élevé de pureté de graine de Stylo, le finissage a été réalisé en séchant le produit issu du deuxième tamisage au soleil et par frottement des graines entre les mains suivies du vannage.

L'opération a été terminée par le pesage des graines à l'aide d'une balance avant leur conservation. Les quantités de graines récoltées sont exprimées en $kg.ha^{-1}$ (Akinlade *et al*., 2008; Bulakali *et al.*, 2013; Camara *et al.,* 2015).

La figure 9 montre la collecte des graines de stylo par un raclage et tamisage des graines.



Figure 9: Collecte des graines de stylo (e. Raclage des graines au niveau du sol, f. Tamisage des graines de stylo ; Photos prises par l'auteur 2016)

Après avoir relevé les différents paramètres et récupéré les graines de stylo, la biomasse issue du recépage des plantes a été épandue à la surface du sol dans les différentes parcelles pour constituer le paillage (figure 10).



Figure 10: Mise en place du paillis après la collecte des graines

3.2.7. Evaluation du rendement des tubercules frais de manioc

La récolte des racines tubercules frais du manioc au niveau du site de Mugerero a été effectuée du 17 au 19 novembre 2016, soit 12 mois après la plantation.

Le rendement des tubercules frais de la variété du manioc a été évalué à partir de la récolte de tous les pieds de la parcelle suivie de la pesée selon la formule (2) :

$$\text{RDT moyen } (\text{t}/ha) = \frac{\text{R.P.P (kg)x10.000 } m^2}{\text{Superficie de la parcelle } (m^2)} \qquad (2)$$

RDT moyen: Rendement moyen

R. P. P(kg): Rendement par parcelle (kg)

La figure 11 montre la récolte et détermination des paramètres évalués pour le manioc

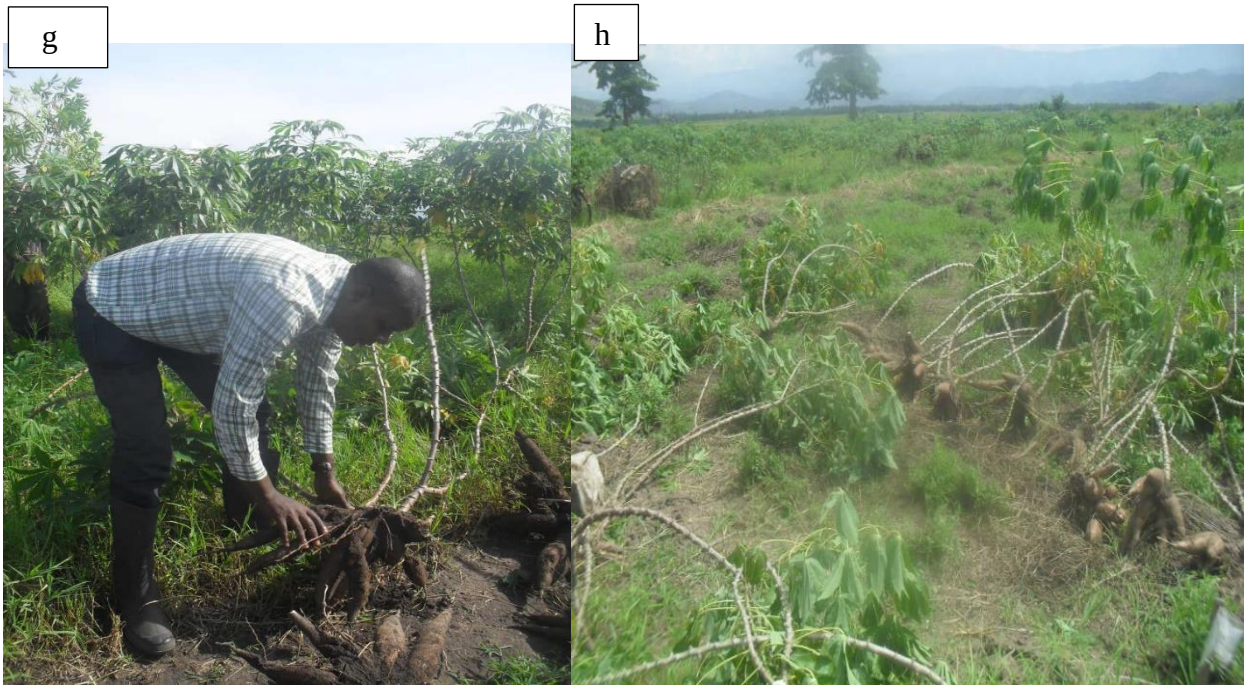


Figure 11: Récolte et détermination des paramètres évalués pour le manioc (g: Récolte du manioc, h: détermination des paramètres évalués pour le manioc ; Photos prise octobre 2017)

Les paramètres évalués pour la culture du manioc en culture pure et en association avec *S. guianensis* sont repris dans le tableau 2

3.2.8. Analyse statistique des données

L'analyse de variance (ANOVA) pour toutes les données collectées a été effectuée par les logiciels appelés « Gen Stat Discovery Edition 14 ». Ceci dans le but de voir s'il existe des différences significatives entre les valeurs obtenues. La comparaison des moyennes a été effectuée par la méthode de la plus petite différence significative (ppds) à 5% de probabilité là où l'ANOVA s'est avérée significative.

3.3. Présentation des résultats

3.3.1. Paramètres de croissance et de production du *S. guianensis* en culture pure et en association avec le manioc

Les résultats montrant les paramètres de croissance et de production de biomasse pour les deux variétés de *S. guianensis* sont repris dans le tableau 3.

Tableau 3: Paramètres de croissance et de production de *S. guianensis* en culture pure et en association avec le manioc

Systèmes	L.P	N. R	LTP	M.S	P. G	BFH	BSH
stylo 1	84,1±4,4 a	25,5 ±3,0 a	158,6±9,7 a	28,4 ±1,3 a	232,5 ± 62,2 a	16775±3 668,3 a	4 763,1 ±1 089,0 a
stylo 2	78,9± 6,4 b	19,1 ±2,4 b	147,6±24,6 a	28,5±0,4 a	187,5 ±19,2 ab	16015 ±3 559,9 a	4 573,9 ±1 028,4 a
Manioc/stylo 1	70,4±5,5 ab	19,6± 2,0 ab	169,6±12,5 a	29,2±0,1 a	150,0±16,2 ab	15338±1 493,6 a	4 484,0±448,1 a
Manioc/stylo 2	64,5 ±7,1 ab	17,7 ±5,7 b	160,7 ±9,8 a	28,1 ±1,5 a	122,5 ±19,2 b	11899 ±1428,0 a	3 334,3 ±303,1 a
Moyenne générale	74,5	20 ,5	159,1	28,6	173,1	15006,8	4 288,8
Test F	0,014	0,021	0,322	0,706	0,014	0,072	0,061

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ±écart types. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

La biomasse de *S. guianensis* produite en année d'installation de la culture a été très variable : entre 4 763,1±1 089 et 3 334,3±303,1kg de biomasse sèche par hectare, respectivement pour les traitements en culture pure et en association avec le manioc (tableau 4). L'installation de *S. guianensis* en culture pure a donné la meilleure production que celle *S. guianensis* en association avec le manioc. Elle est marquée par le meilleur développement de la culture, en culture pure, illustré par la levée des poquets de Stylosanthes, le nombre de ramifications plus élevés ainsi que la production des graines.

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative pour la longueur de la tige principale (LTP) en cm avec p= 0,322, la teneur en matière sèche (M.S) en % avec p= 0,706, la biomasse fraiche (B.F.H) par ha (kg/ha) avec p= 0,072. Aucune différence significative n'a été constatée pour la production de biomasse aérienne sèche (B.S.H) entre les deux variétés de *S. guianensis* (kg/ha) avec p= 0,061.

Cependant, une différence significative a été révélée entre les systèmes testés pour la levée des poquets (P= 0,015). Concernant l'association stylo-manioc, la levée des poquets de semences a été la plus élevée pour la variété CIAT 184 (84,1±4,4 %), alors qu'elle était la plus basse pour l'association du manioc avec la variété 202 CC (64,5 ±7,1%).

Pour le nombre de ramifications (N.R), l'analyse de variance (ANOVA) a montré une différence significative entre les systèmes testés (p= 0,021). La comparaison des moyennes a montré que le système comportant la variété CIAT 184 cultivée en pure présente une moyenne plus élevée de 25,5±3,0 par rapport aux autres systèmes testés. Le système présentant une faible ramification est celui de l'association manioc/stylo 2 avec une moyenne de 17,7±5,7. La variété CIAT 184 présente un port rampant, une ramification plus élevée que la variété 202 CC.

Cependant, la variété CIAT 184 présente une moyenne élevée en culture pure de 4,76 ± 1,08 t/ha pour la production de la biomasse sèche (BSH), tandis que le système comportant l'association manioc/stylo 2 montre une moyenne faible de 4,48±0 ,44 t/ha de biomasse sèche.

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré qu'il y avait une différence significative entre les systèmes testés pour le poids (kg) de graines par ha en kg/ha (p= 0,014). A cet effet, le constat est que le stylo 1 est le meilleur avec une moyenne de 232,5±62,2 kg/ha, le système comportant l'association manioc/stylo 2 venant en dernière position avec une moyenne de 122,5 ±19,2 kg/ha.

3.3.2. Paramètres de croissance et de production pour la culture du manioc

Le tableau 4 montre les paramètres de croissance et de production pour le manioc.

Tableau 4: Paramètres de croissance et de production pour le manioc

	Moyennes et écart-types des variables étudiées pour le manioc									
Systèmes	**L.P**	**N. T**	**N. R**	**L.T**	**D.T**	**P. T**	**P.TU.**	**L.TU**	**R.P. P**	**RDT/ha**
Manioc/stylo 1	91,8±4,2 ab	3,7±0,2 b	2,1±0,2 a	154,3±1,8 a	2,8±0,1 a	0,5±0,1 a	1,3±0,2 b	24,8±1,2 a	407,9± 40,9 b	20396 ±2040,4 b
Manioc/stylo 2	89,1± 1,5 b	4,1±0,1 b	2,6± 0,2 a	159,4±1,7 a	2,6± 0,9 a	0,4± 0,1 a	1,4±0,1 b	26,1± 0,8 a	416,0±23,0 b	20799±1 148,3 b
Manioc seul	97,8±0,4 a	6,6±0,72 a	2,2±0,0 a	177,0±16,6 a	2,9±0,2 a	0,6±0,8 a	3,3±0,5 a	26,7±1,2 a	661,5 ±60,1 a	30827±1821,8 a
Moyenne générale	92,93	4,8	2,3	163,5	2,8	0,5	2,0	25,9	495,1	24007,6
Test F	0,01	0,001	0,093	0,081	0,200	0,068	<0,001	0,108	<0,001	<0,001

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ±écart types des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Quand la récolte des tubercules frais s'effectue à 12 mois, les rendements moyens observés en culture pure du manioc sont nettement plus élevés que ceux obtenus en association avec le *Stylosanthes* (30827±1821,8 kg.ha^{-1} contre 20396±2040,4 kg.ha^{-1}).L'analyse de la variance montre un effet non significatif pour le nombre de ramifications (N.R) avec p= 0,093, pour la longueur de la tubercule (L.T) en cm avec p= 0,081, pour le Poids de la tige (P.T) en kg avec p =0,068 et la longueur des tubercules (L.TU) en cm avec p=0,108.

Toutefois, l'analyse de variance a montré qu'il y avait une différence significative entre les systèmes testés pour la levée des plants (p= 0,013). Pour le manioc en culture pure, les taux de reprise ont été satisfaisants pour le système contenant le manioc seul avec une moyenne de 97,8 ± 0,4 %, alors qu'il était bas pour le système contenant l'association manioc/stylo 2 avec une moyenne de 89,1 ± 1,5 %. De manière générale, ces taux sont proches de la moyenne générale de 92,9 %.

Une différence hautement significative a été observée pour le nombre de tubercules par plante (p = 0,001). Le constat est que le système comportant le manioc cultivé en pure présente une moyenne plus élevée de 6,6±0,72 par rapport aux autres systèmes testés, le système comportant l'association manioc/stylo1 vient en dernier position avec une moyenne de 3,7± 0,2.

La même analyse prénte une différence hautement significative (p < 0,001) pour le poids des tubercules par plante (P. TU) en kg. A cet effet, le constat est que le système de culture comportant le manioc en pure est le meilleur avec une moyenne de 3,3±0,5, le système composé par l'association manioc/stylo 1 venant en dernière position avec une moyenne de 1,3±0,2.

Pour le rendement par parcelle en tubercules (R.P. P) en kg, l'effet est hautement significatif (p < 0,001). Le constat est que le système comportant le manioc seul est le meilleur avec une moyenne de 661,5±60,1 kg, le système formé par l'association manioc/stylo 1 se classe en dernière position avec une moyenne de 407,9± 40,9 kg.

Concernant le rendement par hectare (RDT en kg/ha, l'effet est hautement significatif (p < 0,001). Le système comportant le manioc en culture pure se classe en premier lieu avec une moyenne de 30827±1821,8 kg/ha, l'association manioc/stylo 1 se classe en dernière position avec une moyenne de 20396 ±2040,4 kg.

3.3.3. Détermination du temps de travaux des opérations culturales

La prise en compte des temps de travaux est un élément important pour évaluer les perspectives d'adoption d'une nouvelle technologie, surtout en agriculture manuelle où la disponibilité en force de travail est souvent un facteur limitant à l'adoption de nouvelles techniques de production.

Le temps de travaux nécessaires à la mise en place des différents systèmes de culture est le même pour tous les systèmes. Pour l'entretien des cultures des différents systèmes, le temps utilisé est présenté dans le tableau 5.

Les temps des opérations culturales en homme. Jour par hectare (h.j. ha^{-1}) ont été déterminés selon la formule (3).

$$\text{Opérations culturales (h. j. ha} - 1) = \frac{\text{temps de l'opération en minutes x10.000m2}}{\text{unité de surface x 60 minutes x 8 heures}} \quad (3)$$

Tableau 5: Temps des travaux des opérations nécessaires pour les systèmes testés

Systèmes de cultures	**Opérations culturales (h.j.ha^{-1})**								
	D	**PT**	**S P M**	**S1**	**S2**	**S 3**	**S4**	**S5**	**Total**
stylo 1	5	112	63	0	90	56,25	25	6,3	357,55
stylo 2	5	112	63	0	91,6	59,69	25	6,3	362,59
Manioc/stylo 1	5	112	75	50	86,6	50	25	6,3	409,9
Manioc/stylo 2	5	112	75	50	89,8	51,72	25	6,3	414,82
Manioc seul	5	112	20	50	37,5	25	25	17	291,5

D : Défrichage

PT **:** Préparation du terrain

P M : Semis du Stylo et plantation du manioc

S : Sarclage

Les temps de travaux nécessaires à la mise en place et à l'entretien des systèmes des cultures en association avant la récolte sont légèrement plus élevés par rapport à ceux de la culture pure du manioc.

La culture associée du stylo et du manioc se traduit par une augmentation sensible des besoins en main d'œuvre par rapport à la culture pure du manioc pour la première année de l'installation afin

de mettre en place la couverture permanente. Il faut au moins 120 journées de travail en plus par ha, principalement à cause de la nécessité de réaliser les travaux d'entretien nécessaires au bon développement et la croissance du stylo, étant donné que sa première croissance est relativement lente.

Pour ce dernier système, le temps consacré au sarclage est plus faible qu'en culture pure, mais cela est compensé par le temps nécessaire pour le semis du stylo avant le rabattage. L'application d'une densité de semis plus forte pour le stylo aurait sans doute permis de limiter le nombre de sarclages dans l'association culturale.

3.4. Discussion des résultats

3.4.1. Taux de levée des poquets de semences de stylo et des boutures de manioc plantées

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré qu'il y avait une différence significative entre les systèmes testés pour la levée des poquets (p= 0,015). La levée des poquets de semences a été satisfaisante pour la variété CIAT 184 (84,1±4,4 %), alors qu'il était bas pour l'association du manioc avec la variété 202 CC (64,5 ±7,1%). En effet, La variété CIAT 184 s'adapte mieux dans les conditions des zones tropicales et présente un pouvoir germinatif plus élevé vis-à-vis des autres variétés de *S. guianensis (*Camara *et al.,* 2015).

Pour le manioc, les taux de reprise ont été satisfaisants pour le système contenant le manioc seul, soit une moyenne de 97,8±0,4 %, alors qu'il était bas pour le système contenant l'association Manioc/stylo 2 avec une moyenne de 89,1 ±1,5 %. De manière générale, ces taux sont proches de la moyenne générale de 92,93 %. Ceci est une preuve que le stylo n'est pas une plante envahissante et ne présente pas de compétition importante dès le bas âge comme l'avait souligné les recherches antérieures (Husson *et al.,* 2008 ; Ogunbode *et al.,* 2012 ; Camara *et al.,* 2015). En plus, le stylo a une croissance relativement basse au début de son cycle, ceci ne permet pas l'étouffement des plantes qui lui sont associées (Bulakali *et al.,* 2013).

3.4.2. Le nombre de ramifications

Pour le nombre de ramifications (N.R), l'analyse de la variance (ANOVA) a montré une différence significative entre les systèmes testés, N.R (p= 0,021).

La comparaison des moyennes a montré que le système comportant la variété CIAT 184 cultivée en pure présente une moyenne plus élevée de 25,5±3,0 par rapport aux autres systèmes testés. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la variété CIAT 184 présente un port érigé qui peut devenir prostré si la densité d'implantation est trop faible (T'Mannetje, 1984 ; Akinlade, 2008; Abayomi

et al., 2001 ; Camara *et al.,* 2015). En plus, en absence de coupe, il s'affaisse et de nouvelles ramifications démarrent à partir des tiges au sol (Bulakali *et al.*, 2014). Ceci est plus important en culture pure qu'en association avec la variété du manioc selon les résultats obtenus.

Comparativement aux résultats trouvés au Madagascar (Husson *et al.,* 2008), les conditions du site d'implantation comme les précipitations, le type de sol, la température et l'humidité relative ont favorisé le développement important du système aérien du *S. guianensis* (Tableau 3).

3.4.3. Production de biomasse aérienne totale

Aucune différence significative n'a été constatée pour la production de biomasse aérienne sèche entre les systèmes testés. Cependant, la variété CIAT 184 présente une moyenne élevée en culture pure (4,7631 ± 1,089) t/ha tandis que le système comportant l'association manioc/stylo 2) montre une moyenne faible de 4,484±0 ,448 t/ha.

En effet, la variabilité des rendements en biomasse n'est pas importante entre les systèmes testés et il n'est pas possible de distinguer une des espèces comparées au niveau de ce critère.

Les quantités de biomasse produites sont comparables aux résultats trouvés en zones tropicales (Husson *et al.,* 2008 : Bulakali *et al.,* 2013) où les espèces de *S. guianensis* sont capables de produire sans engrais une forte biomasse sur des sols acides et fortement dégradés (5 à 10 t/ha^{-1} de matière sèche). Ces quantités sont suffisantes pour assurer un couvert favorable du sol afin de mettre en place un SCV (Naudin *et al.,* 2010).

Cependant, la variété CIAT 184 présente une levée importante, une ramification plus élevée et donne un meilleur rendement en graines par rapport à la variété 202 CC. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés au Madagascar (Husson *et al.,* 2008) et dans les conditions du plateau Batéké en RDC (Bulakali *et al.*,2013).

3.4.4. Rendements en graines de stylo

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré qu'il y avait une différence significative entre les systèmes testés pour le poids (kg) de graines par ha en kg/ha (p=0,014). Considérant le poids des graines /ha**,** le constat est que le stylo 1 est le meilleur avec une moyenne de 232,5 ± 62,2 kg /ha, alors que le système comportant l'association manioc/stylo 2 vient en dernière position avec une moyenne de 122,5 ±19,2 kg/ha (Tableau 4).

En effet, la variété le stylo 1 se caractérise par un port érigé et par une plus grande précocité de floraison, elle s'est montrée très performante, sous tous types de sols et de climats, selon des résultats récents obtenus lors de recherches menées par le CIRAD à Madagascar (Bulakali *et al.*,

2014). Elle s'est aussi montrée très résistante à l'anthracnose, une maladie fongique causée par Colletotrichum *gloeosporioides (Penz.) Sacc*. Cette variété a été sélectionnée en Colombie et elle est fortement recommandée en conditions tropicales de basses et moyennes altitudes sur des sols à la fois très pauvres ou acides (Husson *et al.*, 2008 ; Ogunbode *et al.*, 2012 ; Bulakali *et al.*, 2013).

3.4.5. Rendement en racines tubéreuses fraîches de manioc

L'analyse de la variance a montré qu'il y avait une différence significative entre les systèmes testés pour la levée des plants (p= 0,013). Une différence hautement significative a été observée pour le nombre de tubercules par plante (p= 0,001). En plus, il importe de signaler qu'une différence très hautement significative a été observée pour le poids des tubercules par plante (p< 0,001), pour le rendement par parcelle en tubercules (p< 0,001) et pour le rendement par hectare (p< 0,001). Quand la récolte des tubercules frais s'effectuait à 12 mois, les rendements moyens de la variété du manioc observés en culture pure au niveau du site de Mugerero étaient nettement plus élevés que ceux obtenus en cultures associées. Dans l'ensemble, les trois systèmes évalués ont manifesté des résultats prometteurs si nous comparons les caractères agronomiques observés et ceux provenant de recherches antérieures faites par l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) dans la station de Mugerero où les rendements obtenus dans des essais antérieurs variaient entre 20 à 30 t/ha (ISABU, 2010).

Dans les conditions d'expérimentation, la légumineuse de couverture concurrence la culture principale entrainant une diminution de la production, en première année. Le système comportant le manioc en culture pure se classe en premier lieu avec une moyenne de 30827±1821,8 kg/ha, l'association manioc/stylo 1 se classe en dernière position avec une moyenne de 20396 ±2040,4 kg/ha.

Les effets de cette concurrence sont plus marqués chez le manioc du fait de leur appartenance à la même niche écologique racinaire qui induit des similitudes de besoins mais aussi de la colonisation du même espace (compétition racinaire). Cependant, l'association *S. guianensis* –manioc à la première année favorise une meilleure installation du Stylo à travers la mesure des indicateurs de hauteur de la tige principale, le nombre de ramifications et la production de biomasse sèche et graines de la plante. Le ressemis naturels de *S. guianensis*, à la 2ème année, a été meilleur dans cette association manioc-stylo, laissant envisager une production plus importante de semences.

Contrairement à ce qui était observé à Madagascar, la culture associée du manioc et du stylo se traduit par une perte du rendement en manioc, en l'absence de rabattage du stylo lors de la première année de culture. Ceci serait probablement dû à la concurrence plus directe des racines tubéreuses de manioc avec le système radiculaire du *S. guianensis* étant donné que les deux cultures associées s'approvisionnent au même niveau de la strate de la rhizosphère du sol (Bulakali *et al.,* 2013).

Cette concurrence des plantes de couverture vis-à-vis des cultures principales pour l'eau, les éléments nutritifs et l'ensoleillement a été aussi signalée par M'biandoun *et al*. (2006), Naudin et al. (2004) comme étant une des contraintes majeures au développement de systèmes de culture en semis direct dans un couvert permanent (SCV) en zone tropicale.
Pour atténuer cette compétition, la solution pourrait être la réalisation des rabattages du stylo (au moins deux fois), la première année de manière à limiter la concurrence avec le manioc. Une autre alternative serait le décalage plus important du semis du stylo par rapport à la plantation du manioc, étant donné que le cycle végétatif de la variété NGARUKIYE utilisée ne dépasse pas 12 mois.

3.4.6. Temps de travaux des opérations nécessaires pour les systèmes de culture

La culture associée du stylo et du manioc se traduit par une augmentation sensible des besoins en main d'œuvre par rapport à la culture pure du manioc, il faut plus de 120 journées de travail en plus par ha, principalement à cause de la nécessité de réaliser les sarclages nécessaires au bon développement du stylo (Tableau 5). Cette différence s'explique par le fait que les travaux de sarclage du manioc ont été effectués trois fois avant le semis de *S. guianensis.* Le nombre élevé des travaux de désherbages a été dû au fort développement des adventices causés par un niveau élevé de pluviosité au début de la saison des pluies étant donné que durant la période de culture, la pluviométrie enregistrée au niveau de cette zone a été de 1.014,45 mm (IGEBU, 2016)

Etant donné que le démarrage de *S. guianensis* est relativement lent, le désherbage manuel a été très délicat car les espèces adventices se confondaient souvent avec la culture et cela obligeait les travailleurs à effectuer lentement le sarclage. De plus, une plus grande variabilité du temps des travaux a été observée pour les deux systèmes (à base du stylo en culture pure et à base d'association manioc/stylo) du fait que le développement du *S. guianensis* a assuré une couverture du sol et cela conduit à la concurrence des autres plantes adventices .Nous nous permettons ici d'émettre l'hypothèse que l'application d'une densité de semis plus forte pour le stylo aurait sans doute permis de limiter le nombre de sarclages dans l'association culturale et assurer un

étouffement plus rapide des adventices par effet de la compétition. C'est une voie de recherche à envisager.

3.5. Conclusion partielle

L'essai réalisé avait pour but d'évaluer le comportement de deux variétés de *S. guianensis (Aubl.) Sw.* en culture pure et en association avec le manioc (*M. esculenta* Crantz) dans les conditions de la plaine de l'Imbo (Burundi). Dans les conditions du centre de la plaine de l'Imbo, *S. guianensis* présente en première année de culture, en l'absence d'application d'engrais minéral, des performances de production de biomasse proches à celle mentionnées dans la littérature pour les sols des zones tropicales humides (5 à 10 t MS ha^{-1}). Cela permet l'obtention de la couverture permanente nécessaire permettant la mise en place d'un système de culture. En cas de semis du *S. guianensis* quatre semaines après la plantation du manioc juste après la grande saison sèche, sa culture en association avec le manioc n'affecte pas son niveau de production de biomasse. De fait, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les traitements comparés à cause de la très grande variabilité des résultats obtenus. Cependant, les moyennes de la production de biomasse de stylo en culture pure sont supérieures à ceux de la culture associée et permet la mise en place des systèmes de culture en semis direct. Pour cela, la variabilité des rendements en biomasse n'est pas importante entre les systèmes testés et il n'est pas possible de distinguer une des espèces comparées au niveau de ce critère.

CHAPITRE 4. EVALUATION DES PERFORMANCES DE LA CULTURE DU MAÏS EN SEMIS DIRECT SOUS UN COUVERT VEGETAL DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* (AUBLET) SWARTZ DANS LES CONDITIONS DE LA PLAINE DE L'IMBO (BURUNDI).

Résumé

Stylosanthes guianensis (stylo) est une légumineuse à croissance rapide qui présente un grand potentiel pour l'amélioration de la fertilité des sols. Elle améliore la structure du sol, limite ou élimine autant que possible le travail du sol et augmente les rendements des cultures suivantes en décomposant la matière organique accumulée tout en maintenant une couverture végétale protectrice à la surface.

Les résultats obtenus montrent que le système à base de l'association maïs/stylo avec l'application de l'engrais minéral est meilleur avec une moyenne de 3,1±0,09 t/ha de grain, tandis que le système à base de maïs seul vient en dernière position avec une moyenne de 2,4±0,2 t/ha. Tous les traitements à base du stylo ont un rendement supérieur à la moyenne générale qui était de 2,7 t/ha. Le rendement moyen obtenu dans des parcelles adjacentes sans paillis était inférieur à la production moyenne sous paillis. En analysant la rentabilité économique, les systèmes à base de l'association maïs/stylo viennent en tête, suivis des systèmes à base de l'association maïs/stylo avec application d'engrais minéral, le système maïs seul se trouvant en dernière position.

Ces résultats montrent que le *S. guianensis* apporte des éléments nutritifs nécessaires au développement de la culture qui lui est associée en semis direct par la fixation symbiotique de l'azote et la décomposition de la paille. De plus, il permet une amélioration sensible des rendements des cultures subséquentes.

Mots clés : *Stylosanthes guianensis*, Maïs, Semis direct sous couvert végétal, Plaine de l'Imbo.

Abstract

Stylosanthes guianensis (stylo) is a fast-growing legume with great potential for improving soil fertility. It improves soil structure, limits or eliminates tillage as far as possible and increases yields of subsequent crops by decomposing accumulated organic matter while maintaining a protective plant cover on the surface.

The results obtained show that the system based on a maize/stylo combination with the application of mineral fertiliser is the best, with an average of 3.1±0.09 t/ha of grain, while the system based on maize alone comes last with an average ofF 2.4±0.2 t/ha. All the stylo-based treatments had a higher yield than the overall average of 2.7 t/ha. The average yield obtained in adjacent plots without mulch was lower than the average production under mulch. When analysing economic profitability, the maize/stylo-based systems came out on top, followed by the maize/stylo-based systems with the application of mineral fertiliser, with the maize-only system in last place.

These results show that *Stylosanthes guianensis* provides the nutrients required for the development of the crop grown with it under direct seeding through symbiotic nitrogen fixation and straw decomposition. It also significantly improves yields of subsequent crops.

Key words: *Stylosanthes guianensis*, Maize, Direct seeding under plant cover, Imbo plain.

4.1. Introduction

Les systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal ont été introduit en zone tropicale avec un potentiel de restaurer la fertilité des sols, d'augmenter leur productivité et les performances des cultures subséquentes (Naudin *et al.*, 2010). Dans les systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV), le rôle des cultures de couverture est de produire une biomasse destinée à protéger le sol en permanence et d'empêcher le lessivage des éléments nutritifs hors de la portée des racines des plantes cultivées en les remontant en permanence vers l'horizon supérieur du sol (Bulakali *et al.*, 2014 ; Camara *et al.*, 2015). Elles permettent la libération progressive des éléments nutritifs via la décomposition des matières organiques accumulées et permet de maintenir un tapis de végétation protectrice en surface (FAO, 2008 ; Husson *et al.*,2008). Les plantes de couverture ont le potentiel d'améliorer la production agricole tout en limitant la dégradation des milieux cultivés (Erenstein, 2003 ; Husson *et al.*, 2008).Bien que l'utilisation de cultures de couverture à décomposition lente soit recommandée dans les systèmes de culture en semis direct, l'accent est mis sur les légumineuses à croissance rapide en raison de leur augmentation potentielle de la fertilité grâce à la fixation de l'azote (Mvondo, 1997; Abayomi *et al.*, 2001; Camara *et al.*, 2015). Le paillis des cultures de couverture est stratégiquement situé à l'interface sol-atmosphère et agit à la fois comme protecteur du sol et comme amendement du sol (Camara *et al.*, 2015). Le paillis des cultures de couverture protège le sol contre l'érosion, réduit le ruissellement, augmente l'infiltration de l'eau du sol et maintien des conditions favorables à l'activité biologique (Naudin *et al.*, 2010 ; Scopel *et al.*,2004). La décomposition et la minéralisation du paillis assurent une libération régulière de nutriments utilisables par les plantes cultivées (Séguy, 2001). Il assure ainsi la conservation des sols, l'amélioration de la structure du sol et l'augmentation des rendements des cultures subséquentes (Erenstein, 2003). Dans l'ensemble, l'utilisation du paillage de cultures de couverture peut générer des rendements importants pour les cultures suivantes si elle peut être maintenue à un niveau satisfaisant (Abayomi *et al.*, 2001 ; Bolliger *et al.*, 2006).

Dans ces systèmes, les plantes de couverture comme *S. guianensis* ne sont établies que la première année et l'année suivante, des cultures d'intérêt comme le maïs sont semées directement dans le couvert végétal. Cette pratique constitue une des trois composantes majeures de l'agriculture de conservation dont les principes fondamentaux sont essentiellement : i) le maintien de la couverture permanente du sol, ii) la mise en place des associations et les rotations culturales optimaleset iii) la limitation au maximum du travail du sol et si possible le supprimer (FAO 2008).

Cependant, en l'absence de toute évaluation, les mêmes recommandations d'engrais pour les systèmes conventionnels seraient appliquées par défaut à ces systèmes de cultures en sous couvert

végétal (M'biandoun *et al.*, 2010). Les niveaux de rétention du paillis sont déterminés par la production de biomasse végétative et sa perte subséquente (Erenstein, 2003). La quantité minimale de paillis recommandée pour un semis direct sous couvert végétal efficace dans le nord du Cameroun par exemple est de 7,5 t/ha (M'biandoun *et al.*, 2010). Dans les systèmes des cultures sous couvert végétal, l'influence de la culture précédente comprend les effets résiduels des engrais et ceux résultant de la présence de paillis (Naudin *et al.*, 2010).

Selon les travaux de recherche réalisés à Madagascar et au Cameroun, l'association Maïs–*S.guianensis* comme plante de couverture en SCV est particulièrement intéressante dans une rotation puisqu'elle demande un travail réduit et peut se conduire même sans engrais minéral (Husson *et al.*, 2008; Mvondo *et al.*, 2012).

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des cultures les plus pratiquées dans la plaine de l'Imbo où elle intervient souvent en rotation dans les différents systèmes de cultures pratiqués généralement sans jachère et sans apport de fumure. Dans la majorité des cas, le maïs est préféré par des agriculteurs car il arrive à maturité au bout de quatre ou cinq mois et constitue un aliment de base pendant la période de soudure. Il est largement cultivé comme céréale pour ses grains riches en amidon et aussi considéré comme deuxième céréale après le riz en termes de volume de production et de superficie occupée (MINAGRIE, 2010 ; PNIA, 2011)

L'objectif de cette étude était d'évaluer les performances de la culture du maïs en semis direct dans un couvert végétal de *S. guianensis* en rotation avec le manioc, ainsi que l'évaluation du paillis produit par *S. guianensis*.

Pour notre travail, nous nous sommes fixés deux objectifs spécifiques qui sont les suivants :

- Etudier les performances de la variété de maïs ECAVEL1 en semis sous un couvert végétal permanent de *S. guianensis* ;
- Evaluer la rentabilité économique de la culture du maïs dans l'agriculture de conservation par rapport à l'agriculture conventionnelle.

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Caractéristiques climatiques durant cette expérimentation

Le tableau 6 montre la moyenne des données climatiques au cours de l'expérimentation. Il s'agit des précipitations mensuelles, des températures maximales et minimales et des humidités maximale et minimale des mois allant d'octobre 2016 à mars 2017, période correspondante à la durée de l'installation de la culture du maïs.

Tableau 6: Moyenne des données climatiques au cours de l'expérimentation (2016 à 2017)

Années	Mois	Précipitations mensuelles (mm)	Température maximale mensuelle (°C)	Température minimale mensuelle (°C)	H.R maximale mensuelle (%)	H.R minimale mensuelle (%)
2016	Octobre	90,2	34,0	17,6	100	49
2016	Novembre	77,1	32,8	15,4	100	52
2016	Décembre	165,6	32,7	17,5	100	55
2017	Janvier	205,6	32,0	17,2	99	55
2017	Février	86,0	34,1	17,5	100	55
2017	Mars	163,1	32,5	17,0	100	48

Source : Station météo de l'Aéroport Internationale Melchior Ndadaye de Bujumbura (IGEBU, 2018)

D'après ces données, on constate que les conditions climatiques sont propices au développement de la culture du maïs durant cette période avec comme exigences de température optimale pour la croissance 21 - 25 ^{o}C et les besoins en eau pour le cycle cultural de 550 mm - 650 mm (ISABU, 2012).

4.2.2. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal utilisé était composé de :

1. Une variété locale de maïs fournie par l'ISABU et ayant comme caractéristiques :

- Espèce : *Zea mays*
- Variété : ECAVEL1
- Centre d'origine : CIMMYT Kenya
- Année de diffusion : 2006
- Cycle cultural : 113 jours
- Rendement : 2 à 3 T/ha
- Zones de culture : 800-1200 m

Cette variété est résistante à la maladie des bandes (ISABU, 2012).

2. Deux variétés de *Stylosanthes guianensis*: stylo 1, la variété CIAT 184 sélectionnée en Colombie et stylo 2, la variété 202 cc sélectionnée en Australie.

4.2.3. Semis de la variété du maïs

Lors de la préparation du terrain deux principales activités ont été menées:(i) Recépage du stylosanthes sur le terrain d'expérimentation et (ii) labour des parcelles destinées à la culture pure du maïs (1 parcelle par bloc).

Le semis du maïs a commencé 40 jours après le recépage et étalage du *S. guianensis*. Ce semis du maïs a été effectué dans toutes les parcelles prévues suivant les écartements de 75 cm x 50 cm recommandés par l'ISABU (ISABU, 2015). La figure 12 montre les systèmes culturaux en rotation avec le maïs.



Figure 12: Association maïs /stylo (i. Semi direct de la culture du maïs, j. Association maïs /stylo ;Photo prise novembre 2016)

4.2.4. Application des engrais et entretiens culturaux

La fumure minérale utilisée correspondait aux recommandations de l'ISABU pour la zone d'étude. Le but de l'application des engrais minéraux était d'évaluer leurs effets résiduels dans la fertilisation des sols étant donné que la plupart des agriculteurs utilisent les engrais minéraux pour fertiliser leurs champs. Elle était basée sur la formule de NPK (40-60-30) qui équivaut à 130 kg de DAP/ha, 50 kg de KCl/ha, 37 kg d'urée/ha (ISABU, 2012). L'application de la dose d'engrais

a tenu compte de la nécessité de compenser les pertes liées aux exportations d'éléments nutritifs et la plupart de la population utilise les engrais minéraux pour fertiliser leurs sols.

Le choix d'appliquer la dose habituelle de la formule standard se justifie par le fait que durant cette période du semis du maïs, les résultats des analyses du sol n'étaient pas encore disponibles pour pouvoir comparer une dose d'engrais correspondant aux exportations des récoltes et aux caractéristiques du sol. L'ajout de la fumure minérale N à la légumineuse se fonde sur l'hypothèse relative à l'influence des légumineuses sur l'utilisation de l'azote des différentes sources du sol et engrais (Mvondo *et al.,* 2012).

La dose d'engrais a été ajoutée à la variété CIAT 184(stylo 1) car selon les tests d'adaptabilité réalisés vers les années 1980 dans la plaine de l'Imbo et Mosso, cette variété s'est montrée très résistante à la souche d'anthracnose qui a décimé toutes les variétés de *S. guianensis* (Vancoppenolle *et al.,* 1984 ; Mbonihankuye *et al.,* 2020). En plus, la variété 202 cc (stylo2) était nouvellement introduite au Burundi et a été sélectionnée en Australie.

Sur base des résultats de la recherche menée par ISABU en 2012 sur la culture du maïs dans le site de Mugerero, nous avons appliqué le mélange de DAP+ KCl pendant le semis. La moitié de l'urée a été appliquée après la deuxième semaine, le reste ayant été appliqué après la troisième semaine.

Pour favoriser une bonne croissance des plantes, des soins culturaux sont nécessaires. Des pratiques culturales comme le sarclage, l'élimination des hors-types et la lutte contre les ennemis de la plante ont été effectuées. Après le semis, deux sarclages ont été réalisées à la houe dans les unités expérimentales où était la culture pure de maïs, et à la main dans les parcelles contenant les systèmes à base du *S. guianensis* et ces 15 jours après le semis. Une surveillance permanente des parcelles a été effectuée durant un mois et demi avant la récolte pour limiter les dégâts occasionnés par les oiseaux. Signalons qu'aucun produit phytosanitaire n'a été appliqué.

La figure 13 montre les systèmes culturaux à base du maïs.



Figure 13: Systèmes culturaux à base du maïs (k. Association mais/Stylo, l. culture pure du maïs /stylo ; Photos prises en Janvier 2017)

4.2.5. Récolte et détermination des paramètres pour l'association maïs et *S. guianensis*

La récolte et la pesée du maïs produit par parcelle, avec mesure des paramètres de son rendement ont été réalisées du 25 au 29 Février 2017, soit 113 jours après le semis selon la figure 14.



Figure 14: Maturation des systèmes culturaux à base du maïs (m. Maïs/stylo : prêt pour la récolte, n. Récolte du maïs ; Photos prises en Février 2017)

La figure 15 montre la détermination des différents paramètres pour le maïs en rotation



Figure 15: Détermination des différents paramètres pour le maïs en rotation (o. Levée des données de différents paramètres, p. Champs après récolte ; Photos prises en Février 2017)

Les paramètres évalués pour la culture du maïs en culture pure et en semis direct dans un couvert végétal de *S. guianensis* sont repris dans le tableau 2. La figure 16 montre la mise en jachère du terrain après la récolte du maïs.

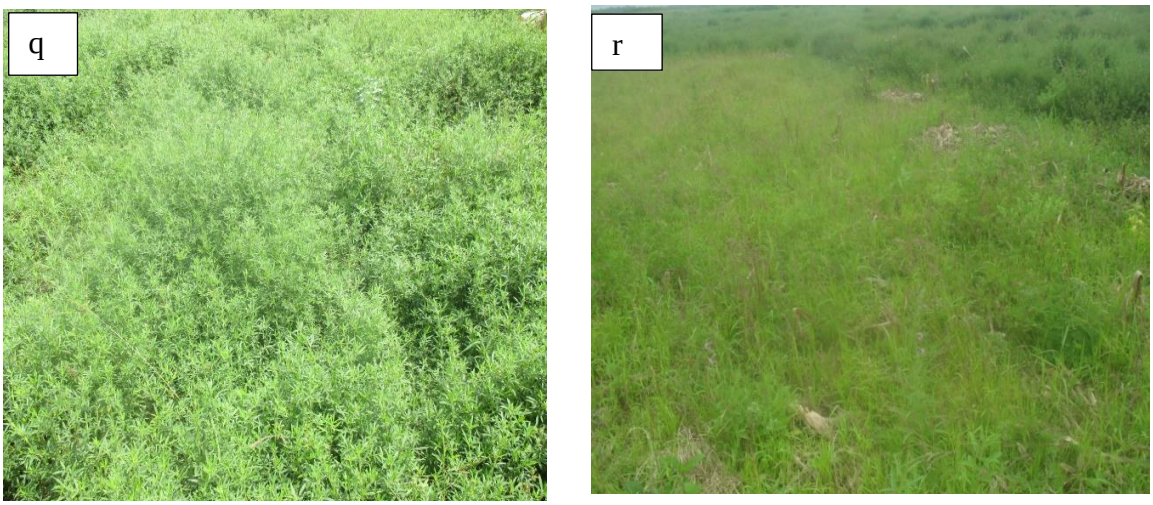


Figure 16: Mise en jachère du terrain après la récolte du maïs (q. Jachère améliorée du Stylo après la récolté du maïs, r. Jachère non améliorée après la récolté du maïs ; Photos prises en Mai 2017)

4.2.5. Calcul de la rentabilité économique

Une opération est dite rentable lorsque le rapport de la valeur de la production sur le coût de la production (V/C) est supérieur ou égal 2 (FAO, 1993 ; Gahungu, 2012). Les deux termes caractérisant le rapport sont :

V= Valeur de la production physique multiplié par le prix d'une unité de production ;

C= La somme des dépenses relatives à toutes les opérations liées à la production.

Pour cela, les coûts de production calculés à base de toutes les activités effectuées et les dépenses y relatives ont été ramenés à une superficie d'un hectare. Les prix des produits utilisés se réfèrent au prix du marché local à la période du mois de novembre 2016 jusqu'au mars 2017.

La formule (4) de la rentabilité est :

$$\mathrm{R.E} = \frac{\text{Résultat de l'exploitation} - \text{Impôts sur bénéfice} * \text{prix unitaire}}{\text{Capitaux propres} + \text{Dettes financières}} \quad (4)$$

Où R. E= Rentabilité économique

$$\mathrm{V/C} = \frac{\text{Volume de production} * \text{prix unitaire}}{\text{somme des dépenses relatives à la production}} \quad (5)$$

4.3. Présentation des résultats

4.3.1. Paramètres de croissance et de production pour la culture du maïs en culture pure et en association avec *Stylosanthes guianensis*

Les résultats montrant les paramètres de croissance et de production pour la culture du maïs en culture pure et en association avec *S.guianensis* sont repris dans le tableau 7 a et 7.b

	Paramètres de croissance et de production					
SYSTEMES	L.P	H. T	D	P. T	N. P	N. E
Maïs/stylo 1	90,2±4,6 a	227,5±8,0 a	1,9±0,1 a	307,1±33,3 a	489,8±28,7 a	1,1±0,01 a
Maïs/stylo 2	84,2±5,5 a	231,6±10,9 a	1,8±0,4 a	296,9 ±7,3 a	483,8±14,0 a	1,1±0,03 a
Maïs/stylo 1+E	83,3±3,4 a	241,2 ±8,3 a	1,9±0,3 a	314,9 ±10,4 a	523,0±52,7 a	1,1±0,05 a
Maïs seul	87,9 ±10,0 a	225,0±9,0 a	1,9±1,9 a	263,1 ±56,6 a	534,0 ±66,9 a	1,0±0,04 a
Maïs/stylo 1*	90,3±5,2 a	225,5±11,5 a	1,9±0,1 a	307,1±39,3 a	489,25±33,5 a	1,08±0,02 a
Maïs/stylo 2*	84,1±6,3 a	231,6±2,6 a	1,8±0,4 a	297,15±8,2 a	484±16,1 a	1,09±0,03 a
M.G	86,69	230,42	1,92	297,70	500,62	1,09
TEST F	0,52	0,28	0,98	0,21	0,26	0,28
C.V (%)	7,8	4,8	15,1	12,6	9,6	4,1

Tableau 7a : Paramètres de croissance et de production pour le maïs en culture pure et en association avec stylo

Maïs/stylo 1+E: Avec l'ajout de l'engrais (NPK)

Maïs/stylo 1* et Maïs/stylo 2*: Semis direct du maïs dans les jachères améliorés stylo en 1ère année de culture

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ±écart types des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Tableau 7.b. Paramètres de croissance et de production pour le maïs en culture pure et en association avec Stylo

	Paramètres de croissance et de production					
SYSTEMES	**P. E**	**N. R**	**P.M. G**	**T. E**	**P.T.E. R**	**R.D. T**
Maïs/stylo 1	195,7 ±8,5 a	13,5±0,2 a	252,0±1,6 b	478,0±29,4 a	86,6±10,9 b	2,9±0,2 b
Maïs/stylo 2	234,2±18,1 a	13,3±0,7 a	251,3 ±1,3 b	480,2 ±7,1 a	92,2±12,4 ab	2,8±0,2 b
Maïs/stylo 1+E	219,5±20,1 a	14,1±0,1 a	269,3±0,6 a	509,2 ±55,8 a	107,2±2,2 a	3,1±0,0 a
Maïs seul	191,3±43,9 a	13,5±0,4 a	247,3 ±0,5 c	520,2±67,3 a	59,8±7,2 c	2,4±0,2 c
Maïs/stylo 1*	195,9±10,2 a	13,7±0,6 a	252,4±1,4 b	478,5±34,3 a	87,3±12,7 b	2,7±0,2 b
Maïs/stylo 2*	218,2±20,9 a	13,2±0,8 a	251,2±1,5 b	480,5±8,0 a	89,5±14,6 b	2,7±0,2 b
M.G	211,8	13,5	253,9	491,12	87,6	2,7
TEST F	0,21	0,22	<0,001	0,38	<0,001	<0,001
C.V (%)	14,5	4,1	3,4	9,7	23,0	12,5

Maïs/stylo 1+E : Avec l'ajout de l'engrais (NPK)

Maïs/stylo 1*: Couverture permanente du terrain par le stylo 1 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 1-maïs/stylo 1- maïs/stylo 1),

Maïs/stylo 2*: Couverture permanente du terrain par le stylo 2 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 2-maïs/stylo 2- maïs/stylo 2),

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ±écart types des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

A partir du tableau 8, l'analyse de la variance montre un effet non significatif pour poids de l'épi (P.E) en g avec p= 0, 21, le nombre de rangées par épis (N.R) avec p= 0,22 et le nombre total d'épis récoltés par parcelle avec p =.0, 38.

Toutefois, l'analyse de variance a montré qu'il y avait une différence très hautement significative entre les systèmes testés pour le poids de 1000 graines (P.M. G) en g avec p< 0,001. La comparaison des moyennes a montré que le système à base de l'association maïs/stylo avec application de l'engrais minéral a été le meilleur avec des valeurs supérieures à la moyenne générale de 269,3±0,6g. En plus les systèmes de rotation avec association de maïs/stylo viennent en deuxième lieu avec des valeurs qui sont supérieures à la moyenne générale soit de 253, 95g.Le système à base de maïs en culture pure sans association avec stylo présente la valeur de la moyenne la plus faible de 247,3 ±0,5 g qui est inférieur à la moyenne générale.

Les résultats montrent aussi un effet hautement significatif pour le poids total d'épis récoltés par parcelle (P.T.E.R) avec p< 0,001, le système à base de l'association maïs/stylo avec l'application de l'engrais minéral se montre meilleure avec une moyenne de 107,2±2,2 kg, tandis que le système à base de maïs seul vient en dernière position avec une moyenne de 59,8 ±7,2 kg.

Tous les autres systèmes de rotation à base de l'association maïs/stylo ont montré une moyenne de 92,56 ±2,1 kg qui est supérieure à la moyenne générale de 87,64 kg d'épis par parcelle.

Considérant le rendement total en grain par ha (R.D. T), l'effet est très hautement significatif avec p< 0,001. Le constat est que le système à base de l'association maïs/stylo avec l'application de l'engrais minéral est meilleur avec une moyenne de 3,1±0,09 t/ha. De l'autre côté, le système à base de maïs seul vient en dernière position avec une moyenne de 2,4±0,2 t/ha. Tous les traitements en rotation à base du stylo occupent une position intermédiaire entre les deux traitements précités. Ils affichent des rendements supérieurs à la moyenne soit 2,7 t/ha.

4.3.2. Paramètres de croissance et de production de biomasse pour les systèmes de cultures à base de *Stylosanthes guianensis* en rotation

Les résultats montrant les paramètres de croissance et de production de biomasse pour les deux variétés de *S. guianensis* en rotation sont repris dans les tableaux 8a.et 8b. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Tableau 8:a: Paramètres de croissance et de production pour le *S. guianensis* en rotation

Systèmes	**Paramètres de croissance et de production**			
	N. R	**L.T. P**	**M.S**	**P. G**
Maïs/stylo 1	23,85±2,87 a	182,1±23,4 a	30,39±0,31a	293,43±13,43 ab
Maïs/stylo 2	24,05±3,19 a	192,7±34,1a	30,84±0,14 a	265,93±15,10 c
Maïs/stylo +E	22,61±1,48 a	211,18±15,06 a	31,22±0,52 a	294,6±21,8 ab
Maïs/stylo 1*	24,18±2,80 a	187,9±27,9 a	30,78±0,42 a	296,03±13,01 a
Maïs/stylo 2*	24,46±2,81 a	193,8±27,9 a	30,64±0,36 a	269,03±19,97 bc
Moyenne générale	23,69	195,34	30,84	288,95
Ecart Type	0,72	10,70	0,31	18,40
Test F	0,81	0,42	0,08	0,003

Maïs/stylo 1+E : Avec l'ajout de l'engrais (NPK)

Maïs/stylo 1*: Couverture permanente du terrain par le stylo 1 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 1-maïs/stylo 1- maïs/stylo 1),

Maïs/stylo 2*: Couverture permanente du terrain par le stylo 2 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 2-maïs/stylo 2- maïs/stylo 2),

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ±écart types des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

Tableau 8.b: Paramètres de croissance et de production pour le *S. guianensis* en rotation (suite)

Systèmes	**Paramètres de croissance et de production**			
	B.F.H	**B.S .H**	**B.R. F**	**B.R. S**
Maïs/stylo 1	28735±1208 ab	8731±350 bc	22902±4031 a	3337±117,2 a
Maïs/stylo 2	26240±1720 c	8091±538 c	22856±4013 a	3168±251 a
Maïs/stylo 1+E	28047±1861 a	8750±464 b	19616±1420 a	3145±203 a
Maïs/stylo 1*	28720±1247 ab	8837±358 a	21939±3018 a	3249±220 a
Maïs/stylo 2*	26331±1721 c	8068±529 c	22809±4007 a	3196±341 a
Moyenne générale	28140,50	8677,50	22511,67	3270,67
Ecart Type	1702,85	561,79	1732,51	143,88
Test F	0,002	0,45	0,58	0,23

Maïs/stylo 1+E : Avec l'ajout de l'engrais (NPK)

Maïs/stylo 1*: Couverture permanente du terrain par le stylo 1 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 1-maïs/stylo 1- maïs/stylo 1),

Maïs/stylo 2*: Couverture permanente du terrain par le stylo 2 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année (stylo 2-maïs/stylo 2- maïs/stylo 2),

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ±écart types des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

La biomasse de *S. guianensis* produite en deuxième année de rotation varie entre 3337±117,2 et 3145±203 kg de biomasse sèche par hectare, pour les traitements en association avec le maïs (tableau 8.b).

L'analyse de variance (ANOVA) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative pour la longueur de la tige principale (LTP) en cm avec p= 0,423, nombre de ramifications (NR) avec p=0, 817, matière sèche (M.S**)** en (%) avec p= 0,088. Aucune différence significative n'a été constatée pour la production de la biomasse racinaire fraiche (B.R.F) par ha (kg/ha) avec p= 0,585 et la biomasse racinaire sèche (BRS) par ha (kg/ha) avec p= 0,23 entre les deux variétés de *S. guianensis*.

Les résultats montrent une différence hautement significative entre les systèmes testés pour le poids des graines (PG) en kg/ha avec p= 0,003

Les systèmes en rotation comportant l'association maïs/stylo 1 que ça soit le mode d'installation du stylo 1 en première année de culture ou avec l'ajout de l'engrais minéral, donnent de meilleurs résultats avec une moyenne de 296,03±13,01 kg/ha par rapport aux systèmes comportant l'association maïs/stylo2 avec une moyenne de 265,93±15,10 kg/ha des graines. Tous les systèmes en rotation comportant l'association maïs/stylo présentent une moyenne oscillant autour de la moyenne générale qui est de 288,95±18,40 kg/ha (Tableau 8.a).

Les résultats montrent aussi une différence significative entre les systèmes testés pour la biomasse sèche par ha (B.F.H) en kg/ha avec p= 0,002. Le constat est que le système comportant l'association du Maïs/stylo 1 +Engrais est le meilleur avec une moyenne de 28047±1861 kg /ha, alors que le système comportant l'association maïs/stylo 2 avec l'installation du stylo 2 en culture pure la première année vient en dernier lieu avec une moyenne de 26331±1721 kg/ha.

Tous les systèmes en rotation comportant l'association maïs/stylo présentent une moyenne proche de la moyenne générale. La moyenne générale pour la production de la biomasse fraiche étant de 28 140,50 ±1702,85 kg/ha.

Considérant la biomasse sèche par ha (B.S.H)**,** le système en rotation comportant l'association du Maïs/stylo1 +Engrais est le meilleur avec une moyenne de 8750±464 kg /ha, alors que le système en rotation comportant l'association maïs/stylo 2 avec l'installation du stylo 2 en culture pure la première année vient en dernier lieu avec une moyenne de 8068±529 kg/ha. La moyenne générale pour la production de la biomasse étant de 8677,50 kg/ha (Tableau 8.b).

4.3.3. Rentabilité économique de systèmes de culture en rotation de culture du maïs en semis direct dans un couvert de *S. guianensis*

Le tableau 9 montre le coût des travaux réalisés lors de la mise en place des systèmes de culture en rotation de culture du maïs en semis direct dans un couvert de *S. guianensis*

Tableau 9: Coût de production et recettes tirées des systèmes de culture en rotation de culture du maïs en semis direct dans un couvert de *S. guianensis*

Systèmes	Coût des travaux effectués	Coût des semences (FBu)	Coûts liés aux achats des engrais	Coût lié à la récolte et transport (FBu)	Coût Total (FBu)	RDT (T/ha)	PU/kg de maïs (FBu)	Valeur totale de la production (FBu)	R. E
Maïs/stylo 1 (T1)	400000	25000	0	214500	639500	2,9	800	2320000	3,64
Maïs/stylo 2 (T2)	400000	25000	0	197000	622000	2,7	800	2160000	3,47
Maïs/stylo 1+E (T3)	400000	25000	342200	231500	992000	3,1	800	2480000	2,5
Maïs seul (T4)	550000	25000	0	192 000	774 194	2,4	800	1920000	2,48
Maïs/stylo 1*(T5)	400000	25000	0	215000	640000	2,77	800	2216000	3,46
Maïs/stylo 2*(T6)	400000	25000	0	199000	624000	2,78	800	2224000	3,56

R.E: Rentabilité économique

Maïs/stylo 1+E : Avec l'ajout de l'engrais (NPK)

Maïs/stylo 1* et Maïs/stylo 2*: Semis direct du maïs dans les jachères améliorés Stylo en 1ère année de culture

Selon FAO (2008), l'analyse de la rentabilité économique est nécessaire pour tester l'adoption d'une nouvelle technologie. Le temps des travaux des opérations nécessaires pour le développement des systèmes de cultures en rotation à base d'association maïs/ stylo montre une rentabilité économique élevée avec une moyenne de valeur/ coût de 3,5 par rapport au système composé de maïs en culture pure (valeur/ coût de 2,48). Néanmoins, pour les systèmes à base de stylo sans engrais, la rentabilité économique est très élevée (3,53) et on enregistre un rendement moyen élevé de 2,79 t/ha par rapport au système avec l'ajout de l'engrais avec une valeur de la rentabilité économique de valeur/ coût égale à 2,5. Le coût de production augmente du fait que les engrais minéraux coûtent cher avec la valeur de 342200 FBU supplémentaire par rapport au système composé de l'association maïs/stylo seul.

4.4. Discussion des résultats

4.4.1. Poids de mille graines (PMG)

Pour le poids de 1000 graines (P.M.G), la comparaison des moyennes a montré que le système à base de l'association maïs/stylo avec ou sans application de l'engrais minéral a été le meilleur avec des valeurs supérieures à la moyenne générale de 254,9 g (Tableau 9). Le système à base de maïs seul présente une basse moyenne de 247,3 g qui est proche des valeurs avancées par la recherche. En effet, selon ISABU (2012), le poids de mille grains de la variété de maïs ECAVEL1 est compris entre 250 et 300 g. Cela montre que les traitements à base de l'association maïs/stylo montrent des effets significatifs grâce à l'influence de des nutriments ajouté par le *S. guianensis* (Husson *et al.,* 2008, Mvondo *et al*., 2012). Ceci pourrait être justifié par le fait que dans les systèmes des cultures sous couvert végétal à base de légumineuse, l'influence de la culture suivante bénéficie des effets de l'azote fixée par la légumineuse et ceux résultant de la présence de paillis (Naudin *et al.,* 2010). Ce système de rotation a été rapporté par Husson *et al.* (2008) avec les cultures de riz et de maïs au Brésil et à Madagascar qui bénéficient de cet antécédent cultural en apports d'azote et d'autres éléments nutritifs. Cela pourrait expliquer l'augmentation du poids de mille grains pour ces traitements à base de *S. guianensis.* De fait, le traitement à base de stylo avec ajout d'engrais (T3) présente une moyenne élevée qui pourrait être expliquée par l'effet résiduel des engrais ajoutés à la culture précédente (Mvondo *et al.*, 2012).

4.4.2. Poids total d'épis récoltés par parcelle (PTER)

Même pour le poids total d'épis récoltés par parcelle (P.T.E.R), le système à base de l'association maïs/stylo1 avec l'application de l'engrais minéral se classe le premier avec une moyenne de 107,2

± 2,2 kg, tandis que le système à base de maïs seul vient en dernière position avec une moyenne de 59,8 ±7,2 kg.

Les traitements à base de stylo ont une moyenne de 92,56 kg qui est supérieure à la moyenne générale de 87,64 kg d'épis par parcelle. Ceci pourrait s'expliquer par le pouvoir améliorateur de la fertilité du sol par *S. guianensis* qui a pour effet l'augmentation du poids d'épis par pied (Georges et Badiori, 2001, Mvondo *et al.,* 2012). Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Mvondo *et al.* (2012) au Caméroun où on observe l'effet du paillis de la plante de *S. guianensis* sur l'augmentation du nombre des épis du maïs récolté.

4.4.3. Effet résiduel de *S. guianensis* sur la production de maïs

Considérant le rendement total par ha (R.D.T), le constat est que le système à base de l'association maïs/stylo1 avec l'application de l'engrais minéral est meilleur avec une moyenne de 3,1±0,09 t/ha. De l'autre côté, le système à base de maïs seul vient en dernière position avec une moyenne de 2,4 ±0,2 t/ha. Tous les traitements à base du stylo qui occupent une position intermédiaire entre les deux traitements précités affichent des rendements supérieurs à la moyenne générale de soit 2,7 t/ha. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par l'ISABU (2012) avec l'application de la formule recommandée qui est la combinaison de 15 à 20 t/ha de fumier de ferme et des engrais minéraux dont la formule est 40-60-30 NPK, soit un mélange à l'hectare de 37kg d'urée +130kg de DAP +50kg de KCl.Cela montre que l'utilisation du *S. guianensis* peut remplacer valablement la fertilisation organique prévus par l'ISABU pour le maïs. Et cela serait possible parce que le maïs valorise bien les fertilisations organiques étant donné que sa période de végétation correspond à la période de minéralisation (si l'eau n'est pas limitante) (ISABU, 2012). L'ajout de l'engrais minéral à l'association maïs/Stylo augmente le rendement (Mvondo *et al.,* 2012).

Le rendement obtenu dans des parcelles adjacentes sans paillis était en moyenne inférieur à la production moyenne sous paillis. Le rendement plus élevé de maïs sous résidus de légumineuses par rapport à leur absence confirme l'effet résiduel significatif de *S. guianensis* **(**Mvondo *et al.,* 2012). Des rendements céréaliers plus élevés ont été trouvés dans les parcelles précédées de *S. guianensis* au Nigéria et au Cameroun (Abayomi *et al.,* 2001 ; Chandra, 2009).

L'effet de *S. guianensis* sur la production ultérieure de maïs peut être attribué aux effets résiduels importants dû aux nutriments libérés par la décomposition et la minéralisation de son paillis. Le paillage du stylo augmente la valeur nutritive et la quantité des résidus de culture suivantes ainsi que la fertilité du sol plus rapidement qu'une jachère naturelle (Mohamed-Saleem, 1985, Mvondo *et al.,* 2012).

Cela peut aussi être justifié par l'avantage du système racinaire du *S. guianensis* de recycler en surface du sol les éléments nutritifs qui influencent les principaux processus de croissance et de rendement des plantes en association (Husson *et al.,* 2008). Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Mvondo et al. (2013) au Cameroun avec l'évaluation de la couverture de *S. guianensis* sur les performances de la culture subséquente du maïs.

4.4.4. Evolution et persistance du paillis

Considérant la biomasse sèche par ha (B.S.H)**,** le constat est que le système comportant l'association du maïs /stylo 1 +Engrais est le meilleur avec une moyenne de 8750±464 kg /ha, alors que le système comportant l'association maïs/stylo 2 avec l'installation du stylo 2 en culture pure la première année vient en dernier lieu avec une moyenne de 8068±529 kg/ha. La moyenne générale pour la production de la biomasse étant de 8677,50 kg/ha (Tableau 11). Cela montre que les espèces de *S. guianensis* sont capables de produire sans engrais une forte biomasse sur des sols acides et fortement dégradés (5 à 10 t. ha^{-1} de matière sèche), et jusqu'à 20 t. ha^{-1} sur sol riche (Husson *et al.,* 2008).

Il est à noter qu'une fois que *S .guianensis* s'est installé dans une parcelle, son couvert peut se reconstituer facilement par ressemis naturel des graines produites avant le recépage des tiges au ras du sol à la fin de la grande saison sèche, ce qui permet la mise en place du couvert végétal permanent recherché (Mvondo *et al.,* 2013). La principale condition à respecter en zone tropicale est de savoir si la plante de couverture peut produire rapidement le paillis nécessaire pour couvrir le sol pendant la saison de croissance et donner le paillis nécessaire pour couvrir le sol pendant la saison sèche (Abayomi *et al.,* 2001; Chandra, 2009).

Or, la quantité de paillis produite durant la première phase d'installation de la plante de couverture représente le niveau minimum de paillis exigée par Housson *et al.* (2008) à Madagascar et au Cameroun (M'biandoun, 2007). Ainsi, le paillis produit persiste de manière satisfaisante pendant une seule saison de croissance, ce qui permet la mise en place d'un système de culture sous couvert de *S. guianensis* comme culture de couverture si le besoin d'une couverture permanente du sol doit être respecté (Chandra, 2009 ; Mvondo *et al.,* 2013). Selon les études menées au Cameroun par Mvondo *et al.* (2012), l'évolution du mélange de la biomasse de maïs et du paillis de l'espèce *S. guianensis* peut mieux s'étaler dans le temps et dupliquer les effets bénéfiques du paillage des plantes subséquentes.

4.4.5. La rentabilité économique des systèmes testés

Le temps des travaux des opérations nécessaires pour le développement des systèmes de cultures à base d'association maïs/stylo a été diminué par rapport aux systèmes à base de maïs seul (Tableau 12). Pour les systèmes à base de stylo sans engrais, la rentabilité économique est très élevée du fait qu'on enregistre un rendement élevé sur base du pouvoir améliorateur du stylo sans toutefois ajouter de l'engrais (Mohamed-Saleem, 1985 ; Mvondo *et al.*,2012). Ces systèmes donnent des résultats prometteurs si on compare les caractères agronomiques observés et ceux obtenus lors des recherches antérieures réalisées par l'Institut des Sciences Agronomiques du Burundi (ISABU) dans la plaine de l'Imbo surtout dans la station de Mugerero. Les rendements du maïs pour la variété ECAVEL1 s'évaluaient entre 2 à 3t/ha (ISABU, 2012). Le système à base de maïs seul même s'il a donné un rendement de 2t/ha proche à la moyenne de l'ISABU a nécessité beaucoup de travaux d'entretien comme le labour et le sarclage alors que les systèmes à base d'association maïs/stylo n'ont pas subi tous ces travaux, d'où leur avantage concernant la rentabilité économique.

Cette différence s'explique par le fait que les systèmes des cultures sous couvert végétal (SCV) à base de stylo ne demandant pratiquement pas d'investissement en engrais ou en herbicides, présentent des avantages économiques pour les petits agriculteurs. Ils permettent généralement la réduction du temps des travaux dès la première année par suppression du labour et réduction du temps alloué au désherbage (Husson *et al*. ,2008). Ce gain de temps est particulièrement intéressant dans la plaine de l'Imbo car il se produit à une période où la main d'œuvre est peu disponible car mobilisée par les travaux de production du riz dans le périmètre irrigué. (ISABU, 2012)

Dans ce contexte, il a été également prouvé que les légumineuses utilisées comme plante de couverture permettent de supprimer les herbes indésirables (Abayomi *et al.,* 2001). C'est ainsi que la culture de *S. guianensis* permet d'étouffer le développement d'*Imperata cylindrica* observé, qui est une des plantes adventices les plus dommageables aux cultures tropicales (Buckles *et al.* ,1998 ; Akobundu *et al.,* 2000).

4.5. Conclusion partielle

La présente étude avait pour objectif d'évaluer performances de la culture du maïs en semis direct sous un couvert végétal de *S. guianensis* dans les conditions de la plaine de l'Imbo. Les résultats obtenus montrent que pour la production de maïs en grain, les systèmes à base de l'association

maïs/stylo viennent en premier lieu, suivis des systèmes à base de maïs seul. Avec le semis direct du maïs dans un couvert végétal de *S. guianensis*, la récolte obtenue est comprise entre 2,4±0,2 t/ha et 3,1±0,09 t/ha de maïs grain en association avec Stylo et en culture pure, respectivement. Dans l'association, l'ajout de la fumure minérale n'a pas d'effet sur la rentabilité économique par rapport aux systèmes stylo/maïs sans engrais et les systèmes à base de maïs seul viennent en dernière position. Compte tenu des quantités produites des biomasses de l'espèce *S. guianensis*, La variabilité des rendements en biomasse n'est pas importante entre les systèmes testés et il n'est pas possible de distinguer une des espèces comparées au niveau de ce critère. La production de la biomasse obtenue oscille autour de 8750±464 kg/ha du poids de la biomasse sèche dans le cas de l'association maïs/stylo, ce qui montre que ces quantités de biomasse sont suffisantes conformément à celles qui sont recommandées en zone tropicale pour assurer un couvert favorable du sol afin de mettre en place un SCV pour la culture suivante et faire les rotations des cultures convenables en semis direct.

Les systèmes de cultures en rotation à base d'association maïs/stylo sans engrais montrent une rentabilité économique élevée par rapport aux autres systèmes testés dans cette étude. Pour le système avec ajout d'engrais, leur coût influe sur l'augmentation du coût de production comparativement au système composé de l'association maïs/stylo seul.

CHAPITRE 5. EFFETS DE *STYLOSANTHES GUIANENSIS* (AUBLET) SWARTZ SUR LA DYNAMIQUE DES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL : CAS DU SITE DE MUGERERO DANS LA PLAINE DE L'IMBO (BURUNDI)

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de la couverture permanente de *Stylosanthes guianensis* sur la dynamique des propriétés physico-chimiques du sol .Les traitements consistaient en une combinaison d'un système de rotation culturale (Manioc - maïs – maïs, Jachère - maïs – maïs, Manioc - maïs + engrais chimiques - maïs + engrais chimiques, Pas de cultures vivrières) et d'une couverture permanente du sol avec une variété de *Stylosanthes* (Couverture du sol avec le stylo CIAT 187, Couverture du sol avec le stylo 202 CC, Pas de couverture de stylo).

Après chaque année culturale, des prélèvements et analyses des sols étaient réalisés dans chaque parcelle expérimentale. Après analyse des résultats, il a été constaté que la couverture permanente du sol par les deux variétés de Stylosanthes améliore significativement ($p < 0,05$) les propriétés chimiques et physico-chimiques du sol (pH, CO, N, P, K, Ca et Mg) sans qu'il n'y ait de différence significative entre les deux types de couverture du sol ($p > 0,05$). Par ailleurs, aucune différence significative n'a été notée entre la jachère permanente et pure de stylo CIAT 187 et le système de rotation cultural manioc – maïs – maïs conduit sous couverture permanente de cette variété de stylo pour le pH, le carbone organique, l'azote total et le potassium ($p > 0,05$).

Enfin, la fertilité chimique du sol peut être améliorée à moindre coût par l'intégration d'une couverture permanente de *S. guianensis.*

Mots clés : *Stylosanthes guianensis*, légumineuses, Systèmes des cultures, Imbo, propriétés chimiques, sol

Abstract

The aim of this study was to assess the effect of permanent cover of *Stylosanthes guianensis* on the dynamics of soil physico-chemical properties. The treatments consisted of a combination of a crop rotation system (Manioc - maize - maize, Fallow - maize - maize, Manioc - maize + chemical fertilisers - maize + chemical fertilisers, No food crops) and permanent soil cover with a variety of *Stylosanthes* (Soil cover with CIAT 187, Soil cover with Stylo 202 CC, No stylo cover).

After each cropping year, soil samples were taken and analysed in each experimental plot. After analysis of the results, it was found that permanent soil cover with the two *Stylosanthes* varieties significantly improved ($p < 0.05$) the chemical and physico-chemical properties of the soil (pH, CO, N, P, K, Ca and Mg), with no significant difference between the two types of soil cover ($p > 0.05$). Furthermore, no significant difference was noted between the permanent and pure fallow of CIAT 187 pen and the cassava - maize - maize crop rotation system conducted under permanent cover of this stylo variety for pH, organic carbon, total nitrogen and potassium ($p > 0.05$).

Finally, the chemical fertility of the soil can be improved at lower cost by incorporating a permanent cover of *S. guianensis.*

Key words: *Stylosanthes guianensis*, legumes, cropping systems, Imbo, chemical properties, soil

5.1. Introduction

Le Burundi est un pays essentiellement agricole. L'agriculture occupe une immense majorité de la population, soit plus de 90% (ISTEEBU, 2011). Malgré l'importance de cette activité, les agriculteurs se heurtent à plusieurs contraintes qui sont à la base de la diminution de la production agricole avec corollaire l'insécurité alimentaire de la population (Gahungu, 2012).

On constate que la diminution des terres cultivables est la conséquence de la pression démographique galopante. Ainsi, la superficie cultivable atteint ses limites comme facteur principal de la sécurité alimentaire et des ressources des revenus (ISTEEBU, 2011;PNIA, 2011).

Les perturbations climatiques désorganisent les activités agricoles à majorités pluviales et une constante dégradation de la fertilité des sols (Nzigidahera et *al*., 2013). L'exploitation continue des terres dégrade les sols et présente comme conséquences la baisse de la production et l'insécurité alimentaire des ménages. Cette dégradation des sols, se manifestant par les pertes en terre par l'érosion hydrique ainsi que l'acidification, touche la plupart des terres burundaises (Bashirakandi, 2013). L'insuffisance de moyens ou de technicité pour maintenir ou restaurer la fertilité des sols et pour limiter la perte des terres est une entrave majeure à la production agricole (Barihema, 2007 ; Nzigidahera et *al*., 2013). Ainsi, la population rurale est incapable de s'acheter des engrais minéraux et n'est pas bien formée pour lutter contre la dégradation du sol. La situation est tellement alarmante qu'il est grand temps de prendre des mesures qui s'imposent pour augmenter la fertilité du sol, base de la production agricole (Bashirakandi, 2013).

Les systèmes de production traditionnels pratiqués en zone tropicale sont fragiles et ne permettent pas de satisfaire durablement les besoins des populations (Chandra, 2009). Il faut donc amorcer une réflexion sur les alternatives pour rendre ces systèmes plus viables et plus performants (Erenstein, 2003). Cette réflexion sur les innovations pouvant améliorer le fonctionnement des systèmes de production s'oriente généralement vers l'amélioration de la fertilité des sols (Mueller *et al.,* 2010). Le maintien d'une biomasse de couverture sur le sol constitue une des alternatives durables pour atteindre cet objectif (Mvondo et *al.,* 2012).

Dans tous ces systèmes, les légumineuses ont un rôle important à jouer. Le recours aux légumineuses de couverture serait une meilleure solution intermédiaire pour les agriculteurs à revenus faibles car ces plantes protègent considérablement le sol contre l'érosion due à des fortes pluies (Skerman, 1982 ; Husson et *al.,* 2008). Outre la protection du sol, la légumineuse

en augmente la fertilité du fait de la minéralisation des feuilles tombées chaque année et de l'accumulation d'azote combiné provenant de la fixation symbiotique par des nodosités des racines (Tivet *et al.*, 2008).

Cependant, la description des contraintes agro-écologiques et socio-écologiques sont nécessaires pour identifier la plante de couverture adéquate pour une région où on veut valoriser la structure du sol (Mvondo *et al.*, 2012). Pour y arriver, plusieurs recherches en matière de la gestion rationnelle des terres sont très nécessaires.

S. guianensis, est l'une des légumineuses de couverture avec un potentiel élevé de restauration de la fertilité des sols (Husson et *al*., 2008, FAO, 2011). C'est une plante de couverture adaptée aux zones climatiques dont l'altitude est comprise entre 0 et 1600 m sous toutes les latitudes comprises entre 20°N et 32°S avec une pluviométrie allant de 600 mm à plus de 3000 mm. Il se comporte particulièrement bien en climat tropical humide et en climat de moyenne altitude, même avec une saison sèche marquée (Husson et *al.*, 2008 ; Chandra, 2009). Cette légumineuse permet l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol en augmentant sa teneur la matière organique, sa capacité d'échange cationique du sol et l'activité microbiologique (Tarawali et Mohamed-Saleem, 1995 ; Erenstein, 2003).

Cette légumineuse présente un potentiel à explorer au Burundi. La zone cible de notre recherche est le site de Mugerero situé dans la plaine de l'Imbo où on pratique l'agriculture et l'élevage. Dans cette région, les agriculteurs produisent les différentes spéculations à faibles sources d'intrants et de manière non mécanisée. Les agriculteurs de cette zone se heurtent à des nombreuses contraintes liées principalement aux aléas climatiques et à la dégradation sans cesse de la fertilité des terres (Gahungu, 2012).

Selon les travaux de recherche menés à Madagascar et au Cameroun (Husson, et *al*, 2008 ; Mvondo et *al.*, 2012), le *S. guianensis* comme plante de couverture pourrait être intéressante dans la fertilité des sols puisqu'il exige un travail réduit et peut se conduire même sans engrais minéral, ce qui devient bénéfique aux agriculteurs de notre zone de recherche dont les conditions économiques ne sont pas toujours réunies pour se procurer des engrais minéraux.

Compte tenu de l'importance majeure de *S. guianensis* sur l'amélioration de la fertilité du sol, un essai expérimental a été mené dans l'objectif d'étudier les effets du *S. guianensis* sur l'évolution des propriétés chimiques du sol en cherchant les liens potentiels de causes à effets sur la gestion rationnelle de la fertilité du sol.

Les résultats obtenus dans le cadre de cet essai visant à évaluer l'effet de deux variétés de *S. guianensis* en culture pure et en association avec les systèmes des cultures sur les caractéristiques physico-chimiques du sol dans les conditions de la plaine de l'Imbo sont en long et en large présentés et discutés dans le présent travail de recherche. La finalité à moyen et long terme est la restauration de la fertilité du sol. Tout ceci, en vue d'arriver à l'amélioration du niveau de vie de la population de la plaine de l'Imbo.

5.2. Matériel et méthodes

5.2.1. Dispositif expérimental

L'essai a été conduit sur trois ans (2016 à 2019). Les parcelles élémentaires, de 200 m² (20 m x 10 m) chacune, ont été installées selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets avec quatre répétitions selon les systèmes des cultures testés. Les graines de stylo ont été semées au début de l'expérimentation dans toutes les parcelles expérimentales à l'exception des parcelles témoins. Pour ce, deux variétés de stylo ont été utilisées : la variété désignée stylo 1 portant le code CIAT 187 et sélectionnée en Colombie et la variété désigné stylo 2 codifiée 202 CC et sélectionnée en Australie.

De la fumure minérale a été appliquée dans un traitement (4 parcelles) à couverture de sylo 1 du système cultural manioc – maïs – maïs pour évaluer leurs effets sur les propriétés physico-chimiques du sol. La dose appliquée est celle recommandée par l'ISABU pour le maïs et basée sur la formule de NPK (40-60-30) qui équivaut à 130 kg de DAP/ha, 50 kg de KCl/ha, 37 kg d'urée/ha (ISABU, 2012).

Les traitements réalisés dans cette étude sont :

T1 : couverture permanente du terrain par le stylo 1 et rotation des cultures manioc - maïs - maïs en première, deuxième et troisième année respectivement,

T2 : couverture permanente du terrain par le stylo 2 et rotation des cultures manioc - maïs - maïs en première, deuxième et troisième année respectivement,

T3 : couverture permanente du terrain par le stylo 1 et rotation des cultures manioc - maïs - maïs en première, deuxième et troisième année respectivement avec application d'engrais chimique NPK pour les cultures de maïs.

T4 : traitement témoin, rotation des cultures manioc - maïs - maïs sur terrain sans plante de couverture

T5 : couverture permanente du terrain par le stylo 1 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année,

T6 : couverture permanente du terrain par le stylo 2 et culture du maïs en deuxième et troisième année, le terrain étant laissé sans culture en première année,

T7 : couverture permanente du terrain par le stylo 1 sans aucune culture vivrière.

5.2.2. Détermination des caractéristiques climatiques

Pendant la période de culture, d'octobre 2018 à novembre 2019, la pluviométrie enregistrée au niveau de cette zone a été de 1.014,45 mm, la température maximale mensuelle de 30,25°C, la température minimale mensuelle de 19,01°C, l'humidité relative maximale mensuelle de 93,33 % et l'humidité relative minimale mensuelle de 56,13 % (IGEBU, 2020).

5.2.3. Méthode de l'échantillonnage et analyse des échantillons du sol

Dans toutes les parcelles d'essais, le prélèvement des échantillons composites de sol à l'aide de la tarière a été réalisé par mélange de six échantillons élémentaires de surface (10 premiers cm) prélevés suivant la méthode de diagonale (Jabiol et Baize, 2011). Cette opération a été menée quatre fois au cours de l'étude. La première campagne de prélèvement a été menée en date du 13/11/2015 quelques semaines après le labour juste avant la plantation des boutures de manioc. La deuxième campagne de prélèvement a été effectuée après la récolte du manioc en date du 25/10/2016. La troisième phase de prélèvement des échantillons de sols a été conduite après la récolte du maïs en date 26/10/2017. La quatrième phase de prélèvement a été réalisée en date du 26/10/2018 après la récolte du maïs en rotation culturale comme le montre la figure 17.



Figure 17: Prélèvement des échantillons du sol (s: Prélèvement des échantillons du sol en association stylo/ maïs, t: prélèvement des échantillons du sol en culture pure de stylo ; Photos prises en octobre 2018)

Après prélèvement, les échantillons ont été étiquetés et acheminés au laboratoire d'Analyse des Sols et des Produits Agroalimentaires (LASPA) de l'ISABU pour analyses physicochimiques. A l'exception du début de l'essai où les analyses sont réalisées par bloc, 28 échantillons composites prélevés dans les parcelles expérimentales du site de Mugerero après chaque année culturale ont fait l'objet d'analyses chimiques au laboratoire de l'ISABU pour étudier l'influence des différentes pratiques culturales sur l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol. La figure 18 montre la préparation des échantillons à analyser.



Figure 18: Préparation des échantillons à analyser

5.2.4 Méthodes d'analyse au laboratoire

La granulométrie a été réalisée selon la méthode de la pipette (méthode du sol séché à l'air). Une quantité exactement pesée de sol a été attaquée par une solution d'eau oxygénée (destruction de la matière organique) et ensuite par une solution d'acide chlorhydrique (destruction des oxydes et des carbonates). Le sol a été ensuite porté dans des allonges en verre et mis à sédimenter après la centrifugation pendant des temps t en fonction de la température. Après l'élimination totale des argiles, les sables et les limons sont séparés par filtration (ISABU, 2015).

Les pH_{eau}, pH_{KCl} ont été mesurés sur un mélange sol/solution selon le rapport 1/5 à l'aide d'un pH mètre. Le carbone a été dosé par la méthode de Walkey-Black qui consiste à l'oxydation de $K_2Cr_2O_7$ en milieu acide et dosage en retour de $Cr_2O_7^{2-}$. L'azote total a été mesuré par la méthode Kjeldahl qui consiste à l'attaque de H_2SO_4 suivi d'une distillation et du titrage. Le phosphore assimilable du sol a été mesuré par le Spectrophotomètre UV visible. Les bases échangeables et la capacité d'échange cationique ont été analysées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (ISABU, 2012).

5.2.5. Analyse et traitement des données

L'analyse de la variance (ANOVA) est un test statistique qui permet de comparer les moyennes de plusieurs échantillons et de se prononcer sur une différence ou une similarité entre ces moyennes (Gomez et Gomez, 1983). Elle a été effectuée en vue d'établir le degré de signification entre les différents paramètres. L'ANOVA pour toutes les données collectées a été effectuée à l'aide de Gen Stat Discovery, Edition 14. Ceci dans le but de voir s'il existe des différences significatives entre les valeurs obtenues. La comparaison des moyennes a été effectuée par la méthode de la plus petite différence significative (ppds) à 5% de probabilité là où l'ANOVA s'est avérée significative. Le test de Tukey au seuil de 5% a été effectué pour mettre en évidence les groupes de moyennes homogènes. Avant d'appliquer ce test, la normalité des données a été vérifiée à l'aide du test de normalité de Shapiro-Wilk (Sherrer, 2007).

5.3. Présentation des résultats

5.3.1. Caractéristiques physico-chimiques du sol du site d'essai au début de l'expérimentation

Les propriétés du sol du site d'essai déterminées au début de l'expérimentation sont montrées au Tableau 1. En examinant ces résultats d'analyse, on remarque que le sol est homogène puisque les résultats trouvés dans les échantillons prélevés dans les quatre blocs sont proches les uns des autres.

D'une manière générale, le sol du site d'essai est d'une texture sableuse, sa réaction est légèrement acide. La teneur en carbone organique de 0,6% est normale selon Tessens et Gourdin (1993). Elle est néanmoins très faible selon Landon (1991). Les teneurs en azote total sont très basses selon Landon (1991), Tessens et Gourdin (1993) et Dabin (1970). Le rapport C/N du sol d'essai de Mugerero tourne autour de 10 ; ce qui indique une valeur qui est dans la fourchette de l'optimum de cette valeur selon Tessens &Gourdin (1993)**.** Les teneurs en phosphore assimilable sont comprises entre 12 et 14 mg/kg ; des valeurs montrant une déficience marquée en ce nutriment selon Tessens et Gourdin (1993) et des valeurs suffisantes pour les cultures céréalières selon Landon (1991). Selon Landon (1991) et Tessens et Gourdin (1993), les teneurs en K et en Mg sont élevées à très élevées tandis que celles de Ca sont faibles.

La Capacité d'Echange Cationique Effective (CECE) est comprise entre 3,3 et 4 méq/100 g. Cette valeur est extrêmement faible selon Landon (1991) et Tessens et Gourdin (1993). Cette faiblesse de valeur est liée aux faibles pourcentages en argile et en matière organique de ce sol.

5.3.2. Effets de la couverture végétale de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol

5.3.2.1. Evolution du pH

L'évolution du pH des parcelles expérimentales pendant les trois années d'étude est montrée dans le Tableau 10. Dans les traitements T3, T5, T6 et T7, l'étude montre une augmentation significative de ce paramètre. Par contre dans les parcelles couvertes par le système cultural manioc – maïs – maïs (traitements T1, T2 et T4), les augmentations du pH ne sont pas significatives.

Tableau 10: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du pH du sol

Trait	**Année 1**	**Année 2**	**Année 3**	Test F
T1	6,35±0,04abA	6,66±0,18aA	6,91±0,03abA	0,204
T2	6,37±0,02aA	6,59±0,23aA	7,04±0,18aA	0,056
T3	6,47±0,03aB	6,65±0,02aB	7,31±0,05aA	0,001
T4	6,19±0,06bA	6,34±0,09aA	6,38±0,06bA	0,224
T5	6,38±0,03aC	6,59±0,03aB	7,00±0,01abA	0,000
T6	6,36±0,04abC	6,61±0,04aB	6,92±0,03abA	0,000
T7	6,46±0,04aC	6,69±0,04aB	7,3±0,04aA	0,000
Test F	0,0013	0,6354	0,0023	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

En comparant les traitements entre eux, nous remarquons qu'après le premier cycle cultural, le traitement témoin (T4), celui de la rotation manioc – maïs – maïs, présente une valeur de pH significativement plus faible que celles de tous les autres traitements (pH= 6,19±0,06). Après le second cycle cultural, il n'existe pas de différence significative entre les traitements pour ce paramètre. Après la troisième année, le pH du traitement témoin ne diffère significativement pas de ceux des traitements T2, T3 et T7. Cependant, des différences hautement significatives liées aux traitements ont été observées sur le pH du sol (p = 0,0013) après la première année de culture pour tous les systèmes incluant la couverture permanente du terrain par le stylo 1 ou stylo 2 et le terrain laissé sans culture en première année (T1, T2 et T7). Des différences significatives s'observent la 3ème année de culture (P= 0,0023) pour tous les systèmes en association et en culture pure de stylo par rapport au témoin. Un effet très hautement significatif de la rotation sur le pH a été mis en évidence après la troisième année de culture, entre les systèmes de culture en SCV avec la présence de stylo 1 ou 2 en culture pure la 1ère année et en Jachère améliorée. Il montre que la rotation à base de stylo se différencie du témoin qui manifeste des baisses plus importantes du pH (6,38±0,06).

5.3.2.2. Evolution du carbone organique

L'évolution du carbone organique (CO) des sols du site d'essai est montrée au Tableau 11. Tous les traitements, y compris le traitement témoin (T4), ont affiché des augmentations significatives des teneurs en carbone organique du sol au cours des trois cycles culturaux suivis dans cette étude.

Tableau 11: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution du pourcentage en carbone organique du sol

Trait	**Année 1**	**Année 2**	**Année 3**	Test F
T1	0,78±0,043 abB	1,01±0,11 aB	1,39±0,16 aA	0,005
T2	0,70±0,034 abC	0,93±0,040 aB	1,23±0,03 abA	0,000
T3	0,80±0,011 abB	0,98±0,025 aB	1,25±0,08 abA	0,001
T4	0,67±0,018 bB	0,62±0,008 bB	0,94±0,014 bA	0,000
T5	0,84±0,03 aC	1,04±0,024 aB	1,34±0,02 aA	0,000
T6	0,76±0,033 aB	1,07±0,080 aAB	1,27±0,10 abA	0,005
T7	0,79±0,043 abC	1,08±0,088 aB	1,45±0,02 aA	0,000
Test F	0,0148	<0,0001	0,0072	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

La teneur moyenne initiale en carbone du sol était établie à 0,62 % (Tableau 10). Son évolution a montré des gains variables dépendant principalement de SCV et, secondairement, de l'assolement. Le traitement T4, celui de la rotation manioc – maïs – maïs, a enregistré des gains de carbone plus faibles par rapport à ceux avec la de présence de la couverture de stylo. La présence de la culture stylo dans la rotation a été le second facteur de variation du carbone organique du sol. En effet, pour les traitements sans stylo, les gains ont été plus faibles au niveau des rotations.

En analysant ces teneurs période par période, les résultats montrent l'existence de deux groupes de moyennes homogènes. Après le premier cycle, le premier groupe comprend tous les traitements sauf le traitement témoin T4 dont la teneur en carbone organique est significativement plus faible que celle des traitements comportant la jachère améliorée avec *Stylosanthes* en première année (T5 et T6). Après le deuxième cycle cultural, le traitement témoin est significativement différent de tous les autres traitements pour ce paramètre. Après le troisième cycle cultural, la teneur en carbone organique du traitement témoin (T4) est significativement différente de celles des traitements T1, T5 et T7.

5.3.2.3. Evolution de l'azote total du sol

Les teneurs en azote total du sol analysées pendant les trois années de l'essai sont montrées au Tableau 12. En analysant ces données, on remarque qu'il y a des augmentations significatives de ce paramètre au cours de la période d'étude dans tous les traitements.

Tableau 12: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de la teneur en azote total du sol (meq/100g)

Trait	**Année 1**	**Année 2**	**Année 3**	Test F
T1	0,0675±0,00193 abC	0,085±0,002 abB	0,112±0,006 aA	0,000
T2	0,07±0,0017 abC	0,08±0,001 abB	0,101±0,001 aA	0,000
T3	0,0715±0,0012 abC	0,086±0,003 abB	0,099±0,004 aA	0,001
T4	0,063±0,0016 bB	0,066±0,001 bB	0,09±0,002 aA	0,000
T5	0,073±0,0017 aC	0,086±0,003 abB	0,1±0,001 aA	0,000
T6	0,072±0,0012 aA	0,096±0,010 aA	0,101±0,0102 aA	0,085
T7	0,071±0,0024 abC	0,093±0,007 aB	0,113±0,0075 aA	0,000
Test F	0,0148	<0,0001	0,0645	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Pour les traitements en SCV avec la présence de *Stylosanthes*, la tendance a été généralement à l'équilibre de la teneur en azote du sol. Des différences hautement significatives ($p< 0,001$) de teneurs en azote ont été observées entre rotations culturales, notamment entre les systèmes en SCV sans ajout de l'engrais chimique, d'une part, et les rotations culturales avec les systèmes à base du stylo avec l'ajout de l'engrais chimique, d'autre part. L'effet de de rotation culturale a été très significatif ($p< 0,001$) entre les traitements, particulièrement entre traitements des systèmes en SCV. Les teneurs d'azote du sol, meilleurs dans les traitements combinant le stylo,

semble montrer des synergies entre les rotations culturales et le maintien d'un couvert de *Stylosanthes* sur le sol, particulièrement à la 3ème année lorsque la production de biomasse de *Sylosanthes* a été plus importante. Ceci s'est traduit par un équilibre de la teneur en azote au niveau des traitements en SCV avec la présence du stylo.

La comparaison des traitements entre eux aux trois dates d'analyse des sols, révèle que le traitement témoin (T4) se classe en dernière position pour ce paramètre. Après la première et la deuxième année, la teneur en azote de ce traitement (T4) est significativement plus basse que celles des traitements T5 et T6 avec installation du stylo en culture pure la première année d'une part et T7 avec jachère améliorée du stylo durant les 3 années. Après la troisième année, il n'y a pas de différence significative entre les traitements pour ce paramètre sauf pour le témoin.

5.3.2.4. Evolution du phosphore

L'évolution des teneurs en phosphore des parcelles élémentaires d'expérimentation est montrée au Tableau 13. L'examen de ces données montre une tendance d'augmentation des valeurs de ce paramètre.

Tableau 13: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de la teneur en phosphore assimilable du sol (meq/100g)

	Après 1 an	**Après 2 an**	**Après 3 an**	**Test F**
T1	21,55±0,90 aC	35,28±0,26 aB	46,28±0,32 cA	0,000
T2	22,25±0,47 aC	33,87±0,65 aB	37,12±0,31 dA	0,000
T3	21,42±0,68 aC	35,75±0,35aB	55,62±0,55 bA	0,000
T4	12,375±0,19 bB	19,975±0,43 bA	20,47±0,46 fA	0,000
T5	21,875±0,60 aB	34,62±0,40 aA	33,62±0,51 deA	0,000
T6	21,75±0,71 aB	33,75±1,66 aA	33,4±1,68 eA	0,000
T7	24,1±0,76 aC	35,1±0,38 aB	62,35±0,87 aA	0,000
Test F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

Les concentrations du sol en phosphore disponible initialement faibles (en moyenne 14,5 mg/kg) ont été relevées dans tous les traitements (tableau 10).

L'augmentation du niveau de P du sol a été obtenue principalement par la présence du stylo dans les parcelles élémentaires. Les effets de la présence de la couverture du sol ont été cumulatifs avec un effet très hautement significatif ($p < 0,001$), particulièrement dans les parcelles avec l'installation du stylo depuis la 1ère année sous forme de jachère améliorée (T7).

Les systèmes de culture en SCV ont relativement contribué au maintien de l'équilibre du niveau de P du sol ou à son amélioration, en l'occurrence dans les traitements avec la présence du stylo. En moyenne, un relèvement s'observe du niveau de P au sein d'une même année ou après les trois années de culture par rapport à la situation initiale a été observé pour les systèmes en SCV. Par contre, la concentration en P n'augmente pas dans les traitements sans aucune couverture du sol (T4).

Après la troisième année, une énorme ségrégation s'observe entre les traitements. Ils se rangent comme suit: T7> T3> T1> T2≥ T5≥ T6> T4.

Quant à la comparaison entre les traitements pour chaque année et après 3 années, le constat est que le traitement témoin (T4) présente une moyenne de ce paramètre qui est significativement plus faible que celles de tous les autres traitements dont les valeurs ne sont pas significativement différentes.

5.3.2.5. Evolution du calcium

L'analyse de l'évolution des teneurs en calcium échangeable montrée au Tableau 14 révèle l'existence de trois schémas d'évolution des traitements. Le premier schéma est celui des traitements T1, T2 et T3 dont les teneurs en cet élément augmentent significativement de la première année à la deuxième année pour se stabiliser à la troisième année. Le deuxième schéma est celui du traitement témoin qui n'a pas connu de changement significatif des teneurs

en cet élément. Le troisième schéma est celui des traitements T5, T6 et T7 dont les teneurs en Calcium augmentent significativement d'année en année.

Tableau 14: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de la teneur en calcium échangeable du sol (meq/100g)

Trait	**Après 1 an**	**Après 2 an**	**Après 3 an**	Test F
T1	2,425±0,093 aB	3,6±0,13 abA	3,7±0,12 dA	0,000
T2	2,52±0,061 aB	3,54±0,055 bA	3,78±0,102 dA	0,000
T3	2,44±0,09 aB	3,93±0,015 aA	3,93±0,015 cdA	0,000
T4	2,265±0,05 aA	2,16±0,05 cA	2,34±0,05 eA	0,135
T5	2,46±0,05 aC	3,43±0,04 bB	4,43±0,04 bA	0,000
T6	2,57±0,051 aC	3,67±0,061 abB	4,24±0,017 bcA	0,000
T7	2,48±0,069 aC	3,55±0,12 bB	5,65±0,09 aA	0,000
Test F	0,1312	<0,0001	<0,0001	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

A la fin de la première année, aucune différence significative n'est observée entre les traitements. Cependant, à la fin de la deuxième année, trois groupes de moyenne homogène qui se chevauchent sont montrés par le test de Tukey au seuil de 5%. Le premier groupe est celui des traitements T3, T6 et T1; le deuxième groupe est celui des traitements T6, T1, T7, T4 et T2 ; le troisième groupe est celui du traitement T4. Il importe de signaler que le traitement T3 ne diffère pas significativement des traitements T1 et T6 pour ce paramètre. A la fin de la troisième

année, une ségrégation entre les traitements s'accentue avec l'apparition de cinq groupes de moyennes homogènes. Les cinq groupes sont constitués de la manière suivante par ordre des teneurs en calcium décroissantes : T7; T5≥ T6; T6≥T3; T3≥ T2≥ T1; T4.

D'une manière générale, la concentration en calcium a augmenté dans les systèmes de culture en SCV de stylo. L'effet de la présence de la couverture du sol a été très hautement significatif ($p < 0,001$), avec des gains de Ca de sol au cours de l'année et après 3 années entre les traitements avec des systèmes de culture en SCV.

5.3.2.6. Evolution du magnésium

La dynamique des teneurs en magnésium échangeable des parcelles expérimentales, montrée dans le Tableau 15 révèle une augmentation significative de ces teneurs à au moins un moment des trois dates sauf dans le traitement T4.

Les quantités de Mg du sol ont généralement augmenté. Les traitements de systèmes de cultures composés de rotation à base de stylo ont montré une variation positive par rapport aux systèmes de culture composée de rotation culturale manioc – maïs – maïs sans stylo.

Tableau 15: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de la teneur en magnésium échangeable du sol (meq/100g)

Trait	**Après 1 an**	**Après 2 an**	**Après 3 an**	Test F
T1	0,82±0,99 abB	1,13±0,06 abA	1,29±0,049 bA	0,000
T2	0,96±0,064 aA	1,18±0,21 aA	1,28±0,061 bA	0,300
T3	0,86±0,034 abC	1,21±0,03 aB	1,46±0,026 aA	0,000
T4	0,695±0,025 bB	0,745±0,013 bAB	0,79±0,002 cA	0,008
T5	1±0,017 aC	1,26±0,01 aA	1,16±0,014 bB	0,000
T6	0,92±0,09 abB	1,18±0,01 aA	1,25±0,016 bA	0,000
T7	0,99±0,05 aC	1,29±0,03 aB	1,56±0,013 aA	0,000
Test F	0,0045	0,0035	<0,0001	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

La comparaison des teneurs en cet élément entre les traitements révèle l'existence de deux groupes de moyennes homogènes qui se chevauchent aux deux premières dates d'analyse. Après la première année, les traitements se rangent de la façon suivante par ordre décroissant de teneurs en magnésium échangeable: T5≥ T7≥ T2≥ T3≥ T2≥ T1 et T1≥ T4. Après la deuxième année, les traitements se rangent de la façon suivante par ordre décroissant de teneurs en magnésium échangeable: T7≥ T2≥ T5≥ T3≥ T6≥ T1 et T1≥T4. Après la troisième année, les traitements se rangent de la façon suivante par ordre décroissant de teneurs en magnésium échangeable : T7≥ T3 ; T1≥ T6≥ T2≥ T5 et T4.

5.3.2.7. Evolution du potassium

Pour la dynamique des teneurs en potassium échangeable, trois catégories de résultats se révèlent (Tableau 16).La concentration en K a augmenté de manière importante avec les traitements contenant le stylo. En outre, les effets de la rotation sur la teneur en K ont été plus marqués avec les systèmes en SCV. La concentration en K du sol tend généralement à augmenter dans les systèmes de culture en SCV alors qu'une baisse de plus en plus est observée dans le système de rotation culturale manioc – maïs – maïs sans Stylo.

Les résultats se présentent comme suit : Pour les traitements T1, T2 et T3, la teneur en potassium augmente significativement d'année en année ; la teneur en potassium du traitement témoin T4 ne change pas significativement, les teneurs en potassium des traitements T5, T6 et T7 diminuent significativement d'année en année au cours des trois années d'études.

Après la première année, le traitement T7 est le plus riche en potassium. Sa teneur est significativement plus élevée que celles des traitements T1, T2, T3 et T4. La teneur la plus basse est celle du traitement témoin T4 mais celle-ci ne diffère pas significativement de celles des traitements T1, T2 et T3.

Après la deuxième année et la troisième année, les teneurs les plus élevées en potassium échangeable sont celles des traitements T1 tandis que les teneurs les plus faibles en cet élément sont enregistrées au sein du traitement témoin T4.

Le test de Tukey réalisé sur les teneurs en potassium après la deuxième et la troisième année au seuil de 5% montre l'existence de deux groupes homogènes qui ne se chevauchent pas : celui des traitements T1, T2, T3, T6 et T7 et celui des traitements T4 et T5 après la deuxième année ; celui des traitements T1, T2, T3 et T7 et celui des traitements T4, T5 et T6 après la troisième année.

Tableau 16: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de la teneur en potassium échangeable du sol (meq/100g)

	Après 1 an	**Après 2 an**	**Après 3 an**	Test F
T1	0,65±0,02 cB	0,70±0,020 aB	0,80±0,020 aA	0,003
T2	0,67±0,007 bcB	0,70±0,010 aB	0,79±0,045 aA	0,004
T3	0,65±0,03 cB	0,69±0,030 aB	0,79±0,006 aA	0,008
T4	0,52±0,03 cA	0,502±0,025 bA	0,6±0,030 bA	0,110
T5	0,81±0,006 abA	0,532±0,017 bC	0,632±0,017 bB	0,000
T6	0,83±0,077 abA	0,63±0,021 aB	0,64±0,007 bB	0,022
T7	0,9±0,014 aA	0,68±0,017 aC	0,78±0,005 aB	0,000
Test F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

5.3.2.8. Evolution du sodium échangeable

La dynamique des teneurs en sodium des parcelles expérimentales est montrée au **Tableau 17**. Durant les trois années de l'essai, il n'y a pas de changements significatifs de ce paramètre sauf dans les traitements T1 et T4 dans lesquels on observe des augmentations significatives des teneurs en sodium de l'année 2 à l'année 3 et de l'année 1 à l'année 2 respectivement.

Tableau 17: Effet du couvert végétal de *Stylosanthes guianensis* sur l'évolution de la teneur en sodium échangeable (meq/100g)

Trait	**Après 1 an**	**Après 2 an**	**Après 3 an**	Test F
T1	0,03±0,002 aB	0,03±0,004 aAB	0,04±0,003 aA	0,023
T2	0,02±0,013 aA	0,04±0,008 aA	0,05±0,002 aA	0,221
T3	0,03±0,012 aA	0,04±0,008 aA	0,05±0,002 aA	0,484
T4	0,01±0,007 aB	0,04±0,0047 aA	0,05±0,004 aA	0,002
T5	0,04±0,013 aA	0,04±0,006 aA	0,05±0,008 aA	0,843
T6	0,03±0,020 aA	0,04±0,017 aA	0,05±0,012 aA	0,604
T7	0,03±0,009 aA	0,05±0,004 aA	0,05±0,004 aA	0,059
Test F	0,6626	0,8123	0,7385	

T1 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs /stylo 1,

T2 : Manioc /stylo 2-maïs/stylo 2- maïs /stylo 2,

T3 : Manioc/ stylo 1 - maïs/ stylo 1 + Engrais - maïs/ stylo 1 + Engrais,

T4 : Manioc - maïs – maïs (témoin),

T5 : stylo 1 - maïs/ stylo 1 - maïs/ stylo 1,

T6 : stylo 2 - maïs/stylo 2 - maïs/ stylo 2,

T7 : stylo 1 - stylo 1 - stylo 1 (culture pure).

Note : Les traitements dont les valeurs sont suivies d'une même lettre minuscule pour une date donnée ne sont pas significativement différents au seuil de 5%. Pour un même traitement, les valeurs obtenues à différentes dates dont les valeurs sont suivies d'une même lettre majuscule ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

La comparaison des traitements entre eux ne montre aucune différence significative pour ce paramètre aux trois dates d'analyse.

5.4. Discussion des résultats

A travers les résultats du pH, la couverture du sol avec stylo 1 et stylo 2 augmente significativement le pH du sol. En effet, les valeurs de pH des sols prélevés dans les parcelles couvertes par stylo 1 (T1 et T5) et stylo 2 (T2 et T6) sont significativement plus élevées que le pH du traitement témoin (T4). Au même moment, on ne note pas de différence significative entre les traitements T1 et T2 d'une part et entre T5 et T6 d'autre part. Cela signifie qu'il n'y a pas de différence d'effet entre les deux variétés de *Stylosanthes* pour le pH du sol. Par ailleurs, le pH a significativement augmenté dans tous les traitements sauf dans le traitement témoin (T4) au cours des trois années culturales. Pour ces traitements, les sols sont passés de la classe de légèrement à moyennement acide ; c'est-à-dire de l'intervalle 6,6 à 7,0 à 5,5-6,5 (Motsara et Roy, 2008). Le SCV a permis souvent de limiter la diminution du pH du sol et, dans certains cas, de le maintenir à sa valeur initiale. L'empêchement de la diminution systématique du pH du sol dans les systèmes en SCV est établi par plusieurs travaux (Dominguez *et al.*, 2010 ; Fernandes *et al.*, 2000).

Dans tous les traitements, y compris le traitement témoin, une augmentation du contenu en carbone organique (CO) du sol est observée au cours des trois années culturales. Les valeurs de CO sont passées de 0,6% aux valeurs ≥ 1%. Toutefois, ces valeurs sont restées normales pour les conditions agro écologiques de l'Imbo, c'est-à-dire des valeurs comprises entre 0,36 et 2,36 % (Tessens et Gourdin, 1993). Au même moment, tous les traitements au stylo 1 et au stylo 2 présentent des niveaux de CO qui sont significativement plus élevés que celui du témoin sans stylo (T4); ceci démontre que le stylo 1 et le stylo 2 améliorent le contenu du sol en matière organique. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par d'autres études notamment celle qui a été menée au Madagascar (Razafimbelo *et al.*, 2010) où les auteurs ont noté des effets positifs des systèmes de cultures sous couvert végétal sur les teneurs de certains éléments du sol surtout en C du sol dans la couche superficielle du sol (0-10 cm). Ceci est souvent observé pour les systèmes à mulch avec une activité biologique remarquable dans les couches superficielles du sol (Vancoppenolle *et al.*, 1983). Ces résultats s'accordent aussi avec ceux de Razafimbelo et al. (2006) qui ont montré une augmentation du stock de matière organique de l'horizon de surface (0 - 20 cm) par la couverture du sol par une légumineuse et/ou la restitution des résidus de cultures.

Comme les contenus en carbone organique des traitements au stylo 1 et au stylo 2 pour les mêmes systèmes culturaux (T1 et T2 ; T5 et T6) ne sont pas significativement différents, on conclut que stylo 1 et stylo 2 augmentent de manières non différentes les contenus en matière organique.

De même, les cultures manioc – maïs – maïs n'altèrent pas le contenu en matière organique quand elles sont conduites sous couverture de stylo 1 puisque la teneur en CO du traitement jachère pure de stylo 1 (T7) n'est pas significativement différente des teneurs en CO des traitements T1 et T5.

En outre, le traitement T3 présente une teneur en CO qui n'est pas différente de celle du traitement T1 ; cela signifie que l'usage des engrais chimiques n'a pas modifié le contenu en matière organique du sol durant les trois années culturales. Bien qu'il soit connu que l'application d'engrais chimiques dans l'agriculture diminue les teneurs en matière organique du sol par l'effet « prime » (Bogdan-Mihai et *al.,* 2017) ; cette diminution n'a pas été observée dans le traitement avec des engrais chimiques. Ce processus aurait été évité par la couverture permanente du sol par le stylo1. En outre, il est logique d'admettre qu'une partie du C-organique accumulé a été favorisé par le ralentissement du processus de minéralisation de la matière organique en l'absence de labour (Johansen *et al.,* 2012, Chivenge *et al.,* 2007). L'application de la matière organique est une des pratiques agroécologiques pouvant garantir la durabilité des systèmes de culture en SCV. Elle est indiquée pour prévenir les pertes de fertilité des sols liées au mode d'exploitation en continue, conjugué avec l'exportation de toute la biomasse aérienne produite (Koulibaly *et al.,* 2010 ; Groot *et al.,* 1998). L'agriculture de conservation (AC) stimule la structure, l'activité biologique et la capacité de rétention (eau et minéraux) du sol permettant d'augmenter et de stabiliser les productions (Groot *et al.,* 1998). Les effets de la fumure organique et des technologies d'AC sur l'évolution des indicateurs de fertilité chimique du sol ont été très variables et déterminent le potentiel de chaque pratique ou ensemble de pratiques pour maintenir (voire améliorer) la qualité des sols. Les quantités de matières organiques restituées au sol dépendent de la fréquence des rotations culturales et de la présence de Sylosanthes dans la rotation

Les teneurs en azote total du sol mesurées dans les traitements après les deux premiers cycles culturaux ont montré que les traitements au stylo 1 et au stylo 2 ont des contenus en ce nutriment qui sont significativement plus élevées que celui des parcelles témoins (T4), cela prouve le pouvoir d'enrichissement du sol en azote que possède le Stylosanthes. Par rapport à une monoculture, une rotation culturale sous un couvert d'une légumineuse enrichit le sol en azote par les résidus de la légumineuse et les autres cultures subséquentes peuvent bénéficier de cet

azote par la minéralisation des résidus (Varvel *et al.*, 1990 ; Peaples *et al.* 1995 ; Chalk *et al.*, 1998). Ceci est visible pour les traitements comportant la rotation manioc- maïs - maïs (T4) où les moyennes sont relativement basses par rapport aux traitements comportant la légumineuse. Pour le phosphore du sol, après les trois années culturales, le traitement à jachère pure améliorée avec stylo 1 (T7) présente une teneur en phosphore significativement plus élevée que celles des autres traitements, y compris celle du traitement ayant connu une application des engrais chimiques. Dans ce traitement à jachère pure, il n'y a pas eu de plantes cultivées qui auraient prélevées des nutriments, y compris le phosphore, exportés avec les récoltes. Le traitement T3 montre une teneur en phosphore assimilable significativement plus élevée que celles des traitements T1 et T5. Ce constat signifierait que les engrais chimiques ont amélioré la teneur en phosphore assimilable par les apports provenant des engrais appliqués aux cultures. Le P assimilable a augmenté dans les trois rotations pour tous les traitements contenant la légumineuse par rapport au témoin. Ceci s'explique par le fait que de nombreuses plantes légumineuses ont montré des aptitudes particulières à extraire et à utiliser le P dans les sols pauvres (Gardener *et al.,* 1981 ; Giller *et al.,* 2009). En plus de l'azote, les précédentes légumineuses augmentent la nutrition phosphatée. Par leurs apports en résidus organiques riches en N et P et la solubilisation du P par leurs exsudats racinaires, les précédentes légumineuses augmentent la nutrition phosphatée des plantes subséquentes de 90% par rapport à la monoculture. Ainsi, les légumineuses améliorent à la fois la nutrition en N et P qui sont les deux éléments nutritifs limitant les rendements des cultures au Burundi (Mueller *et al.,* 2010 ; ISABU, 2012), expliquant leurs effets positifs sur les rendements. Les exsudats racinaires de certaines légumineuses seraient capables de solubiliser les phosphates de calcium (Gardener *et al.,* 1981 ; Subbarao *et al.,* 1997), augmentant ainsi le phosphore assimilable. Les légumineuses peuvent favoriser l'infection du sol par les mycorhizes qui améliorent la disponibilité du P (Alvey *et al.,* 2001). Tous ces facteurs favorables peuvent conduire à une augmentation du P disponible et son absorption par les cultures succédant aux légumineuses. Le *S.guianensis* possède aussi la capacité d'extraire le phosphore des sols qui en sont très peu pourvus (Husson *et al.,* 2008). Enfin, le phosphore améliore en particulier la fixation symbiotique de l'azote et beaucoup de travaux indiquent que l'efficacité du P sur la fixation de l'azote réside dans sa capacité à augmenter la nodulation et l'activité de la symbiose (Giller *et al.,* 1995).

Pour ce qui est du potassium échangeable, les traitements T4, T5 et T6 présentent des teneurs en ce nutriment qui sont significativement plus faibles que celles des autres traitements. Les traitements T1 et T2 sont classés dans un même groupe de moyennes homogènes et leur teneur en K sont significativement supérieures à celles du traitement sans couverture de Stylosanthes

(T4); cela signifie que stylo 1 et stylo 2 améliorent d'une façon qui n'est pas différente la teneur en potassium du sol. De même, les teneurs en K des traitements T1 et T2 sont significativement plus élevée que celles des traitements T5 et T6 ; la culture du manioc aurait donc eu un effet d'augmenter les teneurs en K du sol. La comparaison entre T1 et T3 pour le potassium échangeable montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux traitements ; un constat qui montre que l'application des engrais chimiques à une culture conduite sous couverture de stylo 1 n'améliorerait pas les teneurs en potassium du sol. L'inexistence de différence significative entre les traitements à jachère pure (T7) et ceux des systèmes manioc-maïs-maïs (T1 et T3) signifierait que les cultures menées sous couverture de Stylosanthes ne provoquent pas de diminution de ce nutriment dans le sol. Par contre, si ces cultures sont conduites sans couverture de Stylosanthes (T4), une diminution significative par rapport à la jachère pure (T7) est observée.

Pour le calcium, la couverture permanente avec Stylosanthes améliore significativement les teneurs en cet élément puisque les niveaux de ce nutriment dans les traitements à *Stylosanthes* (T1, T2, T3, T5, T6 et T7) sont significativement plus élevés que celui observé dans le traitement témoin (T4). De même, après trois ans, il n'y a pas de différence entre les traitements T1 et T2 d'un côté et T5 et T6 d'un autre côté ; les variétés stylo 1 et stylo 2 auraient donc des effets similaires vis à vis du calcium du sol.

Pour le magnésium, les traitements T1 et T2 étant dans un même groupe de moyennes homogènes et étant significativement différents du traitement T4 pour le magnésium, les deux variétés de *Stylosanthes* augmenteraient mais d'une manière similaire les teneurs en magnésium échangeable du sol.

Globalement pour les actions échangeables, les rotations culturales à base de la légumineuse pour les traitements ont influencé également l'augmentation des actions échangeables surtout le K^+, Ca^{2+} et Mg^{2+}. Dans toutes les trois rotations, une augmentation de bases échangeables s'observe comparativement au sol de départ, probablement à cause des engrais organiques fournis par le *S.guianensis* (Gardener *et al.,* 1981). Le rôle bénéfique de la légumineuse sur la capacité d'échange cationique du sol explique certainement les quantités élevées de cations échangeables (K^+, Ca^{2+}et Mg^{2+}) obtenues sur les systèmes comportant le stylo où la biomasse de la légumineuse recepée à la fin de la saison sèche se décompose pendant la saison pluvieuse (Husson *et al.,* 2008 ; Mueller *et al.,* 2010). Cet effet bénéfique des résidus organiques sur les actions échangeables a comme conséquence, une augmentation de la CEC (Mueller *et al.,* 2010). De plus, *S. guianensis* contribue à recycler les bases (Ca, K et Mg), les oligo-éléments

(B, Cu, Zn) et surtout le Mn qui fait souvent défaut dans les sols des zones tropicales humides (Bulakali *et al.,* 2013), ce qui pourrait expliquer l'augmentation des bases échangeables.

5.5. Conclusion partielle

La durabilité des systèmes de production s'apprécie principalement à deux niveaux : la productivité et la préservation (voire l'amélioration) des capacités de production des ressources. Cette étude a été conduite pour explorer le potentiel de fertilisation du sol par la couverture permanente du sol avec deux variétés de *S. guianensis.* Elle a été conduite avec expérimentation en champ sur des parcelles couvertes complètement avec Stylosanthes et comportant trois types de rotation de cultures à savoir le système manioc - maïs - maïs, la rotation jachère améliorée avec *Stylosanthes sp* - maïs - maïs et jachère pure de *Stylosanthes*. Les échantillons de sols ont été prélevés et analysées après chacune des trois successives années culturales conduites pour l'essai.

Après analyse des résultats, il a été constaté que les variétés CIAT 187 et 202 CC améliorent les propriétés chimiques et physico-chimiques du sol (pH, CO, N, P, K, Ca et Mg). De même, il n'existe aucune différence significative entre les effets des couvertures du sol par ces deux variétés. Par ailleurs, l'application des engrais chimiques dans les parcelles couvertes par le stylo CIAT 187 n'a montré d'effets significatifs que pour le phosphore assimilable. Dans les conditions d'expérimentation, l'effet du SCV sur fertilité du sol tend vers la neutralité en première année du fait de la lente installation de *S. guianensis*. Les effets immédiats des pratiques agro écologiques testées se rapportent à la gestion de la fertilité des sols. La combinaison de la fumure minérale avec les technologies d'AC peut donner les meilleurs équilibres des nutriments.

CHAPITRE 6. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

6.1. Conclusion générale

Le travail réalisé avait pour but la mise au point d'un système de culture en semis direct dans un couvert permanent de stylo adapté aux conditions des sols de la plaine de l'Imbo. Dans ces conditions de la plaine de l'Imbo, *S. guianensis* présente des performances élevées de production de biomasse. Cela permet l'obtention de la couverture permanente nécessaire permettant la mise en place d'un système de culture en semis direct dans les rotations culturales. Le rendement des tubercules du manioc en association avec stylo est par contre réduit par rapport à la quantité de racines obtenue quand il est cultivé seul. Cet effet négatif sur le rendement du manioc en association avec le stylo pourrait etre attenué. Il serait intéressant de tester d'autres modalités de mise en place de la plante de couverture afin d'identifier celle qui aurait le moins de conséquences négatives sur le rendement du manioc. Les options possibles sont : décalage du semis du stylo, rabattage de son couvert à une ou deux reprises avant la récolte du manioc.

La culture associée du stylo et du manioc se traduit par une augmentation sensible des besoins en main d'œuvre par rapport à la culture pure du manioc, principalement à cause de la nécessité de réaliser les sarclages nécessaires au bon développement du stylo, celle-ci pourrait sans doute être limitée par une augmentation de la densité de semis du stylo pour assurer un étouffement plus rapide des adventices. Il serait également intéressant de tester une autre technique de semis du stylo pour limiter le temps de travail nécessaire à son installation comme le semis à la volée et la limitation du nombre de sarclages. Il est à remarquer aussi qu'une fois que *S. guianensis* s'est installé dans une parcelle, son couvert peut se reconstituer facilement par ressemis naturel des graines produites avant le recépage des tiges au ras du sol à la fin de la grande saison sèche et cela permet la mise en place du couvert végétal permanent recherché. Les informations rassemblées dans ce travail montrent que *S.guianensis* est bien adapté aux contraintes naturelles de la plaine de l'Imbo où il est envisageable de l'utiliser comme engrais vert, plante améliorante des jachères et comme couvert végétal permanent pour le développement de l'agriculture de conservation.

La présente étude avait aussi pour objectif d'évaluer les performances de la culture du maïs en semis direct sous un couvert végétal de *S. guianensis* dans les conditions de la plaine de l'imbo. Les résultats obtenus montrent que pour la production de maïs en grain, les systèmes à base de l'association maïs/stylo viennent en premier lieu, suivis des systèmes à base de maïs seul. Avec le semis direct du maïs dans un couvert végétal de *S. guianensis*, la récolte obtenue est comprise entre 2,4±0,2 t/ha et 3,1±0,09 t/ha de maïs grain en association avec stylo et en culture pure, respectivement. Dans l'association, l'ajout de la fumure minérale diminue la rentabilité

économique par rapport aux systèmes stylo/maïs sans engrais et les systèmes à base de maïs seul viennent en dernière position. Compte tenu des quantités produites des biomasses de l'espèce *S. guianensis,* la variabilité des rendements en biomasse n'est pas importante entre les systèmes testés et il n'est pas possible de choisir une des espèces comparées au niveau de ce critère. Cependant, la production de la biomasse obtenue oscille autour de 8750±464 kg/ha du poids de la biomasse sèche dans le cas de l'association maïs/stylo, ce qui montre que ces quantités de biomasse sont suffisantes conformément à celles qui sont recommandées en zone tropicale pour assurer un couvert favorable du sol afin de mettre en place un SCV pour la culture suivante et faire les rotations des cultures convenables en semis direct.

Cependant, des systèmes de cultures en rotation à base d'association maïs/stylo montrent une rentabilité économique élevée par rapport au système composé de maïs en culture pure. Néanmoins, pour les systèmes à base de stylo sans engrais, la rentabilité économique est très élevée du fait qu'on enregistre un rendement élevé par rapport au système avec l'ajout de l'engrais. Etant donné que le coût des engrais est élevé, ceci a une influence sur l'augmentation du coût de production comparativement au système composé de l'association maïs/stylo seul.

Pour l'évaluation des performances de la culture du maïs en semis direct sous un couvert végétal de *S.guianensis* dans les conditions de la plaine de l'imbo, les systèmes à base de l'association maïs/stylo présentent des performances élevées, suivis des systèmes à base de maïs seul. Dans l'association, l'ajout de la fumure minérale n'a pas d'effet sur la rentabilité économique par rapport aux systèmes Stylo/maïs sans engrais et les systèmes à base de maïs seul viennent en dernière position. Cela montre que dans ce système de culture en semis direct du maïs le *S.guianensis* apporte des éléments nutritifs nécessaires au développement de la culture qui lui est associée par la fixation symbiotique de l'azote et la décomposition de la paille du fait de l'amélioration de la teneur en éléments nutritifs du sol. Cela permet d'améliorer le rendement des cultures subséquentes.et la culture conjointe de ces deux plantes ne se traduit pas par une diminution du rendement du maïs.

Compte tenu des quantités produites des biomasses de l'espèce S. *guianensis,* la quantité produite augmente jusqu'à 8750±464 kg/ha du poids de la biomasse sèche dans le cas de l'association maïs/stylo, ce qui montre que ces quantités de biomasse sont suffisantes pour assurer un couvert favorable du sol afin de mettre en place un SCV pour la culture suivante. Pour le cas de la main d'œuvre utilisée, il y a trois fois moins de journée de travail dans le cas de l'association maïs/stylo que dans le cas de la culture pure du maïs. Cette baisse du temps des travaux dans le système de

cultures associées à la légumineuse s'explique par la suppression du labour et par la réduction sensible du temps consacré aux sarclages.

La production de la biomasse du maïs associé à l'espèce *S. guianensis* permet le renforcément du paillis de la plante de couverture dans l'association. Compte tenu des avantages du maintien de la couverture permanente du sol, les systèmes de culture à base du maïs en semis direct sous couvert permanent sont à vulgariser, puis appliqués dans les exploitations agricoles pour contribuer à sauvegarder l'environnement et la production agricole durable. Ceci est valable dans les conditions de la plaine de l'Imbo en tenant compte du coût des intrants (engrais minéraux) qui est relativement cher pour les agriculteurs n'ayant pas de moyens pour s'en procurer.

Afin d'explorer le potentiel de fertilisation du sol par la couverture permanente avec deux variétés de *S.guianensis.* Il a été constaté que les variétés CIAT 187 et 202 CC améliorent les propriétés chimiques et physico-chimiques du sol suivantes : pH, CO, N, P, K, Ca et Mg, il n'existe aucune différence significative entre les effets des couvertures du sol par ces deux variétés. En outre, aucune différence significative entre le traitement à jachère permanente et pure de *S. guianensis* et le traitement avec culture de manioc – maïs – maïs n'a été notée pour les propriétés pH, CO, N et K. Ces deux traitements diffèrent significativement pour les teneurs en P et Ca et Mg. Il apparait clairement que la couverture permanente du sol avec les deux variétés de *Stylosanthes* améliore la fertilité chimique du sol supportant ou non le système de culture manioc - maïs - maïs. Comparativement aux systèmes traditionnels à faible rendements, il existe un potentiel de rendement des cultures qui peut être exploité par une utilisation judicieuse des rotations avec les légumineuses pour améliorer la fertilité des systèmes traditionnels. Les résultats sur les propriétés chimiques des sols permettent de tirer un certain nombre de conclusions et de faire des recommandations.

Même si les producteurs ne disposent pas d'assez de ressources pour investir dans l'achat des engrais minéraux, ils peuvent améliorer la fertilité du sol en pratiquant l'association légumineuse avec une culture subséquente. Au champ, les légumineuses amélioreront la fertilité du sol, entraînant une plus grande production de biomasse. Les résidus des légumineuses peuvent servir à l'alimentation des animaux, produisant un fumier riche en éléments nutritifs. Un tel système permettra un recyclage des éléments nutritifs assurant une gestion durable de la fertilité des sols. Mieux que la pratique traditionnelle de la jachère qui est de moins envisageable avec la forte pression sur les terres cultivables, les légumineuses offrent des alternatives plus intéressantes pour une exploitation continue et à long terme de la fertilité du sol. En complément à cette étude, il

faudrait étendre l'étude de l'influence de la couverture du sol par le stylo aux autres systèmes culturaux et dans d'autres zones agro écologiques.

Enfin, l'identification des meilleures modalités d'introduction de cette légumineuse dans les systèmes de production existant pour pouvoir tirer parti de ces nombreux avantages demandera d'importants efforts de recherche.

6.2. Avancées et perspectives de développement de la recherche

L'essai de la mise au point de systèmes de culture continu en SCV dans la plaine de l'Imbo étant à son début, plusieurs questions de recherche ne sont pas encore abordées ; ce qui constitue des domaines d'investigation pouvant améliorer les résultats obtenus.

Cette recherche requiert un temps suffisant, pour pouvoir apprécier le potentiel se *S. guianensis* en matière de fertilité des sols et de performances de production sans oublier le comportement des producteurs et l'adoption des technologies mises au point (Penot *et al.*, 2015). Ceci ouvrira de nouvelles pistes de recherche concernant les SCV au Burundi et concernant la fertilité du sol.
Parmi les modalités d'installation de la culture *S. guianensis* qui ont été testées, l'association avec le manioc a montré le meilleur développement de la plante de couverture tout au début. Cependant, les facteurs et les mécanismes qui expliquent ce résultat ne sont pas explicités. Ils seraient liés à la précocité de la nodulation et de la fonctionnalité des nodules. La recherche sur la densité de semis du manioc, en association avec *S guianensis*, sur la nodulation et le développement du système racinaire de la culture devrait aussi être envisagée, pour déterminer les souches de Rhizobia, leur densité sur les racines, leur efficacité de fixation d'azote, leurs effets sur le développement des cultures. Il serait aussi nécessaire de tester d'autres modalités de mise en place de la plante de couverture afin d'identifier celle qui aurait le moins de conséquences négatives sur le rendement du manioc (décalage du semis du stylo, rabattage de son couvert à une ou deux reprises avant la récolte du manioc).
Il faudrait aussi étudier les modalités d'utilisation de la biomasse produite en place chaque année (avec et sans apport d'engrais) en considérant différent usages : (i) la couverture du sol et (ii) l'alimentation du bétail en cas de culture continue la rotation manioc-stylo // maïs-stylo ou en rotation maïs-stylo // maïs-stylo.
Il a été observé qu'une fois installé, *S. guianensis* montre une concurrence vis-à-vis de la culture associée en 1ère année d'installation avec des effets dépressifs sur les rendements. Cependant, les mécanismes qui régissent cette concurrence ne sont pas totalement étudiés : cela laisse un certain nombre de questions à savoir (quelles sont les niveaux critiques de couverture du sol par *S.*

guianensis induisant un retard de croissance, densité de semis, etc., par exemple). De même, les intérêts des pratiques de gestion de la fertilité du sol et de la biomasse de couverture devraient être plus approfondis. De manière générale, la réflexion devrait être engagée sur les modalités des systèmes en SCV, en termes de superficie cultivée en SCV, de dynamique de fertilité du sol et de revenus agricoles tirés de ces modalités.

Dans ce cas, l'installation de *Stylosanthes* pourrait correspondre à la culture du maïs dans la rotation : ce qui favoriserait l'établissement de la légumineuse de couverture. Les cycles successifs de la plante de couverture doivent être suivis de recépage de la biomasse de couverture et la mise en place du sarclage dans la ligne de semis. Cette recherche pourrait être combinée avec l'évaluation de la réponse des variétés hâtive et tardive, de manioc et du maïs notamment, au SCV et aux pratiques de fumure minérale. En outre, la réponse variétale de stylo aux pratiques de gestion de la biomasse de couverture telles que le recépage de *S. guianensis* et le sarclage dans la ligne de semis serait un axe de recherche pouvant conduire à la détermination de la durée du cycle des variétés propices au SCV. La concurrence de Stylosanthes étant conditionnée par son niveau de couverture du sol qui dépend du ressemis naturel (semences restant au sol), la mise en place de technologies de récoltes des semences devrait contribuer à réduire la quantité dans le sol et, par conséquent, réduire la densité de la végétation issue du ressemis naturel. Il faudrait aussi évaluer une autre technique de semis du stylo pour limiter le temps de travail nécessaire à son installation (semis à la volée et limitation du nombre de sarclages).

Ces éléments pourraient être les orientations de la création d'une filière semencière de *S. guianensis* surtout après purification, enrobage et conditionnement des semences étant donné que la récolte et la disponibilité des semences sont nécessaires à l'adoption et la mise à l'échelle du SCV.Il faudrait aussi faire des études avec les autres plantes de couverture comme *Mucuna pruriens* ou *Dolichos pruriens, Pueraria phaseoloides (Roxb.)Benth, Desmodium intortum* dans le but de tester leur adaptabilité et productivité avec les systèmes de cultures adaptés dans la plaine de l'Imbo. Bien que les recherches antérieures aient mis en lumière l'adaptabilité du *S. guianensis* dans la plaine de l'Imbo et Mosso (Vancoppenolle *et al.*, 1984; Mbonihankuye *et al.*, 2020), certains aspects écologiques ont été insuffisamment explorés ou n'ont pas encore fait l'objet d'étude. Les quantités d'azote fixé par les légumineuses, leurs contributions en azote dans les systèmes de rotation et leurs impacts sur la nutrition azotée ont été très peu étudiées au Burundi. Ces données sont pourtant très utiles pour développer des règles de fertilisation adaptées et permettant d'améliorer la productivité des systèmes de culture en valorisant le potentiel en azote des légumineuses.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abayomi, Y. A., Fadayomi, O., Babatola, J. O., & Tian, G. (2001). Evaluation of selected legume cover crops for biomass production, dry season survival and soil fertility improvement in a moist savanna location in Nigeria. *African Crop Science Journal*,*9*(4), 615-627.

Abdel-Ghaffar, A. S., El-Attar, H. A., El-Halfawi, M. H., & Abdel Salam, A. A. (1981). Effects of inoculation, nitrogen fertilizer, salinity, and water stress on symbiotic N2 fixation by Vicia faba and Phaseolus vulgaris. In. Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture. Peter H. Graham (ed.). Centro International de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 153 – 159.

Adjolohoun, S., Buldgen, A., Adandedjan, C., Decruyenaere, V., & Dardenne, P. (2008). Yield and nutritive value of herbaceous and browse forage legumes in the Borgou region of Benin.*TG: Tropical Grasslands*, *42*(2), 104.

Akinlade, J. A., Farinu, G. O., Agboola, O. O., Akingbade, A. A., Ojebiyi, O. O., & Aderinola, O. A. (2008). Research note: Nutritive value of four accessions of Stvlosanthes scabra in the derived savanna zone of Nigeria. *TG: Tropical Grasslands*, *42*(2), 120.

Akinlade, J., Smith, J. W., Larbi, A., Archibald, A. L., & Adekunle, I. O. (2002). Forage from cropping systems as dry season supplements for sheep. *Tropical Grasslands*, *36*(2).

Akobundu, I. O., Udensi, U. E., & Chikoye, D. (2000). Velvetbean (Mucuna spp.) suppresses speargrass (Imperata cylindrica (L.) Raeuschel) and increases maize yield. *International Journal of Pest Management*, *46*(2), 103-108.

Alvey, S., Bagayoko, M., Neumann, G., & Bürkert, A. (2001). Cereal/legume rotations affect chemical properties and biological activities in two West African soils. *Plant and Soil*, *231*, 45-54.

Andrews, C. S., & Norris, D. O. (1961). Comparative responses to calcium of five tropical and four temperate legumes. *Aust. J. Agric. Research*, *12*, 40-55.

Antoine, G. (2012). *Dynamique et Perspectives de la Filière Cotonnière du Burundi* (Doctoral dissertation, Universite de Liege (Belgium)),242 p.

Bado, B. V., Sédogo, M. P., Cescas, M. P., Lompo, F., & Bationo, A. (1997). Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, *6*(6), 571-575.

Barihema, J. B. (2007). Contribution à l'étude de la productivité de *Stylosanthes guianensis* dans les conditions naturelles de l'Imbo (site FACAGRO), Bujumbura, UB, FACAGRO, Mémoire, 61p.

Bashirakandi, O. (2013). Impact de la gestion en semis sous-couvert végétal du système bananier-haricot sur la performance du bananier et la fertilité du sol, Bujumbura, UB, FACAGRO, Mémoire, 53p.

Bationo, A., & Ntare, B. R. (2000). Rotation and nitrogen fertilizer effects on pearl millet, cowpea and groundnut yield and soil chemical properties in a sandy soil in the semi-arid tropics, West Africa. *The journal of agricultural science*, *134*(3), 277-284.

Bédécarrats, F., Guérin, I., & Roubaud, F. (2020). *Randomized control trials in the field of development: A critical perspective* (p. 442). Oxford University Press.

Berger, M., Belem, P. C., Dakouo, D., & Hien, V. (1987). Le maintien de la fertilité des sols dans l'Ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. Cot. et Fib. Trop. ; vol.XLII Fasc 3 pp 10.

Bogdan-Mihai O., B. M., Vidican, R., Sandor, V., Brad, T., & Sandor, M. (2017). Priming effect induced by the use of different fertilizers on soil functional diversity. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Agriculture*, *74*(2), 107-115.

Bolliger, A., Magid, J., Amado, J. C. T., Neto, F. S., dos Santos Ribeiro, M. D. F., Calegari, A., & de Neergaard, A. (2006). Taking stock of the Brazilian "zero-till revolution": A review of landmark research and farmers' practice. *Advances in agronomy*,*91*, 47-110.

Buckles, D. (Ed.). (1998). Cover crops in West Africa: Contributing to sustainable agriculture. IDRC. *International development Research Centre*., 45 p

Bulakali, B. P., Aloni, J., Palata, J. C., & Mergeai, G. (2013). Évaluation des performances de la production de graines par tamisage manuel du sol chez trois variétés de Stylosanthes guianensis (Aublet) Swartz, dans les conditions du Plateau des Batéké (RDC). *Tropicultura*,*31*(4). 253-259

Bulakali, B. P., Aloni, J., Palata, J. C., & Mergeai, G. (2014). Performances de trois variétés de manioc (Manihot esculenta Crantz) cultivées en association avec Stylosanthes guianensis (Aublet) Swartz dans les conditions du plateau des Batéké (ville-province de Kinshasa, RDC). *Tropicultura*, *32*(4), 158-167.

Buldgen, A., Piraux, M., & Compère, R. (1995). Réhabilitation des terres et synergie agriculture-élevage au sein de systèmes de production modernisés en région sahélo-soudanienne sénégalaise. *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait*, 389-401.

Calegari, A. (2008). Conservation agriculture: No-tillage including cover crops and crop rotation in Brazil.*Integrated Crop Management*,*6*, 134p.

Camara, A., Dieng, A., & Mergeai, G. (2015). Amélioration des systèmes de production mixtes en Afrique soudano-sahélienne. Rôle de l'espèce Stylosanthes hamata (L.) Taub.(synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, *19*(3). 280-288

Camara, A., Dieng, A., & Mergeai, G. (2018). Analyses prospectives des possibilités d'amélioration durable des performances des exploitations agricoles de I'Ouest du Bassin Arachidier du Sénégal: Cas des producteurs de Jatropha {Jatropha curcas L. *Tropicultura*, *36*(4).

Chalk, P. M. (1998). Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, *49*(3), 303-316.

Chandra, A. (2009). Diversity among Stylosanthes species: habitat, edaphic and agro-climatic affinities leading to cultivar development.*Journal of Environmental Biology*,*30*(4). 471- 478.

Chivenge, P. P., Murwira, H. K., Giller, K. E., Mapfumo, P., & Six, J. (2007). Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils.*Soil and tillage research*,*94*(2), 328-337.

Cochet, H. (2001). Crises et révolutions agricoles au Burundi, INAPG - Karthala, Paris.473p

Corsi, S., Friedrich, T., Kassam, A., Pisante, M., & Sà, J. D. M. (2012).*Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: a literature review* (pp. x+-89). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Dagnelie, P. (1987). Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2. Les Presses Agronomiques, Gembloux, Belgium. *Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2. Les Presses Agronomiques, Gembloux,* Belgique, 463p.

Derpsch, R. (2001, May). Keynote: Frontiers in conservation tillage and advances in conservation practice. In *Sustaining the global farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organisation meeting held May* (pp. 24-29).

Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Li, H. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International journal of agricultural and biological engineering*, *3*(1), 1-25.

Domínguez, A., Bedano, J. C., & Becker, A. R. (2010). Negative effects of no-till on soil macrofauna and litter decomposition in Argentina as compared with natural grasslands. *Soil and Tillage Research*, *110*(1), 51-59.

Dommergues, Y., Duhoux, E., & Diem, H. G. (1999). Les arbres fixateurs d'azote, caracteristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux avec références particulières aux zones subhumides et arides. (ed) Espaces 34. *Montpellier. France*, 499.

Dufumier, M. (2004). *Agricultures et paysanneries des Tiers mondes*. KARTHALA Editions. Paris, France, 77p.

Dugué, P. (1999). Production et coûts des semences utilisées pour l'amélioration des jachères et des aménagements antiérosifs :" le cas des zones de savane du Nord Cameroun". Tropicultura, 16-17, 4, 207-211.

Dugué, P., & Olina Bassala, J. P. (2015). Processus d'innovation et recomposition des territoires agricoles : le cas du semis sous couvert végétal au nord du Cameroun. *Cahier Agriculture*, vol. 24 :93-101.

Edye, L. A., & Grof, B. (1994). Selecting cultivars from naturally occurring genotypes: evaluating Stylosanthes species. InMcIvor,J.G. ;Bray,R.A. ,ed.,Genetic resources of forage plants .Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization,Melbourne,Australia.pp.217-232.

Emanoel, G.M., Albuquerque, J. M., & Aguiar, A. D. C. F. (2008). Growth and productivity of corn as affected by mulching and tillage in alley cropping systems. *Scientia Agricola*, *65*, 204-208.

Erenstein, O. (2003). Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *100*(1), 17-37.

FAO. (1993). Le maïs dans la nutrition humaine (Collection FAO : alimentation et nutrition n° 25). ISBN 92-5-203013-. Rome, 174p. Consulté le 21/05/2020

FAO. (2002). Rapport National relatif aux Objectifs du Millénaire pour le Développement, Royaume du Maroc, 54P. Consulté le 11/04/2021

FAO. (2008). Conservation Agriculture. 2015 –05 – 10. http://www.fao.org/ag/ ca/index.html. Consulté le 05 Mars 2024)

FAO. (2008). Conservation Agriculture. http://www.fao.org/ag/ca/fr/index.html consulté le 21/08/2022

FAO. (2008).www.fao.org/ag/ca/fr, Agriculture de Conservation, 80p. Consulté le 15/08/2023

FAO. (2008).www.fao.org/ag/ca/fr, Agriculture de Conservation, 80p. Consulté le 4/10/2023

FAO. (2010). http://www.countrystat.org/home.aspx?c=BDI&p=ke.consulté le 14/6/2024

FAO. (2010). www.fao.org/ag/ca/fr, Agriculture de Conservation, 80p. Consulté le 05 /8/2024)

FAO. (2011). Agriculture de conservation et ses principes fondamentaux. Département de l'agriculture et de la protection des consommateurs. HTE N° 149/150, p61-66 consulté le 04/9/ 2024)

FAO. (2015). Agriculture de conservation. Département de l'agriculture et de protection de consommateurs (http://www.fao.org/ag/ca/fr/1c.html visité le 05 /11/ 2024)

Faure, G., Gasselin, P., Triomphe, B., Temple, L., & Hocdé, H. (2010). *Innover avec les acteurs du monde rural : la recherche-action en partenariat*. Ed. Quae. CTA, Presses agronomiques de Gembloux (2010). 221 pages

Fening, J. O., Dogbe, W., & Danso, S. K. A. (2001). Assessment of the potential to improve N fixation by cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.) in Ghanaian soils. *American journal of alternative agriculture*, *16*(2), 57-65.

Fernandes, P., Oliver, R., & Diatta, S. (2000). Changes in organic matter of a ferrallitic tropical soil degraded by cropping systems: the case of Southern Senegal. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, *14*(2), 137-150.

Frankart, R.P., Herbillon, A.J. (1971). Aspects de la pédogenèse des sols halomorphes de la Basse Rusizi (Burundi) : présence et genèse de l'analcime. Musée Royal de l'Afrique Centrale.

Gahiro, L. (2011). *Compétitivité des filières rizicoles burundaises : le riz de l'Imbo et le riz des marais* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE DE LIEGE-GEMBLOUX AGRO-BIO TECH ; Université de Liège),222 p.

Gardner, W. K., Parbery, D. G., & Barber, D. A. (1981). Proteoid root morphology and function in Lupinus albus. *Plant and soil*, *60*, 143-147.

Gilchrist, E.C.A. (1967). A place for Stylo in North Queensland pastures. Queensl. Agric. J., 93, 344-349.

Giller, K. E., Witter, E., Corbeels, M., & Tittonell, P. (2009). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: the heretics' view. *Field crops research*, *114*(1), 23-34.

Gomez K.A and Gomez A.A. (1983). Principes d'expérimentation-Gembloux, 1981-182p. (Les presses agronomiques de Gembloux), Théories et méthodes statistiques. Applications agronomiques. Vol.1. La statistique descriptive et fondements de l'inférence statistique 2ème édition. Vol. 2. 378-463p.

Gomez K.A, Gomez A.A. (1983). Statistical procedures for agricultural research. Second edition. Los Barïos, Philippines, 680p.

Hopkinson, J. M., & Walker, B. (1984). Seed production of Stylosanthes cultivars in Australia. in: Biology and Agronomy of *Stylosanthes.* H. Stace and L. Edye, eds. Academic Press, Sydney, Australia. Pages 433-450

Husson, O., Charpentier, H., Razanamparany, C., Moussa, N., Michellon, R., Naudin, K., ... & Séguy, L. (2008). Stylosanthes guianensis. *Fiches techniques, Plantes de couverture : Légumineuses pérennes, Cirad, France*. GSDM, afd, Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, 11p.

IGEBU. (2016). Relevés météorologiques : 2008-2014. Rapport interne, IGEBU, GITEGA, 96p.

IGEBU. (2018). Relevés météorologiques : 2012-2018. Rapport interne, IGEBU, GITEGA, 96p.

IGEBU. (2020). Relevés météorologiques : 2015-2019. Rapport interne, IGEBU, GITEGA, 96p.

Irakoze, W. (2020). *Discriminating the effects of the anionic components of salt-stress in rice (Oryza sativa L.): comparison between NaCl and Na2SO4 toxicities* (Doctoral dissertation, UCL-Université Catholique de Louvain).375 p.

ISABU. (2008). Les principales légumineuses au Burundi, Bujumbura, 27p.

ISABU. (2010). Programme plantes à tubercules. Rapport annuel, Bujumbura, 39 p

ISABU. (2010). Rapport annuel, Bujumbura, 63p

ISABU. (2011). La culture du manioc. Rapport annuel, Bujumbura, 17 p

ISABU. (2012). Plantes à Céréales. Rapport annuel, Bujumbura, 59 P

ISABU. (2012). Plantes à tubercules. Rapport annuel, Bujumbura, 62 P

ISABU. (2012). Programme Céréales : Maïs. Rapport annuel, Bujumbura, 39 p

ISABU. (2012). Programme Racines et tubercules, Manioc. Rapport annuel : Bujumbura, 39 p

ISABU. (2016). Les principales légumineuses fourragères au Burundi, Bujumbura, 27p.

ISTEEBU. (2008). Recensement général de la population et de l'habitant. Rapport interne, Bujumbura, 2008,288p.

ISTEEBU**. (**2011). Enquête sur les principales activités de l'économie Burundaise. Rapport annuel, Bujumbura, 288 p.

Jabiol, B., Baize, D. (2011). Guide pour la description des sols. *Guide pour la description des sols*, 1-430.

Johansen, C., Haque, M. E., Bell, R. W., Thierfelder, C., & Esdaile, R. J. (2012). Conservation agriculture for small holder rainfed farming: Opportunities and constraints of new mechanized seeding systems. *Field Crops Research*, *132*, 18-32.

Kabwa, A. (2010). Etude de désalinisation des périmètres aménagés et irrigués encadrés par la société régionale de développement de l'Imbo « S.R.D. Imbo ».80P

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R., Lahmar, R., Mrabet, R., Basch, G., ... & Serraj, R. (2012). Conservation agriculture in the dry Mediterranean climate. *Field Crops Research*, *132*, 7-17.

Kazan, K., Manners, J. M., & Cameron, D. F. (1993). Genetic variation in agronomically important species of Stylosanthes determined using random amplified polymorphic DNA markers. *Theoretical and Applied Genetics*, *85*, 882-888.

Kiyothong, K., & Wanapat, M. (2004). Growth, hay yield and chemical composition of cassava and Stylo 184 grown under intercropping. *Asian-australasian journal of animal sciences*, *17*(6), 799-807.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol. Z. 15, 259–263.

Koulibaly, B., Dakuo, D., Ouattara, A., Traoré, O., Lompo, F., Zombré, P. N., & Yao-Kouamé, A. (2015). Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *Tropicultura*, *33*(2),125-134

Lal, R. (1989). Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: III: Changes in soil chemical properties. *Agroforestry Systems*, *8*, 113-132.

Landon J.R., 1991. Booker Tropical Soil Manual. A Handbook for Soil Survey and Agricultural Land Evaluation in the Tropics and Subtropics. J.R. Landon (Ed.) Longman Technical Copublished in the United States with John Wiley and Sons, Inc., New York, 474p.

Landon, J. R. (1991). *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Routledge. Longman Technical Copublished in the United States with John Wiley and Sons, Inc., New York, 474p.

Latham, P. KONDA ku MBUTA A. (2007). *Plantes utiles du Bas-Congo. République Démocratique du Congo*. RDC. Mystole Publication, Pages 192-193, 286p

M'biandoun M., Olina J.P., Nchoutnji I., Kaptchouang E. (2006).Effet des SCV et recherche d'un précédent à la culture cotonnière sous couverture végétale (1ère et 2èmeannée). Convention IRAD-ESA Garoua, 9 et 13 p.

MacColl, D. (1990). Studies on maize (Zea mays) at Bunda, Malawi. III. Yield in rotations with pasture legumes. *Experimental Agriculture*, *26*(3), 263-271.

Malézieux, E. (2011). Designing cropping systems from nature. *Agronomy for sustainable development*, *32*, 15-29.

M'Biandoun, M., Dongmo, A. L., Balarabe, O., & Nchoutnji, I. (2010). Systèmes de culture sur couverture végétale en Afrique centrale : conditions techniques et socioéconomique pour son développement. In *Savanes africaines en développement : innover pour durer* (pp. 10-p). Cirad.

Mclntire, J. (1986). Constraints to fertilizer use in sub-Saharan Africa. In *Management of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers in Sub-Saharan Africa: Proceedings of a symposium, held in Lome, Togo, March 25–28, 1985* (pp. 33-57). Dordrecht : Springer Netherlands.

MINAGIRE. (2008). Programme National de Sécurité Alimentaire.Bujumbura, 149 p

MINAGRIE. (2010). Rapport sur l'enquête agricole. Bujumbura, 128p

MINAGRIE. (2014). ETATS GENERAUX DE L'AGRICULTURE ET DE L'ELEVAGE (EGAE), Edition 2014. RAPPORT GENERAL. Thème principal : « Evaluation de la mise en œuvre des politiques agricoles nationales : défis et perspectives d'avenir ». BUJUMBURA, 159p

MINAGRIE/FAO/PA M/OCHA/UNICEF. (2008). Evaluation des récoltes, des approvisionnements alimentaires et de la situation nutritionnelle, saison agricoles 2008 et 2008B, Bujumbura ,40 pages

MINATE. (2001). Convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Première communication nationale. Bujumbura, 119 p.

Mohammed-saleem, M.A. and Otsyina, R.M. (1986). Grain yields and the nitrogen contribution following Stylosanthes pasture in Nigeria sub-humid zone. *Experimental agriculture* 22:207-214.
MPDR. (2006). Monographie des provinces et communes du Burundi. Bujumbura, 108 p.

Mueller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Shepherd, T. G., Ball, B. C., Helming, K., ... & Wiggering, H. (2010). Assessing the productivity function of soils. *Sustainable Agriculture Volume 2*, 743-760.

Mulongoy,K. and Kang, B.T. (1986). The role of potential forage legumes in alley cropping,live mulch and rotational systems in humid and sub-humid tropical Africa.In:*Potential of forage legumes in farming systems of subsaharan Africa*, 87-111

Mvondo Awono, J. P. (1998). *Fertilisation azotee du maïs-grain, Zea mays L., en rotation avec une luzerne non dormante, Medicago sativa L. var. Nitro* (Doctoral dissertation, Universite Laval). Sainte- Foy. Canada.

Mvondo, J. A., Boukong, A., Beyegue, H. D., Abou Abba, A., Ze, A. M., Passale, M. S., & Lawane, L. (2012). Production de biomasse de l'espèce Stylosanthes guianensis en tête de rotation en vue de la mise en place d'un système de culture sous couverture végétale au sud de la zone cotonnière du Cameroun. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, *8*(1), 8-16.

Mvondo-Awono, J. P., Boukong, A., Djonko, H. B., Abou Abba, A., Mvondo-Ze, A. D., Teizem, B., & Guimbirke, G. (2013). Stylosanthes Guianensis Seeding Year Mulch Evolution and Residual Effects on a Subsequent Maize Crop in Northern Cameroon. *World Journal of Agricultural Sciences*,*9*(1), 73-79.

Nacro, S. O. U. L. E. Y. M. A. N. E., Ouedraogo, S. O. U. L. E. Y. M. A. N. E., Traore, K. A. R. I. M., Sankara, E. S. T. A. N. I. S. L. A. S. S. E., Kabore, C., & Ouattara, B. (2010). Effets comparés des pratiques paysannes et des bonnes pratiques agricoles de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés des sols et les rendements des cultures dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso.*International Journal of Biological and chemical sciences*,*4*(4).) :1044-1055

Naudin, K., & Balarabe, O. (2004). Système de culture sur couverture végétale : résultats de la campagne 2003 : expérimentation des SCV chez les paysans du Nord et de l'extrême Nord du Cameroun. Cirad, Sodecoton/ESA, 112P

Naudin, K., Gozé, E., Balarabe, O., Giller, K. E., & Scopel, E. (2010). Impact of no tillage and mulching practices on cotton production in North Cameroon: a multi-locational on-farm assessment. *Soil and Tillage Research*,*108*(1-2), 68-76.

Ngwira, A. R., Aune, J. B., & Mkwinda, S. (2012). On-farm evaluation of yield and economic benefit of short-term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field crops research*, *132*, 149-157.

Nijimbere, S. (2014). Physico-chimie de sols rizicultivés affectés par la salinité dans la basse vallée de la Rusizi au Burundi. Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. UCLouvain, Belgium, 358p

Nyamangara, J., Nyengerai, K., Masvaya, E. N., Tirivavi, R., Mashingaidze, N., Mupangwa, W., ... & Twomlow, S. (2014). Effect of conservation agriculture on maize yield in the semi-arid areas of Zimbabwe. *Experimental agriculture*, *50*(2), 159-177.

Nzigidahera, B. (2012). Description du Burundi : aspects physiques. Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme.Bujumbura, Burundi ,58 p

Ogunbode, S. M., & Akinlade, J. A. (2012). Effect of three species of Stylosanthes on the performance of west African dwarf sheep. *Fountain Journal of Natural and Applied Sciences*, *1*(1), 36-40.

Olorunmaiye, P. M. (2010). Weed control potential of five legume cover crops in maize/cassava intercrop in a Southern Guinea savanna ecosystem of Nigeria. *Australian Journal of Crop Science*, *4*(5), 324-329.

Pallo, F. J. P., Asimi, S., Assa, A., Sedogo, P. M., & Sawadogo, N. (2006). Statut de la matière organique des sols de la région sahélienne du Burkina Faso. *Étude Gestion Sols*, *13*(4), 289-304.

Penot, É., Domas, R., Fabre, J., Poletti, S., Mac Dowall, C., Dugué, P., & Le Gal, P. Y. (2015). Le technicien propose, le paysan dispose. Le cas de l'adoption des systèmes de culture sous couverture végétale au lac Alaotra, Madagascar. *Cahier Agriculture*, vol. 24, N° 2 (2015): 84-92.

Peoples, M. B., & Craswell, E. T. (1992). Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. *Plant and soil*, *141*, 13-39.

Petit, M. S., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., & Josse, S. (2012). Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations agronomiques*, *20*, 79-100.

Pieri, C. (1989). Fertilité des terres de savane. Bilan de 30 années de recherche et de développement agricoles au sud du sahara. Paris : Agridoc-International. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT, 444p.

Piraux, M. (2000). Intensification et diversification des systèmes de production en situation à risques : cas de la région centrale du bassin arachidier sénégalais (Doctoral dissertation, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux). 247p

PNIA. (2011). Programme National d'Investissement Agricole. MINAGRIE, 298p

Raemaekers, R.H. (2001). Plantes fourragères. In : Direction générale de la coopération internationale. Ministère des affaires étrangères, du commerce extérieur et de la coopération internationale, Agricultures en Afrique tropicale, Bruxelles, Belgique, 1267- 1289 p

Ramesh, C.R., Bhag Mal, C.R. Hazara, D.H. Sukanya, V. Ramamurthy and S. Chakraborty, 1997.Status of Stylosanthes development in other countries. III. Stylosanthes development and utilization in India. Trop. Grasslands, **31**,467-475.

Ratsivalaka, S. Barthes, B., De Luca, E. F., Larré-Larrouy, M.-C., Laurent J.-Y., Cerri C. C. et Feller C. (2007). Restauration et gestion de la fertilité des sols du bassin versant de Maniandro sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar.*Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007,*7p

Razafimbelo-Andriamifidy, T., Albrecht, A., Feller, C., Ravelojaona, H., Moussa, N., Razanamparany, C., & Rabeharisoa, R. L. (2010). Stockage de carbone dans les sols sous-systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV) dans différents contextes pédoclimatiques à Madagascar. *Etude et Gestion des Sols, Volume 17, 2, 2010 - pages 143 à 158*

Reekmans, M. (1980). La végétation de la plaine de la basse Rusizi (Burundi). Bull. Jard. Bot. Natl. Belg. Bull. Van Natl. Plantentuin Van Belg. 50, 401–444

Scopel, E., Triomphe, B., Ribeiro, M. D. S., Séguy, L., Denardin, J. E., & Kochann, R. A. (2004, September). Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America. In *New*

Directions for a Diverse Planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia (Vol. 26, pp. 1-16).

SEGUY L, C. H. (2009). La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente (Vol. I, Chapitre 2). *ANTANANARIVO : GSDM/CIRAD*. TAFA, GSDM, afd, Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, 34p

Séguy, L., Bouzinac, S. & Maronezzi A.C. (2001). Un dossier du semis direct : Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. Doc. Interne CIRAD-CA/GEC 34398 Montpellier Cedex 5-France, 203 p.

Séguy, L., Bouzinac, S., & Maronezzi, A. C. (2002). Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. CIRAD-CA, Agronorte Pesquisas-Groupe MAEDA, TAFA/FOFIFA/ANAE, pp : 320.

Serpantié, G., Ouattara, B., Louppe, D., Sougafara, B., Gnahoua, G. M., & Ouattara, N. (2001). Fertilité et jachères en Afrique de l'Ouest. *La jachère en Afrique tropicale*, *2*, 21-83.

Sherrer, B. (2007). "Biostatistique". Volume 1, 2ème édition, Gaëtan Morin Editeur, Montréal ,145p

Sottiaux, G., Opdecamp, L., Bigura, C., Frankart, R. (1986). Carte des sols du Burundi. Publication du service agricole no 9, ISABU, 142p

Sottiaux, G., Opdecamp, L., Bigura, C., Frankart, R. (1988). Carte des sols du Burundi. Echelle 1/250000. Notice explicative. AGCD, Bruxelles, publication du service agricole, no 9. 142 p + annexes, 83p.

SRDI. (1985-2009). Rapports annuels. MINAGRIE, Mugerero, Burundi, 86 p

Stevenson, F. J., & Cole, M. A. (1999). *Cycles of soils: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. John Wiley & Sons. New York. Ecosystems and Environment **100**:17-37.

Subbarao, G. V., Ae, N., & Otani, T. (1997). Genotypic variation in iron-, and aluminum-phosphate solubilizing activity of pigeonpea root exudates under P deficient conditions. *Soil science and plant nutrition*, *43*(2), 295-305.

Sungthongwises, K., Poss, R., & Drevon, J. J. (2014). Effects of P on Vigna unguiculata cv. 305 and Stylosanthes hamata cv. Verano symbiosis in the field of a rubber tree plantation. Asian Journal of Plant Sciences 10(7). Pp 357-364. In *2 nd EURAF Conference*. EURAF

T'Mannetje, L. (1984). Considerations on the taxonomy of the genus Stylosanthes. In: Stace H M and Edye L A (Eds), the biology and agronomy of Stylosanthes. Academic Press, Sydney, Australia. pp. 1–21.

Tarawali SA, Peters M and Schultze-Kraft R., 1996. Selecting and testing forage legumes for sustainable agriculture and livestock production in subhumid West Africa. Report for GTZ/BMZ. A tropical pasture legume for poor soils. Span 30: 1–4

Tarawali, G., & Mohamed-Saleem, M. A. (1995). The role of forage legumes in supplying improved feed for livestock and nitrogen to subsequent crops in the subhumid zone of Nigeria. *Livestock and Sustainable Nutrient Cycling in Mixed Farming Systems of sub-Saharan Africa*, *2*, 263-276.

Tarawali, G., & Pamo, E. T. (1992). A case for on-farm trials of fodder banks on the Adamawa Plateau in Cameroon. *Experimental Agriculture*, *28*(2), 229-235.

Tarawali, G., Manyong, V. M., Carsky, R. J., Vissoh, P. V., Osei-Bonsu, P., & Galiba, M. (1999). Adoption of improved fallows in West Africa: lessons from mucuna and stylo case studies. *Agroforestry systems*, *47*, 93-122.

Tarawali, S. A., Peters, M., & Schultze-Kraft, R. (1999). *Forage legumes for sustainable agriculture and livestock production in subhumid West Africa*. International Livestock Research Institute, pp. 129-pp.

Tessens, E. (1993). Etude pédologique de la région naturelle de l'Imbo, Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage. Département des études du milieu des systèmes de production, 55 p.

Tessens, E. et Gourdin, J. (1993). Critères d'interprétation des analyses pédologiques. Programme pédologique et programme du laboratoire de chimie Agricole, fiche labo n°19, ISABU, Bujumbura, Burundi : 27p.

Tessens, E.et Gourdin, J. (1993). Analyse du sol. Fiche labo n° 18. ISABU, 27p

Thierfelder, C., Mwila, M., & Rusinamhodzi, L. (2013). Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: long-term effects on soil quality and maize productivity. *Soil and tillage research*, *126*, 246-258.

Tivet, F., Naudin, K., Enjalric, F., Chabierski, S., Rakotondralambo P., Rakotondramanana, A. (2008). Principes et intérêts du semis direct Volume I. Chapitre 2 : La gestion des écosystèmes cultivés en semis direct sur couverture végétale permanente. CIRAD, France. 32p

Vall, E., Chia, E., Blanchard, M., Koutou, M., Coulibaly, K., & Andrieu, N. (2016). La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants. *Cah. Agric*. 2016, 25, 15001 - DOI :10.1051/cagri/2016001. 7 pages

Vancoppenolle, R., Sottiaux, G., Nyole, H., (1983). Note comparative sur le comportement de *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. (Syn.Stylosanthes gracilis Kunth) dans la basse Rusizi et le Mosso. ISABU. Publication n^{o} 25,23p

Varvel, G. E., & Peterson, T. A. (1990). Nitrogen fertilizer recovery by corn in monoculture and rotation systems. *Agronomy Journal*, *82*(5), 935-938.

Weber, G., Robert, A. B. C., & Carsky, R. J. (1997). Handbook for use of LEXSYS (legume expert system): decision support for integrating herbaceous legumes into farming systems. *Ibadan, Nigeria: International Institute of Tropical Agriculture*. 25p

Williams, R. J., Reid, R., Schultze-Kraft, R., Costa, N. S., & Thomas, B. D. (1984). Natural distribution of Stylosanthes. In: Biology and Agronomy of *Stylosanthes.* H. Stace and L. Edye, eds. Academic Press, Orlando, FL. Pages 73-102