

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE BUKAVU



FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

BP: 285 BUKAVU

REPONSE DE DEUX VARIETES DE SOJA (SB24 ET PKO6) A LA FERTILISATION AZOTEE (UREE) ET A L'INOCULATION SANS LIMITATION DE PHOSPHORE ET DE POTASSIUM DANS LES TERRITOIRES DE KABARE (MURHESA) ET DE WALUNGU (MUSHINGA)

Par :

Noël MULINGANYA BAZIBUHE

Mémoire présenté en vue de l'obtention du

Diplôme d'Ingénieur Agronome

Option : Phytotechnie

DIRECTEUR : Prof .Jean WALANGULULU M.

CO-DIRECTEUR : Ass. Daniel MUHINDO I.

Année Académique : 2010 – 2011

DEDICACE

A l'Éternel Dieu, Dieu de Paix et d'Amour pour le souffle de vie qu'il continue à m'accorder.

A mon Père Charles MULINGANYA pour tout l'amour, le soutien et l'encouragement que vous ne cessez d'apporter à l'enfant que je suis ;

A mes frères et sœurs Joséphine M., Jean Pierre M., Pierrine M., Solange M., Alain M., Guy M., Fifi M., Jules M., Archange M., Georgette M., Vicky M., Kelly M., Nadine M., Marilyne M., Patrick M., Christian M., Landry M., Christelle M., Fabrice M., Marcelline K., et Estelle M. ;

A tous mes neveux, nièces, cousins, cousines, oncles et tantes ;

A tous mes amis et connaissances ;

A tous ceux qui espèrent au changement et au développement de notre cher et beau pays, la RDC ;

A tous ceux qui me haïssent ;

A celle qui aura la charge de porter le cœur de ce grand homme que l'UCB vient de former et qu'elle sache qu'il n'y a pas de réussite sans sacrifice, pas de vrai bonheur sans peine et pas de succès sans sueur.

A vous mes chers regrettés MUNZIHIRWA Christophe, BACHIRA Albert et NYUNDA Venantie ;

Noël MULINGANYA BAZIBUHE

REMERCIEMENTS

Ce présent travail ne se limite pas à nos propres efforts. Il est, sans l'ombre d'aucun doute, la résultante et le fruit de divers efforts et sacrifices sans lesquels il n'existerait même pas. Qu'il nous soit permis d'exprimer nos vifs et sincères remerciements à tous ceux qui, de loin ou de près ont contribué à notre formation tant professionnelle, intellectuelle que morale.

Nous exprimons ainsi notre profonde gratitude au Projet N2Africa qui nous a offert un cadre pour réaliser ce travail, particulièrement aux membres de l'équipe CIAT- TSBF dont Dr Bernard VANLAUWE, Professeur Ken Giller, Dr Frederick BAIJUKYA, Yves IRENGE, Ir Jean Marie SANGINGA et Ir Isaac BALUME.

Il serait ingrat de ne pas adresser plus particulièrement nos sincères remerciements au Professeur Jean WALANGULULU et à l'Assistant Daniel MUHINDO qui ont accepté de diriger et co-diriger ce travail et dont la rigueur et les qualités d'homme nous ont permis de suivre une démarche scientifique tout au long de nos recherches pour ainsi achever et donner une forme définitive à ce présent travail.

Que Guillaume K., Théodore M., Hezron M., Wetemwami M., Rigobert L., dont l'affection, les recommandations et orientations nous ont été utiles pour ce parcours et la rédaction de ce travail, soient ici remerciés.

A nos grands amis : Gentil M. Juvénal N., Naomie M., Papy K. ; Arlette B., Despines B., Ange A., Thythy Z., Whillem S., Jules M ; Aurélie B., pour votre compagnie combien sympathique, nous vous remercions.

A tous nos amis, connaissances, collègues et camarades de promotion qu'ils trouvent ici nos remerciements les plus sincères pour leurs encouragements et conseils, particulièrement à nos collègues du collège des étudiants. L'affection qu'ils nous ont témoignée nous a aidé à aller jusqu'au bout de ce travail.

Enfin, que tous ceux qui n'ont pas été cités ici mais qui nous sont à l'esprit trouvent l'expression de notre grande et profonde gratitude.

Noël MULINGANYA BAZIBUHE

SIGLES ET ABBREVIATIONS

- BNF : Biology nitrogen fixation
- CIAT : Centre International d'Agriculture Tropical
- FAO : Food and Agriculture Organization
- RDC : République Démocratique du Congo
- TSBF : Tropical Soil and Biology Fertilization
- TSP : Triple Super Phosphate
- UCB : Université Catholique de Bukavu

LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES

A. Tableaux:

- Tableau 1 : Quantité d'éléments nutritifs prélevée par le soja en kg/ha
- Tableau 2 : Localisation des sites.
- Tableau 3 : Caractéristiques des variétés de soja utilisées
- Tableau 4 : Diamètres au collet
- Tableau 5 : Résumé d'ANOVA sur les diamètres au collet à Mushinga
- Tableau 6 : Comparaison des moyennes du diamètre au collet à Mushinga selon l'interaction entre le niveau d'azote et les variétés
- Tableau 7 : Résumé d'ANOVA sur les diamètres au collet à Murhesa
- Tableau 8 : Hauteur des plants
- Tableau 9: Résumé d'ANOVA sur la hauteur des plants à Mushinga
- Tableau 10: Comparaison des moyennes de la hauteur des plants à Mushinga selon les niveaux d'azote
- Tableau 11 : Résumé d'ANOVA sur la hauteur des plants à Murhesa
- Tableau 12 : Poids frais de la biomasse des feuilles
- Tableau 13 : Résumé d'ANOVA sur le poids frais de la biomasse des feuilles à Murhesa
- Tableau 14: Comparaison des moyennes sur le poids frais de la biomasse de feuilles à Murhesa selon l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote
- Tableau 15 : Résumé d'ANOVA sur le poids frais de la biomasse des feuilles à Mushinga
- Tableau 16: Comparaison des moyennes sur le poids frais de la biomasse de feuilles à Mushinga selon l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote
- Tableau 17: Nombre de gousses par plants
- Tableau 18 : Résumé d'ANOVA sur le Nombre de gousses par plants à Mushinga
- Tableau 19 : Comparaison des moyennes selon les variétés à Mushinga
- Tableau 20: Résumé d'ANOVA sur le Nombre de gousses par plants à Murhesa
- Tableau 21: Poids de 100 graines
- Tableau 22 : Résumé d'ANOVA sur le poids de 100 graines à Mushinga
- Tableau 23 : Résumé d'ANOVA sur le poids de 100 graines à Murhesa
- Tableau 24: Comparaison des moyennes sur le poids de 100 graines à Murhesa selon l'interaction variétés et Niveau d'azote
- Tableau 25: Rendement en tonne
- Tableau 26: Résumé d'ANOVA sur le rendement à Mushinga
- Tableau 27: Comparaison des moyennes de rendement à Mushinga selon les variétés
- Tableau 28: Résumé d'ANOVA sur le rendement à Murhesa
- Tableau 29: Comparaison des moyennes de rendement à Murhesa selon l'interaction entre les variétés et les niveaux d'azote

B. Figures:

- La figure 1 : Le Scoring legume root nodulation.
- La figure 2 : Le dispositif expérimental utilisé

RESUME

L'agriculture joue un rôle crucial dans l'économie des pays en développement, et constitue la principale source de nourriture, de revenus et d'emploi pour leurs populations rurales.

Plusieurs auteurs affirment que l'épuisement de la fertilité du sol dans les champs des fermiers est la cause biophysique fondamentale de la baisse de la production agricole par habitant en Afrique. Cet épuisement est dû au manque de restitution au sol des nutriments puisés par la plante. Outre la baisse en quantité de production, dans nombreux pays du tiers monde, l'alimentation humaine souffre d'un manque de protéines. Or le soja en tant que légumineuse, améliore la fertilité azotée du sol à travers la fixation biologique de l'azote mais aussi est l'une de ces légumineuses qui est réputée pour sa richesse en protéines.

C'est ainsi que ce travail a pour but non seulement d'évaluer la potentialité du soja à fixer biologiquement l'azote atmosphérique en vue d'augmenter la fertilité du sol mais aussi d'évaluer la réponse du soja à travers deux variétés, à l'inoculation des graines par le rhizobium afin d'augmenter le rendement de cette culture. De plus, cette étude devrait permettre de confirmer la possibilité de substituer cette fertilisation directe plus chère, par l'inoculation des graines pour les besoins en azote des cultures.

L'étude a été menée à travers une expérimentation sur dispositif Split-Plot de 3 répétitions portant chacune deux parcelles comme facteur secondaire (une avec la variété PK06 et l'autre avec la variété SB24). Chaque parcelle était divisée en 3 sous-parcelles de 3mx3m portant chacune un niveau d'azote différent, comme facteur principal (Témoin, urée, inoculation). Chaque parcelle avait bénéficié d'une quantité de 270 g de TSP et 108 g de KCL, appliqués à 10cm des lignes de semis le même jour du semis. Ce dispositif a été installé dans les deux milieux d'étude ; il s'agit de Murhesa, avec un sol plus ou moins fourni en éléments nutritifs (Ferralsols sur roches basaltiques et humifères) et de Mushinga, avec un sol relativement pauvre (Ferralsols sur roches métamorphiques et sédimentaires).

Pour tous les paramètres étudiés les meilleurs résultats ont été enregistrés sur le sol de Murhesa, ce dernier étant, en plus d'être un sol volcanique, moins sujet aux problèmes d'érosion, comparativement au sol de Mushinga. Les différents niveaux d'azote n'ont toutefois pas donné des différences significatives pour la plupart des paramètres végétatifs à l'exception du diamètre au collet pour lequel les parcelles traitées à l'urée ont donné en moyenne de meilleurs résultats comparativement à celles qui ont été inoculées et aux parcelles témoins à Mushinga.

Cependant le niveau d'apport d'azote zéro a donné les rendements élevés à Murhesa, prouvant par là l'inutilité d'ajout d'azote dans des sols déjà pourvus d'azote, qui serait un luxe que la plante ne se permet pas. Les meilleurs résultats de PK06 à Mushinga permettent de comprendre l'utilité de la diversité variétale en étude et la compréhension du comportement des différentes variétés en fonction des disponibilités du sol.

Abstract

Agriculture plays a crucial role in the economy of developing countries, and constitutes the principal source of food, income and employment for their rural populations.

Several authors stated that the soil fertility degradation in farmer's fields is the fundamental biophysical cause of the decrease of agricultural production per capita in Africa. This degradation is due to the lack of restitution of nutrients drawn by plants. In addition to the decrease in quantity of production, in many poor countries, the human consumption suffers from a lack of proteins.

However soya as a leguminous plant which can improve nitrogen fertility of the soil through the biological nitrogen fixation but also is one of these leguminous plants which is famous for its high proteins content.

Thus the purpose of this work is not only to evaluate the potential of soya to biologically fix atmospheric nitrogen in order to increase soil fertility but also to evaluate the response of soya through two varieties, to the inoculation of seeds by rhizobium, in order to increase the output of this culture. Moreover, this study should give response on the possibility of substituting the more expensive mineral fertilization by the inoculation of seeds.

The study was undertaken in Split-plot design with 3 replications with varieties as secondary factor (PK06 and SB24 varieties). Each main plot was divided into 3 subplots of 3m x 3m carrying the level of nitrogen as main factor (Check, urea, inoculation). A quantity of 270 g of TSP and 108 g of KCL was applied to all subplots, at 10cm from the planting line, the same day of planting. This design was installed in the two sites: in Murhesa, where soils are more or less provided with nutrients (Ferralsols on basaltic rocks and humus-bearing) and in Mushinga with a relatively poor soils (Ferralsols on metamorphic and sedimentary rocks).

For all the studied parameters the best results were recorded on Murhesa's soil being, in addition to being a volcanic soil, less opposed to erosion problems compared to Mushinga's soil. The various nitrogen levels however did not give significant differences for almost all of vegetative parameters except for the plant diameter for which plants receiving urea gave average better results compared to those which were inoculated and the check at Mushinga.

However the zero level of nitrogen (Check) gave the raised outputs to Murhesa, proving by there the uselessness of nitrogen addition in soils already equipped with nitrogen which would be a luxury for the plant. The best results of PK06 at Mushinga make it possible to understand the varietal response and the understanding of the behavior of various varieties.

INTRODUCTION

L'agriculture joue un rôle crucial dans l'économie des pays en développement, et constitue la principale source de nourriture, de revenus et d'emploi pour leurs populations rurales. L'amélioration de l'agriculture et de l'utilisation des terres est fondamentale pour atteindre la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et le développement durable (Dupriez et Leener, 1983).

Le problème alimentaire accuse aujourd'hui une contrainte particulière sur le continent africain suite à la poussée démographique, à l'insuffisance des surfaces labourées et à la pratique des techniques agricoles moins productive. Les terres des cultivateurs qui suffisaient à peine à la subsistance des milieux coutumiers ne peuvent plus produire d'une façon continue les quantités de vivres actuellement importées (Dupriez et Leener, 1983).

Dans de nombreux pays du tiers monde, en Afrique sub-saharienne en particulier, l'alimentation humaine souffre d'un manque de protéines dû soit à leur absence totale, soit à leur mauvaise qualité.

Les meilleures protéines sont celles d'origine animale (œufs, lait, viande, poisson). Cependant ces produits sont, pour la plupart, coûteux et dépassent souvent les capacités financières de la population. La qualité des protéines d'origine végétale est variable et il faut souvent en combiner plusieurs sortes pour obtenir un repas de bonne valeur protéique (De Staercke, 1990).

La graine de soja, cependant, contient en elle-même beaucoup de protéines, deux fois plus que la plupart de légumineuses, deux fois plus que la viande et la qualité de ces protéines est bonne et presque comparable à celle des protéines animales. Elle est aussi plus ou moins riche en sels minéraux (Fe, Ca), en vitamines du groupe B (B1 et B2), contient 14% d'hydrates de carbone digestibles et des matières grasses,... De plus, elle a l'avantage de ne pas coûter cher comparativement à la majorité des produits d'origine animale (De Staercke, 1990).

Ainsi les variétés de soja à haut rendement et produites en grande quantité sont capables de fournir des protéines en quantité et en qualité qui permettront d'améliorer la nutrition des populations affamées de plus en plus nombreuses.

Malheureusement depuis quelques décennies, l'agriculture africaine connaît une détérioration grave qui se manifeste par une baisse considérable des rendements de toutes les cultures dont l'une des causes serait l'épuisement des sols en éléments nutritifs (Sanginga et Woome, 2009).

Sanchez *et al.* (1997), identifient l'épuisement de la fertilité du sol dans les champs des petits fermiers comme « la cause biophysique fondamentale de la baisse de la production agricole par habitant en Afrique ».

Pour espérer apporter une réponse à ces différentes contraintes, il faut que l'Afrique réussisse à mieux appliquer les sciences et technologies aux problèmes agricoles et à faire bénéficier les agriculteurs de ces progrès le plus rapidement possible. Dans cette logique, le renouvellement de la fertilité des sols agricoles doit être considéré comme un investissement dans le capital des ressources naturelles et l'une des voies de sortie exploitables (Sanchez et *al.*, 1997).

La réserve d'azote des sols agricoles doit être apprivoisée régulièrement afin de maintenir le niveau adéquat pour la productivité des cultures. L'un des moyens de maintien de l'azote du sol est accompli par l'addition d'engrais inorganiques (Giller, 2009). C'est ainsi que l'ajout de l'azote sous forme d'urée serait une forme adéquate de supplémentation d'azote pour palier au besoin du sol en cet élément.

Il est clair que la croissance d'une plante dépend d'un approvisionnement convenable en chacun des éléments nutritifs. Mais aussi le rendement est limité par l'absence ou l'insuffisance d'un élément essentiel (facteur minimum limitant le rendement). C'est pourquoi ces éléments nutritifs (NPK) doivent être apportés sous forme d'engrais minéraux afin d'obtenir des rendements élevés (FAO, 2003).

C'est ainsi, outre l'azote, d'autres éléments tels que le Phosphore et le Potassium, qui n'ont seulement influence sensiblement la croissance des plantes mais aussi la fixation biologique de l'azote.

Le soja, étant une légumineuse, est capable en symbiose avec certaines bactéries spécifiques (les rhizobiums) d'utiliser l'azote atmosphérique à travers le processus de la fixation biologique de l'azote, au profit du sol et de la plante elle-même (Anonyme, 1993), contribuant ainsi à accroître la fertilité du sol, ce qui permettrait d'augmenter la productivité du sol.

Ainsi, l'hypothèse de ce travail est qu'une meilleure connaissance de la technologie légumineuse-rhizobium permettrait d'augmenter les apports d'azote atmosphérique libre via la fixation biologique de l'azote, améliorant ainsi la récolte et la productivité du soja et du sol et par là la nutrition humaine et le revenu agricole par l'augmentation de la fertilité du sol.

C'est dans cette logique qu'on s'est fixé comme objectifs de déterminer, en premier lieu, la réponse de deux variétés de soja (PK06 et SB24) à l'inoculation sur le sol de Murhesa dans le territoire de Kabare et sur celui de Mushinga dans le territoire de Walungu, et en second lieu de déterminer parmi les deux variétés sélectionnées, celle qui y aura mieux répondu. Ces deux sites font partie des sites d'action de N2 Africa et présentent des différences édapho - climatiques différentes.

Ces deux variétés ont été sélectionnées pour leur grande aptitude à fixer l'azote atmosphérique et pour leur résistance aux stress biotiques et abiotiques.

Hormis l'introduction et la conclusion, ce travail est subdivisé en deux grandes parties ; la première est une revue de la littérature, elle donne les généralités principalement sur le soja et sur l'inoculation ; la seconde est expérimentale, elle donne le milieu d'étude, la méthodologie et le matériel utilisés ainsi que l'analyse et l'interprétation des résultats.

I^{ère} partie : REVUE DE LA LITTERATURE

Chapitre I : GENERALITES SUR LE SOJA

I.1. Origine

L'histoire du soja commence en Orient, au moins 3000 ans avant l'ère chrétienne, comme aliment de base. Le soja est consommé en Asie depuis au moins 5000 ans. En Chine, il fait même partie des cinq grains sacrés (avec le blé, orge, riz et millet). La médecine traditionnelle chinoise utilise le germe de soja fermenté, pour ses propriétés sédatives, antipyrétiques et carminatives.

De la Chine, le soja s'est répandu vers le sud, en Chine centrale et méridionale, et en Corée. Au 15^{ème} siècle, le soja était cultivé au Japon, en Indochine, en Thaïlande, dans la péninsule de Malaisie, en Birmanie, au Népal et dans le nord de l'Inde.

Aux Etats-Unis, la production de soja a connu une progression sensible durant la seconde guerre mondiale afin de répondre à une demande accrue en huiles végétales. Depuis les années 1970, la production s'est étendue dans les régions tropicales, y compris en Afrique tropicale (Javaheri et Baudoin, 2001).

La distribution actuelle du soja sauvage concerne certaines régions de la Chine et de l'est de l'ex-union Soviétique, Taïwan, le Japon et la Corée. Le soja a été introduit en Europe autour de 1790, et au début du 19^{ème} siècle dans le Nouveau Monde et en Afrique. Sur le continent africain, il a d'abord été cultivé en Algérie avant de se répandre vers le début du 20^{ème} siècle au Nigeria, en Ouganda, au Congo- Kinshasa et au Zimbabwe.

I.2. Description

De son nom scientifique *Glycine max*, de la famille des Fabacées, sous-famille des *Faboideae*, tribu des *Phaseoleae*, sous-tribu des *Glycininae*, il ne doit pas être confondu avec les « glycines », plantes ornementales du genre *Wisteria*.

Le soja, ou soya, est une légumineuse, proche du haricot, largement cultivée pour ses graines oléagineuses qui fournissent la deuxième huile alimentaire consommée dans le monde, après l'huile de palme. Le tourteau issu de la trituration des graines de soja est la principale matière riche en protéines employée en alimentation animale.

Le terme désigne aussi ses graines, qui constituent l'un des aliments naturels les plus riches. Il renferme une grande quantité de protéines, de glucides, de lipides, de vitamines A et B, de potassium, de calcium, de magnésium, de zinc et de fer.

La plante porte des ramifications plus ou moins nombreuses selon qu'il s'agit d'une variété de type indéterminé ou déterminé. Sa taille varie entre 0,2 et 1m selon la variété (précoce ou tardive). Les feuilles alternes sont trifoliolées et plus ou moins pubescentes (couvertes de poils).

Il en existe de très nombreuses variétés se différenciant notamment par le port, la forme, la couleur des graines, leur teneur en huile et en protéines, qui peuvent varier considérablement. En outre, beaucoup de variétés se distinguent par la durée de leur croissance et leur sensibilité à certains facteurs climatiques tels que la longueur du jour (De Staercke, 1990).

Les feuilles sont trifoliolées (portant rarement cinq folioles) et rappellent la forme générale des feuilles de haricot. Les folioles mesurent de 6 à 15 cm de long et de 2 à 7 cm de large. Comme chez le haricot, les deux premières feuilles sont entières et opposées. Les feuilles tombent avant que les gousses ne soient arrivées à maturité.

Les fleurs, blanches ou pourpres, de petite taille, presque inaperçues, apparaissent à l'aisselle des feuilles, groupées en grappes de trois à cinq. Elles sont hermaphrodites et autogames, mais la pollinisation croisée est parfaitement possible.

Comme pour toutes les légumineuses, le fruit du soja est une gousse verte avant maturité, devenant grise ou brune avec une pilosité généralement noire. Les gousses déhiscents (elles s'ouvrent à maturité), longues de 3 à 11cm contiennent le plus fréquemment 2 à 3 graines de forme et de couleur fort variables (Sika, 2010).

Les fruits sont des gousses velues, longues de 3 à 8 cm, de forme droite ou arquée, et contiennent en général 2 à 4 graines (rarement plus). Les graines, de forme sphérique ou elliptique, ont un diamètre de 5 à 11 mm. Elles sont comestibles.

Le soja est un oléo-protéagineux qui contient en moyenne 22% d'huile et 40% de protéines (Giller, 2009).

I.3. Fertilisation

Le soja utilise de manière efficace la fertilité résiduelle et répond rarement à un épandage direct d'engrais. Les quantités recommandées sont basées sur les besoins nutritifs des cultures, les pratiques de gestion des résidus des cultures et la nécessité d'application de maintenance de la fertilité du sol (Sika, 2010).

Il est également nécessaire d'avoir un sol bien pourvu en phosphore et en potassium bio disponibles. Pour les paysans n'ayant pas beaucoup de revenus, il sera facile d'utiliser du compost ou du fumier pour la fertilisation de leurs champs. Cela pourra être complété par de la cendre provenant des foyers. Cependant la fumure organique seule ne suffit pas. En effet, bien

que les engrais organiques améliorent les propriétés du sol, les engrais minéraux quant à eux apportent aux plantes les éléments nutritifs qui leur sont nécessaires (FAO, 2003).

Les besoins en éléments nutritifs et la réponse aux engrais varient non seulement d'une culture à l'autre, mais aussi d'une variété à l'autre. Une variété locale ne répondra pas aussi bien à l'application d'engrais qu'une variété améliorée. La croissance d'une plante dépend d'un approvisionnement convenable en chacun des éléments nutritifs et le rendement est limité par les éléments en quantité insuffisante (facteur minimum limitant le rendement). C'est pourquoi ces éléments nutritifs (NPK) doivent être apportés sous forme d'engrais minéraux afin d'obtenir des rendements élevés (FAO, 2003).

Les macro-éléments sont nécessaires en grande quantité et des applications importantes peuvent être indispensables si le sol est carencé en un ou plusieurs de ces éléments. Tel est le cas des sols du Sud-Kivu, qui affichent un déficit considérable en phosphore (Mulumuna, 2011).

Le phosphore joue un rôle déterminant dans le transfert d'énergie. Ainsi il est indispensable à la photosynthèse et aux autres processus chimico-physiologiques de la plante. La plupart des sols cultivés et ceux non cultivés sont carencés en phosphore ou ont une fixation élevée vis-à-vis du phosphore, limitant sa biodisponibilité. .

Le potassium est multifonctionnel. C'est un activateur enzymatique de plus de 60 enzymes. Il joue ainsi un rôle vital dans la synthèse des hydrates de carbone et des protéines. Mieux encore, il améliore le régime hydrique de la plante et accroît sa tolérance à la sécheresse, au gel et à la salinité. Les plantes bien alimentées en potassium sont moins sensibles aux maladies.

L'azote est le moteur de la croissance végétale. Il représente 1 à 4 pourcent de la matière sèche végétale. Etant le constituant essentiel de protéines, il intervient dans les principaux processus de développement de la plante et de détermination du rendement. Un bon apport d'azote à la plante est aussi important pour l'absorption d'autres éléments nutritifs.

La quantité estimative d'éléments nutritifs pouvant être prélevée par le soja se retrouve dans le tableau 1.

Tableau 1 : QUANTITE D'ELEMENTS NUTRITIFS PRELEVES PAR LE SOJA (KG/HA)

SOJA	Azote (N)	Phosphore (P ₂ O ₅)	Potassium (K ₂ O)
Variété Soja PK06	160	35	80
Variété Soja SB24	224	44	97

(Sika, 2010)

Ces deux variétés ont des besoins différents dus aux différentes caractéristiques génétiques de chacune. C'est ainsi que SB24 considéré comme une variété à grand rendement exige une quantité supérieure en éléments minéraux majeurs.

Toutefois, en cas de fertilisation directe d'une culture de soja, l'azote n'est généralement pas recommandé. Le soja peut satisfaire 85% (et parfois 100%) de ses besoins en azote par le biais de la fixation biologique de l'azote. Une carence en azote (feuillage pâle) peut être observée lorsque la fixation de N_2 est inefficace (c'est-à-dire s'il n'y a pas eu d'inoculation des semences, si la plante ne produit pas de nodosités, ou si des cultivars à nodulation naturelle abondante ne sont pas bien adaptés).

Il faut épandre du phosphore et du potassium avant le semis si le P disponible est inférieur à 30 à 40 kg/ha et si le K échangeable est inférieur à 200 à 240 kg/ha. Une culture de soja avec un rendement de 2,5 t/ha exige environ 45 kg de P_2O_5 . Une carence en P réduit l'efficacité de la fixation biologique de l'azote. Un rendement de 2,5 t/ha consomme 45 kg de K_2O . A titre de comparaison, 5 t/ha de maïs ne consomment que 35 kg de K_2O . Même dans les régions où l'on estime que les sols sont bien fournis en potassium, des carences peuvent apparaître après quelques années de culture de soja (Javaheri et Baudoin, 2001).

I.4. Importance

Le soja est riche en protéines, pauvre en graisses saturées, riche en graisses polyinsaturées et pourrait avoir une influence sur la prévention des maladies cardiovasculaires.

Avec ses racines profondes, le soja améliore la structure des sols et remonte en surface des éléments nutritifs qu'il prélève dans les couches profondes des sols.

On a noté près de 400 usages différents du soja. C'est la principale culture oléagineuse dans le monde. A l'heure actuelle, le soja est utilisé principalement pour l'extraction d'huile comestible et la production de farine.

L'utilisation domestique du soja est capable d'améliorer la sécurité alimentaire locale et de réduire la malnutrition en protéines et énergie répandue sur tout le continent africain. A l'appui de cette promotion indispensable : (i) le soja est l'une des légumineuses les mieux adaptées au continent et s'intègre aux systèmes communs d'agriculture des petits cultivateurs ; (ii) les graines peuvent être entreposées comme réserves alimentaires pendant 2 à 3 ans, dans les conditions de stockage rurales, sans détérioration significative, et elles constituent donc un excellent aliment de haute qualité pour les périodes de sécheresse ; (iii) les aliments au soja peuvent être préparés de manière traditionnelle et peuvent servir de complément au régime traditionnel ; (iv) 360-500 kg de soja peuvent satisfaire aux besoins de base annuels en protéines d'un ménage de dix personnes et ces quantités peuvent être produites par la plupart des ménages (Sika, 2010).

Bien que le soja ne soit pas un composant traditionnel des systèmes de culture du continent africain, de nombreuses recettes locales au soja sont bien acceptées et ont été élaborées en Afrique australe et de l'Ouest. Dans certaines régions de la R.D.C., le soja est considéré comme un aliment médicinal pour éviter et soigner les déficits dus au kwashiorkor. Les préparations industrielles de soja comprennent le tofu, le tempeh et la sauce au soja préparée à partir de graines mûres fermentées. Les graines immatures sont consommées comme légume et les graines séchées sont mangées entières, concassées ou en pousses (Javaheri et Baudoin, 2001).

En général, les graines jaunes sont utilisées pour la production de lait et de farine ainsi que pour la fabrication du tofu, les graines vertes pour la production de germes et les graines noires pour la production d'huile et de sauces. Dans le cas d'une utilisation à l'échelle familiale ou villageoise, le choix dépendra surtout de l'attrance des consommateurs pour une couleur plutôt qu'une autre. Les producteurs industriels s'intéressent en particulier aux variétés les plus performantes du point de vue de la production d'huile ou de protéine en fonction des facteurs climatiques. Les personnes intéressées par la production d'un complément alimentaire se référeront aux expériences locales (Ministère de l'Agriculture, Universités, Institutions...) pour choisir une variété adaptée aux conditions locales (sols et climat) (De Staercke, 1990).

En plus, cultivées pour leur semence, les légumineuses sont bénéfiques lorsque cultivées en rotation avec d'autres cultures, fournissant entre 25 et 75 kg d'azote au sol à travers la décomposition des résidus des cultures laissés dans le champ (Giller, 2009).

Chapitre II. GENERALITES SUR LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

II.1. LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

Dans les écosystèmes cultivés, la fixation de N₂ et les apports d'engrais azoté constituent les apports pouvant compenser les exportations par les récoltes et les pertes dues à des activités microbiennes (volatilisation et dénitrification). En absence de fertilisation, la fixation de N₂ est pratiquement la seule source d'azote permettant de maintenir la fertilité du sol. Quelques bactéries convertissent l'azote atmosphérique en ammonium dans un processus appelé « fixation biologique de l'azote ».

La BNF est moins coûteuse, une ressource renouvelable pour les petits fermiers, leur permettant de réinvestir dans leurs revenus pourtant limités vers les autres besoins ménagers pressants. Il y a quatre moyens d'augmenter la BNF dans le champ :

- 1°) accroître la superficie des légumineuses dans les terres arables ;
- 2°) accroître la productivité des légumineuses à travers une meilleure gestion de celles-ci et de l'engrais ;
- 3°) culture des variétés plus productives de légumineuses et
- 4°) inoculer les semences des légumineuses avec les inoculants de Rhizobium.

Les fermiers ne devraient pas choisir une seule de ces options, mais des pratiques aussi variées que possible (Woomer, 2010). L'activité de la BNF est grande lorsqu'il y a moins d'azote dans le sol, forçant la légumineuse d'obtenir son azote de l'atmosphère. La BNF par les légumineuses à graines va de 40 kg/ha pour le haricot nain jusqu'à plus de 200kg/ha pour le soja (Giller, 2009).

II.1.1. La symbiose Rhizobium-légumineuse.

Une caractéristique des légumineuses alimentaires tropicales, à savoir le haricot, le niébé, l'arachide et le soja est leur association avec les bactéries *Rhizobium* pour former les nodules des racines, le site de la BNF (Baudouin, 1991).

Les Rhizobiums sont des bactéries du sol capables d'induire sur les racines des légumineuses la formation d'organes particuliers, les nodosités, au sein desquels ils réduisent l'azote de l'air. Dans cette association à bénéfice mutuel, la plante fournit une niche protectrice et de l'énergie aux bactéries qui, en échange, synthétisent de l'ammoniac pour leur hôte.

La formation des nodules racinaires met en jeu un dialogue moléculaire complexe entre la plante-hôte et les rhizobiums. La plante secrète des signaux de type flavonoïdes, bêtaïnes. La

perception de ces signaux par la bactérie induit l'expression de nombreux gènes bactériens, dont une centaine sont connus.

Les nodules racinaires doivent être sphériques, longs ou ramifiés selon la légumineuse hôte. Les nodules grands avec une coloration intérieure rouge fixent habituellement plus d'azote. Les légumineuses variées montrent une préférence à certains *Rhizobiums*, les affectant aux différents groupes croisés d'inoculation selon les légumineuses qu'ils nodulent (Hardy et Knight, 1968).

Pour tester les nodules actifs à la fixation d'azote, il faut analyser leur coloration interne. Ils doivent être rose-rouge à cause de la présence de la leghémoglobine porteuse d'oxygène qui est essentielle à la fixation d'azote par les légumineuses. Les couleurs blanches, verdâtres ou noires sont indicatrices d'une nodulation inefficace et doivent corrélérer avec des taux bas de fixation d'azote.

Quelques légumineuses sont promiscueuses, nodulant avec plusieurs *Rhizobiums* différents, les autres ont des exigences (besoins) spécifiques. Les hôtes spécifiques sont plus probables de répondre à l'inoculation avec le *Rhizobium* (Giller, 2009).

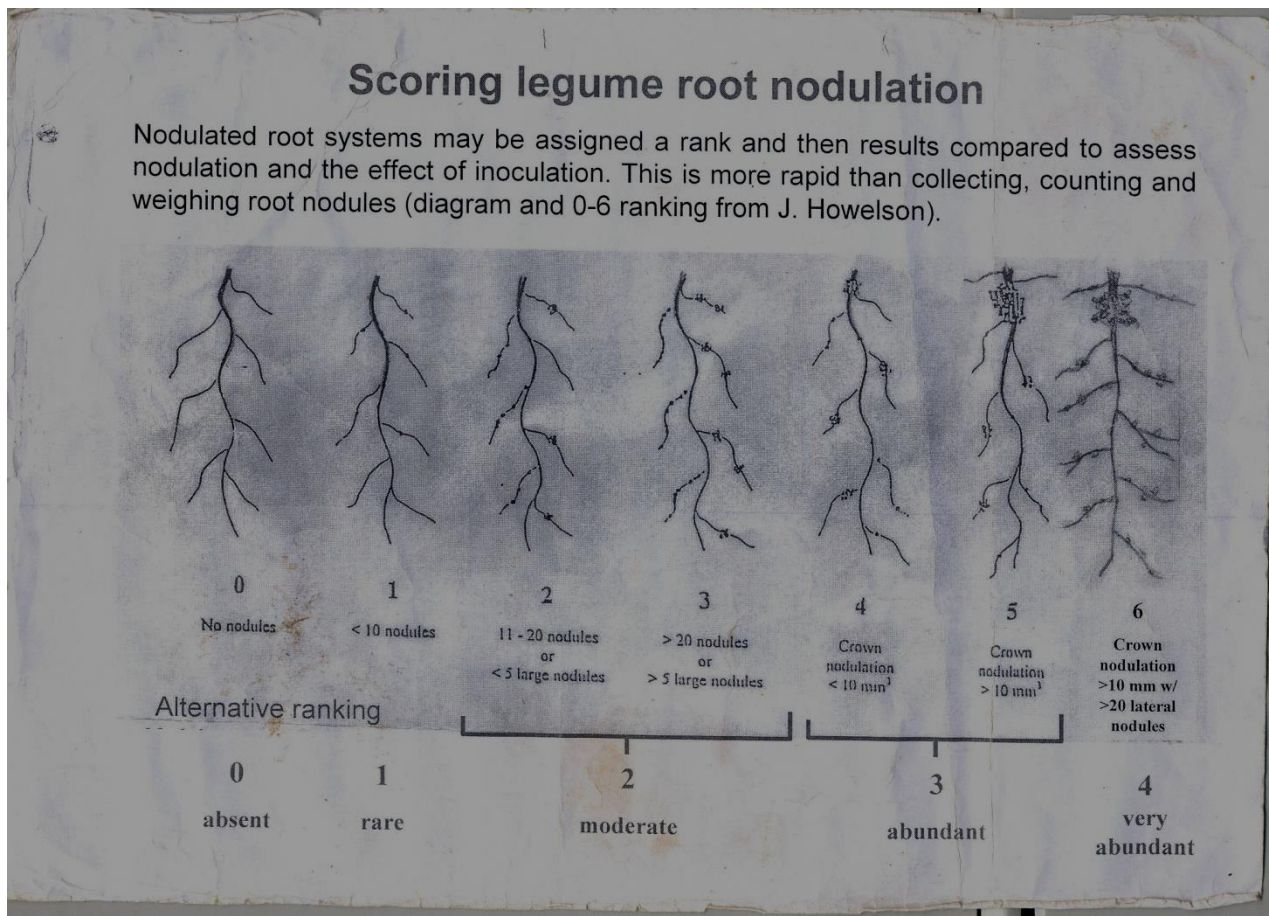
La nodulation des légumineuses par le *Rhizobium* implique un processus complexe de reconnaissance biochimique, d'infection, formation des nodules, transformation d'azote et sénescence. Premièrement, le *Rhizobium* se multiplie près des racines hôtes (rhizosphère), les deux échangent des signaux biologiques et la bactérie s'attache à la racine. A ce moment la bactérie pénètre et le nodule primordial se développe et enfle. Alors que le nodule se forme, la plante hôte fournit l'énergie sous forme de sucres provenant de la photosynthèse et l'azote fixé est exporté à la plante. La couronne de la nodulation, où une abondante quantité de nodules se forment sur la partie supérieure de la racine principale, est considérée optimale pour plusieurs cultures. Les nodules inefficaces sont souvent petits et présentent typiquement une coloration intérieure verte ou blanche (Sika, 2009).

Cette symbiose *Rhizobium*-Légumineuses fournit chaque année, à l'échelle de la planète, une quantité d'azote équivalente à celle synthétisée par voie chimique dans l'industrie des engrais, et joue donc un rôle écologique et économique considérable.

II.1.2. Evaluation de la nodulation

La nodulation est généralement évaluée par l'examen des racines d'un nombre de plantes de chaque traitement, arrachées au hasard. Les mesures comprises pour la nodulation sont le nombre de nodules des racines, la masse et la couleur, la distribution et la longévité de la population des nodules, et les scores visibles de la nodulation.

Il est recommandé que la nodulation soit évaluée pendant la dernière moitié de la croissance végétative (R6), lorsqu'il est encore relativement facile de déterrer la majorité du système racinaire. La masse de nodules par plant est la mesure la plus informative mais peut consommer beaucoup de temps pour les espèces telles l'arachide qui a des nombres élevés de nodules. Une alternative pratique est d'évaluer le nombre de nodules ou, si les nombres de nodules sont grands, utiliser la méthode de cotation se trouvant à la figure 1 combinant une échelle de 0 à 6 et une autre échelle de 0 à 4 :



SOURCE : Wommer (2010)

Ce système particulier chiffre la nodulation, tenant compte du nombre de nodules, la dimension et la distribution. Le système a été conçu pour toutes les légumineuses par J. Howelson. Le score des nodules est déterminé par le nombre de nodules efficaces dans la zone de la racine dite couronne de nodulation (considérée comme la zone située dans les cinq premiers centimètres et ailleurs sur le système racinaire) mais aussi en fonction de leurs dimensions.

La cotation sur cette figure devrait être considérée comme un guide seulement et pourrait être modifiée pour les autres espèces dans différents environnements. Les évaluations visuelles devraient idéalement être effectuées par la même personne au moyen d'une expérimentation, mais si plus d'une personne est impliquée, chacune devrait marquer tous les échantillons. Par conséquent, la division du travail devrait être à la base des répétitions et non des traitements. La procédure implique d'extirper prudemment et au hasard un nombre approprié de plants d'une culture ou d'une parcelle de la répétition (s'assurant que le système racinaire ainsi que les nodules sont protégés) et bien les observer. La légende sur la table scoring permettra de coter une quelconque plante.

II.1.3. Facteurs de la fixation biologique de l'azote

L'établissement des symbioses effectives fixatrices d'azote entre les légumineuses et leurs bactéries fixatrices d'azote (*Rhizobium*) est dépendant de plusieurs facteurs environnementaux, et peut être considérablement influencé par les pratiques de gestion agronomique (Bala et al., 2003). Comme conséquence, la fixation d'azote ne peut pas être supposée se produire automatiquement. Un des facteurs communs le plus limitant de l'habileté d'une légumineuse de fixer l'azote est l'absence de nombres suffisants de *Rhizobiums* efficaces dans le sol.

Heureusement, des souches de *Rhizobium* peuvent relativement être introduites dans le sol simplement par inoculation et, dans beaucoup des pays, ceci a été pratiqué avec succès à des fins commerciales pendant plusieurs années. Les légumineuses qui ont plus besoin d'inoculation sont celles qui requièrent des souches spécifiques de *Rhizobium* pour former une symbiose effective. Elles peuvent exiger d'être inoculées seulement lorsqu'elles croissent dans des régions situées en dehors de leurs centres de diversification, ou bien là où elles n'avaient pas crû traditionnellement ou n'avaient pas crû pour un nombre d'années (Brockwell et al., 1995).

Dans beaucoup de cas, le *Rhizobium* indigène ne peut pas satisfaire la demande des plantes pour la fixation biologique de l'azote et les semences des légumineuses doivent être inoculées avec une souche prestigieuse de *Rhizobium* au semis. L'établissement d'une BNF efficace dépend de l'optimisation de toutes ces composantes et est bien diagnostiqué dans le champ en protégeant et en observant les nodules. Il existe plusieurs contraintes environnementales à la BNF. Une température extrême tue les *Rhizobiums* dans le sol et réduit la nodulation des racines, exigeant de semer les cultures tolérantes à ce stress telles que le niébé et l'arachide. La sécheresse aussi tue les *Rhizobiums* dans le sol et réduit la BNF. Cet effet peut être minimisé par un semis profond des légumineuses comme l'arachide. Les légumineuses sont sensibles à la salinité. Les *Rhizobiums* sont performants dans les sols gorgés d'eau mais les légumineuses croissent mal à cause de la déficience en oxygène et la toxicité des minéraux. Dans ce cas, les légumineuses avec des racines superficielles, telles le haricot et le soja, sont mieux performantes que les cultures avec les racines profondes (Sika, 2009).

Les contraintes environnementales à la BNF incluent l'acidité du sol et la toxicité aluminique, particulièrement dans les sols tropicaux hautement altérés. Cette condition est facilement corrigée par le chaulage. Le chaulage fournit également le calcium, un autre élément exigé par les plantes en grandes quantités. Après l'azote, le phosphore est le second plus limitant nutriment dans les sols africains. Les *Rhizobiums* sont tolérants à une faible teneur en phosphore mais la nodulation et la BNF sont très sensibles à sa limitation. Plusieurs oligo-éléments tels le zinc, le molybdène, le cobalt et le bore sont nécessaires à la BNF mais ces déficiences sont rares, arrivant souvent dans les sables, les sols extrêmement acides ou alcalins ou sous engorgement.

Les légumineuses fixatrices d'azote peuvent utiliser l'azote minéral du sol et l'engrais mais l'engrais minéral comme source d'azote réduit la BNF. Les légumineuses puisent facilement l'azote minéral du sol et ceci tend à supprimer la BNF. Le coût de production d'azote des légumineuses via la BNF étant moins élevé qu'avec l'utilisation des engrais azotés il est plus rentable pour le fermier de recourir à la BNF.

Néanmoins, les légumineuses ont une meilleure croissance s'il y a un peu d'engrais minéral disponible sous forme d'éléments minéraux et une petite quantité d'azote initial (10 à 30kg/ha) au semis peut accroître la BNF totale durant le cycle de vie de la culture. Cet azote initial accroît les rendements uniquement dans les sols extrêmement déficients en azote et où le potentiel de rendement des cultures est grand. Il devrait être recommandé seulement s'il y a une évidente conviction des bénéfices économiques. Le nitrate est une forme plus efficace d'azote initial que l'urée. Dans beaucoup de cas, les fermiers sont mieux avertis d'orienter les engrais azotés disponibles aux céréales et autres cultures non fixatrices cultivées aussi bien en association ou en rotation avec les légumineuses, ce qui permet aux légumineuses de puiser tout le reste d'azote résiduel (Woomer, 2010).

II.2. L'inoculation des semences des légumineuses

Dans beaucoup de sols, les nodules bactériens ne sont pas adéquats aussi bien en nombre qu'en efficacité. Dans ces conditions, il est nécessaire d'inoculer les semences de légumineuses avec des souches prestigieuses de bactéries *Rhizobium*. Ces bactéries sont multipliées au laboratoire et combinées à un substrat, tel que la tourbe, le compost ou la boue filtrée, afin de produire un inoculant des semences de légumineuses. Le procédé consistant à ajouter cet inoculant aux semences est appelé inoculation.

Les inoculants des semences sont faciles à appliquer et efficaces sous plusieurs conditions environnementales mais sont périssables et perdent rapidement leur viabilité lorsqu'exposés à une température de 40° C ou plus. Autrement, les inoculants retiennent leur efficacité pour six mois ou plus lorsque réfrigérés. Les matériels collants (adhésifs) sont recherchés pour lier le *Rhizobium* à la semence. Le Gum arabe, obtenu de l'arbuste africain *Acacia senegal*, est un excellent adhésif lorsqu'appliqué comme une solution de 10-15% dans l'eau. Les autres adhésifs

incluent 10% de solution de sucre, 10% d'une solution de miel et d'eau. Les adhésifs et les inoculants sont mélangés ensemble et alors combinés avec les semences lorsqu'on utilise la technique de slurry pendant que la méthode en deux étapes commence par le recouvrement des semences avec l'adhésif seul.

La technique en deux étapes nécessite moins d'adhésif, recouvre mieux les inoculants et est plus appropriée aux petites quantités de semences. Une agitation aussi vigoureuse et prolongée peut déloger l'inoculant des semences. Ne pas ajouter excessivement d'adhésif étant donné qu'un excès provoque le tarissement des semences. Dans les deux cas, la quantité d'inoculant reste la même (10 g par kg de semence) mais la quantité d'adhésif augmente d'environ 40%. La quantité requise d'adhésif et de couvert végétal varie en fonction des dimensions des semences de légumineuses, les petites semences exigeant plus d'adhésif et associés (collés) aux grandes quantités d'engrais (FAO, 1984).

II.3. La fixation biologique de l'azote en agriculture

La fixation biologique de l'azote peut être gérée à travers de bonnes pratiques agricoles qui permettent à la culture d'accomplir son potentiel et cela réduit le stress du climat et du sol. Ces pratiques incluent l'adoption de variétés améliorées des cultures, une utilisation judicieuse d'engrais minéraux, l'ajustement de la densité des plants et un sarclage ponctuel.

Avec 3,4 milliards d'hectares de pâturages, 1,5 milliards de terres arables et 136 millions de cultures permanentes, l'agriculture couvre près de 40% de la superficie mondiale. La fixation d'azote peut contribuer directement à la production agricole en fournissant l'azote des parties foliaires végétatives, des gousses, graines et tubercules des plantes utilisées comme nourriture pour animaux ou récoltées pour la consommation humaine. La fixation d'azote est aussi une source majeure d'azote des sols agricoles via les résidus riches en azote qui restent après récolte ou le broutage (Woomer, 2010).

Les taux de fixation d'azote ont tendance à être élevés lorsque la disponibilité d'azote minéral aux plantes est limitée mais l'eau et les autres éléments nutritifs sont abondants. Il y a un mécanisme de feedback dans la fixation de l'azote dans lequel les taux baissent progressivement avec l'accroissement de la disponibilité de l'azote minéral. Tout de même, les taux élevés de la fixation d'azote sont communément atteints parce que plus de systèmes cultureux sont dominés par les céréales qui utilisent de larges quantités d'azote minéral du sol. Par conséquent, l'azote minéral dans les champs des agriculteurs est relativement souvent bas, mais pas toujours (Sika, 2009).

IIème partie : EXPERIMENTATION

Chapitre III. MILIEUX, MATERIELS ET METHODES

III.1. MILIEUX

L'étude a été menée dans les champs des paysans du groupement de Mudaka-Murhesa dans le territoire de Kabare et dans ceux des paysans du groupement de Mushinga dans le territoire de Walungu. Ces deux territoires se trouvent dans l'entité du Bushi dans la province du Sud – Kivu.

Le Bushi a un relief accidenté et est composé essentiellement de collines, de plateaux et de bas fonds en vallées ou marais traversés par des rivières. Le Bushi fait partie de la région naturelle du Sud-Kivu communément appelée « dorsale du Kivu » et s'étend de part et d'autre de la chaîne des montagnes qui longe le Graben à l'ouest du lac Kivu et du cours supérieur de la Ruzizi. L'altitude varie de 1460 à 2000m, la latitude varie entre 2°30' et 2°42' Sud et la longitude entre 28°46' et 28°50' Est (Sika, 2009).

Le territoire de Walungu avec une superficie de 1800 km² se situe à une altitude moyenne de 1751 m, à 2°38' de latitude sud et à 28°40' de longitude est, à l'ouest et au sud de la ville de Bukavu. Quant au territoire de Kabare, il se situe à 1500 m d'altitude en moyenne, à 2°30' de latitude sud et 28°48' de longitude est, au nord et au nord-ouest de la ville de Bukavu (Mulumuna, 2011).

Les sites de Mushinga et de Murhesa font partie des sites d'action du projet N₂ Africa. Le choix des sites a été dicté par le contraste environnemental qui existe dans la province du Sud-Kivu, forçant un esprit critique à comparer la réponse des légumineuses à l'inoculum et à la fertilisation azotée dans les sols dégradés et dans les sols riches. Ainsi, l'axe Walungu présente des sols hautement dégradés que l'axe Murhesa (Mulumuna, 2011).

III.1.1 CLIMAT

La région du Bushi bénéficie d'énormes quantités d'eaux de pluies réparties en deux saisons de durées inégales dont une grande saison pluvieuse qui commence de septembre à décembre avec le maximum en novembre, l'autre saison, humide et plus courte, commence de mi-mars à mi-mai avec le maximum en avril (Dupriez, 1987).

La saison sèche comprend deux périodes, l'une allant de janvier à février (la plus courte), l'autre, plus longue, va de juin jusqu'en août. Le climat tropical est d'altitude et il est du type AW3 de la classification de Köppen. Toutefois, quelques perturbations climatiques (manque de pluie) se sont observées au cours de l'expérimentation.

III.1.2 LES SOLS

Spécifiquement, à Kabare et à Walungu, ce sont des Ferralsols que l'on rencontre le plus souvent. Ces Ferralsols que l'on rencontre dans l'aire d'étude peuvent être divisés en deux grands groupes. Il s'agit du groupe des Ferralsols sur roches basaltiques et humifères et du groupe des Ferralsols sur roches métamorphiques et sédimentaires. Les sols du premier groupe avec des pH allant de 4,5 à 8 (Kabare) ont une valeur agricole élevée mais, sont susceptibles à la dégradation due à l'érosion, tandis que ceux du deuxième groupe avec des pH plus faibles de l'ordre de 4 à 4,5 (Walungu) ont une faible fertilité naturelle (Hecq et Berce, cités par Vandamme, 2009).

Les sols à Walungu sont moins pourvus en éléments nutritifs que les sols de Kabare qui sont d'origine volcanique. Etant donné que dans la pratique de gestion de la fertilité de leurs champs, les agriculteurs font très peu usage des amendements organiques et d'engrais minéraux (Lunze, 2000), certains éléments nutritifs comme le potassium risquent de devenir un des principaux éléments limitant la production agricole à cause de sa teneur moyenne dans les sols, tendant vers la limite inférieure. En ce qui concerne le phosphore, dans le territoire de Walungu, les sols étudiés sont déjà carencés en cet élément (Mulumuna, 2011).

La mise en valeur des terres en pente, l'exploitation continue du sol sans la moindre mesure d'amélioration ou de conservation, la réduction de l'espace labouré suite à l'explosion démographique, constituent les principales menaces de la fertilité du sol au Bushi. Ces conditions de baisse de la fertilité semblent être plus critiques vers Walungu par rapport à l'axe Kabare (Bashagaluke, 2008).

Géographiquement, les deux sites se retrouvent à des positions éloignées, comme l'indique le tableau 2

Tableau 2. Localisation des sites.

SITE	TYPE D'ESSAI	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (Mètre)
Murhesa	INO 3	02°23'271''	028°47'445''	1576
Mushinga	INO 3	02° 45' 265''	028° 40' 265''	1647

Source : Données GPS

Tous ces deux sites se trouvent dans des régions à moyennes altitudes malgré les différences édapho-climatiques, ce qui prête à une comparaison ultérieure entre eux.

III.2.MATERIELS

Les matériels utilisés étaient composés de deux variétés de soja. Ces variétés ont été fournies par le CIAT-TSBF à l'INERA Mulungu pour multiplication afin de servir pour les essais de recherche.

Le tableau 3 reprend les caractéristiques de différentes variétés de soja.

Tableau 3. Caractéristiques des variétés de soja utilisées.

VARIETE	Rendement potentiel (Kg/ha)	Maturité (Jours)	Taille des graines (Grammes pour 100 graines)	Production de biomasse	Croissance sur sol pauvre	Résistance aux fortes pluies	Résistance à la sécheresse	Résistance aux maladies
PEKA-6	Haut : 2000	Précoce 95-105	Large 16	Basse	Modérée	Moyenne	Bonne	Bonne
SB 24	Haut : 2500	Durée courte à moyenne 100-110	Petite 11	Haute	Modérée	Moyenne	Bonne	Moyenne

Source : Cialca, 2010

Toutes ces variétés ont été sélectionnées selon leur grande aptitude à fixer l'azote atmosphérique et leur résistance aux stress abiotiques et biotiques. Ces deux variétés font aussi partie de celles retenues par les paysans des milieux dans lesquels les essais ont été implantés, pour leur bonne adaptation.

III.3.METHODE

La technique d'investigation utilisée était celle de l'expérimentation au champ.

III.3.1. Dispositif expérimental

La figure 2 reprend le dispositif expérimental utilisé

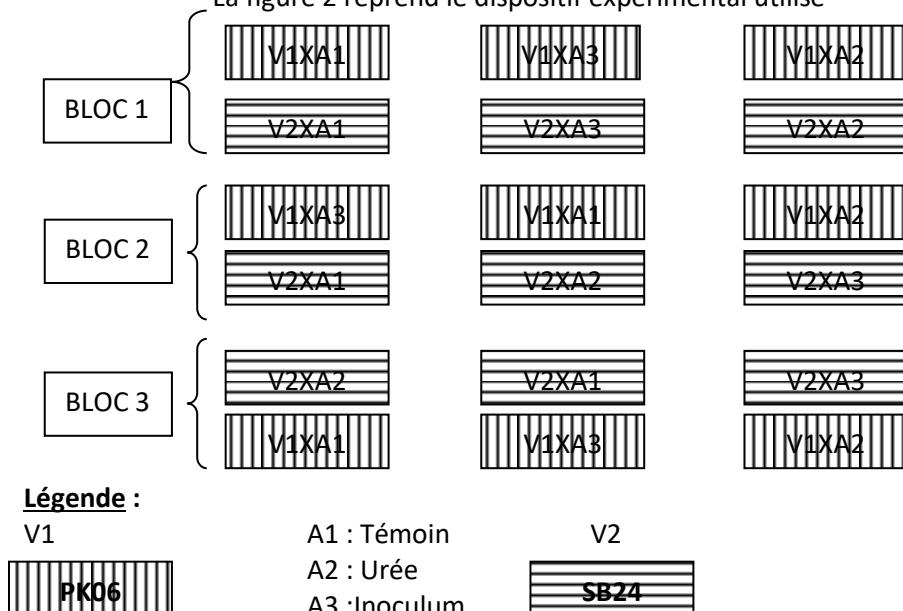


Figure 2 : Dispositif de l'essai

Le dispositif utilisé était celui de parcelles divisées ou split plot. Il comprenait trois répétitions dans lesquelles deux variétés de soja et la source d'azote représentaient les facteurs considérés de la manière suivante : le facteur principal étant source d'azote (témoin, inoculation, urée) et le facteur secondaire : les variétés de soja (SB24 et PK06).

La parcelle unitaire mesurait 3 m de longueur et 3 m de largeur, soit une superficie de 9 m². La distance entre les parcelles était de 1 m afin d'éviter les contaminations entre les parcelles inoculées et celles non inoculées. Mais aussi une distance de 1 m était laissée pour séparer une répétition d'une autre. L'affectation des traitements dans différentes parcelles a été faite aléatoirement. Le dispositif entier avait une superficie de 198 m².

III.3.2. Conduite de l'essai

III.3.2.1. Préparation des terrains et piquetage

La préparation des terrains a consisté à deux labours profonds (25 à 30 cm de profondeur) à la houe avant le semis, l'un en date du 15 janvier 2011 et l'autre en date du 25 février, un jour avant le semis. Les unités expérimentales ont été délimitées, un jour avant le semis à l'aide de piquets.

III.3.2.2. Semis et entretien

Le semis s'est fait en lignes en date du 26 février 2011. Chaque parcelle comptait 6 lignes aux écartements de 50 cm x 5 cm à raison d'une graine par poquet. L'inoculation par la souche de *Rhizobium* Biofix fournie par MEA de Nairobi et l'épandage urée ont servi comme différents niveaux d'azote pour l'essai.

. Selon *Anonyme (1993)*, la culture de soja exige 60 kg à l'hectare de P₂O₅ et 50 à 100 kg à l'hectare de K₂O. Ainsi, le phosphore et le potassium ont été épandus dans toutes les parcelles respectivement sous forme de TSP et de KCl à raison 270 g TSP et 108 g de KCl par parcelle) dans un sillon situé à 10 cm de la ligne de semis.

En ce qui concerne l'azote, on a appliqué l'urée à un taux de 50 kg N / ha (équivalent à 46 kg d'urée/ha). La souche de *Rhizobium RB α A SoyB R®* fournie par MEA de Nairobi a également été utilisée et a servi d'inoculant.

Les autres soins d'entretien ont consisté en deux sarclages afin de diminuer la concurrence avec les mauvaises herbes.

III.3.2.3. Récolte et conditionnement

La récolte était échelonnée en raison de la variabilité dans la durée des cycles de vie des différentes variétés. Les parcelles avec la variété PK06 ont été récoltées le 14 juin 2011 tandis

que celles avec la variété SB24 ont été récoltées le 29 juin 2011. La récolte est intervenue à maturité complète. Le conditionnement des échantillons s'est tenue dans le serre de l'IITA/Kalambo et dans le laboratoire de l'Université Catholique de Bukavu à Karhale.

III.3.3 Paramètres observés

Il s'est agi des paramètres végétatifs et des paramètres de rendement. Tous ces paramètres ont été prélevés sur un échantillon de 30 plantes par parcelle, considéré comme plantes observables.

III.3.3.1. Les paramètres végétatifs

1° Le taux de germination : obtenu après comptage du nombre de graines germées dix jours après le semis sur les plants observables.

2° Le diamètre au collet: mesuré à l'aide d'un pied à coulisse à deux reprises : à un mois après le semis et à un mois à partir de la dernière prise sur les plants observables.

4° La hauteur des plants : mesurée à l'aide d'un mètre ruban à deux reprises : à un mois après semis et à un mois à partir de la dernière prise.

III.3.3.2 Les paramètres de rendement

1° Le nombre de gousses par plant : compté à la récolte sur les plants observables.

2° Le nombre de graines par gousse : compté à la récolte sur les plants observables.

3° Le poids de 100 graines : pesé au moyen d'une balance de précision, après récolte et séchage sur les plants observables.

4° Le rendement : calculé au moyen de la formule :

$$\text{Rendement (Kg/ha)} = \text{Poids sec (graines)} / \text{Surface utile} \times 10$$

III.3. Analyse des résultats

Les résultats ont été analysés et traités sur ordinateur à l'aide des logiciels Excel, logiciel R et GenStat. L'analyse de la variance à deux critères de classification a permis de déceler les différences pouvant exister entre les variantes étudiées. Le test de Duncan a servi à la comparaison des moyennes lorsque, pour un paramètre donné, les différences s'avéraient significatives entre les différentes variantes.

Chapitre IV. RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Paramètres végétatifs

IV.1.1. Diamètre au collet

Le tableau 4 reprend le résumé d'ANOVA sur les diamètres au collet sur le site de Mushinga.

Tableau 4: Résumé d'ANOVA sur les diamètres au collet à Mushinga

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	0,0038778	0,0019389	0,22	0,820	NS
VARIETES	1	0,0227556	0,0227556	2,57	0,250	NS
EFFETS RESIDUELS 1	2	0,0176778	0,0088389	16,66		
NIVEAU D'AZOTE	2	0,0818778	0,0409389	77,16	<,001	***
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	0,0148778	0,0074389	14,02	0,002	**
EFFETS RESIDUELS 2	8	0,0042444	0,0005306			
Total	17	0,1453111				

Cv : 5,9%

Il ressort des résultats du tableau 4 que les différences ont été très hautement significatives au niveau de l'azote et hautement significatives au niveau de l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote et non significatives pour le reste.

Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 5.

Tableau 5: Comparaison des moyennes du diamètre au collet à Mushinga selon l'interaction entre le niveau d'azote et les variétés

Interactions niveaux d'azote et variétés	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
SB24 UREE	0,5533	A
PK06 UREE	0,4167	A B
PK06 TEMOIN	0,3667	B
SB24 INOCULUM	0,3667	B
SB24 TEMOIN	0,3633	B
PK06 INOCULUM	0,2867	B

Ppds= 0,16767

Des résultats du tableau 5, il s'ensuit que deux groupes homogènes ont été observés au niveau de l'interaction entre les variétés et les différents niveaux d'azote apporté pour le diamètre au collet à Mushinga. La variété SB24 soumise à l'urée constitue le groupe A tandis que les combinaisons PK06 -Témoin, SB24 - inoculum, SB24-Témoin et PK06 - Inoculum occupent le groupe B. La combinaison PK06-Urée, quant à elle, est intermédiaire entre les deux groupes homogènes.

Ceci montre que les deux variétés traitées à l'urée ont donné en moyenne un plus grand diamètre comparativement à celles qui ont été inoculées et aux parcelles témoins. En effet, l'apport direct d'azote sous forme d'urée favorise le développement végétatif d'une plante. C'est cela qui explique la supériorité des parcelles traitées à l'urée comparativement à celles qui ont été inoculées et aux parcelles témoins carencées en azote.

L'inoculation n'a pas apporté de bons résultats car la fixation biologique n'est pas encore effective à ce stade. En effet la fixation biologique de l'azote ne devient effective que vers le début de la formation des gousses (Wommer, 2010).

Le tableau 6 reprend le résumé d'ANOVA sur les diamètres au collet sur le site de Murhesa.

Tableau 6: Résumé d'ANOVA sur les diamètres au collet à Murhesa

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	0,049878	0,024939	10,98	0,084	NS
VARIETES	1	0,002939	0,002939	1,29	0,373	NS
EFFETS RESIDUELS 1	2	0,004544	0,002272	1,54		
NIVEAU D'AZOTE	2	0,000878	0,000439	0,30	0,750	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	0,008211	0,004106	2,79	0,121	NS
EFFETS RESIDUELS 2	8	0,011778	0,001472			
Total	17	0,078228				

Cv : 8,1%

Il ressort des résultats du tableau 6 qu'aucune différence ne se remarque sur le sol de Murhesa dans l'analyse des diamètres au collet. Les différences constatées sur le sol de Mushinga ne se remarquent pas sur le sol de Murhesa parce que ce dernier étant plus ou moins fourni en éléments, les plantes pouvaient y avoir une bonne croissance, même sans apport de l'urée.

IV.1.2. Hauteur des plants

Le tableau 7 reprend le résumé d'ANOVA sur la hauteur des plants.

Tableau 7: Résumé d'ANOVA sur la hauteur des plants (Mushinga)

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	36,003	18,002	0,38	0,723	NS
VARIETES	1	233,280	233,280	4,96	0,156	NS
EFFETS RESIDUELS 1	2	94,090	47,045	4,74		
NIVEAU D'AZOTE	2	116,130	58,065	5,85	0,027	*
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	19,143	9,572	0,96	0,421	NS
EFFETS RESIDUELS 2	8	79,393	9,924			NS
Total	17	578,040				

Cv : 9,3%

Il ressort des résultats du tableau 7 que des différences significatives se sont dégagées entre les hauteurs des plantes au niveau du niveau d'azote à Mushinga. Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 8.

Tableau 8: Comparaison des moyennes de la hauteur des plants à Mushinga selon les niveaux d'azote

Niveau d'azote	Moyennes	Groupes homogènes
UREE	36,95	A
INOCULUM	34,30	A B
TEMOIN	30,75	B

Ppds= 4,194

Les résultats du tableau 8 révèlent l'existence de deux groupes homogènes au niveau des différents niveaux d'azote. Les parcelles traitées à l'urée sont celles sur lesquelles on a enregistré les hauteurs de plants les plus élevées, Le témoin a occupé le deuxième groupe, L'inoculum, quant à lui, est intermédiaire entre les deux groupes.

Comme cela a été remarqué pour le diamètre au collet, l'apport direct d'azote sous forme d'urée favorise le développement végétatif d'une plante ; c'est cela qui explique la supériorité des parcelles traitées à l'urée par rapport à toutes les autres parcelles.

Le tableau 9 reprend le résumé d'ANOVA sur la hauteur des plants à Murhesa.

Tableau 9: Résumé d'ANOVA sur la hauteur des plants (Murhesa)

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	70,99	35,50	0,35	0,743	NS
VARIETES	1	92,93	92,93	0,91	0,442	NS
EFFETS RESIDUELS 1	2	205,36	102,68	4,41		
NIVEAU D'AZOTE	2	2,68	1,34	0,06	0,944	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	13,50	6,75	0,29	0,756	NS
EFFETS RESIDUELS 2	8	186,26	23,28			
Total	17	571,72				

Cv: 9,9%

Il ressort des résultats du tableau 9 qu'aucune différence n'a été remarquée sur le sol de Murhesa dans l'analyse par rapport à la hauteur des plants.

En effet, l'on présage que le sol de Murhesa contient une quantité acceptable d'azote permettant même aux plants semés dans les parcelles témoins d'avoir une bonne croissance. L'azote apporté par l'urée apparaît donc comme une consommation de luxe.

IV.1.3. Poids frais de la biomasse des feuilles

Le tableau 10 reprend le résumé d'ANOVA sur le poids frais de la biomasse des feuilles à Murhesa.

Tableau 10 : Résumé d'ANOVA sur le poids frais de la biomasse des feuilles à Murhesa

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	9292.	4646.	0.44	0.695	NS
VARIETES	1	1275417.	1275417.	120.68	0.008	*
EFFETS RESIDUELS 1	2	21137.	10569.	2.49		
NIVEAU D'AZOTE	2	26228.	13114.	3.09	0.101	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	47501.	23750.	5.60	0.030	*
EFFETS RESIDUELS 2	8	33934.	4242.			
Total	17	1413510.				

Cv : 9,5%

Il ressort des résultats du tableau 10 qu'au niveau de Murhesa des différences significatives se sont dégagées entre les variétés et au niveau de l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote. Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 11.

Tableau 11: Comparaison des moyennes du poids frais de la biomasse de feuilles à Murhesa selon l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote

Interaction Variétés X Niveau d'azote	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
SB24 TEMOIN	1021	A
SB24 UREE	9451	A
SB24 INOCULUM	892	A
PK06 UREE	522	B
PK06 INOCULUM	387	B C
PK06 TEMOIN	351	C

PPDS= 162,0

Il ressort des résultats du tableau 11 qu'il y'a eu trois groupes homogènes et un groupe intermédiaire. Le premier groupe contient la variété SB24 qui a donné de grandes quantités de biomasse comparativement à la variété PK06. En effet, SB24, est une variété qui a l'avantage de donner à la fois une bonne production en graine et en biomasse (Cialca, 2010). C'est cela qui explique que SB24 occupe seul son groupe A à Murhesa, avec ou sans azote.

Quand au second groupe, il est clair que PK06 avec urée et PK06 avec inoculum produisent une grande quantité de biomasse que PK06 avec témoin grâce à l'apport de l'azote via la fertilisation à l'urée ou via la BNF. De plus il est à signaler que la BNF n'est effective qu'au remplissage des gousses contrairement à l'urée qui agit directement sur la plante (Woomer, 2010).

Le tableau 12 reprend le résumé d'ANOVA sur le poids frais de la biomasse des feuilles à Mushinga.

Tableau 12 : Résumé d'ANOVA du le poids frais de la biomasse des feuilles à Mushinga

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Signification
REPETITION	2	104,4	52,2	1,11	0,474	NS
VARIETES	1	64428,5	64428,5	1368,86	<001	***
EFFETS RESIDUELS 1	2	94,1	47,1	0,37		
NIVEAU D'AZOTE	2	9724,8	4862,4	37,99	<001	***
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	2863,6	1431,8	11,19	0,005	**
EFFETS RESIDUELS 2	8	1024,0	128,0			
Total	17	78239,4				

Cv : 6,1%

Il ressort des résultats du tableau 12 que des différences très hautement significatives se sont dégagées au niveau des variétés et des différents niveaux d'azote et une différence hautement significative s'est dégagée au niveau de l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote pour la biomasse des feuilles à Mushinga. Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 13.

Tableau 13: Comparaison des moyennes du poids frais de la biomasse de feuilles à Mushinga selon l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote

Interaction Variétés X Niveau d'azote	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
SB24 UREE	280,1	A
SB24 TEMOIN	256,5	B
SB24 INOCULUM	195,2	C
PK06 UREE	137,5	D
PK06 TEMOIN	124,7	D E
PK06 INOCULUM	110,7	E

PPDS= 18,32

Il ressort des résultats du tableau 13 qu'il y a eu quatre groupes homogènes et un groupe intermédiaire. Les trois premiers groupes (A, B et C) contiennent la variété SB24 qui donne une grande quantité de biomasse comparativement à la variété PK06. En effet, SB24, est une variété qui a l'avantage de donner à la fois une bonne production en graine et en biomasse (Cialca, 2010). C'est ainsi que, malgré les conditions adverses du milieu, la variété SB24 vient en première position pour ce qui est de la biomasse des feuilles car ce caractère est vraiment lié à la variété et on remarque l'effet de l'urée par rapport à l'inoculation, qui n'est pas encore effective.

L'apport d'azote via l'urée sur le sol de Mushinga, a un effet positif sur le poids de la biomasse des feuilles et cela pour les deux variétés. Le sol de Mushinga semble afficher une carence en azote, ne permettant une bonne BNF. C'est ainsi que l'interaction Variétés-Témoin donne de meilleurs poids de la biomasse des feuilles que l'interaction Variétés – Inoculation.

IV.2. Les paramètres de Rendement

IV.2.1. Nombre de gousses par plant

Le tableau 14 reprend le résumé d'ANOVA sur le nombre de gousses par plants à Mushinga

Tableau 14: Résumé d'ANOVA sur le nombre de gousses par plants (Mushinga)

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Signification
REPETITION	2	16,543	8,272	2,79	0,264	NS
VARIETES	1	337,134	337,134	113,88	0,009	*
EFFETS RESIDUELS 1	2	5,921	2,961	0,86		
NIVEAU D'AZOTE	2	9,823	4,912	1,43	0,293	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	1,974	0,987	0,29	0,757	NS
EFFETS RESIDUELS 2	8	27,389	3,424			NS
Total	17	398,785				

Cv : 11,7%

Il ressort des résultats du tableau 14 qu'une différence significative s'est dégagée pour le paramètre en analyse à Mushinga, Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 15.

Tableau 15: Comparaison des moyennes selon les variétés à Mushinga

VARIETES	Moyennes	Groupes homogènes
PK06	20,14	A
SB24	11,49	B

Ppds=3,490

Le nombre de gousses par plant est un caractère normalement lié à la variété ; ainsi on s'attendrait donc à une signification au niveau de la variété en faveur de SB24 que de PK06 comme ça été le cas.

Cela s'explique non seulement par le fait que la variété SB24 n'a pas trouvé dans le sol de Mushinga les éléments nécessaires à son épanouissement mais aussi par les perturbations climatiques qui ont surgi à cette phase pourtant critique du développement de la plante ne lui ont pas permis à bien s'exprimer contrairement à PK06 qui, comme le montre les caractéristiques des variétés au tableau 3, s'adapte à des conditions adverses comme remarqué dans le tableau 1. En effet, le tableau 1 montre que SB24 puise plus d'éléments dans le sol que PK06. D'où l'existence de deux groupes homogènes avec PK06 en première position.

Le tableau 16 reprend le résumé d'ANOVA sur le nombre des gousses par plants à Murhesa.

Tableau 16: Résumé d'ANOVA sur le nombre de gousses par plants à Murhesa.

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	5,373	2,687	0,33	0,752	NS
VARIETES	1	39,902	39,902	4,90	0,157	NS
EFFETS RESIDUELS 1	2	16,271	8,136	1,79		
NIVEAUX D'AZOTE	2	5,490	2,745	0,60	0,570	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	12,434	6,217	1,37	0,308	NS
EFFETS RESIDUELS 2	8	36,349	4,544			
Total	17	115,820				

Cv : 14,7%

Il ressort des résultats du tableau 16 qu'aucune différence ne s'est dégagée pour le paramètre en analyse sur le sol de Murhesa.

En effet, comme le montre le tableau 1 sur les quantités d'éléments nutritifs prélevés par les différentes variétés de soja, la variété SB24 est tellement exigeante en éléments nutritifs.

Les éléments disponible sur le sol de Murhesa n'ont certainement pas suffi à SB24 pour lui permettre de bien exprimer toutes ses capacités.

Cependant, en se référant au tableau 1, la variété PK06 quant à elle, moins exigeante en éléments nutritifs que SB24, exploite mieux les éléments contenus dans le sol de Murhesa, et produit beaucoup de gousses. Seul le caractère variétal de SB24 lui permet d'avoir un nombre de gousse différent de PK06 mais sans que des différences significatives ne se soient dégagées.

IV.2.2. Poids de 100 graines

Le tableau 17 reprend le résumé d'ANOVA sur le poids de 100 graines à Mushinga.

Tableau 17 : Résumé d'ANOVA sur le poids de 100 graines (Mushinga)

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Signification
REPETITION	2	1,534	0,767	0,45	0,688	NS
VARIETES	1	0,802	0,802	0,47	0,562	NS
EFFETS RESIDUELS 1	2	3,388	1,694	0,66		
NIVEAUX D'AZOTE	2	7,418	3,709	1,45	0,291	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	1,871	0,936	0,36	0,705	NS
EFFETS RESIDUELS 2	8	20,511	2,564			
Total	17	35,524				

Cv: 12,8%

Il ressort du tableau 17 qu'aucune différence ne s'est dégagée pour le paramètre en analyse sur le sol de Mushinga.

En effet, en se référant au tableau 3, la variété PK06 ayant la particularité d'avoir des graines plus larges et le nombre de gousses plus élevé que la variété SB24, on s'attendrait à ce qu'elle donne en moyenne un plus grand poids de 100 graines. La différence ne s'est pas fait cependant remarquer à cause du sol de Mushinga qui n'a pas permis même à PK06 de mieux s'exprimer suite à l'insuffisance des éléments nutritifs dans ce dit sol.

Cependant, la grande biomasse de la variété SB24 lui a permis d'avoir une grande surface photosynthétique occasionnant une grande translocation des assimilés de la source à la graine permettant ainsi de rapprocher son poids de graines de celui de PK06.

Le tableau 18 reprend le résumé d'ANOVA sur le poids de 100 graines à Murhesa.

Tableau 18: Résumé d'ANOVA sur le poids de 100 graines à Murhesa

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr(>F)	Signification
REPETITION	2	12,6233	6,3117	4,18	0,193	NS
VARIETES	1	64,9800	64,9800	42,99	0,022	*
EFFETS RESIDUELS 1	2	3,0233	1,5117	1,65		
NIVEAUX D'AZOTE	2	5,3433	2,6717	2,92	0,112	NS
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	14,4433	7,2217	7,89	0,013	*
EFFETS RESIDUELS 2	8	7,3267	0,9158			
Total	17	107,7400				

Cv : 7,2%

Il ressort des résultats du tableau 18 que les différences sont significatives au niveau des variétés. Elles sont aussi significatives au niveau de l'interaction entre la variété et le niveau d'azote. Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan.

Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 19.

Tableau 19: Comparaison des moyennes sur le poids de 100 graines à Murhesa selon l'interaction variétés et Niveau d'azote

Interaction Variétés X Niveau d'azote	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
PK06 TEMOIN	17,10	A
PK06 UREE	15,00	B
PK06 INOCULUM	13,60	B
SB24 INOCULUM	11,77	C
SB24 UREE	11,60	C
SB24 TEMOIN	10,93	C

Ppds= 2,029

Il ressort des résultats du tableau 19 qu'il y a trois groupes homogènes. La combinaison PK06-témoin vient en première position, viennent ensuite les combinaisons PK06-urée et PK06-inoculum et enfin les trois combinaisons de SB24 avec respectivement l'inoculum, l'urée et le témoin.

La variété PK06 a donné les poids de 100 graines plus élevés comparativement à la variété SB24 en condition naturelle c'est-à-dire lorsqu'on n'a apporté aucun engrais parce que PK06 possède des graines plus larges que SB24 (Cialca, 2010).

Le fait qu'en moyenne on ait obtenu les meilleurs résultats sur les plants semés dans les parcelles témoins pourrait s'expliquer par les conditions de sol de Murhesa qui, étant plus ou moins fourni en éléments essentiels, donne la possibilité aux plants se trouvant dans les parcelles non inoculées ou non fertilisées d'avoir une bonne croissance.

IV.2.3. Rendement

Le tableau 20 reprend le résumé d'ANOVA sur le rendement à Mushinga.

Tableau 20: Résumé d'ANOVA sur le rendement à Mushinga

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Signification
REPETITION	2	2619	1309	2,31	0,302	NS
VARIETES	1	804335	804335	1419,67	<001	***
EFFETS RESIDUELS 1	2	1133	567	0,12		
NIVEAUX D'AZOTE	2	126393	63197	13,25	0,003	**
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	103859	51929	10,89	0,005	**
EFFETS RESIDUELS 2	8	38151	4769			
Total	17	1076489				

Cv : 7,3%

Il ressort des résultats du tableau 20 que les différences sont très hautement significatives au niveau des variétés et au niveau d'azote et significatives pour l'interaction entre les variétés et le niveau d'azote. Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 21.

Tableau 21: **Comparaison des moyennes de rendement à Mushinga selon les variétés**

Interactions VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
PK06 UREE	1306	A
PK06 TEMOIN	1155	B
PK06 INOCULUM	1022	C
SB24 UREE	824	D
SB24 INOCULUM	808	D
SB24 TEMOIN	583	E

Ppds = 107,5

Il ressort des résultats du tableau 21 qu'il y a 5 groupes homogènes. La variété PK06 avec différentes combinaisons occupe les trois premiers groupes et donc semble mieux se comporter sur les sols pauvres vu sa capacité à résister à des conditions édapho-climatiques adverses (Cialca, 2010) plus que SB24 qui arrive en dernière position dans les deux derniers groupes.

La combinaison PK06 avec l'urée a donné les meilleurs rendements dans les conditions de Mushinga. En effet l'apport direct d'azote sous forme d'urée dans ce sol relativement pauvre en nutriments, spécialement en azote, a permis à cette combinaison d'avoir un bon résultat même si la quantité d'azote est inférieure à la recommandation. C'est pour la même raison que la combinaison PK06 – inoculum a donné des résultats inférieurs à PK06 – Témoin car une insuffisance d'azote ne permet pas une bonne BNF. Ceci confirme la littérature qui dit qu'en sol très pauvre, la fixation biologique est inefficace.

SB24, étant une variété très exigeante en azote (Sika, 2010) a donné des rendements sensiblement inférieurs à ceux de PK06. La combinaison SB24 – Urée a donné de bons rendements dans ce groupe D dû à l'apport direct d'azote par l'urée. Il en est de même à la combinaison SB24 – Inoculum qui a donné un rendement élevé à SB24 – Témoin, car SB24 étant une variété promiscueuse, elle est parvenue à fixer l'azote lui permettant d'avoir un rendement élevé par rapport au niveau zéro d'apport d'azote. Cependant, malgré les rendements

supérieurs obtenus par la variété PK06, aucune de deux variétés n'a atteint son potentiel qui serait dû à l'insuffisance des éléments nutritifs dans ce sol de Mushinga.

Le tableau 22 reprend le résumé d'ANOVA sur le rendement à Murhesa.

Tableau 22: Résumé d'ANOVA sur le rendement à Murhesa

Source de variation	DDI	SCE	CM	Fobs	Pr (>F)	Signification
REPETITION	2	571	286	0,03	0,968	NS
VARIETES	1	5824853	5824853	681,58	0,001	**
EFFETS RESIDUELS 1	2	17092	8546	1,03		
NIVEAUX D'AZOTE	2	148674	74337	8,92	0,009	*
VARIETES x NIVEAU D'AZOTE	2	80886	40443	4,85	0,042	*
EFFETS RESIDUELS 2	8	66693	8337			
Total	17	6138770				

Cv: 5,0%

Il ressort des résultats du tableau 22 que des différences hautement significatives se sont dégagées au niveau des variétés et des différences significatives se sont dégagées au niveau d'azote et au niveau de l'interaction entre la variété et le niveau d'azote.

Pour mettre au clair ces dissemblances, une séparation des moyennes a été réalisée à l'aide du test de Duncan. Les résultats du test de comparaison des moyennes sont repris dans le tableau 23.

Tableau 23 : Comparaison des moyennes de rendement à Murhesa selon l'interaction entre les variétés et les niveaux d'azote

Interactions Variétés x Niveau D'azote	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES
SB24 TEMOIN	2470	A
SB24 INOCULUM	2402	A
SB24 UREE	2288	B
PK06 INOCULUM	1444	C
PK06 TEMOIN	1189	D
PK06 UREE	1114	D

PPDS= 169,6

Il ressort des résultats du tableau 23 qu'il ya quatre groupes homogènes. La variété SB24 a donné de bons rendements sur le sol de Murhesa que la variété PK06, En Effet la variété SB24 a la potentialité de donner de hauts rendements que la variété PK06 (Cialca, 2010).

Les combinaisons SB24 – Témoin et SB24 – Inoculum occupent ensemble le groupe A, ce qui pousserait à croire qu'au niveau de Murhesa l'azote n'étant pas un facteur limitant, le niveau d'apport zéro d'azote a donné le même rendement que l'inoculation et mieux que l'apport d'urée ; et son rendement est presque celui du potentiel de la variété, à savoir 2500 Kg/ha. Le bon rendement des parcelles inoculées prouve à suffisance que le sol de Murhesa réunit les conditions pour faciliter une bonne fixation de l'azote par la plante. C'est ainsi que que la plante dans les conditions de Murhesa s'est contentée d'utiliser l'azote du sol et de l'air car l'assimilation de l'urée dans ces conditions était un luxe.

Quant à PK06, qui est une variété précoce (tableau 3), elle cherche toujours à maximiser les ressources disponibles pour croître aussi rapidement que possible, elle a donné de bons résultats dans la combinaison avec l'inoculum, mais son rendement a été en dessous de son potentiel qui est de 2000Kg/ha. En effet, la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol de Murhesa a incité la variété PK06 à utiliser une grande partie de son énergie à produire une grande quantité de biomasse que de la conserver pour la production de graines. Ainsi le rendement est plus faible que le potentiel malgré la qualité de ce sol. Comme pour SB24, l'utilisation de l'urée s'est avéré un luxe pour PK06.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le présent travail avait pour objectif de déterminer en premier lieu la réponse de deux variétés de soja (PK06 et SB24) à la fertilisation azotée ainsi qu'à l'inoculation sur le sol de Murhesa dans le territoire de Kabare et sur celui de Mushinga dans le territoire de Walungu, et en second lieu de déterminer parmi les deux variétés sélectionnées, celle qui y a mieux répondu,

Pour ce faire, deux essais ont été réalisés l'un à Mushinga et l'autre à Murhesa selon un dispositif split plot avec deux facteurs dont le facteur principal était la source d'azote (Inoculation et Urée) et celui secondaire, les variétés, Les paramètres observés ont été : le taux de germination, la croissance en hauteur, le diamètre au collet, la biomasse des feuilles, la biomasse des gousses, le nombre de gousses par plant, le poids de 100 graines et le rendement en graine,

Les résultats obtenus amènent à tirer les conclusions suivantes :

- Sur le sol de Mushinga :
 - La variété PK06 est celle qui a donné en moyenne un plus grand nombre de gousses par plantes et le rendement le plus élevé. Par contre la variété SB24 a donné la biomasse des feuilles la plus élevée. Cependant le reste des paramètres, entre autres le diamètre au collet, hauteur de plante ainsi que le poids de 100 graines, n'ont pas été influencés par les variétés.
 - C'est aux niveaux du diamètre au collet, de la hauteur des plantes, du poids de la biomasse feuilles et du rendement que l'urée s'est démarquée par rapport à l'inoculation et au témoin, Pour le reste des paramètres le traitement n'a pas créé des différences entre variétés et l'inoculation de graines ne s'est pas fait sentir.
- Sur le sol de Murhesa :
 - La précocité de la variété PK06 dans la croissance a fait que la variété n'a pas été influencée pour ce qui est du diamètre au collet et de la hauteur de plant. Cependant, SB 24 étant une variété à grande biomasse, elle l'a remporté sur la biomasse des feuilles mais les autres paramètres en étude n'ont pas été influencés.
 - la variété PK06, ayant des graines plus larges, a donné le plus grand poids de 100 graines et
 - grâce à son potentiel génétique, la variété SB24 a donné les rendements élevés ; la réponse à l'inoculation ne s'est pas fait sentir.

Lorsqu'on compare les deux milieux on se rend compte que :

- Pour tous les paramètres étudiés les meilleurs résultats ont été enregistrés sur le sol de Murhesa, ce dernier étant, en plus d'être un sol volcanique, moins sujet aux problèmes d'érosion comparativement au sol de Mushinga,
- Les différents niveaux d'azote n'ont pas influencés la plupart des paramètres végétatifs, à l'exception du diamètre au collet pour lequel les parcelles traitées à l'urée ont donné en moyenne de meilleurs résultats comparativement à celles qui ont été inoculées et aux parcelles témoins à Mushinga. Cependant le niveau d'apport d'azote zéro a donné les rendements élevés à Murhesa
- Quant aux variétés : PK06 demeure la variété qui a donné les meilleurs records dans les conditions de sol pauvre pendant que SB24 semble être la variété qui exploite mieux les sols riches. Cependant, ces faibles résultats, sensiblement différents aux caractéristiques citées ci haut des ces deux variétés ne s'expliquent que par la précarité du climat pendant cette saison.

En effet pendant cette saison, la quantité de pluies a été insuffisante dans les deux sites et n'a pas permis l'expression des qualités des différentes variétés aux différents niveaux d'azote. C'est ainsi que pour Mushinga, seule la grande résistance de PK06 lui a permis d'avoir des résultats sensiblement supérieurs que de SB24.

Cependant, pour Murhesa, les meilleures résultats de SB24 par rapport à PK06 ne s'expliquent que par la supériorité génétique de SB24 dans sa capacité de production malgré les mauvaises conditions atmosphériques de la saison qui n'ont pas permis l'expression de ses potentialités, PK06 étant une variété précoce et supportant des conditions adverses, comme le montre le tableau 1, à profiter des éléments disponibles de sol.

Cet ainsi qu'au vu de ces conclusions, nous recommandons aux chercheurs de tester cette même expérience en saison A (de février à juillet) pour déceler la réponse optimum de ces deux variétés de soja aux différents traitements, car ayant été faite dans la saison B à faible pluviosité où des perturbations notoires de pluie (manque) se sont vraiment fait sentir.

BIBLIOGRAPHIE

1. Anonyme, 1993. Memento de l'Agronome. Ministère de la Coopération française, Paris : 1936pp.
2. Bala, A.; Murphy, T. and Giller K.E, 2003. Distribution and diversity of rhizobia nodulating agroforestry legumes in soils from three continents in the tropics. *Molecular ecology* 12: 917-929.
3. Bashagaluke, J., 2008. Analyse diagnostique des systèmes de culture à base du manioc et efficacité des haies fourragères dans la lutte antiérosive au Bushi. Mémoire de fin d'études, UCB/Bukavu, inédit : 68pp.
4. Baudoin, J.P., 1991. La culture et l'amélioration des légumineuses alimentaires en zone tropicale. Gembloux. Belgique, CTA éd., Pays Bas : 209pp.
5. Brockwel, J.; Bantomley, P.J, and Thies J.E, 1995. Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility: a critical assessment. *Plant and soil* 174 : 143-180.
6. CIALCA, 2010. Soyabeans cards. Rwanda – Sud Kivu.
7. De Staercke, P., 1990. LE SOJA : Culture, transformations artisanales et semi-industrielles, Utilisation. COTA, Bruxelles : 50 pp.
8. Dupriez, H. et Leener, P., 1983. Agriculture tropicale en milieu paysan africain. Terres et vie, Belgique : 356pp.
9. Dupriez, H., 1987. Bushi, asphyxie d'un peuple. Edition Terre et vie, Bruxelles: 155pp.
10. FAO, 2003. Les engrais et leurs applications. Rabat: 12pp.
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1984. Legume inoculants and their use. Food and Agriculture Organisation, Rome: 238pp,
12. Giller, K.E, 2009. Putting nitrogen fixation to work for smallholder farmers in Africa. N2 Africa project document, Wageningen University, the Netherlands: 67 pp.
13. Hardy, P. and Knight, J., 1968. The biochemistry and postulated mechanisms of N₂ fixation: 387-469 In: Reinhold, L. (Ed.): Progress in Phytochemistry: 354pp.
14. Javaheri et Baudoin, J.P, 2001. Le soja : 860-882. In : Raemakers RH (Ed.), Agriculture en Afrique Tropicale. DGCI, Bruxelles, Belgique : 1635pp.

15. Mulumuna, J., 2011, Caractérisation comparée de l'état de fertilité de sols cultivés au Sud-Kivu, selon les critères paysans et les normes de laboratoire (Territoires de Kabare et de Walungu/RDC). Mémoire de DEA, UNIKIN/Kinshasa, inédit : 83pp.
16. Sanchez, P.A.; Shepherd, J.D.; Soule, M.J.; Place, F.M.; Buresh, R.J.; Izac, A.M.N.; Mukwonye, A.U.; Keswiga, F.R.; Ndiritu, C.G. and Woomer, P.L., 1997. Soil fertility replenishment in Africa : An investment in natural resource capital: 237 – 287 In: Buresh, R.J.; Sanchez P,A, and Calhoun, F, (Eds): Replenishing soil fertility in Africa. SSSA Special publication No, 51, Soil Science Society of America, Madison, USA: 87pp.
17. Sanginga, N. and Woomer, P.L., 2009. Integrated Soil Fertility in Africa: Principles, Practices and Developmental process. TSBF-CIAT, Nairobi: 263 pp.
18. Sika, E., 2010. Réponse de 5 variétés naines de haricot commun et de soja à l'inoculation sans limitation du phosphore et du potassium : Cas de Kabare et de Walungu. Mémoire de fin d'études, UCB/Bukavu, inédit : 68pp.
19. Vandamme, J., 2009. Nutrient deficiencies in soils of Walungu, South- Kivu, Democratic Republic of Congo. Mémoire, Katholieke Universiteit Leuven/Belgique, inédit: 119pp.
20. Woomer, P.L., 2010. Biological Nitrogen Fixation and Grain Legume Enterprise: Guidelines for N2 Africa Master Farmers. TSBF-CIAT, Nairobi: 47pp.

ANNEXE

Annexe 1 : Diamètres au collet (en centimètres) des variétés de soja en étude à Murhesa et à Mushinga

Site	Variétés	Niveau d'azote	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	MOYENNE
Murhesa	PK06	Témoin	0,5	0,4	0,5	0,47
		Urée	0,6	0,4	0,5	0,50
		Inoculation	0,6	0,4	0,5	0,50
	SB24	Témoin	0,58	0,4	0,52	0,50
		Urée	0,46	0,4	0,44	0,43
		Inoculation	0,48	0,45	0,44	0,46
Mushinga	PK06	Témoin	0,28	0,44	0,38	0,37
		Urée	0,39	0,43	0,43	0,42
		Inoculation	0,22	0,35	0,29	0,29
	SB24	Témoin	0,38	0,34	0,37	0,36
		Urée	0,58	0,52	0,56	0,55
		Inoculation	0,38	0,35	0,37	0,37

Annexe 2 : Hauteur des plants (en centimètres) des variétés de soja en étude à Murhesa et à Mushinga

Site	Variétés	Niveau d'azote	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	MOYENNE
Murhesa	PK06	Témoin	47	55	51	51
		Urée	38,7	64	52	51,57
		Inoculation	47	53	50	50,00
	SB24	Témoin	46	44,2	45,1	45,10
		Urée	52,8	40,2	44,8	45,93
		Inoculation	46,1	50,3	47,3	47,90
Mushinga	PK06	Témoin	23,1	31,8	28	27,63
		Urée	37,3	31,1	34,5	34,30
		Inoculation	27,1	31,1	29,6	29,27
	SB24	Témoin	35,6	31,7	34,3	33,87
		Urée	45,2	34,4	39,2	39,60
		Inoculation	45,2	32,8	40	39,33

Annexe 3 : Poids frais de la biomasse des feuilles (en grammes) des variétés en étude à Murhesa et à Mushinga

Site	Variétés	Niveau d'azote	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	MOYENNE
Murhesa	PK06	Témoin	360	352	341	351,00
		Urée	413	470	682,6	521,87
		Inoculation	368	428	366	387,33
	SB24	Témoin	995,9	1100	966,3	1020,73
		Urée	951	1000	882,6	944,53
		Inoculation	876,3	945,4	854,5	892,07
Mushinga	PK06	Témoin	49	137,4	117,7	101,37
		Urée	39,2	210,4	43,8	97,80
		Inoculation	85,8	102,8	143,5	110,70
	SB24	Témoin	141,4	257,7	270,4	223,17
		Urée	220,8	429,9	159,6	270,10
		Inoculation	206,3	189,4	100	165,23

Annexe 4: Nombre de gousses par plants

Site	Variétés	Traitements	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	MOYENNE
Murhesa	PK06	Témoin	12,6	11,6	16,4	13,53
		Urée	11,8	14,2	10,9	12,30
		Inoculum	8,7	15,1	15,8	13,20
	SB24	Témoin	15,4	14,2	12,9	14,17
		Urée	17,1	14,8	17,9	16,60
		Inoculum	17,6	16,7	17,3	17,20
Mushinga	PK06	Témoin	19,1	19,2	19,1	19,13
		Urée	22,9	23,8	16,6	21,10
		Inoculum	20,6	21,6	18,4	20,20
	SB24	Témoin	12,6	11,3	9,7	11,20
		Urée	11,8	12,1	13,9	12,60
		Inoculum	9,8	12,8	9,4	10,67

Annexe 5: Poids de 100 graines (en grammes) des variétés de soja en étude à Murhesa et à Mushinga

Site	Variétés	Traitements	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	MOYENNE
Murhesa	PK06	Témoin	17,2	18,5	15,6	17,1
		Urée	16,5	15,7	12,8	15,0
		Inoculation	16	12,5	12,3	13,6
	SB24	Témoin	11,4	11,4	10	10,9
		Urée	11,8	11,9	11,1	11,6
		Inoculation	12,5	11,3	11,5	11,8
Mushinga	PK06	Témoin	11,6	10,8	11	11,1
		Urée	13,7	14,9	11,6	13,4
		Inoculation	10,5	12,3	14,6	12,5
	SB24	Témoin	13,7	11,9	11,8	12,5
		Urée	12,6	15	12,4	13,3
		Inoculation	14,2	11,8	11,4	12,5

Annexe 6: Rendement (en tonne) des variétés de soja en étude à Murhesa et à Mushinga

Site	Variétés	Traitements	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3	MOYENNE
Murhesa	PK06	Témoin	1130,25	1266,50	1170,25	1189,00
		Urée	1117,00	1139,00	1085,75	1113,92
		Inoculation	1376,25	1367,75	1586,75	1443,58
	SB24	Témoin	2956,50	2880,00	2872,25	2902,92
		Urée	2384,25	2350,00	2130,25	2288,17
		Inoculation	2425,50	2350,00	2430,25	2401,92
Mushinga	PK06	Témoin	1109,25	1087,75	1267,75	1154,92
		Urée	1284,75	1376,25	1256,75	1305,92
		Inoculation	1039,00	1090,50	937,75	1022,42
	SB24	Témoin	578,25	617,25	552,25	582,58
		Urée	830,00	829,75	813,25	824,33
		Inoculation	823,00	797,25	803,75	808,00

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	ii
REMERCIEMENTS	iii
SIGLES ET ABBREVIATIONS	iv
LISTES DES TABLEAUX ET FIGURES,	v
RESUME	i
Abstract	2
INTRODUCTION	3
I^{ère} partie : REVUE DE LA LITTERATURE	6
Chapitre I : GENERALITES SUR LE SOJA	6
I.1. Origine	6
I.2. Description	6
I.3. Fertilisation.....	7
I.4. Importance	9
Chapitre II. GENERALITES SUR LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L’AZOTE	11
II.1. LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L’AZOTE	11
II.2.1. La symbiose Rhizobium-légumineuse.....	11
II.2.2. Evaluation de la nodulation	12
II.2.3. Facteurs de la fixation biologique de l’azote	14
II.3. L’inoculation des semences des légumineuses	15
II.4. La fixation biologique de l’azote en agriculture	16
II^{ème} partie : EXPERIMENTATION	17
Chapitre III. MILIEUX, MATERIELS ET METHODES	17
III.1. MILIEUX	17
III.1.1 CLIMAT.....	17

III.1.2 LES SOLS	18
III.2.MATERIELS.....	18
III.3.METHODE	19
III.3.1. Dispositif expérimental	19
III.3.2. Conduite de l'essai	20
III.3.3 Paramètres observés	21
III.4. Analyse des résultats	21
Chapitre IV. RESULTATS ET DISCUSSION.....	22
IV.1. Paramètres végétatifs	22
IV.1.1. Diamètre au collet.....	22
IV.1.2. Hauteur des plants	23
IV.1.3. Poids frais de la biomasse des feuilles	25
IV.2. Les paramètres de Rendement	28
IV.2.1. Nombre de gousses par plant	28
IV.2.3. Rendement.....	31
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	35
BIBLIOGRAPHIE	37
TABLE DES MATIERES	42