

# UNIVERSITE KONGO U.K.



B.P. 202/MBANZA-NGUNGU

## FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES MBANZA-NGUNGU

**ETUDE COMPARATIVE DES TROIS LEGUMINEUSES CULTIVEES  
(*Glycine max* L. (MERRIL) (soja), *Arachis hypogaea* L. (arachide), *Vigna unguiculata* (L.) Walpers.(niébé) SUR LA NODULATION ET LEUR  
IMPACT SUR LA VARIATION DE LA TENEUR EN AZOTE DU SOL  
EN CONDITIONS EDAPHO-CLIMATIQUES DE MBANZA-NGUNGU**

Par

**Yves NKANGU KIFUKIDI**

**Gradué en Sciences Agronomiques**

**Mémoire présenté et défendu en vue de  
l'obtention du grade d'Ingénieur Agronome**

**Directeur : Prof. MAHUNGU NZOLA MESO**

**Encadreur : Ass. NUAMBOTE YOBILA**

Année académique 2015-2016

## TABLE DES MATIERES

|   |     |
|---|-----|
| DEDICACE.....   | i   |
| REMERCIEMENTS .....   | ii  |
| LISTE DES ACRONYMES .....   | iii |
| LISTE DES TABLEAUX .....  | iv  |
| LISTE DE FIGURE .....   | v   |
| TABLE DES MATIERES .....  | 1   |
| INTRODUCTION.....   | 4   |
| a. Problématique.....   | 4   |
| b. Hypothèse.....   | 5   |
| c. Objectifs .....  | 6   |
| CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE .....                              | 7   |
| 1.1 LES LEGUMINEUSES .....  | 7   |
| 1.1.1 GENERALEITE ET IMPORTANCE DE LEGUMINEUSE .....                    | 7   |
| 1.1.2. TOXONOMIE.....   | 8   |
| 1.2 RHIZOBIUM .....   | 8   |
| 1.2.1 GENERALITE.....   | 8   |
| 1.2.2 TAXONOMIE.....  | 9   |
| 1.3 FIXATION BIOLOGIQUE DE L’AZOTE .....                                | 9   |
| 1.3.1 Introduction .....  | 9   |
| 1.3.2 Types de fixateurs de l’azote.....                                | 10  |
| 1.3.3 Symbiose légumineuses/ Rhizobia.....                              | 11  |
| 1.3.3.1 Définition de la symbiose rhizobienne.....                      | 11  |
| 1.3.3.2 Intérêts de la symbiose rhizobia-légumineuses .....             | 12  |
| 1.3.3.3. Mécanismes de la réduction et destinée de l’azote réduit ..... | 13  |
| a. Légumineuses à graine .....  | 14  |
| b. Légumineuses fourragères .....                                       | 14  |
| 1.3.4 La nodulation .....   | 15  |
| 1.3.4.1 Processus de la nodulation .....                                | 15  |

|  |    |
|--|----|
| 1.3.4.2 Génétique de la nodulation chez la bactérie et la plante .....   | 17 |
| 1.3.5 Facteurs influençant la nodulation et la fixation symbiotique .....  | 18 |
| 1.3.6 Caractéristiques de la symbiose Rhizobium-Légumineuse.....   | 19 |
| CHAPITRE 2 : MILIEU, MATERIEL ET METHODES .....  | 20 |
| 2.1 DESCRIPTION DU MILIEU .....  | 20 |
| 2.1.1 Site expérimental.....   | 20 |
| 2.1.2. Conditions édaphiques .....   | 20 |
| 2.1.3 Conditions climatiques.....  | 21 |
| 2.2 MATERIEL EXPERIMENTAL .....  | 22 |
| 2.3 METHODES .....   | 22 |
| 2.3.1 Dispositif expérimental .....  | 24 |
| 2.3.2 Conduite de l'expérience.....  | 24 |
| 2.3.3 Paramètres évalués .....   | 25 |
| 1 Paramètres végétatifs .....  | 25 |
| 2 Paramètres de production.....  | 26 |
| 3 L'évolution de la teneur de l'azote du sol.....  | 26 |
| 2.3.4 Analyse des données .....  | 27 |
| CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION .....   | 28 |
| 3.1 PARAMETRES VEGETATIFS .....  | 28 |
| 3.1.1 Diamètre au collet et la hauteur des plantes.....  | 28 |
| 3.1.2 Nombre total des nodules par plant, nombre des nodules actifs par plant et poids frais<br>des nodules actifs par plant ..... | 29 |
| 3.2 PARAMETRES DE PRODUCTION .....   | 30 |
| 3.2.1 Poids des 1000 graines et Rendement .....  | 30 |
| 3.3 EVOLUTION DE LA TENEUR EN AZOTE DU SOL DURANT L'ESSAI.....   | 33 |
| CONCLUSION ET SUGGESTIONS .....  | 35 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....  | 36 |



## **DEDICACE**

A la mémoire de mon père J. JACQUES NKANGU que son âme repose en paix.

A ma mère bien aimée GERMAINE KALOMBO pour tous ses efforts et son affection.

## **REMERCIEMENTS**

A l'Eternel notre Dieu manifesté parfaitement par Jésus-Christ qui est la plénitude de la divinité, à qui nous répons nos cœurs sincères pour présenter nos gratitude pour la protection sans faille pendant notre parcours académique plein d'embuches, que par sa grâce ce travail soit pour nous un succès fabuleux.

A toutes les autorités académiques des facultés confondues particulièrement la faculté des Sciences Agronomiques dont nous sommes détenteur d'un diplôme du grade d'ingénieur agronome.

A Monsieur le Professeur MAHUNGU NZOLAMESO pour son temps volontiers accepté de diriger fidèlement ce travail, sans oublier son Assistant NUAMBOTE YOBILA pour sa contribution financière, son encadrement technique et scientifique à la concrétisation du présent travail.

Nous ne saurons oublier le doctorant MUNGYEKO MAYOLA, chef de travaux LUBAKI, l'ingénieur Jeancy MASUMU, monsieur Thales MALAYA pour leur contribution intellectuelle à la réalisation de ce travail.

Notre grande gratitude à papa DIMBENZI Jean-Marie ainsi qu'aux familles LOMAMI et NKANGU pour leurs soutiens moral, matériel et financier durant cette année académique.

Nous exprimons notre gratitude à tous les collègues étudiants, compagnons de lutte : Guyvano BAFUANGA, Daniel ISSA, Galilee MPONGO, Audry VANGU, François KALE, L'or MBELA, Glody MBONDI pour l'entraide, les encouragements, les conseils et l'ambiance ayant caractérisé notre cursus.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent en fin à la grande famille du home la Fayette ainsi qu'à tous ceux dont les noms ne figurent pas sur cette page, mais ont apporté un soutien appréciable pour la réalisation de ce travail.

**Yves NKANGU**

## **LISTE DES ACRONYMES**

**PNUD** : Fonds des Nations Unies pour le Développement

**SENASEM** : Service National des Semences

**RDC** : République Démocratique du Congo

**ppds** : plus petite différence significative

**INERA** : Institut National pour l'Etude et de la Recherche Agronomiques

**FAO** : Fonds des Nations Unies pour l'agriculture et développement

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau 1** : Propriétés physico-chimiques de sol du champ expérimental au jour du semis.

**Tableau 2** : Données climatiques prélevées au champ durant l'essai

**Tableau 3** : Diamètre au collet et hauteur des plants

**Tableau 4** : Nombre total des nodules par plant, nombre des nodules actifs par plant et poids frais des nodules actifs par plant au 45<sup>eme</sup> jour après semis.

**Tableau 5** : Poids frais des gousses par plante, poids sec des gousses par plante, poids des graines par plante, poids des 1000 graines.

**Tableau 6** : Rendement en gousses fraîches, rendement en gousses sèches, rendement en graines.

**Tableau 7** : Les résultats relatifs à l'évolution en azote du sol après le semis des cultures.



## **LISTE DE FIGURE**

Figure 1 : dispositif expérimental

## RESUME

En vue de contribuer à la restauration de la fertilité du sol en azote pour l'augmentation de rendement des cultures dans les conditions écologiques de Mbanza-Ngungu, une expérience a été conduite du 24 novembre 2015 au 15 mars 2016 dans un dispositif en blocs complets randomisés avec trois répétitions. Ce travail a permis de comparer trois espèces de légumineuses cultivées (*Glycine max* L. (Merril) (Soja), *Arachis hypogaea* L. (Arachide) et *Vigna unguiculata* (L.) Walpers. (Niébé) sur la nodulation et leur impact sur la variation de la teneur en azote du sol.

Les résultats sur la nodulation montrent des différences significatives entre les espèces cultivées au seuil de probabilité de 5%. Le niébé et le soja ont tous deux donné un poids de nodules actifs similaire, respectivement 3,23g et 2,50g, se relevant supérieur à celui de nodules de l'arachide (0.34g).

En ce qui concerne la variation de la teneur en Azote du sol, au 45<sup>ème</sup> jour de la culture, aucun apport d'Azote au sol n'a été constaté pour les trois espèces expérimentées. Une perte de 30,11 kg de l'azote total minéral a été observée chez le témoin, ce dernier étant similaire aux trois cultures. Par contre à la récolte, des apports d'Azote allant de 90,73kg à 110,17kg de NH<sub>3</sub> et de 78kg à 114,4kg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ont été constatés identiquement pour chacune des cultures, ce qui a conduit à l'enrichissement du sol avec une moyenne de 104,44kg de d'Azote total minéral.

Mots clés : Légumineuses cultivées, nodulation, apport d'azote, Mbanza-Ngungu.

## INTRODUCTION

### a. Problématique

Ces dernières années, le problème alimentaire a acquis une acuité particulière sur le continent africain ; ce qui est principalement dû à une poussée démographique ainsi qu'à l'insuffisance des surfaces labourées, à des techniques agricoles primitives, à la dégradation des ressources naturelles, etc. (Ivontchik, cité par Nkangu, 2013). En République Démocratique du Congo, on a estimé la population à environ 65 millions d'habitants en 2009. Cette population est pauvre, elle n'a pas de revenus suffisants pour manger à sa faim, scolariser ses enfants et leur assurer des soins de santé de base (La voix du Congo profond, cité par Nkangu, 2013). Selon les estimations de PNUD(2012), le haut niveau de pauvreté et d'insécurité alimentaire atteint 52% de la population qui vit dans l'extrême pauvreté et de 38% qui souffre de malnutrition chronique avec des disparités importantes entre les régions.

D'autre part, nourrir quotidiennement cette population à sa faim avec des denrées alimentaires de qualité reste, certes, un devoir pour les producteurs agricoles. Cependant, la production agricole africaine continue de baisser notamment à la suite de la dégradation des sols causée par une forte pression sur la terre agricole utilisée sans rotation ni assolement. Ce rythme oblige les agriculteurs à recourir à l'usage des engrais minéraux. Les augmentations spectaculaires des rendements obtenus grâce à l'usage des engrais chimiques ne doivent pas nous faire oublier que ces derniers représentent également un danger très important pour nos sols (acidification des sols et pollution entre autre). Sur la base des statistiques de la FAO, Mc In tire cité par BADO(2002), rapporte que les producteurs africains utilisaient seulement 5,9 kg par ha. Les paysans qui constituent des grands producteurs des produits vivriers dans les pays africains, étant donné leurs niveaux de vie, ne fertilisent pas leurs cultures suite au manque des moyens financiers (KATANGA, cité par NUAMBOTE, 2013).

Les légumineuses vivrières, outre leur intérêt agricole considérable puisqu'elles apparaissent comme moyen très économique de produire des protéines alimentaires dont les pays africains en général et la RDC en particulier ont un besoin croissant, présentent aussi une grande importance par le fait qu'elles peuvent fixer des quantités importantes d'azote à leur propre profit et à celui du sol grâce à leurs nodosités racinaires. Du fait de cette dernière propriété, elles peuvent être cultivées sur des sols pauvres, en tête de rotation et sur ceux riches enfin de rotation (MOBAMBO, 2012). Étant donné ces effets bénéfiques des légumineuses, sous les tropiques elles sont intégrées dans les associations et la rotation des cultures par les producteurs (BAUDOIN *et al.*, 2008). Les légumineuses tropicales comme le niébé (*Vigna unguiculata*), l'arachide (*Arachis hypogaea*) et le soja (*Glycine max*) peuvent fixer respectivement 32%, 89, 22% à 92% et 0-95% de leurs besoins en azote dans l'atmosphère. Comme on le constate les quantités d'azote fixé sont très variables d'une espèce à l'autre car l'activité symbiotique est influencée par les souches bactériennes, l'espèce végétale et les facteurs du milieu (Wani *et al.*, cité par Bado, 2002).

L'opinion de Berko *et al.* se rallie à celle de Wani *et al.*, en affirmant que cette quantité d'azote apporté dans les sols par les légumineuses avant l'enfouissement de leurs

fanés n'est pas la même pour toutes les espèces de plante de ce groupe ; il poursuit que pour la même espèce, toutes les variétés en apportent avant l'enfouissement des fanés dans le sol, la même quantité dans les sols car, elles ont la même capacité de fixer l'azote atmosphérique et de le transformer en azote utile au profit de lui-même et laissant une partie d'azote dans le sol.

Suite à toutes ces situations, on se pose la question de savoir si les trois espèces de légumineuses (soja, arachide et niébé) cultivées par nos paysans dans les associations et rotation culturales apportent-elles réellement l'azote dans le sol durant leur croissance ou à la récolte sans enfouissement de leurs fanés ; et si cet apport se fait dans les proportions équivalentes pour ces trois espèces.

### **b. Hypothèse**

Nous pensons que ces trois espèces des légumineuses en étude apportent l'azote au sol à la récolte dans des proportions identiques sans enfouissement de leurs fanés.

### **c. Objectifs**

Cette expérience avait pour objectifs de comparer trois espèces de légumineuses cultivées (arachide, niébé, soja) afin de vérifier si réellement elles apportent l'azote au sol sans enfouissement de leurs fanés d'une part, et de déterminer le moment que cet apport a lieu et, éventuellement, en dégager celles qui en apportent plus que d'autre part.

Les résultats du présent travail permettront aux producteurs agricoles de décider sur choix du type d'espèce parmi ces trois expérimentées à employer dans le système cultural dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité du sol afin d'augmenter le rendements de leurs cultures d'une part, et aux futures chercheurs passionnés par la gestion durable de la fertilité du sol d'approfondir les recherches pour déterminer le meilleur moment d'insertion des cultures dans le champs dans le cadre des associations culturales d'autre part.

Le présent travail comprend trois chapitres, le premier traite des généralités sur les légumineuses et la bactérie rhizobium, le deuxième parle du milieu d'expérimentation, du matériel et des méthodes, et le troisième présente les résultats et leur discussion. Une conclusion sanctionne sa fin.



## CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

### 1.1 LES LEGUMINEUSES

#### 1.1.1 GENERALITE ET IMPORTANCE DE LEGUMINEUSE

Les légumineuses qui fournissent des graines sèches pour la consommation humaine sont cultivées dans le monde entier. Certaines fèves fournissent une huile, comme l'arachide et le soja (source oléagineuse), d'autres se mangent principalement cuites ou comme légume sec. Les graines sont parfois moulues en farine pour la préparation de différents plats. Ce qui reste de la plante une fois les fèves retirées constitue un très bon fourrage ou peut être enfoui sous terre pour la fertiliser. Certaines légumineuses peuvent aussi être cultivées en association avec des céréales et contribuer ainsi à accroître la production et augmenter la fertilité du sol (Rienke et al, 2005).

Les légumineuses sont importantes pour des raisons suivantes :

- Elles donnent des produits alimentaires très nourrissants par leur richesse en protéines qui est liée à leur capacité de fixer l'azote atmosphérique, grâce à leurs nodosités racinaires. Les valeurs de ces protéines sont estimées à 18 - 30 % de la graine sèche.
- Elles sont capables d'enrichir le sol en azote, ce qui fait qu'elles puissent être cultivées en tête de rotation dans les sols pauvres et en fin de rotation dans les sols riches. Elles sont ainsi un groupe d'intérêt agricole considérable dans les rotations et les associations des cultures (MOBAMBO, 2012 ; BAUDOIN *et al.*, 2008). De ce fait, elles occupent toujours une place très modeste dans les systèmes culturaux traditionnels des régions tropicales (BAUDOIN *et al.*, op. cit). Un effet précédent cultural positif est souvent observé dans les rotations incluant une légumineuse. Lors d'une expérience au BOURKINA-FASO, les précédents légumineuses augmentaient l'azote minéral du sol de 13 à 40 % et le sorgho prélevait 2 à 3 fois plus d'azote, entraînant des augmentations de rendements de 60 à 300 % par rapport à la monoculture. Un précédent niébé ou arachide équivaut à une application de 25 Kg N/ha d'engrais minéral pour la culture succédant à la légumineuse. Le précédent arachide et niébé augmentent le potentiel de rendement du sorgho subséquent (BADO, 2002). Il faut de plus souligner le cas particulier du soja et d'arachide qui, outre les conséquences sur l'azote, ont la capacité de mobiliser les éléments nutritifs se trouvant dans le sol sous des formes non utilisables par d'autres plantes (MOBAMBO, 2012).
- Les légumineuses, grâce à la fixation de l'azote, permettent de réduire sensiblement les émissions de gaz à effets de serre par réduction de l'utilisation des engrais azotés. La production industrielle des engrais mobilise un seul procédé industriel, le procédé Haber-Bosch du nom de ses deux inventeurs en 1909 et utilise une grande quantité d'énergie fossile, sous forme de gaz naturel estimée à 1.8 t d'équivalent pétrole par tonne d'azote sous forme d'ammonitrate. Ceci résulte aussi dans une forte production de CO<sub>2</sub> (5.30 kg d'équivalent CO<sub>2</sub>/ kg d'azote engrais, (CGDD, cité par DUC *et al.*, 2010).

## 1.1.2 TAXONOMIE

La famille Leguminosae est classée en trois sous-familles, les Caesalpinioideae, les Mimosoideae et les Papilionoideae. Les Papilionoideae constituent la sous-famille la plus grande avec 476 genres et environ 14000 espèces (Doyle and Luckow, cité par Mobambo 2012). A l'exception de l'arachide, les légumineuses d'intérêt agronomique (ex. soja, luzerne, pois, haricot) appartiennent aux classes des Galégoïdes et Phaséolides, de la sous-famille des Papilionoideae (Choi *et al.*, cité par Mobambo 2012).

## 1.2 RHIZOBIUM

### 1.2.1 GENERALITES

Du grec rhiza (qui signifie racine) et bio (vie), *Rhizobium* signifie donc littéralement organisme vivant dans la racine. Ce sont des bactéries procaryotes, aérobies et chimiotrophes du sol. Ce sont des organismes de petites tailles d'environ 0,5 à 0,9 micromètres de largeur et 1,2 à 3 micromètres de longueur. Les rhizobiums sont par ailleurs des bactéries gram négatives possédant soit un flagelle polaire ou 2 à 6 flagelles péritricheux pour leur déplacement. Ils sont capables d'entretenir une symbiose avec les plantes de la famille des légumineuses afin d'amorcer la fixation de l'azote atmosphérique et sa réduction en ammonium. A quelques exceptions près, les rhizobiums sont tous quasiment des symbiontes obligatoires, car sont incapables de fixer l'azote atmosphérique à l'état libre dans le sol (Somasegaran et al., cité par Mobambo 2012). Leur croissance est optimale à une température de 28 °C et un pH entre 6 et 7 (Burton, cité par DHANE, 2011).

### 1.2.2 TAXONOMIE

Les bactéries du genre *Rhizobium* appartiennent à la famille des Rhizobiaceae comportant actuellement cinq (05) genres divisés en 22 espèces. Il s'agit notamment des genres *Rhizobium*, *sinorhizobium*, *azorhizobium*, *bradyrhizobium* et le cinquième genre récemment découvert par Lindstrom et al. appelé *Mesorhizobium*. Le genre *rhizobium* appartient à la classe des Alphaprotéobactéries et à l'ordre des Rhizobiales. A l'opposé de tous les autres, le genre *bradyrhizobium* comprend les bactéries à croissance lente (temps de régénération supérieur à 6 heures). Depuis sa caractérisation, ce genre ne comportait qu'une seule espèce définie : *Bradyrhizobium japonicum* nodulant le soja (*Glycine max*) et le sirato (*Macroptilium atropurpureum*) avant d'être récemment complété par deux nouvelles espèces : *Bradyrhizobium elkanii* et *Bradyrhizobium liaoningensis* respectivement en 1992 et 1995 (KRASSOVA, cité par DHANE, 2011).

## 1.3 FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE

### 1.3.1 Introduction

La fixation biologique est un processus complexe qui consiste en une conversion de l'azote atmosphérique en une forme assimilable par les plantes et les microbes. C'est donc la réduction de l'azote moléculaire atmosphérique ( $N_2$ ) en ammoniac (LUYINDULA, 1977). L'azote est l'un des éléments nutritifs majeurs utilisés par les plantes. C'est le quatrième constituant des plantes qui est utilisé dans l'élaboration de molécules importantes comme les protéines, les nucléotides, les acides nucléiques et la chlorophylle (EPSTEIN, cité par BADO, 2002). L'azote favorise l'utilisation des hydrates de carbone, stimule le développement et l'activité racinaire, favorisant ainsi l'absorption des autres éléments minéraux et la croissance des plantes. Il est essentiel pour la synthèse des enzymes de la photosynthèse (BADO, 2002).

La plus grande partie de l'azote de la biosphère (79%) se trouve dans l'atmosphère (HAYNES, 1986). Mais, toutes les formes ne sont pas utilisables par les végétaux. Les légumineuses hébergent dans les nodules développés sur leurs racines, des bactéries du genre *Rhizobium* qui assurent la fixation de l'azote de l'air. La ressource énergétique carbonée nécessaire à cette réaction ainsi qu'à la vie de la bactérie est fournie par la plante. On parle de relation symbiotique (DUC *et al.*, 2010).

Dans la biosphère, l'azote subit une série de transformations au cours desquelles il apparaît sous forme libre ou combiné : azote moléculaire atmosphérique, nitrites, nitrates, ammonium, protéines, acides aminés, etc. (CLEMENT, 1981). Les plantes l'absorbent sous forme de nitrates ( $NO_3^-$ ) et d'ammonium ( $NH_4^+$ ) (LAYZELL, cité par BADO, 2002).

### 1.3.2 Types des fixateurs d'azote

D'après CROS, cité par HELLER *et al.*, (1991), il existe 3 catégories de fixateurs d'azote entre autres les fixateurs libres, les fixateurs symbiotiques et les fixateurs associés.

De tous ces systèmes fixateurs de l'azote atmosphérique, les associations symbiotiques sont les plus importantes. NUTMAN, (cité par FOSSOU, 2011), suggère que parmi ces associations symbiotiques, celle existant entre les plantes de la famille des Légumineuses et les *Rhizobia* est l'une des plus efficaces. Par ailleurs, cette symbiose est aussi responsable de la plus grande partie de la fixation d'azote dans les sols agricoles et fait l'objet d'étude depuis un siècle. Un exemple plus illustratif est celui de PEOPLES *et al.* cité par DUC, (2010), estimant actuellement pour l'agriculture Européenne plus ancienne en Russie que 3 Millions de tonnes d'azote proviennent de la fixation symbiotique par les légumineuses, à comparer aux 14 Millions tonnes des engrais azotés utilisés. Ces estimations sont



respectivement de 46 Millions de tonnes et 87 Millions de tonnes pour le niveau mondial. Pour DUC et *al.* (2010), au niveau français, on peut estimer l'apport de la fixation symbiotique des légumineuses à 520 000 tonnes, auxquelles il convient d'ajouter 260 000 tonnes en provenance du soja.

La fixation biologique n'est pas la seule voie d'entrée de l'azote dans le sol car il existe aussi d'autres sources. D'après DUSSART, cité par LUZAYAMO (2001), d'une manière générale, l'apport de l'azote dans le sol se répartit de la manière suivante : 60% par les bactéries fixatrices d'azote, 21% par les pluies, 15% par les engrais organiques et en fin 4% par les engrais chimiques.

### **1.3.3 Symbiose légumineuses/ *Rhizobia***

#### **1.3.3.1 Définition de la symbiose rhizobienne**

La symbiose rhizobienne est une association entre les plantes de la famille des légumineuses et des bactéries du type *Rhizobium* permettant de réduire l'azote atmosphérique en des formes assimilables par les plantes. A bénéfice réciproque, cette association donne lieu à des interactions multiples entre les deux partenaires. Au cours de ces interactions, un nouvel organe, le nodule, est formé sur les racines ou plus rarement sur les tiges à partir de primordiaux racinaires dormants et disposés en rang le long de la tige. C'est au sein de cet organe protecteur que l'azote atmosphérique est fixé par les bactéries (**DUHOUX et NICOLE, cité par FOSSOU, 2011**). Chez les légumineuses vivrières, cette fixation débute dans la troisième semaine à 1 mois après le semis (KATANGA, 2012).

Outre les légumineuses, quelques autres espèces cultivées telles que *Alnus glutinosa* (*Betulaceae*), *Casuarina sp* (*Casuarinaceae*), *Hippophae* et *Elaeagnus* (*Elaeagnacée*), *Myriaca* (*Myriacée*), etc. possèdent la capacité de fixer l'azote atmosphérique et en suite le transformer sous une forme minérale sous l'effet des bactéries symbiotiques (les *Rhizobiums* et *Actinomycètes*) (HELLER *et al.*, 1991).

L'association symbiotique est généralement très spécifique; chaque souche n'infecte qu'une espèce de plante ou une gamme très limitée d'hôtes (PELMONT, 1995). D'autres espèces ont un spectre plus large comme la souche *Sinorhizobium sp.* NGR 234 qui peut noduler 353 espèces de légumineuses appartenant à 112 genres différents et elle peut même noduler une plante non légumineuse: *Parasponia andersonii* Planch. (PUEPPKE et BROUGHTON, cité par DHANE, 2011). Cette étroite spécificité est expliquée par les potentiels génétiques des deux partenaires. Elle est en partie liée à la diversité des flavonoïdes produits par la plante (HELLER *et al.*, 1998).

### 1.3.3.2 Intérêts de la symbiose *Rhizobia*-Légumineuses

Bien que l'envahissement des légumineuses par les bactéries rappelle une attaque pathogène et que le développement des nodules ait les caractères d'une réaction de défense de la plante et d'une transformation tumorale, la symbiose Légumineuses-Rhizobiums ne peut être assimilée qu'à une simple coexistence issue d'un antagonisme et procurant en définitive des avantages réciproques entre deux adversaires. Elle constitue en fait une véritable collaboration pour la création d'un processus métabolique irréalisable sans elle (HELLER *et al.*, 1998).

Pour les légumineuses, cette symbiose leur permet d'avoir une bonne croissance sur des sols carencés en azote. (KUMAR RAO *et al.*, cité par FOSSOU, 2011). Selon les situations, de 40 à 90% de la ressource azotée d'une légumineuse sont issus de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique, le complément étant apporté par la voie de l'assimilation de l'azote minéral du sol par les racines, voie commune avec les autres espèces cultivées (DUC *et al.*, 2010).

A l'opposé, la plante subvient aux besoins énergétiques de la bactérie au cours de cette symbiose en fournissant des substances carbonées résultant de la photosynthèse. Elle lui offre également un microenvironnement très particulier et nécessaire à la fixation de l'azote. Par ailleurs, outre l'augmentation au niveau du sol de la population des *Rhizobia* spécifiques à la légumineuse hôte après culture, la symbiose fournirait un cadre de reproduction bénéfique qui favoriserait l'évolution des espèces bactériennes (NOEL, cité par FOSSOU, 2011).

### 1.3.3.3 Mécanisme de la réduction et destinée de l'azote réduit

La réaction globale pour la réduction de l'azote atmosphérique à travers les rhizobiums est schématisée de la manière suivante :  $N_2 + 6e^- + 6H^+ \rightarrow 2NH_3$ .

Une faible partie ( $\pm 10\%$ ) de l'azote fixé est libérée dans la rhizosphère, mise ainsi à la disposition de la microflore du sol et des végétaux non fixateurs d'azote. La plus grande partie cependant est exposée vers les autres territoires de la plante, où elle sera utilisée pour la synthèse des molécules azotées ou, le moment venu, mise en réserve dans les graines. Les synthèses d'acides aminés dépassent largement les besoins de la plante-hôte et le surplus est excrété au dehors, d'où un enrichissement du sol en azote utilisable pour d'autres cultures, avec l'avantage supplémentaire qu'il est sous forme organique. Dans les zones où l'absence d'humus est le principal obstacle à un développement normal de la culture, l'introduction des légumineuses reste au premier plan des préoccupations (HELLER *et al.* (1998).

Pour MILLER and GARDINER (1998), une bonne partie de l'azote fixé peut devenir disponible à la plante hôte et aux autres plantes poussant à côté.

Cet impact des légumineuses peut être évalué en suivant l'évolution, soit de l'azote minéral du sol ( $NH_3$  et  $NO_3^-$ ), soit de l'azote total absorbé et ou soit en suivant l'utilisation de l'engrais azoté par les cultures succédant aux légumineuses. (BADO, 2002).

### 1.3.4 La nodulation

La nodulation est considérée comme la première caractéristique de l'association symbiotique qui est strictement contrôlée par des mécanismes d'autorégulation interne de la plante hôte (FIGUEIREDO *et al.*, cité par DHANE,2011).

#### 1.3.4.1 Processus de la nodulation

La formation des nodules est le résultat d'un dialogue moléculaire entre le microsymbiote et la plante hôte. Le processus commence par un échange de signaux entre la plante hôte et la bactérie. Les racines rejettent par leur métabolisme normal, des substances qui ont des effets attracteurs sur certains microorganismes du sol. Certaines d'entre elles appartiennent au groupe des flavonoïdes tels que les flavones, isoflavones, flavonone. Ce signal, une fois perçu par le *Rhizobium*, induit la production de facteurs de nodulation. Ceux-ci sont des signaux de nodulation ciblant le programme organogénétique de la plante (HELLER *et al.*, 1998).

Les bactéries s'attachent aux racines par l'intermédiaire de la rhicadhésine ainsi que d'autres protéines spécifiques localisées à la surface des cellules. Les facteurs de nodulation émis par les *Rhizobiums*, induisent une dépolarisation de la membrane plasmique accompagnée d'une oscillation du flux de  $Ca^{2+}$ . Cette étape se poursuit par une induction de l'expression de gènes spécifiques (PELMONT, 1995) et une modification de la croissance polaire des poils absorbants formant une structure dite en «crosse» qui enferme les rhizobiums (HELLER *et al.*, 1998). L'infection qui s'accompagne d'une digestion de la paroi cellulaire du poil racinaire peut avoir lieu à travers les poils absorbants, les blessures, ou l'espace intercellulaire (RASANEN, cité par DHANE, 2011).

Une fois que les parois des cellules de poils sont digérées, une structure tubulaire appelée le fil d'infection est formée. Elle se compose de cellules de la paroi nouvellement synthétisée qui formeront le matériel entourant le *Rhizobium*. Le centre du tube est une glycoprotéine contenant quelques produits bactériens et quelques glycoprotéines de la plante hôte. Les bactéries prolifèrent à l'intérieur du cordon et vont se libérer dans le cytoplasme des cellules corticales, via ce cordon, provoquant ainsi l'apparition du méristème dont l'activité est à l'origine de la formation du nodule, dans laquelle les bacilles se différencient irréversiblement en bactéroïdes ou endosymbiose (HELLER *et al.*, 1998). Ces dernières, de forme irrégulière, ont un volume supérieur à celui des formes libres. Ils ne se divisent plus et ne synthétisent plus de protéines de nodulation, par contre les bactéroïdes se concentrent dans la production des nitrogénases indispensables à la fixation de l'azote atmosphérique. Les bactéroïdes sont séparés du cytoplasme végétal par une membrane spéciale «péri-bactéroïdes» ou membrane de séquestration servant de plaque d'échange entre les bactéries et les cellules de la plante hôte. Dans cette membrane les bactéries différenciées forment les bactéroïdes de fixation de l'azote (PELMONT, 1995). Le nodule prend forme avec la multiplication des cellules du cortex. Il se charge de pigments appelés leghémoglobine, synthétisés à l'intérieur du cytoplasme des cellules de la plante. L'action de

la leghémoglobine est de maintenir l'oxygène à faible concentration dans l'environnement de l'enzyme, compatible avec le fonctionnement de la fixation de l'azote (HELLER *et al.*, 1998). Le passage à l'état symbiotique s'accompagne d'une forte répression des gènes du métabolisme basal et d'une surexpression de ceux impliqués dans la fixation et l'assimilation de l'azote. Quelques rares cellules bactériennes de forme bacillaire, sont présentes dans le nodule; ce sont les cellules qui survivront et se multiplieront dans le sol après la mort de la plante. Elles pourront alors infecter les racines des plantes introduites dans le même site (PERRY *et al.*, BECKER *et al.*, cité par DHANE, 2011).

#### **1.3.4.2 Génétique de la nodulation chez la bactérie et la plante**

En général, trois types de gènes symbiotiques interviennent dans le processus de nodulation et de fixation azotée chez la bactérie. Il s'agit des gènes *nod* nécessaires à la nodulation, des gènes *nif* codant pour la nitrogénase et des gènes *fix* indispensables pour la fixation de l'azote. Chez la plupart de Rhizobia (*Rhizobium*, *Allorhizobium* et *Sinorhizobium* *etc.*), ces gènes symbiotiques sont situés sur un grand plasmide symbiotique appelé pSym (NOEL, cité par FOSSOU, 2011). Tout comme la bactérie, la plante émet des molécules essentielles à la réalisation de chaque étape du processus de nodulation et de fixation. Ainsi, au début du processus de nodulation, divers composés déterminant une chimiotaxie positive entre les deux symbiotes sont émis par la racine de la légumineuse, parmi lesquels des flavonoïdes. Ces derniers constituent les premiers signaux de l'hôte qui déclenchent chez la bactérie l'expression du gène de régulation de la nodulation *D* et induisent le mécanisme du chimiotactisme des rhizobia (HELLER *et al.*, 2000).

En plus de ces composés émis seuls, la légumineuse participe aussi à la synthèse d'un certain nombre de protéines essentielles au développement de nodules fonctionnels. Il s'agit par exemple de la production des nodulines en réponse à des stimuli provenant des bactéries symbiotiques. Certaines de ces nodulines sont des enzymes du métabolisme azoté (glutamine synthétase, *etc.*) ou carboné (saccharose synthase, *etc.*). La plus connue est une protéine (la globine) qui, associée à l'hème produit par les bactéroïdes, constitue la leghémoglobine, protéine fixatrice d'oxygène. Cette dernière protéine est indispensable à la fixation de l'azote atmosphérique (PELMONT, 1995). En effet, la nitrogénase étant extrêmement labile en présence de l'oxygène atmosphérique, la leghémoglobine est produite autour des symbiosomes pendant la fixation de l'azote afin de maintenir une pression partielle basse en oxygène nécessaire à son bon fonctionnement, tout en assurant aux bactéroïdes un approvisionnement suffisant en oxygène pour leur respiration (HELLER *et al.*, 2000).

#### **1.3.5 Facteurs influençant la nodulation et la fixation symbiotique**

Plusieurs facteurs tels que la composition physico-chimique du sol peuvent interférer avec les processus d'infection ou de nodulation, ou encore influencer l'activité fixatrice de l'azote après symbiose (TAQ *et al.*, cité par DHANE 2011). Pour une bonne installation de la symbiose, il faut que la plante hôte soit une légumineuse dans le cas où la

bactérie est un *Rhizobium*. Ce dernier doit être capable d'identifier les signaux émis par la plante hôte (spécificité), efficient et doit se trouver en grand nombre dans le sol. L'absence dans le sol de cette souche empêche la nodulation et par conséquent la fixation symbiotique de l'azote (KACHAKA, 2002).

La fixation efficace résulte d'une nodulation précoce et abondante, ainsi que d'une activité élevée de la nitrogénase (OBATON, 1992). Les souches infectives mais non effectives forment de petits nodules de couleur pâle, sans leghémoglobine. Cette leghémoglobine est le produit exclusif de la symbiose entre la bactérie et la plante et n'apparaît qu'au stade actif fixateur de la symbiose *Rhizobium*/légumineuse.

Les échecs des cultures de légumineuses dans certaines régions sont souvent le résultat d'une insuffisance ou d'un manque d'efficacité des souches de rhizobium. En effet, les souches natives sont généralement plus efficaces que les exogènes (GOBAT *et al.*, MEZNI *et al.*, cité par DHANE 2011). La présence des ions  $\text{NH}_4^+$  et de  $\text{NO}_3^-$  empêche également la synthèse de la nitrogénase qui est l'enzyme responsable de la fixation. Sur le plan pratique, le fait est d'une grande importance, car il ne sert à rien, au contraire, d'administrer des engrais azotés à des légumineuses. L'hydrogène réduit l'assimilation, par compétition avec l'azote, tout comme une teneur élevée en oxygène inhibe la nitrogénase (HELLER *et al.*, 1998).

L'absorption de la bactéroïde sur le poil absorbant et sa pénétration dans la racine sont la conséquence d'échange d'information très fortement influencé par les facteurs du milieu au niveau de la rhizosphère (humidité du sol, teneur en calcium, PH,  $t^\circ$ , etc...) (ABATON, 1992). Les associations rhizobium-légumineuse se comportent bien dans les sols qui ne sont pas acides et qui sont bien approvisionnés en Ca, P, K et S. Les déficiences en Mo, B, Co et Fe limitent le taux de fixation de l'azote (KACHAKA, 2002). Pour ISMAILI *et al.*, cité par LUZAYAMO (2001), le potentiel hydrique de nodules baissent plus fortement que celui des feuilles. De plus, lors d'un déficit hydrique, le transport des photosynthats vers les nodules peut être ralenti, ce qui limite l'apport de substrat énergétique pour une bonne activité bactérienne. De plus, le stress hydrique empêche la formation et la croissance nodulaire, le métabolisme du carbone et de l'azote, l'activité de la nitrogénase et la perméabilité nodulaire à l'oxygène (ZAHARAN et SPRENT, cité par DHANE, 2011).

### **1.3.6 Caractéristiques de la symbiose *Rhizobium*-légumineuse**

Plusieurs faits prouvent très clairement que, la fixation est le fait de la symbiose entre les légumineuses et les *Rhizobium*. La fixation exige la présence de la leghémoglobine dont la synthèse nécessite la coopération des deux partenaires : la plante fournit la protéine tandis que la bactérie est responsable de la synthèse de l'hème (HELLER *et al.* 1998). Ainsi, la souche de *Rhizobium* doit être infective (capable de provoquer la formation des nodules), efficace (aptitude certaine à fixer l'azote) et la plante hôte ne doit pas être résistante à la nodulation (KACHAKA, 2002). Pour BODEN *et al.* (1988), l'observation de l'état physiologique de la plante permet déjà de porter un jugement sur la

valeur de ces souches, en ce qui concerne leur capacité de fixation. La couleur interne des nodules constitue le critère le plus caractéristique manquant. Lorsqu'elle est blanche, les nodules n'ont aucun intérêt actif pour la plante. Par contre, la teinte rouge dans les nodules variant au rose pâle fait penser aux bactéries à faible efficacité et rouge-brun foncé aux bactéries à haute efficacité, à l'exception de *lablab* où les nodules efficaces possèdent une coloration verdâtre (LUYINDULA, cité par LUZAYAMO, 2001).

D'après HELLER *et al.*, (1998), à la floraison, il se produit une lyse des bactéroïdes et une dégradation de la légghémoglobine en biliprotéines : les nodules verdissent puis dégènèrent. Chez les espèces pérennantes (Lupin), quelques nodules subsistent, permettant la reconstitution de nouveaux nodules à la saison suivante. Pour KATANGA (2012), en général, l'intensité maximale de la fixation est enregistrée à l'époque de la floraison et de la formation des gousses. Dès que les gousses sont formées et que les graines atteignent leurs dimensions, les besoins d'alimentation de ces graines diminuent et la fixation de l'azote diminue aussi.

|

## CHAPITRE 2 : MILIEU, MATERIEL ET METHODES

### 2.1 DESCRIPTION DU MILIEU

#### 2.1.1 Site expérimental

L'expérience a été conduite à Sinsu dans la ville de Mbanza- Ngungu, située dans la Province du Kongo Central. La ville de Mbanza-Ngungu anciennement appelée Thys-ville, est située à 150 km de Kinshasa la capitale de la République Démocratique du Congo (Lugangu, cité par Kinsempola 2012). Les coordonnées géographiques sont : 14° 51' 28'' longitude Est, 5° 15' 56'' latitude sud.

Elle est le centre politico-commercial et juridique construit sur des collines dites crête de Mbanza- Ngungu et est traversée par la route nationale n.1 reliant le Kongo Central à Kinshasa. Elle a une superficie de 92 km<sup>2</sup>. Elle est reliée à la voie ferroviaire nationale par une bretelle de 16 km ; la jonction se trouve à Mwala Kinsende (Ndontoni, cité par Nkangu, 2013).

#### 2.1.2 Conditions édaphiques

Le relief de la ville de Mbanza-Ngungu est caractérisé par des fortes pentes. En tenant compte de l'élévation, cette ville s'élève à une altitude 750m, raisons pour laquelle il fait très frais pendant la saison sèche (Nsakala, cité par Kinsempola, 2012). Les cours d'eau dont dispose la cité de Mbanza- Ngungu prennent leurs sources aux pieds de nombreuses collines qui constituent la ville. La crête de Mbanza –Ngungu forme la ligne de partage des eaux entre le bassin KWILU à l'ouest de la cité et la rivière Bongo-bongu qui prend sa source à Mputu. La texture du sol de Mbanza- Ngungu est caractérisée par un sol sablonneux, mais qui évolue en texture argileuse en profondeur. La présence de la texture sablonneuse à la surface occasionne souvent les érosions pendant la saison pluvieuse (Lubaki, 2010). La structure du sol est élémentaire car elle n'est pas de nature à favoriser la formation des agrégats. Les résultats des études antérieures sur le sol de Mbanza- Ngungu montrent que ces agrégats sont essentiellement sablo-argileux reposant sur un schiste calcaire et formés des sols des vallées et des plateaux (Tran-vinhan, cité par Kinsempola, 2012).

Quant au sol du site expérimental, les résultats d'analyse faite au laboratoire des sols de Kwilu Ngongo sur un échantillon du sol prélevé de 0-20 cm de profondeur montre qu'il est du type sableux les proportions suivantes : sable 73,10%, limon 12,05%, argile 14,85% (Lubaki et al, 2010).

Pour d'autres propriétés du sol, les résultats des analyses faites au laboratoire de Pédologie et d'Analyses foliaires de l'Université Kongo sont représentés dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Quelques Propriétés physico- chimiques du sol du site expérimental au jour du semis.

| <b>pH - eau</b> | <b>NH<sub>3</sub>kg/ha</b> | <b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg/ha</b> | <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> kg/ha</b> | <b>Cakg/ha</b> | <b>Kkg/ha</b> | <b>P kg/ha</b> | <b>S kg/ha</b> | <b>Fekg/ha</b> | <b>Densité apparente g/m<sup>3</sup></b> |
|-----------------|----------------------------|---|---|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|--|
| 6,5             | 79,3                       | 41,6                                    | 41,1                                    | 2257,5         | 101,25        | 191,7          | 44,7           | 56,68          | 1,3                                      |

Source : Nos analyses au laboratoire de Pédologie et d'analyse foliaire de l'Université Kongo.

### 2.1.3 Conditions climatiques

D'après les critères de KÖPPEN, Mbanza-Ngungu est situé dans le climat tropical humide du type A, sous type AW<sub>4</sub>. Les pluies sont abondantes ; elles vont de mi- octobre à mi- mai. Une petite saison sèche s'observe de mi- décembre à mi- mars (DIKIEFU, cité par Ebanza, 2006).

La température moyenne annuelle oscille autour de 22,5°C. Durant la saison des pluies, la température mensuelle atteint 26°C et baisse jusqu' à 15°C en moyenne en saison sèche. Les pluies qui y sont souvent enregistrées varient de 1300 à 1500 mm/ an, les valeurs moyennes étant de 1200 à 1400mm d'eau. Il convient de signaler que cette cité connaît fréquemment de temps couvert de brouillards ; ce qui constitue un apport d'eau supplémentaire (LUKOKI, 2009).

Le tableau 2 représente les données climatiques enregistrées au champ durant la période de l'essai qui est allée du 03 décembre 2015 au 16 mars 2016.

**Tableau 2 : Données climatiques prélevées au champ durant l'essai**

| Mois          | Précipitation          |                | Température externe (°C) |         |         | Humidité relative (%) |
|---------------|------------------------|----------------|--------------------------|---------|---------|-----------------------|
|               | Hauteur mensuelle (mm) | Jour de pluies | Maximum                  | Minimum | Moyenne |                       |
| Décembre 2015 | 444                    | 17             | 26,2                     | 25,1    | 25,65   | 83,4                  |
| Janvier 2016  | 8                      | 2              | 28,3                     | 27,5    | 27,9    | 89,2                  |
| Février 2016  | 177                    | 8              | 27,4                     | 27,1    | 27,27   | 76,2                  |
| Mars 2016     | 61                     | 1              | 27,9                     | 26,1    | 27      | 88,1                  |
| Total         | 690                    | 28             | 109,8                    | 105,8   | 107,8   | 336,9                 |
| Moyenne       | 172,5                  | 7              | 27,45                    | 26,45   | 26,95   | 84,2                  |

Source : Nos prélèvements des données au champ.



## **2.2 MATERIEL EXPERIMENTAL**

Nous avons utilisé comme matériel végétal, la semence de soja (variété Davis), de niébé (variété H4) et arachide (variété Sivi). Ces semences ont été achetées à l'INERA au centre de Mvuanzi.

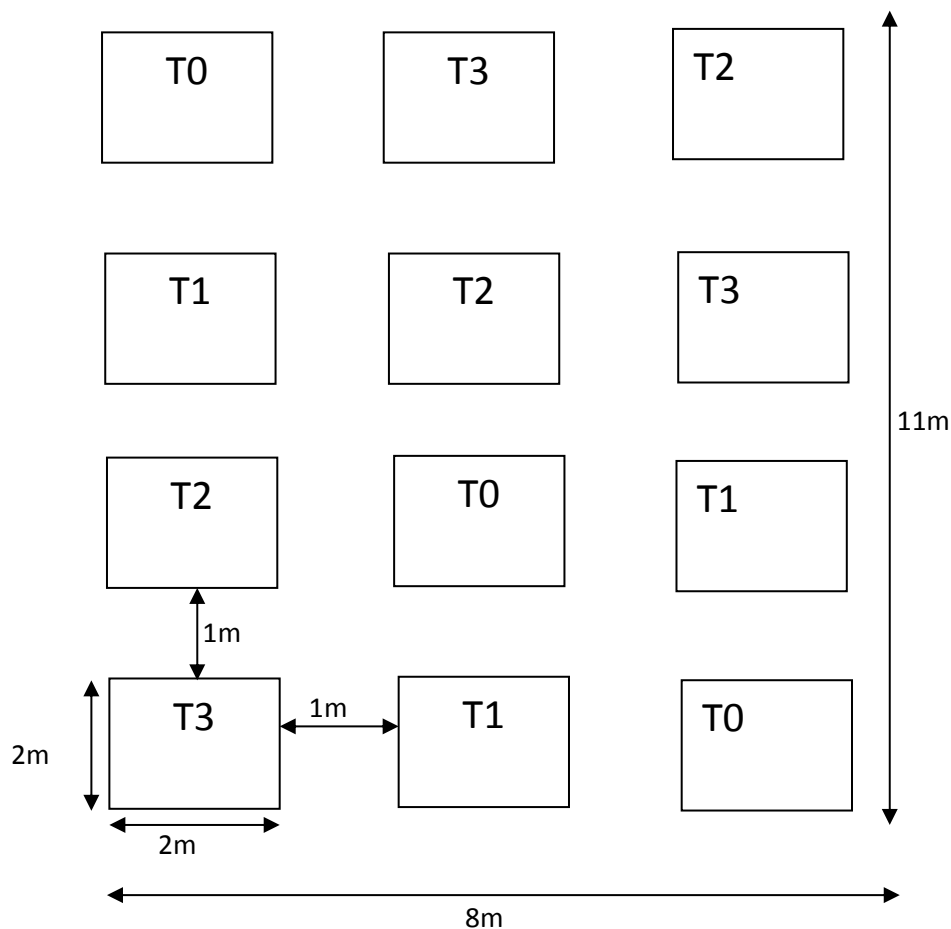
## **2.3 METHODES**

### **2.3.1 Dispositif expérimental**

Nous avons utilisé un dispositif en blocs complets randomisés avec 3 répétitions dont chacune avait 4 traitements constitués du témoin et de 3 espèces de légumineuses.

Au total, nous avons travaillé sur 12 parcelles de 4 m<sup>2</sup> de superficie pour chacune. L'espacement entre les parcelles d'une même répétition était de 1 m, une distance également utilisée pour la séparation des blocs entre- eux. Ceci nous a conduits à obtenir une superficie de 88 m<sup>2</sup> pour tout le champ.

Ci-dessous, est présenté le schéma du dispositif expérimental.



### Légende

T0 : témoin, T1 : arachide, T2 : niébé, T3 : soja, R : répétition

### 2.3.2 Conduite de l'expérience

L'essai s'est déroulé du 24 novembre 2015 au 15 mars 2016, soit une durée de 113 jours.

#### 1. Préparation du terrain

La préparation du terrain a porté sur les opérations suivantes : la délimitation du champ expérimental dont la superficie était de  $88 \text{ m}^2$ , soit 11m sur 8m, le labour moyen (20 cm de profondeur) à l'aide du tracteur, le chaulage suivi du hersage, le piquetage des blocs et des parcelles expérimentales. Toutes ces opérations sont intervenues du 24 au 28 novembre 2015. Le jour du semis nous avons effectué un prélèvement d'un échantillon composite du sol à 20cm de profondeur pour les analyses physico-chimiques aux laboratoires.

## 2. Le Semis

Pour les trois espèces, le semis a eu lieu le 30 novembre à une profondeur de 5 cm de sol. La levée a débuté 05 jours après le semis et s'est étalée dans 4 jours. Le taux moyen de levée était de 86,5%. Les écartements de semis adoptés étaient de 40cm x 20cm pour le soja et arachide et de 40cm x 25cm pour le niébé.

## 3. Le Suivi technique

Le suivi technique comportait les opérations suivantes :

- Le regarnissage de graines une semaine après la levée complète.
- Le sarclo-binage intervenu en date du 09 janvier et 15 février 2016.

### 2.3.3 Paramètres évalués

Nous avons réalisé des observations sur la nodulation et autres paramètres végétatifs, les paramètres de production et sur l'évolution de la teneur en azote du sol.

#### 1. Paramètres végétatifs

- ❖ Le nombre total de nodules par plante, nombre de nodules actifs par plante et le poids frais de nodules actifs : l'arrachage aléatoire de 10% d'échantillon des plantes avec racines, dans les lignes de bordure de chaque parcelle a servi à l'évaluation de la nodulation de 3 cultures étudiées aux 45<sup>eme</sup> jours après le semis.

Le Protocol adopté consistait à:

- Creuser tout autour de la plante sur l'ensemble de sa surface utile et à 20 cm de profondeur environ, puis extraire la plante et son système racinaire ;
  - Enlever soigneusement le sol collé aux racines et nodules sans arracher ces dernières ;
  - Compter le nombre total de nodules par plante ;
  - Compter le nombre de nodules actifs par plante : à ce sujet, l'activité des nodules était déterminée en observant après l'ouverture, leur couleur interne. Ceux dont la coloration était blanche étaient considérés inactifs tandis que les actifs avaient une coloration soit rose pale, soit rouge-brun (SCHILLING *et al.*, 1996 ; LUYINDULA, cité par LUZAYAMO, (2001)).
- ❖ Peser, immédiatement après l'évaluation de l'activité, les nodules actifs. Pour ce faire, une balance de précision a été utilisée.

- ❖ **Diamètre au collet et hauteur des plantes :** nous avons mesuré le diamètre au collet à l'aide du pied à coulisse et le mètre ruban nous a servi pour le prélèvement de la hauteur des plantes ; les deux observations ont été réalisées à la récolte proprement dite. L'échantillon utilisé était celui de 10% de la densité totale de plantes par parcelle pour toutes les cultures et, seules les plantes centrales non proches des vides étaient considérées. Ces deux observations ont été réalisées à la maturité des plantes comme il est recommandé par GILLIERO et SILVESTRE, (1969), cité par NUAMBOTE 2013.

## 2. Paramètres de production

Ces paramètres ont été réalisés sur les plantes centrales, les différentes observations réalisées sur ces paramètres portaient sur :

- ❖ **Poids moyen frais de gousses par parcelle :** après avoir récolté, nous avons pesé les gousses de plantes pour 10% de la densité de la parcelle avec une balance de précision.
- ❖ **Poids moyen sec de gousses par parcelle :** nous avons, à l'aide d'une balance de précision, pesé après séchage les gousses de plantes échantillonnées.
- ❖ **Poids moyen de graines par parcelle :** après avoir séché complètement les gousses avec un taux de 12% d'humidité, nous avons passé par le décorticage pour avoir le poids moyen en graine par plante.
- ❖ **Rendement en gousses fraîches et en gousses sèches :** Pour trouver le rendement moyen à l'ha, nous avons extrapolé le poids moyen de gousses fraîches et sèches par plante suivant la formule : Poids moyen de gousses fraîches ou sèches par plante  $\times$  Densité à l'ha.
- ❖ **Poids de 1000 graines :** Le poids des graines obtenu pour l'ensemble des plantes échantillonnées pour chaque traitement, en connaissant le nombre exact de graines pour chaque échantillon, a été extrapolé au poids de mille graines.

## 3. L'Evolution de la teneur en l'azote du sol

- ❖ **Prélèvement des échantillons du sol :** Les échantillons ont été prélevés en deux temps : un échantillon composite du champ le jour du semis et les échantillons parcellaires le jour de la récolte représentant chacun 10% de la surface parcellaire. Le prélèvement était effectué sur une profondeur de 0-20 cm avec un volume de trou de 20 cm<sup>3</sup>. Ceux du jour de la récolte étaient prélevés pour chaque pied dans cinq endroits dont l'un du centre du pied et quatre autres tout autour de la surface utile de la plante. Les échantillons une fois prélevés, étaient immédiatement mis dans des sachets en plastique puis acheminés au laboratoire.
- ❖ **Analyses chimiques de sol :** les analyses effectuées différemment selon le temps de prélèvement de l'échantillon du sol. Pour les échantillons prélevés le jour du

semis, nous avons analysé la composition chimique en  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , Ca, S, Fe. Pour ceux prélevés le jour de la récolte, du fait que le but était d'évaluer l'impact des légumineuses mises en culture sur l'évolution de l'azote minéral du sol à la récolte, comme cela est adopté par BADO, cité par NUAMBOTE (2013), la teneur en azote a été déterminé sous forme de  $\text{NH}_3$  et  $\text{NO}_3^-$ . toutes les analyses ont été effectuées au Laboratoire de Pédologie et d'Analyse foliaire de l'Université Kongo.

Le mode opératoire utilisé lors de la détermination de l'azote minéral du sol est repris dans l'annexe.

- ❖ **Détermination de l'évolution de l'azote minéral du sol :** afin d'évaluer les effets des légumineuses mises en culture sur la variation de la teneur en azote minéral ( $\text{NH}_3$  et  $\text{NO}_3^-$ ) du sol à la récolte, la teneur en azote minéral total de l'échantillon de sol de départ a été comparée à celle de l'échantillon de sol après cultures. Les tendances dégagées (hausse d'un côté et baisse de l'autre côté) entre les 2 échantillons nous ont permis de conclure que la culture a enrichi ou appauvri le sol en azote.

#### **2.3.4 Analyse statistique des données**

Toutes les données récoltées ont été saisies sur Excel et analysées statistiquement à l'aide du logiciel statistix 0.8. Ce logiciel nous a permis de faire l'analyse de la variance des données avec le test de LSD (Least Significant Différence) pour la comparaison des moyennes des différentes cultures.

## CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus dans ce travail portent sur les paramètres végétatifs et de productions et sur l'évolution de la teneur en azote disponible du sol.

### 3.1 PARAMETRES VEGETATIFS

Dans la liste de ces paramètres végétatifs figurent le diamètre au collet, la hauteur des plantes, le nombre moyen de nodules par plante, le nombre moyen de nodules actifs par plante et le poids frais moyen de nodules actifs par plante.

#### 3.1.1 Diamètre au collet et la hauteur des plantes

Les résultats des observations portant sur le diamètre au collet et la croissance en hauteur des plantes sont consignés dans le tableau 3.

**Tableau 3. Diamètre au collet et hauteur des plants à la récolte**

| Facteurs | Hauteur moyenne des plants (cm) | Diamètre au collet ( cm) |
|----------|---------------------------------|--------------------------|
| Soja     | 29.67                           | 1.10                     |
| Arachide | 31.86                           | 1.12                     |
| Niébé    | 102.20                          | 2.04                     |

L'analyse du tableau 3 démontre que :

- En ce qui concerne la hauteur des plantes, l'arachide a donné une moyenne approximative (31,86cm) à celle de 27,66 cm enregistrée par NUAMBOTE (2013). Le niébé a par contre donné une hauteur de 102,20 cm, inférieure à 171 cm enregistrée par NUAMBOTE (2013). Une tendance similaire est remarquée pour le soja avec une valeur de 29,67 cm contre 44,7 cm obtenue toujours par NUAMBOTE (op.cit).
- Quant au diamètre au collet, le niébé a donné un diamètre moyen au collet supérieur aux autres s'élevant à 2.04 cm légèrement supérieur qu'à celui prouvé par NUAMBOTE (2013) ; le soja et le niébé ont tous deux enregistré une valeur identique plus importante que celle rapportée par NUAMBOTE (2013).

#### 3.1.2 Nombre total des nodules par plant, nombre des nodules actifs par plant et poids frais des nodules actifs par plant.

Le tableau 4 donne les résultats obtenus sur le nombre total des nodules par plante, nombre des nodules actifs par plante et le poids frais des nodules actifs par plante.

**Tableau 4. Nombre total des nodules par plant, nombre des nodules actifs par plant et poids frais des nodules actifs par plant au 45<sup>ème</sup> jour après semis.**

| <b>Facteurs</b> | <b>Nombre total des nodules par plante</b> | <b>Nombre des nodules actifs par plante</b> | <b>Poids frais des nodules actifs par plante (g)</b> |
|-----------------|--|---|--|
| Soja            | 300 b                                      | 137 a                                       | 2.50 a   |
| Arachide        | 689 a                                      | 70 b  | 0.34b  |
| Niébé           | 157 c                                      | 94 b  | 3.23 a   |

Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Les résultats dans le tableau 4 montrent des différences significatives entre les traitements.

- Par rapport au nombre total des nodules par plante, l'arachide a enregistré un nombre des nodules plus élevé soit 689, plus loin que celui enregistré par NUAMBOTE (2013) à Mbanza-Ngungu pendant la saison B de l'an 2013 qui s'élevait à 122, suivi du soja avec un nombre de 299. Le niébé clôture la liste avec une valeur faible s'élevant à 157 nodules.
- Quant au nombre des nodules actifs par plante, le soja a donné une valeur plus importante, soit 136, que l'arachide et le niébé, ces deux dernières étant semblables avec des moyennes respectives de 70 et 94.
- Pour ce qui est du poids frais des nodules actifs, le niébé et le soja ont enregistré des moyennes équivalentes mais supérieures que celle de l'arachide avec des valeurs respectives de 3,23g, 2.50g et 0.34g. La valeur du niébé est approximative à celle qu'a été enregistrée par NUAMBOTE en saison B 2013, soit 3,39 g.

### 3.2 PARAMETRES DE PRODUCTION

Les résultats relatifs aux paramètres de production sont repris dans le tableau 5

**Tableau 5 : Paramètres de production**

| Traitements | Poids des 1000 graines (g) | Rendement (t/ha) |
|-------------|----------------------------|------------------|
| Niébé       | 98,65                      | 2,967            |
| Soja        | 176,78                     | 0,895            |
| Arachide    | 513,66                     | 1,433            |

Le tableau 5 rapporte que :

- Le poids de 1000 graines de niébé enregistré dans notre expérience est de 98,65g approximatif à celui indiqué dans le catalogue variétal de SENASEM (2010) s'élevant à 110 g. Celui de soja (176,78g) est supérieur à l'intervalle repris dans le catalogue variétal (120-130g). Le poids de 1000 graines d'arachides est de 513,66g, approximatif à celui retenu dans le catalogue variétal de SENASEM (2010) (514.2 g).
- Quant au rendement, la valeur enregistrée chez le de niébé (2,967t/ha) est de loin supérieure à celle indiquée dans le catalogue variétal de SENASEM (2010) (0,1 - 0,4t/ha).Le soja a donné un rendement de 0,895t/ha, se situant entre l'intervalle de mentionnée sur le Catalogue Variétal de SENASEM (2010) (0,8-0,9 t/ha). Pour l'arachide, nous avons par contre enregistré un rendement très faible représentant presque la moitié (0,8143 t/ha) de celui mentionné sur le Catalogue Variétal de SENASEM (2010) (2-2,8t/ha). Ceci serait dû à la faible pluviométrie enregistrée pendant l'expérience (172,5mm) par rapport aux exigences de la culture se situant entre 500 et 1000 mm d'eau (CIRAD et GRET, 2002). Malgré cette faible pluviométrie, les niébé et soja se sont bien comportés vu leur enracinement profond.



### **3.3 EVOLUTION DE LA TENEUR EN AZOTE DUSOL DURANT L'ESSAI**

Les résultats relatifs à évolution de la teneur en azote du sol durant l'essai sont présentés dans les tableaux 6.

**Tableau 6 : Evolution de la teneur en azote du sol durant l'essai**

| Variables<br>Paramètres   |              | Quantité d'azote (kg/ha) |                              |
|---|--------------|--------------------------|------------------------------|
|   |              | NH <sub>3</sub>          | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| Sol au semis  |              | 79,3                     | 41,6                         |
| Sol au 45 <sup>ème</sup> jour après semis                             | Niébé        | 93,600a                  | 77,133a                      |
|   | Soja         | 75,367a                  | 57,167a                      |
|   | Arachide     | 55,000a                  | 71,933a                      |
|   | Témoin       | 35,167a                  | 69,200a                      |
| Comparaison sol au semis et témoin 45 <sup>ème</sup> jour après semis | Augmentation | -                        | 27,6                         |
|   | Perte        | 44,133                   | -                            |
| Sol à la récolte  | Niébé        | 144,20a                  | 110,93a                      |
|   | Soja         | 146,77a                  | 147,33a                      |
|   | Arachide     | 127,33a                  | 131,73a                      |
|   | Témoin       | 36,60b                   | 32,93b                       |
| Comparaison témoin au semis et à la récolte                           | Augmentation | -                        | -                            |
|   | Perte        | 42,7                     | 8,67                         |
| Apport par les cultures à la récolte                                  | Niébé        | 107,6a                   | 78a                          |
|   | Soja         | 110,17a                  | 114,4a                       |
|   | Arachide     | 90,73a                   | 98,8a                        |

Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

L'examen du tableau 6 montre ce qui suit :

- Au 45<sup>ème</sup> jour après le semis, aucune différence significative n'a été observée entre les différents traitements sur l'évolution de la teneur en azote du sol tant pour l'ammoniac que le nitrate et sont tous identiques au témoin. En comparant le sol au semis et le témoin, une diminution de 44,133 kg de NH<sub>3</sub> et une augmentation de 27,6 kg de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ont été constatées. Cette baisse en Azote ammoniacal et la hausse en Azote nitrate constatées sont justifiables par le fait que dans le sol l'Azote est sujet aux systèmes complexes de gain, de perte et des réactions inter liées (MILLER and GARDINIER, 1998). Ce gain et perte peuvent êtres dus à des réactions chimiques de diverses natures s'opérant dans le sol, à la volatilisation et à la lixiviation de l'azote. De façon générale, cette perte a été calculée à 30,11 kg de l'azote total minéral chez le témoin ; ce dernier étant identique à tous les autres traitements. Cela ne veut pas dire que ces cultures sont incapables de convertir l'azote atmosphérique en forme assimilable. Selon KATANGA (2012), dans les 2 premières semaines après semis, les légumineuses en général se nourrissent en Azote atmosphérique ne commence. Ce qui peut justifier cet appauvrissement du sol en Azote durant cette période culturale.

- A la récolte, toutes les cultures se sont également comportées de la même façon mais ont donné des quantités d'azote supérieures au témoin aussi bien pour l'ammoniac que le nitrate. Nous avons enregistré des moyennes de 144,20kg de  $\text{NH}_3$  et 110,93kg de  $\text{NO}_3^-$  pour niébé, de 146,77kg  $\text{NH}_3$  et 147,33  $\text{NO}_3^-$  pour le soja et de 127,33kg de  $\text{NH}_3$  et 131,73kg de  $\text{NO}_3^-$  pour l'arachide, contre 36,60kg de  $\text{NH}_3$  et 32,93kg de  $\text{NO}_3^-$  pour le témoin. Chez ce dernier, la perte est estimée à 42,7kg de  $\text{NH}_3$  et 8,67 kg de  $\text{NO}_3^-$  comparativement à la teneur du sol le jour du semis (79,3kg de  $\text{NH}_3$  et 41,6kg de  $\text{NO}_3^-$  ). De manière générale, les espèces expérimentées ont chacune apporté des quantités d'Azote allant de 90,73kg à 110,17kg de  $\text{NH}_3$  et de 78kg à 114,4kg de  $\text{NO}_3^-$ , ce qui équivaut à une moyenne de 104,44kg de d'Azote total minéral. Contrairement à la perte d'Azote du sol constatée au 45ème jour après le semis, l'apport élevé d'Azote remarqué à la récolte se justifie par le fait que les nodules des plantes annuelles tendent à mourir à la floraison et à l'établissement des graines en libérant beaucoup d'azote dans le sol (Russel, 1973).

## CONCLUSION ET SUGGESTIONS

L'objectif global de ce travail était de trouver des mesures alternatives pour la restauration de la fertilité du sol en azote afin d'augmenter de rendement des cultures dans les conditions écologiques de Mbanza-Ngungu. Ce travail a permis de comparer trois espèces de légumineuses cultivées (arachide, niébé, soja) sur la nodulation et d'évaluer leur impact sur la variation de la teneur en azote du sol.

Les résultats sur la nodulation montrent des différences significatives entre les espèces cultivées au seuil de probabilité de 5%. Le niébé et le soja ont tous deux donné un poids de nodules actifs similaire, respectivement 3,23g et 2,50g, se relevant supérieur à celui de nodules de l'arachide (0.34g).

Quant à la variation de la teneur en Azote du sol, au 45<sup>ème</sup> jour de la culture, aucun apport d'Azote au sol n'a été constaté pour les trois espèces expérimentées. Une perte de 30,11 kg de l'azote total minéral a été observée chez le témoin par rapport à la quantité dosée au jour du semis, ce dernier étant similaire aux trois cultures. Par contre à la récolte, des apports d'Azote allant de 90,73kg à 110,17kg de  $\text{NH}_3$  et de 78kg à 114,4kg de  $\text{NO}_3^-$  ont été constatés identiquement pour ces trois cultures, et cela a été calculé en moyenne à 104,44kg de d'Azote total minéral.

Eu égard aux résultats obtenus, nous recommandons :

- Aux agriculteurs d'utiliser à leur choix entre ces trois espèces celles à employer dans le système de culture dans le cadre de la gestion intégrée de la fertilité du sol dans les zones où les conditions écologiques sont homologues à celles de Mbanza-Ngungu;
- Aux futures chercheurs passionnés par la gestion durable de la fertilité du sol de répéter cette expérimentation dans le temps et dans d'autres conditions écologiques, et d'approfondir les recherches sur ces espèces afin de déterminer leurs impacts et les meilleurs moments de leur insertion dans les agro systèmes pour les associations culturales avec les espèces d'autres groupes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BADO B. V., 2002 : Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval/Québec, 167P.

BODEN J.P., 1988 : Biologie géologie, collection tavernier, 205 P.

Baudoin J.P., J. Demol., B.P. Louant., R. Marechal., Mergeai G. et Otoul E. 2008. Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales, les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 581 pp.

CIRAD et GRET, 2006 : Mémento de l'agronome. Ministère des Affaires étrangères, 1700pp.

Clément, J.M. 1981. Larousse agricole. Librairie Larousse, Paris, 1208pp.

Duc G., C.Mignolet, B.Carrouee, et C. Huyghe. 2010. Importance économique passée et présente des légumineuses, Rôle historique dans les assolements et facteurs d'évolution. Innovations Agronomiques 11: 1-24.

DHANE S., 2011 : Diversités phénotypique et moléculaire des micro symbiotes du *Sulla* du nord (*Hedysarum Coronarium* L.) et sélection de souches rhizobiales efficaces, Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, Institut national agronomique de Tunisie, 69P.

EBANZA., 2006 : Essai de la fertilisation de l'aubergine (*Solanum melongena*) au compost, à l'engrais chimique et à la combinaison engrais chimiques compost sur le rendement en aubergine à Mbanza- Ngungu, TFC/Mbanza- Ngungu, Inédit

FOSSOUK., 2011 : Diversité génétique des Rhizobia associées à un champ de pois d'Angole (*Cajanus cajan* L.) à Yamoussoukro (centre de la Côte d'Ivoire), mémoire, l'institut national polytechnique, Ecole Supérieure d'Agronomie, COTE D'IVOIRE, 31p.

Heller, R., R. Esmault et C. Lance. 1998. Physiologie végétale. Nutrition, 6ème édition de l'Abrégé, 1er et 2ème Cycle, 315pp.

Heller, R., R. Esmault et C. Lance. 2000. Physiologie végétale. Développement, 6ème édition de l'Abrégé, 1er et 2ème cycle, 318pp

Haynes, 1986. Pratiques culturales et évolution de la teneur en azote organique utilisable par les cultures dans un sol ferrallitique du Burkina Faso. Thèse de doctorat, INPL, 159 pp.

KACHAKA S.K., 2002 : Cours de biologie du sol, 1<sup>er</sup> Grade, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Phytotechnie et gestion des ressources naturelles, UNIKIN, 1<sup>ère</sup> édition, 86 P.

KATANGA K., 2012 : Ecologie végétale Appliquée, Cours inédit., Ir2 Phyto, Faculté des Sciences Agronomiques, UNIKIN.

Kinsempola K, 2012 : essais des espacements de semis sur la production de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) dans un sol sableux de Mbanza- Ngungu, TFC, inédit, département de sciences agronomiques et vétérinaires, ISP/ Mbanza- Ngungu.

LUBAKI N., 2013 : cours de pédologie tropicale et intertropicale, G3 agronomie, université kongo.

LUKOKI., 2009 : Essai de conservation des graines de *Zeamays* (maïs) à la poudre de l'amande de *Mangifera indica* (manguier), TFC, ISP/Mbanza- Ngungu, Inédit

Luzayamo, N.V. 2001. Essai d'inoculation de soja (*Glycine max* (L.) MERRIL) avec une souche de *Bradyrhizobium japonicum* dans un sol de Kisantu. Mémoire inédit, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Kongo/KISANTU, 69pp.

Luyindula, N. 1977. Approche moléculaire des phénomènes de la symbiose entre soja et rhizobium, thèse de doctorat, université de Liège, 245pp.

Miller R.W. and D.T. Gardiner, 1998 : Soil in Environnement. Eighth Edition Prentice Hall, Upper Saddle River, New York 07458,p.190.

MOBAMBO., 2010: Phytotechnie spéciale, Cours inédit., Ir1 Phyto, Faculté des Sciences Agronomiques, UNIKIN.

Nuambote Y., 2013 : Etude comparative des quatre légumineuses cultivées glycine max L.(MERRIL) (soja) *Arachis hypogaea* L.(arachide) , *Vigna unguiculata* L. (niébé), et *Phaseolus vulgaris* L. (haricot) sur la nodulation et leur impact sur la variation de la teneur en azote du sol, mémoire, faculté des sciences agronomiques, université kongo.

NKANGU Y., 2014 : Etude comparative de l'inoculation de rhizobium et les écartements de semis sur la nodulation et le rendement en grains d'haricot à Mbanza-Ngungu, travail de fin de cycle, université kongo.

OBATON M., 1992 : Facteurs pédoclimatiques limitant la fixation biologique de l'azote chez les légumineuses en Biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture ; 57 – 66 P.

Russel E.W, 1973 Soil conditions and plant growth. Tenth Edition Longman, London and New York, p 373.

Rienke N., Joke N. 2005. La culture du soja et d'autres légumineuses 7-8p

PNUD, 2013. Analyse globale de la sécurité alimentaire et de la vulnérabilité.

PELMONT J., 1995: Bactérie et environnement : adaptation physiologique, Vol 2, Office des Publications Universitaires, 897 p.

SENASA, 2010 : Catalogue variétales des cultures vivrières. maïs, riz, haricot, arachide, soja, niébé, manioc, patate douce, pomme de terre et bananier. KINSHASA.

Schilling, R. 1996. L'arachide. Le Technicien d'Agriculture Tropicale, Editions Maisonneuve et Larose, 15, rue, Victor-Cousin, F75005, PARIS, CTA.

# **ANNEXES**



## 1. DETERMINATION DE NITRATE – AZOTE (NITRATE – NITROGEN)

---

Test 64, all tests dans le colorimètres  
(Voir pages 68 de smart<sub>2</sub>soil)

- ❖ Extraction du sol (soil extract), voir page 1 de ladite traduction au page 51 de smart<sub>2</sub>soil (mode opératoire)

### Procédure

- Mettre 1 ml de soil extract dans un tube claire (0290) en utilisant une pipette de 1 ml puis diluer avec de l'eau distillée jusqu'à la ligne fermer et mélanger.
- Introduire le tube dans le colorimètre, fermer le couvercle et sélectionner le SCAN BLANK.
- Retirer le tube dans le colorimètre et verser 5 ml dans un cylindre gradué ou un autre flacon similaire. Ecarter ou jeter le diluant resté.
- Remettre le 5 ml de diluant qui est dans le cylindre dans le tube clair (0290). Utilisé un autre cylindre gradué pour mesurer 5 ml de Mixed Acid Reagent (V-G 278) et ajouter le dans le tube. Fermer et mélanger. Attendre 2 minutes pour passer au tiré suivant
- Ajouter 2 mesures de 0,1 g de Nitrate Reducing Reagent (V-G279). Fermer
- Tenir ou saisir le tube par les doigts (l'index et le pouce) et mélanger en inversant approximativement 60 fois par minutes pour 4 minutes puis attendre 10 minutes pour faire développer la couleur. Il restera au fond du tube quelque réactif non dissout, cela n'affectera pas le résultat.
- A la fin de 10 minutes, mélanger puis introduire le tube dans le colorimètre. Fermer le couvercle et sélectionner dans les SCAN SAMPLE. Multiplier le résultat par 100 pour déterminer la concentration de Nitrate d'azote en lbs/acre. Puis par 1,12 pour trouver la valeur en kg/ha.

## 2. DETERMINATION DE L'AZOTE AMMONIACAL (AMMONIA – NITROGEN)

---

Test 5, all tests dans le colorimètre

(Voir pages 53 et 54 de smart<sub>2</sub>soil)

- ❖ Extraction des sols (soil extract), voir page 1 de ladite traduction ou page 51 de Smart<sub>2</sub>Soil (Mode Opérateur)

### Procédure

- Mettre 2 ml of soil extract dans un tube clair (0290) en utilisant une pipette de 1 ml, puis diluer avec de l'eau distillée jusqu'à la ligne 10 ml mélanger de puis neutralisé en suivant le processus de la neutralisation.
- Insérer le tube dans 18   
L'appareil, fermé  
Le couvercle et sélectionner le SCAN BLANK
- Retirer le tube dans le colorimètre. Ajouter 12 gouttes de Ammonia Notrogen Reagent #2 (V-4797) fermé puis mélanger. Attendre pendant 1 minute.
- Ajouter 1 ml de Ammonia Notrogen Reagent #2 (V-4798) en utilisant une pipette. Fermer puis mélanger. Attendre 5 minutes pour faire développer la couleur.
- A la fin de 5 minutes, mélanger, immédiatement, introduire le tube dans le colorimètre, fermer le couvercle puis sélectionner le SCAN SAMPLE, multiplier le résultat par 50 pour déterminer la concentration de l'azote ammoniacal en lbs/acre puis par 1,12 pour trouver la valeur en kg/ha.

### 3. HAUTEUR DES PLANTS ET DIAMETRE AU COLLET AU 45<sup>eme</sup> JOUR

Statistix 8.0

07/08/2016, 18:53:47

#### Randomized Complete Block AOV Table for hauteur

| Source     | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|------------|----|---------|---------|------|--------|
| repetition | 2  | 35.949  | 17.9744 |      |        |
| traitemen  | 2  | 107.556 | 53.7778 | 8.13 | 0.0390 |
| Error      | 4  | 26.451  | 6.6128  |      |        |
| Total      | 8  | 169.956 |         |      |        |

Grand Mean 18.922 CV 13.59

#### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 14.1930 | 14.1930 | 3.47 | 0.1592 |
| Remainder     | 3  | 12.2581 | 4.0860  |      |        |

Relative Efficiency, RCB 1.31

#### Means of hauteur for traitement

##### traitemen Mean

ARACHIDE 14.033

NIEBE 21.367

SOJA 21.367

Observations per Mean 3

Standard Error of a Mean 1.4847

Std Error (Diff of 2 Means) 2.0996

Statistix 8.0

07/08/2016, 18:54:45

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of hauteur for traitemen

##### traitemen Mean Homogeneous Groups

NIEBE 21.367 A

SOJA 21.367 A  
ARACHIDE 14.033 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 2.0996  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 5.8296  
Error term used: repition\*traitemen, 4 DF  
There are 2 groups (A and B) in which the means  
are not significantly different from one another.

Statistix 8.0

07/08/2016, 19:04:58

### Randomized Complete Block AOV Table for diametre

| Source    | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|-----------|----|---------|---------|-------|--------|
| repition  | 2  | 0.77556 | 0.38778 |       |        |
| traitemen | 2  | 2.51556 | 1.25778 | 12.86 | 0.0181 |
| Error     | 4  | 0.39111 | 0.09778 |       |        |
| Total     | 8  | 3.68222 |         |       |        |

Grand Mean 2.6444 CV 11.82

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 0.01892 | 0.01892 | 0.15 | 0.7222 |
| Remainder     | 3  | 0.37219 | 0.12406 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 1.60

### Means of diametre for traitemen

#### traitemen Mean

ARACHIDE 2.8000  
NIEBE 3.2000  
SOJA 1.9333  
Observations per Mean 3  
Standard Error of a Mean 0.1805  
Std Eruror (Diff of 2 Means) 0.2553

Statistix 8.0

07/08/2016, 19:06:23

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of diametre for traitemen

#### traitemen Mean Homogeneous Groups

NIEBE 3.2000 A  
ARACHIDE 2.8000 A  
SOJA 1.9333 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.2553  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 0.7089

Error term used: repition\*traitemen, 4 DF  
 There are 2 groups (A and B) in which the means  
 are not significantly different from one another.

#### 4. DIAMETRE AU COLLET ET HAUTEUR DES PLANTS A LA RECOLTE

Statistix 8.0

03/10/2016, 06:50:50

#### Randomized Complete Block AOV Table for DIARECOLT

| Source    | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|-----------|----|---------|---------|-------|--------|
| BLOC      | 2  | 0.4956  | 0.24778 |       |        |
| TRAITEMEN | 2  | 17.2156 | 8.60778 | 15.07 | 0.0137 |
| Error     | 4  | 2.2844  | 0.57111 |       |        |
| Total     | 8  | 19.9956 |         |       |        |

Grand Mean 4.4778 CV 16.88

#### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 0.02715 | 0.02715 | 0.04 | 0.8615 |
| Remainder     | 3  | 2.25729 | 0.75243 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.79

#### Means of DIARECOLT for TRAITEMEN

| TRAITEMEN                   | Mean   |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 3.5333 |
| NIEBE                       | 6.4333 |
| SOJA                        | 3.4667 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 0.4363 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 0.6170 |

Statistix 8.0

03/10/2016, 06:51:52

#### LSD All-Pairwise Comparisons Test of DIARECOLT for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| NIEBE    | 6.4333 | A |
| ARACHIDE | 3.5333 | B |
| SOJA     | 3.4667 | B |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.6170  
 Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 1.7132  
 Error term used: BLOC\*TRAITEMEN, 4 DF  
 There are 2 groups (A and B) in which the means  
 are not significantly different from one another.

**Randomized Complete Block AOV Table for HAUTRECOL**

| Source    | DF | SS      | MS      | F      | P      |
|-----------|----|---------|---------|--------|--------|
| BLOC      | 2  | 32.9    | 16.45   |        |        |
| TRAITEMEN | 2  | 10213.6 | 5106.81 | 431.14 | 0.0000 |
| Error     | 4  | 47.4    | 11.84   |        |        |
| Total     | 8  | 10293.9 |         |        |        |

Grand Mean 54.576 CV 6.31

**Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity**

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 20.1071 | 20.1071 | 2.21 | 0.2337 |
| Remainder     | 3  | 27.2724 | 9.0908  |      |        |

Relative Efficiency, RCB 1.01

**Means of HAUTRECOL for TRAITEMEN****TRAITEMEN Mean**

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 31.86  |
| NIEBE                       | 102.20 |
| SOJA                        | 29.67  |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 1.9870 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 2.8101 |

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of HAUTRECOL for TRAITEMEN****TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups**

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| NIEBE    | 102.20 | A |
| ARACHIDE | 31.86  | B |
| SOJA     | 29.67  | B |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 2.8101  
 Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 7.8021  
 Error term used: BLOC\*TRAITEMEN, 4 DF  
 There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

**5. NOMBRE TOTAL DES NODULES ET ACTIFS PAR PLANT AU 45<sup>eme</sup> JOUR**

**Randomized Complete Block AOV Table for NOMBRE**

| Source     | DF | SS     | MS     | F      | P      |
|------------|----|--------|--------|--------|--------|
| repetition | 2  | 14162  | 7081   |        |        |
| traitemen  | 2  | 454509 | 227254 | 124.09 | 0.0003 |
| Error      | 4  | 7325   | 1831   |        |        |
| Total      | 8  | 475996 |        |        |        |

Grand Mean 382.00 CV 11.20

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 2338.48 | 2338.48 | 1.41 | 0.3210 |
| Remainder     | 3  | 4986.86 | 1662.29 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 1.58

### Means of NOMBRE for traitemen

#### traitemen Mean

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 689.00 |
| NIEBE                       | 157.33 |
| SOJA                        | 299.67 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 24.707 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 34.941 |

Statistix 8.0

07/08/2016, 19:29:08

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of NOMBRE for traitemen

#### traitemen Mean Homogeneous Groups

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| ARACHIDE | 689.00 | A |
| SOJA     | 299.67 | B |
| NIEBE    | 157.33 | C |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 34.941  
 Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 97.012  
 Error term used: repetition\*traitemen, 4 DF  
 All 3 means are significantly different from one another.

Statistix 8.0

07/08/2016, 19:35:48

### Randomized Complete Block AOV Table for NOMBRE

| Source     | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|------------|----|---------|---------|-------|--------|
| repetition | 2  | 766.06  | 383.03  |       |        |
| traitemen  | 2  | 6732.06 | 3366.03 | 10.13 | 0.0272 |
| Error      | 4  | 1329.78 | 332.44  |       |        |
| Total      | 8  | 8827.89 |         |       |        |

Grand Mean 100.39 CV 18.16

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 189.19  | 189.188 | 0.50 | 0.5314 |
| Remainder     | 3  | 1140.59 | 380.197 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.95

### Means of NOMBRE for traitemen

#### traitemen Mean

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 70.33  |
| NIEBE                       | 94.33  |
| SOJA                        | 136.50 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 10.527 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 14.887 |

Statistix 8.0

07/08/2016, 19:37:52

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of NOMBRE for traitemen

#### traitemen Mean Homogeneous Groups

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| SOJA     | 136.50 | A |
| NIEBE    | 94.33  | B |
| ARACHIDE | 70.33  | B |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 14.887  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 41.334  
Error term used: repition\*traitemen, 4 DF  
There are 2 groups (A and B) in which the means  
are not significantly different from one another.

## 6. POIDS FRAIS DES NODULES ACTIFS PAR PLANT

Statistix 8.0

07/08/2016, 20:14:24

### Randomized Complete Block AOV Table for POIDS

| Source    | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|-----------|----|---------|---------|-------|--------|
| repition  | 2  | 0.8516  | 0.42581 |       |        |
| traitemen | 2  | 13.5748 | 6.78738 | 19.68 | 0.0085 |
| Error     | 4  | 1.3792  | 0.34481 |       |        |
| Total     | 8  | 15.8056 |         |       |        |



Grand Mean 2.0244 CV 19.01

**Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity**

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 0.68361 | 0.68361 | 2.95 | 0.1845 |
| Remainder     | 3  | 0.69564 | 0.23188 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.97

**Means of POIDS for traitemen**

**traitemen Mean**

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 0.3400 |
| NIEBE                       | 3.2333 |
| SOJA                        | 2.5000 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 0.3390 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 0.4795 |

Statistix 8.0

07/08/2016, 20:15:20

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of POIDS for traitemen**

**traitemen Mean Homogeneous Groups**

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| NIEBE    | 3.2333 | A |
| SOJA     | 2.5000 | A |
| ARACHIDE | 0.3400 | B |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.4795  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 1.3312  
Error term used: repition\*traitemen, 4 DF  
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

**7. POIDS FRAIS ET SEC DES GOUSSES PAR PLANT**

Statistix 8.0

08/08/2016, 07:45:27

**Randomized Complete Block AOV Table for POIDS**

| Source    | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|-----------|----|---------|---------|-------|--------|
| REPETITIO | 2  | 1668.3  | 834.1   |       |        |
| TRAITEMEN | 2  | 44597.1 | 22298.5 | 12.12 | 0.0201 |
| Error     | 4  | 7357.7  | 1839.4  |       |        |
| Total     | 8  | 53623.0 |         |       |        |

Grand Mean 142.99 CV 19.9

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 1204.58 | 1204.58 | 0.59 | 0.4992 |
| Remainder     | 3  | 6153.11 | 2051.04 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.79

### Means of POIDS for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 226.33 |
| NIEBE                       | 54.17  |
| SOJA                        | 148.47 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 24.762 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 35.018 |

Statistix 8.0

08/08/2016, 07:48:44

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of POIDS for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups

|          |        |    |
|----------|--------|----|
| ARACHIDE | 226.33 | A  |
| SOJA     | 148.47 | AB |
| NIEBE    | 54.17  | B  |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 35.018  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 97.226  
Error term used: REPETITIO\*TRAITEMEN, 4 DF  
There are 2 groups (A and B) in which the means  
are not significantly different from one another.

Statistix 8.0

08/08/2016, 08:05:03

### Randomized Complete Block AOV Table for POIDS

| Source    | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|-----------|----|---------|---------|-------|--------|
| REPETITIO | 3  | 1315.3  | 438.45  |       |        |
| TRAITEMEN | 2  | 12986.7 | 6493.34 | 17.85 | 0.0216 |
| Error     | 3  | 1091.1  | 363.69  |       |        |
| Total     | 8  |         |         |       |        |

Note: SS are marginal (type III) sums of squares

Grand Mean 91.350 CV 20.88

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 126.518 | 126.518 | 0.26 | 0.6595 |
| Remainder     | 2  | 964.549 | 482.274 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.99

### Means of POIDS for TRAITEMEN

| TRAITEMEN | N | Mean   | SE     |
|-----------|---|--------|--------|
| ARACHIDE  | 3 | 119.15 | 11.010 |
| NIEBE     | 3 | 35.28  | 11.010 |
| SOJA      | 3 | 119.62 | 11.010 |

Statistix 8.0

08/08/2016, 08:06:03

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of POIDS for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| SOJA     | 119.62 | A |
| ARACHIDE | 119.15 | A |
| NIEBE    | 35.28  | B |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison VARIES  
 Critical T Value 3.182 Critical Value for Comparison VARIES  
 Error term used: REPETITIO\*TRAITEMEN, 3 DF  
 There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.

## 8. RENDEMENT EN GOUSSES FRACHES, SECHES ET EN GRAINES

Statistix 8.0

08/10/2016, 08:05:06

### Randomized Complete Block AOV Table for RDTGOUSFR

| Source    | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| BLOC      | 2  | 5.2022  | 2.6011  |      |        |
| TRAITEMEN | 2  | 21.1356 | 10.5678 | 2.78 | 0.1751 |
| Error     | 4  | 15.2111 | 3.8028  |      |        |
| Total     | 8  | 41.5489 |         |      |        |

Grand Mean 3.3111 CV 18.89

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 10.8694 | 10.8694 | 7.51 | 0.0713 |
| Remainder     | 3  | 4.3417  | 1.4472  |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.85

### Means of RDTGOUSFR for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 2.7667 |
| NIEBE                       | 5.4000 |
| SOJA                        | 1.7667 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 1.1259 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 1.5922 |

Statistix 8.0

08/10/2016, 08:05:42

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of RDTGOUSFR for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| NIEBE    | 5.4000 | A |
| ARACHIDE | 2.7667 | A |
| SOJA     | 1.7667 | A |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 1.5922  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 4.4207  
Error term used: BLOC\*TRAITEMEN, 4 DF  
There are no significant pairwise differences among the means.

Statistix 8.0

08/10/2016, 08:10:47

### Randomized Complete Block AOV Table for RDTGOUSEC

| Source    | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| BLOC      | 2  | 3.5144  | 1.75720 |      |        |
| TRAITEMEN | 2  | 3.7222  | 1.86110 | 1.24 | 0.3799 |
| Error     | 4  | 5.9799  | 1.49499 |      |        |
| Total     | 8  | 13.2166 |         |      |        |

Grand Mean 1.8543 CV 15.94

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|---------------|----|---------|---------|-------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 5.53405 | 5.53405 | 37.23 | 0.0088 |
| Remainder     | 3  | 0.44589 | 0.14863 |       |        |

Relative Efficiency, RCB 0.96

### Means of RDTGOUSEC for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 1.4333 |
| NIEBE                       | 2.7630 |
| SOJA                        | 1.3667 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 0.7059 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 0.9983 |

Statistix 8.0

08/10/2016, 08:11:24

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of RDTGOUSEC for TRAITEMEN

#### TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| NIEBE    | 2.7630 | A |
| ARACHIDE | 1.4333 | A |
| SOJA     | 1.3667 | A |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 0.9983  
Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 2.7718  
Error term used: BLOC\*TRAITEMEN, 4 DF  
There are no significant pairwise differences among the means.

Statistix 8.0

08/10/2016, 08:15:33

### Randomized Complete Block AOV Table for RDTGRAINE

| Source    | DF | SS     | MS      | F    | P      |
|-----------|----|--------|---------|------|--------|
| BLOC      | 2  | 4.6129 | 2.30646 |      |        |
| TRAITEMEN | 2  | 8.9295 | 4.46476 | 2.03 | 0.2464 |

|       |   |         |         |
|-------|---|---------|---------|
| Error | 4 | 8.8002  | 2.20004 |
| Total | 8 | 22.3426 |         |

Grand Mean 1.5588 CV 15.15

**Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity**

| Source        | DF | SS      | MS      | F      | P      |
|---------------|----|---------|---------|--------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 8.61551 | 8.61551 | 139.96 | 0.0013 |
| Remainder     | 3  | 0.18466 | 0.06155 |        |        |

Relative Efficiency, RCB 0.93

**Means of RDTGRAINE for TRAITEMEN**

**TRAITEMEN Mean**

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| ARACHIDE                    | 0.8143 |
| NIEBE                       | 2.9667 |
| SOJA                        | 0.8953 |
| Observations per Mean       | 3      |
| Standard Error of a Mean    | 0.8564 |
| Std Error (Diff of 2 Means) | 1.2111 |

Statistix 8.0

08/10/2016, 08:16:07

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of RDTGRAINE for TRAITEMEN**

**TRAITEMEN Mean Homogeneous Groups**

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| NIEBE    | 2.9667 | A |
| SOJA     | 0.8953 | A |
| ARACHIDE | 0.8143 | A |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 1.2111  
 Critical T Value 2.776 Critical Value for Comparison 3.3625  
 Error term used: BLOC\*TRAITEMEN, 4 DF  
 There are no significant pairwise differences among the means.

**9. DETERMINATION DE L'AZOTE SOUS FORME NITRATE AU 45<sup>eme</sup> JOUR ET A LA RECOLTE.**

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:01:38

**Randomized Complete Block AOV Table for nitrate**

| Source    | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| repetitio | 2  | 207.13  | 103.57  |      |        |
| traitemen | 3  | 644.23  | 214.74  | 0.19 | 0.8983 |
| Error     | 6  | 6718.69 | 1119.78 |      |        |

Total 11 7570.05

Grand Mean 68.858 CV 18.60

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 785.66  | 785.66  | 0.66 | 0.4528 |
| Remainder     | 5  | 5933.03 | 1186.61 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.79

### Means of nitrate for traitemen

#### traitemen Mean

arachide 71.933

niébé 77.133

soja 57.167

temoin 69.200

Observations per Mean 3

Standard Error of a Mean 19.320

Std Error (Diff of 2 Means) 27.323

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:03:18

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of nitrate for traitemen

#### traitemen Mean Homogeneous Groups

niébé 77.133 A

arachide 71.933 A

temoin 69.200 A

soja 57.167 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 27.323

Critical T Value 2.447 Critical Value for Comparison 66.856

Error term used: repetitio\*traitemen, 6 DF

There are no significant pairwise differences among the means.

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:19:03

### Randomized Complete Block AOV Table for nitrate

| Source    | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|-----------|----|---------|---------|------|--------|
| repetitio | 2  | 3489.3  | 1744.64 |      |        |
| traitemen | 3  | 23200.3 | 7733.44 | 9.66 | 0.0103 |
| Error     | 6  | 4803.0  | 800.50  |      |        |
| Total     | 11 | 31492.6 |         |      |        |

Grand Mean 105.73 CV 16.76

### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 1652.92 | 1652.92 | 2.62 | 0.1662 |
| Remainder     | 5  | 3150.06 | 630.01  |      |        |

Relative Efficiency, RCB 1.15

### Means of nitrate for traitemen

#### traitemen Mean

arachide 131.73

niébé 110.93

soja 147.33

temoin 32.93

Observations per Mean 3

Standard Error of a Mean 16.335

Std Error (Diff of 2 Means) 23.101

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:20:14

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of nitrate for traitemen

#### traitemen Mean Homogeneous Groups

soja 147.33 A

arachide 131.73 A

niébé 110.93 A

temoin 32.93 B

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 23.101

Critical T Value 2.447 Critical Value for Comparison 56.527

Error term used: repetitio\*traitemen, 6 DF

There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.



**10. DETERMINATION DE L'AZOTE SOUS FORME AMMONIACAL AU  
45<sup>eme</sup> JOUR ET A LA REFCOLTE.**

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:33:28

**Randomized Complete Block AOV Table for AZOTE**

| <b>Source</b> | <b>DF</b> | <b>SS</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| repetitio     | 2         | 1235.2    | 617.61    |          |          |
| traitemen     | 3         | 5745.8    | 1915.27   | 0.87     | 0.5053   |
| Error         | 6         | 13159.5   | 2193.25   |          |          |
| Total         | 11        | 20140.5   |           |          |          |

Grand Mean 64.783 CV 22.29

**Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity**

| <b>Source</b> | <b>DF</b> | <b>SS</b> | <b>MS</b> | <b>F</b> | <b>P</b> |
|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Nonadditivity | 1         | 140.0     | 139.97    | 0.05     | 0.8258   |
| Remainder     | 5         | 13019.5   | 2603.91   |          |          |

Relative Efficiency, RCB 0.83

**Means of AZOTE for traitemen**

**traitemen Mean**

arachide 55.000

niébé 93.600

soja 75.367

temoin 35.167

Observations per Mean 3

Standard Error of a Mean 27.039

Std Error (Diff of 2 Means) 38.238

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:34:11

### LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZOTE for traitemen

#### traitemen Mean Homogeneous Groups

niébé 93.600 A  
soja 75.367 A  
arachide 55.000 A  
temoin 35.167 A

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 38.238  
Critical T Value 2.447 Critical Value for Comparison 93.566  
Error term used: repetitio\*traitemen, 6 DF  
There are no significant pairwise differences among the means.

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:46:17

### Randomized Complete Block AOV Table for AZOTE

| Source    | DF | SS      | MS      | F     | P      |
|-----------|----|---------|---------|-------|--------|
| repetitio | 2  | 138.2   | 69.12   |       |        |
| traitemen | 3  | 24461.8 | 8153.93 | 10.74 | 0.0080 |
| Error     | 6  | 4556.7  | 759.44  |       |        |
| Total     | 11 | 29156.7 |         |       |        |

Grand Mean 113.73 CV 21.23

#### Tukey's 1 Degree of Freedom Test for Nonadditivity

| Source        | DF | SS      | MS      | F    | P      |
|---------------|----|---------|---------|------|--------|
| Nonadditivity | 1  | 918.33  | 918.327 | 1.26 | 0.3123 |
| Remainder     | 5  | 3638.33 | 727.665 |      |        |

Relative Efficiency, RCB 0.79

### Means of AZOTE for traitemen

#### traitemen Mean

arachide 127.33  
niébé 144.20  
soja 146.77  
temoin 36.60  
Observations per Mean 3  
Standard Error of a Mean 15.911

Std Error (Diff of 2 Means) 22.501

Statistix 8.0

23/12/2016, 06:48:39

**LSD All-Pairwise Comparisons Test of AZOTE for traitemen**

**traitemen Mean Homogeneous Groups**

|          |        |   |
|----------|--------|---|
| soja     | 146.77 | A |
| niébé    | 144.20 | A |
| arachide | 127.33 | A |
| temoin   | 36.60  | B |

Alpha 0.05 Standard Error for Comparison 22.501  
Critical T Value 2.447 Critical Value for Comparison 55.058  
Error term used: repetitio\*traitemen, 6 DF  
There are 2 groups (A and B) in which the means  
are not significantly different from one another.