



Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Environnement
(FSAE)

Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur Agronome

Effet de l'inoculation et de la fertilisation sur la nodulation et le rendement de trois variétés de haricot à Cabaret.

INOZILE Jean Wisguen

OPTION : Protection et Aménagement de l'Environnement

Mai 2017

ENCADREURS

Mes sincères remerciements s'adressent de manière spéciale au Dr Gaël Pressoir qui m'a accueilli dans le laboratoire du Centre de recherche sur la Bioénergie et l'Agriculture durable (CHIBAS) dont il est le directeur général, comme stagiaire pour la réalisation de mon mémoire de fin d'études. Mes remerciements s'adressent également aux docteurs Raphael Wesly Colbert et Wesly Jeune qui nous ont toujours accompagnés durant tout le parcours. Je remercie François-Xavier Tardieu Lamure et l'agronome Emmanuel Jean-Claude Duvalsaint. Grâce à leur effort, leur savoir-faire et leur patience j'ai pu réaliser un mémoire de qualité scientifique.

DÉDICACES ET REMERCIEMENTS

Je bénis le nom du seigneur notre Dieu Tout Puissant de m'avoir armé de force, de courage et de bonne volonté tout au long de ces cinq années académiques. Mille Merci Seigneur, dans ton amour infini tu m'as toujours soutenu jusqu'à l'achèvement de ce travail de recherche. Je voudrais remercier de façon particulière ma famille : mes adorables tantes chéries Sabine Cadet et Fabiana Succès Je vous dis un grand merci tatie pour votre courage et patience car vous m'avez inculqué une très bonne éducation familiale et également mes cousins et cousines : Myrlène Fleury, Cadette Colin Naïca Jérôme, Samentha Jérôme, Rickardson Jérôme, Sandia Renaud, oncles Paul Renaud et Paulin Renaud vous êtes tout pour moi. Je voudrais adresser un remerciement spécial à Phaniel Georges et Vaudy Jean Baptiste je vous considère comme un père encore merci pour vos conseils. Aujourd'hui vous avez tous contribué à ma réussite.

Je voudrais également remercier le programme CROSBY pour m'avoir octroyé une bourse d'étude me permettant de boucler le cycle d'étude en agronomie. Merci pour la confiance que vous avez placée en vos responsables et nous vous sommes très reconnaissants, Dieu vous le rendra. Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans le concours actif et les appuis de diverses personnes telles que Guerlinx Laforet Joseph Chrisnel Alcine (Agr. Toto) Patrice Cadélien Jean Noël et les autres. Je remercie le projet AKOSAA qui a financé une partie des travaux de terrain. Je remercie tous les professeurs qui ont contribué à ma formation jusqu'à aujourd'hui. Un grand merci à l'agronome Démosthène qui m'a donné les semences de haricot pour l'expérience et à l'agronome Eliassaint Magloire qui m'a donné la possibilité de prélever les nodules des variétés LORE.

Je remercie les membres du décanat de la Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Environnement (FSAE) notamment l'ex-doyen Edmond Magny qui était toujours disponible pour nous, vos conseils et suggestions nous ont été toujours bien utiles. La secrétaire Maglita Joseph, qui est une très bonne amie à moi, elle effectue un travail colossal à la faculté. A mes amis (e) s ceux de loin ou de près : Vega Paul, Sabiline Dorval, Renette Carceus, Marie Darline Dorval, Diana Joseph, Jodany Charles, Raphaëlla Yolande Coicou, Fritz Pharius, Lucien Ozil, Hervey Pierre. Tous ceux, qui d'une manière ou d'une autre ont contribué pour la réalisation de ce projet de recherche, je vous dis un grand merci.

RÉSUMÉ

La capacité de nodulation chez le haricot est fonction de la présence de bactérie spécifique *rhizobium* et de la fertilité des sols notamment la disponibilité en phosphore. C'est ainsi que l'homme a inventé des techniques telles que la fertilisation et l'inoculation dans le but d'améliorer le rendement et la nodulation des légumineuses. Afin d'évaluer le potentiel de ces deux pratiques sur le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L), une étude a été menée dans la localité Prince située dans la commune de Cabaret au cours de la saison de printemps (décembre-mars) 2016. L'objectif principal de cette étude était de tester l'effet de la fertilisation et de l'inoculation sur le rendement et la nodulation chez trois variétés de haricot (AIFI, DPC-40, X-RAV-4-40). L'expérience a été effectuée dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complètement randomisé (DBCR) contenant 18 traitements et 4 répétitions (blocs). D'abord nous avons eu le facteur variétal qui contient trois modalités (AIFI, DPC-40, X-RAV), ensuite celui de l'inoculation avec deux modalités (Inoculé et non-Inoculé) enfin celui de la fertilisation et ses trois modalités (NPK, SPT, Témoin). Les résultats obtenus à partir de l'analyse de variance (ANOVA) ne nous a pas permis d'évaluer l'effet de la fertilisation phosphatée et de l'inoculation sur le rendement et la nodulation du haricot. Les trois variétés testées, qui font partie des variétés les plus diffusées en Haïti par le Service National Semencier (SNS) ne nodulent pas dans nos conditions d'expérience. Par contre, les résultats obtenus pour le rendement grains ($p=0.02$) ont montré que les variétés de l'étude ont donné une réponse plus favorable à l'apport de l'engrais complet. Ainsi, les résultats nous ont permis de trouver que l'application de l'engrais complet (NPK), l'engrais phosphaté et le Témoin ont produit en moyenne 0.89 t/ha, 0.79 t/ha, 0.63 t/ha respectivement dans l'ordre ascendant (NPK > SPT > Témoin). Au vu des résultats obtenus, il s'avère nécessaire de reconduire cet essai tout en incluant des variétés locales améliorées qui peuvent noduler dans les conditions des sols à pH alcalin.

Mots clés : *Phaseolus vulgaris*, fertilisation, inoculation, *rhizobium*, rendement, NPK, SPT, haricot, variété, facteur, nodulation.

ABSTRACT

Bean's nodulation capacity relies on the presence of specific *Rhizobium* bacteria and the soils' fertility in particular the phosphorus availability. Techniques such as: inoculation and fertilization have been invented my man to improve the nodulation and yield of legumes. In order to assess the potential of these two practices on the common bean (*Phaseolus vulgaris*), a study was conducted at Prince, a communal section located in the Cabaret Township during the spring season (December-March) 2016. The main objective of this study was to help improve the nodulation and yield of three bean varieties (AIFI, DPC-40, and X-RAV-4-40) by inoculation and fertilization. The experiment was carried out in a complete randomized design containing 18 treatments and 4 replications. First, we had the varietal factor that contained three levels (AIFI, DPC-40, X-RAV), followed by inoculation with two levels (Inoculated and non-Inoculated) and fertilization (Complete and phosphate fertilizer, control). The results obtained from the ANOVA did not evaluate the effect of inoculation and fertilization on nodulation and yield of the common bean. The three varieties tested, which are among the most widely varieties distributed in Haiti by the National Seed Service (SNS), have not been nodulated under the experimental conditions. On the other hand, the results obtained for the grain yield ($p = 0.02$) showed that the varieties of the study gave a more favorable response to the intake of the complete fertilizer. The results showed that the complete fertilizer application, phosphate fertilizer and control produced an average of 0.89 t / ha, 0.79 t / ha, 0.63 t / ha respectively in ascending order (NKP> SPT> Control). Based on the results obtained, it is necessary to repeat this test while including improved local varieties that can be nodulated in soils with an alkaline pH.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, fertilization, inoculation, *Rhizobium*, yield, NPK, SPT, bean, variety, factor, nodulation

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux.....	pages
1: Composition nutritionnelle des graines de haricot	4
2: Résumé des caractéristiques des variétés étudiées	17
3 : Composition chimique des engrais utilisés.....	20
4: Représentation d'analyse de variance de l'effet de la fertilisation et de l'inoculation sur les variables évaluées chez le haricot	31
5 : ANOVA poids moyen de 100 grains en fonction des variétés étudiées	32
6: Analyse deux a deux pour le poids moyen de 100 grains chez les variétés	34
7 : ANOVA variation du rendement en fertilisation et de La fertilisation	35
8 : Analyse deux a deux pour le rendement chez les variétés étudiées.....	37

LISTE DES FIGURES

Figures	pages
1: Zone de production du haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i> L) en Haïti.....	15
2: Carte de la commune de Cabaret	19
3: Schéma du dispositif expérimental	25
4: Représentation d'une unité expérimentale	26
5: Histogramme des résiduels pour le poids de 100 grains.....	33
6: Boîte à moustaches du poids de 100 grains en fonction des variétés	33
7 : Histogramme des résiduels pour le rendement grain.....	35
8: Boîte à moustaches du rendement grain en fonction de la fertilisation	36

LISTE DES PHOTOS

Photos.....	pages
1: Engrais complet NPK et SPT.....	20
2 : Présentation des milieux de culture pour la préparation de l'inoculum	21
3 : Présentation des milieux de culture après l'inoculation	21
4: Colonisation des milieux de culture en incubation.....	22
5: les étapes de l'inoculation des semences de haricot.....	22
6 : Délimitation du dispositif expérimental et formation des blocs	24
7 : La phase de plantation de l'expérience	27
8 : Vue partielle du dispositif et une unité expérimentale après un premier sarclage	28
9: Présentation de deux plantes au stade de floraison.....	28
10 : Détermination du nombre de gousse par plante et la pesée des grains récoltés	29
11 : Plantes présentant les symptômes de la mosaïque dorée.....	49
12: Présentation d'une image initiale et binarisée	51
13: Images présentant les différentes étapes.....	51
14: Capture d'écran des étapes aboutissant a l'échelle de mesure (témoin de taille)	52
15: Capture d'écran présentant les étapes aboutissant à l'analyse des particules (grains de haricot).	52

GLOSSAIRE

BCMV	Bean Common Mosaic Virus
BGMV	Bean Golden Mosaic Virus
CNSA	Coordination Nationale de la Sécurité Alimentaire
CRDD	Centre Rural de Développement Durable
DL	Degré de liberté
FAO	Food Agriculture Organisation (Organisation des Nations-Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
FSAE	Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Environnement
FERTIAL	Fertilisants Algérie
FYM	Farm Yard Manure (engrais de ferme)
GRET	Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques
H₀	Hypothèse nulle
H₁	Hypothèse alternative
IDIAF	Institut Dominicain de l'Agriculture et de Recherche Forestière
MARNDR	Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural
NS	Non significatif
N P K	Azote Phosphore Potassium
ORE	Organisation pour la Réhabilitation de l'Environnement
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PGPR	Plant Growth Promoting Rhizobacteria (Rhizobactéries favorisant la croissance des légumineuses)
pH	Potentiel hydrogène
RG A	Recensement Général Agricole

SPT	Super Phosphate Triple
SAU	Surface Agricole Utile
SCR	Somme carré des résiduels
SV	Source de Variation
SCM	Somme des carrés moyens
SNS	Service National Semencier
TM	Tonne Métrique
t/ha	Tonne à l'hectare

QUELQUES DÉFINITIONS

Dispositif Aléatoire complètement randomisé : Attribution complètement aléatoire des traitements dans un dispositif expérimental.

Dispositif expérimental : Ensemble des unités expérimentales placées dans les conditions d'une expérience ou encore une carte de règles désignant les traitements assignés aux unités expérimentales.

Répétition : Désignation d'un même traitement à plusieurs unités expérimentales.

Variété : Unité plus petite que la race, elle est issue de croisements multiples dont les individus présentent un trait commun dont elle a tiré de son ascendant.

Facteur : Tout élément comparable et de même nature et qui peuvent concourir à un résultat au cours d'une expérience.

Niveaux ou modalités : éléments qui constituent un facteur. Le premier terme est utilisé pour un facteur quantitatif et le second pour un facteur qualitatif.

Rhizobium : bactéries aérobies du sol qui vivent en symbiose avec les racines des légumineuses en fixant l'azote de l'air provoquant ainsi des nodosités. Dans cette relation les deux partenaires en tirent des bénéfices.

Inoculum : Introduction volontaire ou accidentelle d'un ou plusieurs micro-organismes (spores, fragments de mycélium ou de rhizobium, etc.) dans le corps ou dans un milieu de culture qui ont la capacité de se multiplier.

Nodule : Structure qui se forme au niveau des racines des légumineuses après l'infection de la plante par les bactéries fixatrices d'azote conférant à la plante la capacité à utiliser l'azote atmosphérique.

Stress abiotique : C'est un stress exercé par un changement de l'environnement comme une carence en phosphore ou une élévation de température.

Stress biotique : C'est un stress causé par l'action néfaste d'un agent pathogène dans l'organisme de la plante.

SOMMAIRE

ENCADREURS _____	II
DÉDICACES ET REMERCIEMENTS _____	III
RÉSUMÉ _____	IV
ABSTRACT _____	V
LISTE DES TABLEAUX _____	VI
LISTE DES FIGURES _____	VII
LISTE DES PHOTOS _____	VIII
GLOSSAIRE _____	IX
QUELQUES DÉFINITIONS _____	XI
INTRODUCTION _____	1
Objectifs de la recherche _____	2
I-REVUE BIBLIOGRAPHIQUE _____	4
1.1-Botanique du haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i>) _____	4
1.2- Exigences de la culture _____	5
1.2.1-Exigences climatiques _____	5
1.2.3-Exigences édaphiques _____	5
1.3-La fertilisation du haricot commun _____	5
1.3.1-Les besoins en NPK du haricot _____	5
1.3.2- Le besoin en phosphore du haricot _____	6
1.4-Effet de la fertilisation phosphatée et azotée sur le rendement des légumineuses _____	7
1.5-Effet de l'inoculation sur la nodulation et le rendement du haricot commun _____	8
1.6-Effet des facteurs abiotiques sur la nodulation et le rendement des légumineuses _____	8
1.6.1-Effet de l'interaction du pH et la salinité _____	8
1.6.2-Effet du pH acide et alcalin sur les souches de <i>Rhizobium</i> isolées _____	9
1.6.3-Stress hydrique _____	10
1.7-Effet des facteurs biotiques sur le rendement des légumineuses _____	11
1.7.1-L'antracnose _____	11
1.7.2-La rouille _____	12
1.7.3-La brûlure bactérienne _____	12
1.7.4-La mosaïque commune du haricot _____	12

1.7.5-La tache angulaire _____	13
1.8-Les dégâts causés par les insectes dans les graines _____	13
1.9-Importance des variétés améliorées _____	13
1.10-Les différentes zones de la culture du haricot (<i>Phaseolus vulgaris</i> L) en Haïti _____	14
1.11- Importance nutritionnelle du haricot dans l'alimentation humaine _____	15
II-MATÉRIELS ET MÉTHODES _____	16
2.1- Cadre physique de l'étude _____	16
2.2- Matériels de terrain _____	16
2.2.1- Choix des variétés à cultiver _____	16
2.2.1.1- Présentation et origine des variétés de l'étude _____	18
2.2.1.2- AIFIWURIFI _____	18
2.2.1.3- DPC-40 _____	18
2.2.1.4- X-RAV-4-40 _____	18
2.3- Engrais chimique NPK 12-12-20 et Super Phosphate Triple 0-46-0 _____	19
2.4- Matériels de laboratoire _____	20
2.5- Travaux au laboratoire _____	21
2.5.1- Méthode de préparation des milieux de culture _____	21
2.5.2- Préparation de l'inoculum liquide pour inoculer les semences présélectionnées _____	22
2.6- Méthodologie de la fertilisation _____	23
2.7- Choix de la parcelle expérimentale _____	23
2.7.1- Travail en champ _____	23
2.7.2- Formation des blocs et traitements _____	23
2.7.3- Mise en place du dispositif expérimental _____	24
2.7.4- Superficie du dispositif expérimental _____	26
2.7.5- Semis direct _____	26
2.8- Opérations après le ressemis _____	27
2.8.1- Détermination de la hauteur des jeunes plantes un mois après le semis _____	28
2.8.2- Méthodologie du prélèvement des nodules _____	28
2.8.3- Récolte _____	28
2.8.4-Poids total des gousses, nombre de gousses par pied, poids 100 grains _____	29
2.8.5-Traitement statistique des données collectées lors de l'expérience _____	29
2.8.6- Détermination de la taille d'une graine de haricot sur imageJ _____	30

III- RESULTATS _____	31
3.1-Les variétés utilisées non nodulées sous l'effet de la fertilisation (limite de la recherche) _____	32
3.2-Variation du poids moyen 100 grains chez les variétés _____	32
3.3-Effet de la fertilisation sur le rendement des variétés _____	35
IV- DISCUSSIONS _____	38
CONCLUSION _____	40
PERSPECTIVES _____	41
BIBLIOGRAPHIES _____	42
ANNEXES _____	49
Annexe 1 : Présentation des milieux de culture pour les bactéries _____	49
Annexe 2 : Photos de quelques plantes présentant des symptômes de maladies _____	49
Annexe 3 : Protocole de calcul de la taille d'une graine sur imageJ _____	49

INTRODUCTION

Le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L) appartenant à la famille des Fabacées, est la légumineuse à grain la plus cultivée en Amérique centrale et dans certains pays de l'Afrique. Car elle est une source importante de protéines et de calories. Elle constitue l'aliment de base des pays en voie de développement (Smithson et al 1993). En 2013, la production mondiale annuelle était estimée à environ 55 millions de TM (FAO-Stat, 2013)¹. En Haïti, le haricot est surtout consommé pour sa graine riche en protéines. La consommation peut se faire soit au stade vert, immature ; ou au stade sec (mature) pour en faire de la purée. Le haricot est souvent présent dans la ration alimentaire des Haïtiens. Il est une source de revenu qui permet aux agriculteurs de tirer profit de la récolte. D'où son importance économique et culturelle. Comme les autres légumineuses, le haricot a la capacité de fixer l'azote atmosphérique grâce à l'association symbiotique établie avec le *Rhizobium* qui le transforme en une forme assimilable par la plante. Cette association se traduit en la fabrication de nodules.

L'azote fait partie des éléments chimiques indispensables aux plantes pour assurer leur développement. Son effet positif sur la croissance et le rendement d'une plante est bien connu. Toutefois, même si l'apport d'azote permet d'augmenter le rendement des légumineuses (haricot commun), souvent nous constatons qu'il a un effet inhibiteur sur la nodulation de ces dernières (Abaidoo., 1989). A l'opposé, le phosphore lui-même est profitable pour la plante car il permet en absence d'azote de stimuler la nodulation et donc d'augmenter le rendement du haricot (Pramanik et al., 2009). La culture du haricot comme légumineuses contribue à enrichir le sol en azote. Cependant, la non disponibilité du phosphore est souvent considérée comme un facteur limitant le rendement et la nodulation des légumineuses notamment le haricot commun (Graham et al, 1981 ; Tang et al, 2001), ce qui peut être corrigé par la fertilisation.

La fertilisation est le processus consistant à apporter à un milieu de culture tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires au développement d'une plante. Elle fait l'objet de nombreuses études notamment celles de Pramanik et al, (2009); Sulieman et al, (2009) montrant sa capacité d'améliorer la nodulation et le rendement des légumineuses à grains (haricot, niébé, arachide). De même chez les légumineuses, l'inoculation est une technique destinée à introduire une bactérie spécifique (*Rhizobium*) dans l'organisme d'une plante-hôte. Plusieurs études

¹ www.faostat3.fao.org/browse/Q/QC/F.

réalisées antérieurement ont pu démontrer qu'elle joue un important rôle dans le processus de formation des nodosités chez les légumineuses (L'taief et al, 2002 ; Dita et al, 2006 ; Remans et al, 2007). La carence en P des sols peut affecter la croissance racinaire, la nodulation et le rendement des légumineuses (Graham et al.,1981).

Compte tenu de la carence du phosphore et un surplus d'azote peuvent entrainer une non nodulation et un faible rendement, nous nous demandons s'il existe un moyen de cultiver le haricot en diminuant le recours à l'engrais azoté tout en améliorant son rendement et sa nodulation. C'est dans cette perspective que la présente étude s'est proposée d'évaluer l'effet de la fertilisation (NPK, SPT) et de l'inoculation de trois variétés de haricot à Cabaret Prince. Diverses questions ont été posées. Est-ce-que l'inoculation va augmenter la nodulation chez les variétés ? Est-ce-que l'engrais phosphaté va améliorer la nodulation et le rendement des trois variétés ? Le traitement NPK pourra-t-il inhiber la formation des nodosités tout en augmentant le rendement des variétés ? L'intérêt de cette étude est de comprendre si la fertilisation et l'inoculation pourront améliorer la nodulation et le rendement du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*).

Dans le cadre de ce travail, trois hypothèses de recherche ont été retenues.

- ❖ L'application de l'inoculum sur les semences du haricot pourra augmenter la nodulation et le rendement des variétés étudiées.
- ❖ L'apport d'engrais phosphaté pourra stimuler la nodulation et le rendement de toutes les variétés étudiées en absence de l'azote.
- ❖ L'engrais NPK pourra inhiber la nodulation sachant que le rendement de chacune des variétés sera augmenté.

Objectifs de la recherche

Contribuer à améliorer la nodulation et le rendement de trois variétés de haricot (DPC-40, X-RAV, AIFI) par l'inoculation et la fertilisation. En outre, nous fixons plusieurs objectifs spécifiques qui découlent de notre objectif principal.

- ❖ Tester l'effet de l'inoculation sur la nodulation et le rendement du haricot commun
- ❖ Evaluer l'effet de la fertilisation phosphatée sur la nodulation et le rendement des variétés de l'étude.
- ❖ Analyser l'effet de la fertilisation azotée sur la nodulation et le rendement des variétés étudiées.
- ❖ Tester les effets de l'inoculation et des fertilisants sur les paramètres agronomiques

I-REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1-Botanique du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*)

Le haricot commun ou *Phaseolus vulgaris* est une plante annuelle appartenant à la famille des fabacées. C'est une plante dont certaines variétés ont une croissance déterminée et d'autres variétés ont une croissance indéterminée. Elle est cultivée principalement comme source de protéines pour la consommation humaine et animale. Les haricots du genre *Phaseolus* sont originaires d'Amérique Centrale et du Sud. Ils ont été domestiqués de manière indépendante en Amérique Centrale et l'Amérique du Sud pour ensuite être transportés vers d'autres continents (Bernal et Graham, 2001). Le haricot commun est une plante diploïde contenant 11 paires de chromosomes (Maréchal et al. (1978) cité par Baudoin et al. (2002)). Ces fleurs peuvent être blanches, roses ou violettes. La plante présente un système racinaire très développé constitué de racines primaires, secondaires et tertiaires. Elle est généralement à racines pivotantes mais on trouve des racines adventives longues de 10 à 15 cm qui se développent sur toute l'étendue de la racine principale (Guene, 2002). Les fleurs sont composées de dix étamines et d'un sac qui contient plusieurs ovaires. Généralement, elles s'autofécondent et produisent une gousse (fruit) droite ou un peu courbée. Elles sont portées en grappes axillaires et terminales. La couleur de la fleur est le plus souvent indépendante de celle des graines (Faghire, 2012). La graine est sans albumen elle est riche en protéines et en glucide, dépendamment de la variété. Elle peut avoir plusieurs formes variées parmi lesquelles nous pouvons citer : elliptiques, aplaties, ovoïdes, réniformes ou encore arrondies (Guene, 2002).

Tableau 1: Composition nutritionnelle des graines de haricot

Composés	Teneurs (%)
Protéines	25-30
Glucides	58-63
Lipides	7-17

Source : Guene, 2002

1.2- Exigences de la culture

1.2.1-Exigences climatiques

Pour obtenir une bonne production, les précipitations doivent être modérées mais bien réparties, 80 à 120 mm pendant la croissance végétative et 40 à 60 mm de pluie lors de la fructification. Chez le haricot pour que la germination puisse avoir lieu il faut une température optimale qui se situe entre 25 et 30°C. Lorsque la température se situe dans cet intervalle, la plante se développe très bien. Le haricot commun peut se cultiver en basse altitudes pendant les mois frais ou la pluviométrie moyenne au cours de la saison de croissance se situe entre 250 à 400 mm de pluie. Les températures supérieures à 30°C peuvent affecter défavorablement la productivité de la plante (Brink et Beley., 2006)

1.2.3-Exigences édaphiques

Le haricot préfère les sols légers moyennement lourds et bien drainés à une profondeur de 0.5 m, avec un pH neutre qui se situe dans une fourchette de 6.0 à 7.5. La plante est très sensible à la salinité et la sécheresse. Les sols ferralitiques acides sont les moins appropriés pour cette culture (Brink et Beley., 2006). Les pH extrêmes peuvent affecter les deux partenaires symbiotiques car les *rhizobia* sont des bactéries neutrophiles (Bordeleau et al., 1994). Le haricot est une légumineuse très exigeante en azote.

1.3-La fertilisation du haricot commun

1.3.1-Les besoins en NPK du haricot

La fertilité du sol peut se définir comme la capacité que possède un sol de fournir les éléments nutritifs essentiels tels que le phosphore, l'azote et le potassium. Celle-ci permet le développement et la croissance d'une culture donnée. Ce concept a été déjà discuté dans la revue de littérature en vue de trouver une définition basée sur des pratiques agronomiques. C'est ainsi que Petzel et al (2000) la définit comme étant la potentialité d'un sol de donner des meilleurs rendements chez une plante. Le haricot comme toutes autres légumineuses a des besoins en éléments nutritifs (N P K) pour sa bonne croissance et son développement. C'est une plante peu exigeante surtout lorsqu'elle a déjà été cultivée sur un sol. La fixation biologique de l'azote apporte plus de 15 kg N/ha et peut fournir 200 kg N/ha (Rabat, 2003). Plusieurs études menées

sur le dosage de l'engrais NPK notamment celle de Chamberland (1982) a montré que cet engrais a un effet marqué sur le rendement du haricot. Ces résultats lui a permis de trouver une dose d'azote de 22 kg de N/ha dans un sol moyennement fertile, plus que 60 kg de P et K dans un sol pauvre et 20 kg de N/ha dans un sol riche. Par ailleurs, Shubhashree et al. (2011) ont signalé que la dose de 120, 75, 60 kg de NPK /ha a significativement augmenté le rendement grain du haricot. Des résultats similaires ont été obtenus avec la dose de 120, 75, et 60 kg de NPK /ha. Par contre la dose optimale économique a été trouvée avec la combinaison de 80, 75, et 30 kg de NPK /ha Alagundagi et al (2011). Selon Fertial (2010), le haricot a un besoin en éléments nutritifs qui se situe autour de 30 kg N/ha, 90 kg de P₂O₅ /ha et 120 K₂O qui doit-être apporté au moment de la préparation du sol juste avant le semis. D'après une étude menée par Hylkema (2011) le haricot a un besoin en éléments nutritifs de 67-105-105 kg de N-P₂O₅-K₂O par hectare.

1.3.2- Le besoin en phosphore du haricot

Comme toutes autres plantes, le haricot a ses besoins en éléments nutritifs notamment le phosphore. Le phosphore peut être apporté sous forme de superphosphate. Ce dernier joue un rôle dans la nodulation des légumineuses notamment le haricot commun (Pramanik et al 2009). Le développement du système racinaire de la plante contribue à la photosynthèse, la fructification et la maturation des graines. Lorsque le système racinaire de la plante est bien développé cela facilite la nutrition hydrominérale chez la plante (Fertial, 2010). Toutefois les études menées sur la dose d'engrais phosphatée appliquées sont différentes les unes des autres.

Chamberland, en 1982 a souligné que la dose d'engrais à apporter à une culture varie en fonction de la fertilité du sol et de la région. C'est ainsi que Mohammed et Turuko (2014) ont mentionné que la dose de 20 kg d'engrais phosphatée est idéale pour donner un rendement optimum chez le haricot. Pourtant, Mesfin et al (2014) ont trouvé que la dose de phosphate de 30 kg/ha est suffisante pour l'amélioration du rendement et des composantes du rendement du haricot commun. Pour aller plus loin Monshtagh et Aminpanah (2015) ont indiqué que l'engrais phosphaté appliqué à 100 kg/ha peut améliorer le rendement du haricot et que le nombre de gousse total a été augmenté à 33% lorsque le phosphore a été appliqué de 0 à 100 kg/ha.

1.4-Effet de la fertilisation phosphatée et azotée sur le rendement des légumineuses

En agriculture, la fertilisation est un procédé par lequel l'homme apporte à une plante les éléments minéraux nécessaires (NPK) pour améliorer son rendement. Parmi toutes les contraintes liées à la culture des légumineuses, l'infertilité des sols, particulièrement la carence en phosphore semble être le facteur le plus limitant. Plusieurs auteurs l'ont considéré comme l'élément le plus important intervenant dans la formation des nodosités chez les légumineuses à grains (Graham., 1981 ; Graham et Chaverra., 1993; Vadez et al, 1999). L'azote est l'un des facteurs limitant la croissance et le nombre de nodule chez les légumineuses (Abaïdoo et al 1889), grâce à une association symbiotique développée avec le *Rhizobium*.

Selon Pramanik et al, (2009), la fertilisation phosphatée sur les légumineuses favorise la croissance nodulaire et que son poids frais et sec augmente avec des doses croissantes de superphosphate (18, 27,36 kg/ha). Cependant, les résultats de cette même étude indiquent que l'apport de superphosphate n'a exercé aucun effet significatif sur la hauteur des plantes durant la phase de croissance. Ils soulignent que l'interaction des légumineuses et la fertilisation phosphatée a été trouvée non significative.

En outre Sulieman et al, (2009) soulignent que l'engrais phosphaté et le fumier de ferme ont favorisé une très bonne formation des nodosités chez le haricot commun. Ils ont vérifié que l'application du fumier de ferme produit plus de nodules par rapport aux témoins. En ce qui a trait aux rendements et ses différentes composantes les deux fertilisants (SPT, FYM) n'affectent pas de manière significative le rendement du haricot. Par ailleurs, l'apport des différents types de fertilisants organiques et inorganiques peuvent affecter la croissance et la productivité du haricot (Singh et al 2011).

Ils indiquent que la combinaison de divers types de fertilisants (NPK et vermi-compost) affecte très significativement le poids des gousses du haricot. Toutefois, ils affirment que l'application du vermi-compost a réduit considérablement le nombre de nodules, leur poids frais et sec. Les champignons du compost rentrent en compétition avec les bactéries du sol à la recherche d'une même source de nutriment (carbone), les empêchant ainsi de coloniser le milieu pour infecter la plante hôte.

1.5-Effet de l'inoculation sur la nodulation et le rendement du haricot commun

Chez les légumineuses, l'inoculation par le *Rhizobium* des nodules est une méthode qui consiste à multiplier dans un milieu de culture des bactéries spécifiques pour permettre l'amélioration de leur nodulation. Les légumineuses, grâce à leur association développée avec le *Rhizobium*, captent l'azote de l'air pour le transformer en azote moléculaire. L'inoculation et la fertilisation phosphatée ont fait l'objet de nombreuses études montrant leur capacité de renforcer la nodulation et le rendement chez le haricot (Figueiredo et al, 2007 ; Milton et al, 2000). L'étude menée par Musandu et al (2001), a montré que l'inoculation n'a exercé aucune influence sur les variables mesurées (hauteur, poids de 1000 grains, le rendement grain). Par contre, la fertilisation phosphatée a augmenté le rendement et ses composantes de manière très significative. De même, l'apport d'engrais azoté à différentes doses a aussi augmenté le rendement grain chez les cultivars étudiés. Par contre, L'taief et al., (2002) ont souligné que l'inoculation a augmenté la biomasse nodulaire dépendamment du site d'expérimentation. Les traitements inoculés ont conduit à une amélioration modérée de la croissance des nodules chez le haricot, alors que l'engrais azoté a entraîné une diminution de la nodulation mais augmente le rendement chez les variétés étudiées. Des résultats similaires ont été observés par Zafar et al (2011) sur l'inoculation par le PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) (Rhizobactéries favorisant la croissance des légumineuses)) a augmenté le nombre de nodules ainsi que leur poids frais et sec.

1.6-Effet des facteurs abiotiques sur la nodulation et le rendement des légumineuses

1.6.1-Effet de l'interaction du pH et la salinité

La fixation biologique de l'azote est un phénomène connu chez toutes les légumineuses. Pour que la symbiose puisse avoir lieu il y a un ensemble de facteurs tels que le pH, la salinité, la déficience en éléments nutritifs, les herbicides, les autres micro-organismes du sol, les antécédents culturaux qui peuvent soit inhiber ou concurrencer la nodulation (Dowling et Broughton ,1981). Cette symbiose dépend de la plante-hôte et du *Rhizobium* mais celle-ci peut être également limitée par les facteurs pédoclimatiques (acidité, sol ferrallitique) et environnementaux tels que la salinité du sol, le pH et l'élévation de température (Bordeleau et Prévost 1994). Les recherches scientifiques sur les facteurs environnementaux et pédoclimatiques susceptibles d'affecter le processus de formation des nodules sont largement documentés. De nombreuses études menées sous serre nous font voir que le pH, la salinité, l'élévation de

température sont considérés comme des facteurs qui influent négativement sur la nodulation du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L). Shameseldin et Werner (2005) dans leur étude menée en Égypte en testant les nouvelles souches de *Rhizobium* pour leur capacité à noduler sous le pH alcalin et la salinité ont démontré que parmi les souches testées certaines étaient plus tolérantes à la salinité que d'autres. Ils ont observé que certaines souches n'ont pas nodulé sous l'effet de l'alcalinité. Ils ont aussi testé l'effet de la variation du pH sur la nodulation et les résultats obtenus ont montré que certaines souches étaient plus tolérantes au pH alcalin que d'autres. Cependant ils trouvent que les souches tolérantes à forte concentration saline résistaient à un pH alcalin et nodulaient normalement.

En effet, l'étude menée par Surange et al (1997) a donné des résultats différents de la précédente étude. Ils ont trouvé que certaines souches de (*Rhizobium*) peuvent développer jusqu'à un pH très élevé (pH > 12). D'autre part les souches testées sont toutes tolérantes à des concentrations en sel allant jusqu'à 5 % et qu'au delà de 7.5 % la croissance nodulaire est arrêtée. Ils ont observé que les souches de *Rhizobium* plus sensibles aux stress salin produisent moins de nodules que celles tolérantes au sel. De même, les résultats de l'étude réalisée par Vargas et Graham (1989) sont similaires avec la précédente étude. Ils soulignent que les souches de *Rhizobium* tolérantes à l'acidité étaient dominantes car elles donnent plus de nodules que les souches moins tolérantes. Ils ont aussi trouvé que le pH influe sur la nodulation mais non pas la survie des colonies de *Rhizobium*. Pour aller plus loin, ils ont trouvé une interaction significative du pH et des cultivars. La variation du pH (4.5 à 6.0) a augmenté le nombre de nodules, leur poids frais et sec mais également la croissance des plantes.

1.6.2-Effet du pH acide et alcalin sur les souches de *Rhizobium* isolées

Les bactéries nodulant les légumineuses plus particulièrement le haricot sont connues sous le nom de *Rhizobium* sont étudiées dans les recherches scientifiques. De nombreuses études effectuées sur le comportement des *rhizobia* face aux différents types de pH (alcalin, acide) favorisent la croissance nodulaire des légumineuses (Ben Rebah et al 2001 ; Abdullah et Falih 2002). C'est ainsi que Graham et Vance (2003) ont démontré que le pH du sol est un facteur limitant la fixation symbiotique de l'azote. Ils ont observé que le pH optimum pour la croissance des *rhizobia* varie entre 5.8 et 7.2 mais cette croissance est fonction des espèces de *Rhizobium* utilisées. L'étude menée par Mmolotsi et al (2012) a montré que le haricot peut s'adapter à un

pH qui varie entre 6 et 7 et que la croissance des bactéries nodulant le haricot (*Rhizobium*) est plus rapide. Ils ont pu observer également que la croissance des souches natives diminue avec le temps. L'alcalinité est l'un des problèmes majeurs qui peut entraîner de faibles rendements et de nodulation chez les légumineuses plus précisément le haricot commun (Vlassak et Vanderleyden, 1997 ; Graham et Vance, 2003).

Cependant grâce à de nouvelles recherches, ils ont fini par trouver des moyens de créer des souches pouvant résister à cette contrainte (alcalinité). Pour illustrer, l'étude de Shamseldin et Werner (2004) a montré que les souches *EBRI 21 et EBRI26* sont plus tolérantes au pH alcalin que les souches des populations de *Rhizobium* natives. D'autres souches par exemple *CIAT 899* étaient plus tolérantes à un pH acide. La tolérance d'une souche peut-être liée aux conditions de pH (acide ou alcalin) dans lesquelles elles ont été isolées.

1.6.3-Stress hydrique

En agriculture les stress abiotiques sont des facteurs qui peuvent affecter le rendement et la productivité chez les légumineuses notamment le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). Beaucoup de travaux de recherches ont été menés dans le but de contrôler les facteurs abiotiques susceptibles d'entraîner des pertes énormes de rendement. D'après une étude réalisée par Reddy et al (2004) les plantes soumises aux stress abiotiques sont plus vulnérables aux mauvaises herbes, insectes et maladies qui peuvent influencer négativement sur leur rendement. Miguel et al (2006) soulignent de leur côté que toutes les cultures faites sur 90 % des terres arables sont soumises à une ou plusieurs contraintes environnementales (salinité, températures extrêmes stress hydrique etc..). Ils ont remarqué que le stress hydrique était le principal facteur susceptible d'affecter le rendement des cultures à l'échelle mondiale.

Lizana et al (2005) ont montré que le stress hydrique a entraîné une diminution du rendement chez les deux variétés de haricot étudiées. Ils ont observé qu'en condition de stress hydrique le rendement en grain de l'une des variétés a diminué de 72 % par rapport aux conditions d'arrosage normale. Cependant, ils ont trouvé que le stress hydrique n'a pas modifié significativement la date de floraison, la récolte, le poids des graines des variétés étudiées. Par contre, ils ont souligné que le nombre de gousses et de grains par plante ont été diminués de manière significative.

En effet Schneider et al, (1997) ont évalué deux populations de haricot issues de croisement parenté dans le but de tester leur capacité à résister au stress hydrique. Ils ont trouvé une différence au niveau du rendement entre ces deux populations, mais dépendamment de l'environnement et du stress hydrique soumise mais aucune différence de rendement n'a été observée. Par contre une différence de rendement a été trouvée pour les variétés lorsqu'elles sont soumises aux conditions de stress. Le stress hydrique les a permis de trouver une différence au niveau du rendement moyen de chacune des variétés étudiées. Eman et al. (2010) ont obtenu des résultats similaires vérifiant que le stress hydrique a affecté le rendement de manière significative.

1.7-Effet des facteurs biotiques sur le rendement des légumineuses

Les stress biotiques peuvent entraîner des pertes énormes de rendement chez les légumineuses car elles peuvent affecter de manière négative leur productivité et leur nodosité (Dita et al, 2006). Les agents pathogènes responsables de la prolifération des maladies chez les légumineuses sous le climat tempéré ou tropical sont nombreux. Souvent la chaleur et l'humidité favorisent le développement de ces agents durant la phase de plantation de 2 à 3 cycles de reproduction par année dans un même site de reproduction (Graham et Ranalli, 1997). Les agents pathogènes d'une importance majeure incluent :

1.7.1-L'anthracnose

C'est une maladie très répandue chez le haricot commun. Elle est transmise par un champignon connu sous le nom de *Colletotrichum lindemuthianum*. Elle peut entraîner la perte totale de la plante. Lorsque les semences sont contaminées les conditions de croissance de la maladie sont très favorables. Lorsque de nouvelles races de bactéries apparaissent elle reste une maladie occasionnellement importante. Les moyens de lutter efficacement contre le développement de l'anthracnose est l'utilisation des variétés résistantes ou l'utilisation de fongicides homologués (Wortmann et al, 1998 ; Buruchara et al, 2010).

1.7.2-La rouille

On trouve la rouille chez le haricot commun comme sur d'autres espèces de légumineuses tel que le vigna. Elle est causée par un champignon appelé *Uromyces appendiculatus var appendiculatus*. Elle présente partout où le haricot est cultivé mais cause peu de dommages sur la plante. Chez les variétés à rames la rouille, elle a déjà causé de problèmes majeurs (baisse de rendement grain, réduction de la surface foliaire). Les variétés naines sont plus résistantes à la rouille. Les pertes dues à la rouille peuvent être réduites par la rotation de culture. L'usage des cultivars résistants est aussi un moyen de lutter contre la rouille (Wortmann et al 1998 ; Buruchara et al 2010).

1.7.3-La brûlure bactérienne

La brûlure bactérienne est une maladie qui affecte les haricots et certaines autres légumineuses *Xanthomonas campestris pv phaseoli*. Alors que l'agent pathogène de la tache brune a une large gamme d'hôtes réparties entre plusieurs familles végétales. Les premiers symptômes de la brûlure bactérienne apparaissent sur la face inférieure des feuilles sous forme de petites taches d'aspects graisseux qui deviennent nécrotiques et entourées d'une zone de tissu jaune verdâtre. Les graines infectées peuvent ne présenter aucun symptôme, ou être ridées et avoir une germination et une vigueur faible. La nodulation des racines est réduite. La pratique de la rotation de culture pourrait réduire le développement de la maladie (Wortmann., 1998 ; Buruchara et al 2010).

1.7.4-La mosaïque commune du haricot

La mosaïque commune du haricot est une maladie virale qui peut entraîner des pertes de rendement très élevées, voire même totales chez les légumineuses à grains (haricot commun). Les hôtes naturels du virus comptent le haricot sec, plusieurs autres espèces du genre *Phaseolus* et le *Rhynchosia minima*. Cette maladie peut entraîner des pertes de rendement en gousses et grains chez le haricot. Pour lutter contre le développement de la maladie, nous utilisons les variétés améliorées lorsque les variétés résistantes ne sont pas présentes. Il ne faut pas cultiver les cultures qui abritent les grandes populations de puceron (Wortmann., 998 ; Buruchara et al 2010).

1.7.5-La tache angulaire

Les maladies des taches angulaires causées par (*Phaeoisariopsis de griseola*) constituent l'une des contraintes pathologiques majeures dans la production des légumineuses (haricot commun) (Buruchara et al 2010) les pertes de rendement dues a cette maladie ont été estimées a environ 50 % aux Etats-Unis ,70 % au Brésil (De Jésus et al 2001). L'une des moyens de lutte efficace contre cette maladie est l'utilisation des variétés résistantes (Buruchara et al. 2010 ; Ferreira et al., 2013).

1.8-Les dégâts causés par les insectes dans les graines

Certaines de ces maladies sont transmises par les semences et cela pose des problèmes majeurs dans la production du haricot. Certains de ces agents tels que les foreuses des gousses *Maruca testulalis* et les punaises *Clavigralla* spp. *Anoplocnemis* sp. *Riptortus* sp. *Nezara viridula* peuvent provoquer des dégâts considérables dans les stocks des graines (Charrier et al 1997). Les facteurs biotiques et abiotiques peuvent affecter le processus de formation des nodosités, la vigueur, la qualité nutritionnelle des graines jusqu'à ce qu'ils arrivent à atteindre la plante mère (Amanpour-Balaneji et Sedghi ., 2012).

1.9-Importance des variétés améliorées

L'amélioration des plantes est un procédé utilisé pour la création de nouvelles variétés pour répondre aux besoins de l'agriculteur et de tous les utilisateurs du produit récolté (CIRAD-GRET, 2002). Elle peut se définir comme le transfert des gènes d'une plante à une autre grâce au progrès du génie génétique (Demarly, 1977 cité par CIRAD-GRET, 2002). L'application des lois de Mendel en 1900 donnant lieu à une véritable sélection depuis lors l'homme n'a pas cessé de créer de nouvelles variétés pour satisfaire leur besoin. Le sélectionneur a crée des variétés qui peuvent donner de meilleur rendement susceptible aux attaques d'insectes et des maladies (Charrier et al., 1997). Les premiers travaux d'amélioration variétale effectués sur le croisement du haricot commun ont été réalisés avec les deux espèces à savoir *P. coccineus* L. et *P. polyanthus* qui sont génétiquement plus proches de *Phaseolus vulgaris*. Ces croisements ont été faits dans le but d'introduire des gènes qui favoriseraient une meilleure transmission des caractères vers l'espèce *Phaseolus vulgaris* (Busogoro et al. 1999 ; Baudoin, 2001). D'où l'amélioration variétale a toute son importance dans la production des légumineuses. Selon le travail de recherche de Baudouin 2001, « Toute sélection variétale devra nécessairement tirer

parti de l'ensemble des pools géniques disponibles au niveau de chaque cultigène. Le matériel de départ sera constitué soit de vastes populations intraspécifiques (incluant variétés de terroir et formes sauvages), soit de populations hybrides interspécifiques.» En Haïti, généralement les paysans utilisent les variétés traditionnelles ou locales et les variétés améliorées pour cultiver leur champ. Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé trois variétés de haricot amélioré (DPC-40, AIFI, X-RAV-4-40) qui ont été testées pour leur capacité de résister aux attaques d'insectes, des maladies et leur capacité de produire de meilleur rendement.

1.10-Les différentes zones de la culture du haricot (*Phaseolus vulgaris* L) en Haïti

Le haricot est la légumineuse la plus cultivée en Haïti car on le trouve dans presque tous les départements du pays. En 2004 les superficies emblavées étaient estimées à 95 milles hectares et le rendement moyen enregistré était de 0.6 tonne à l'hectare (CNSA /MERNDR, 2012). La production totale annuelle était de 62000 TM. Le haricot est cultivé dans les plaines irriguées, les montagnes humides du pays avec deux saisons de culture dont l'une se fait en plaine et l'autre en montagne (FOA /PAM, 2005). Tandis qu'en 2009 les superficies emblavées étaient de 247 milles hectares soit 59.6 % de la Surface Agricole Utile (SAU) totale des légumineuses cultivées (RGA ,2009). Cette superficie a augmenté pour le printemps 2012 ou la production annuelle était estimée à 103149,8 TM (RGA, 2009). Toutefois, il faut dire que la campagne de 2012 était marquée par la sécheresse qui a provoqué une baisse de la superficie et du rendement du haricot. En monoculture le haricot représente 73.4 % de la SAU totale des légumineuses.

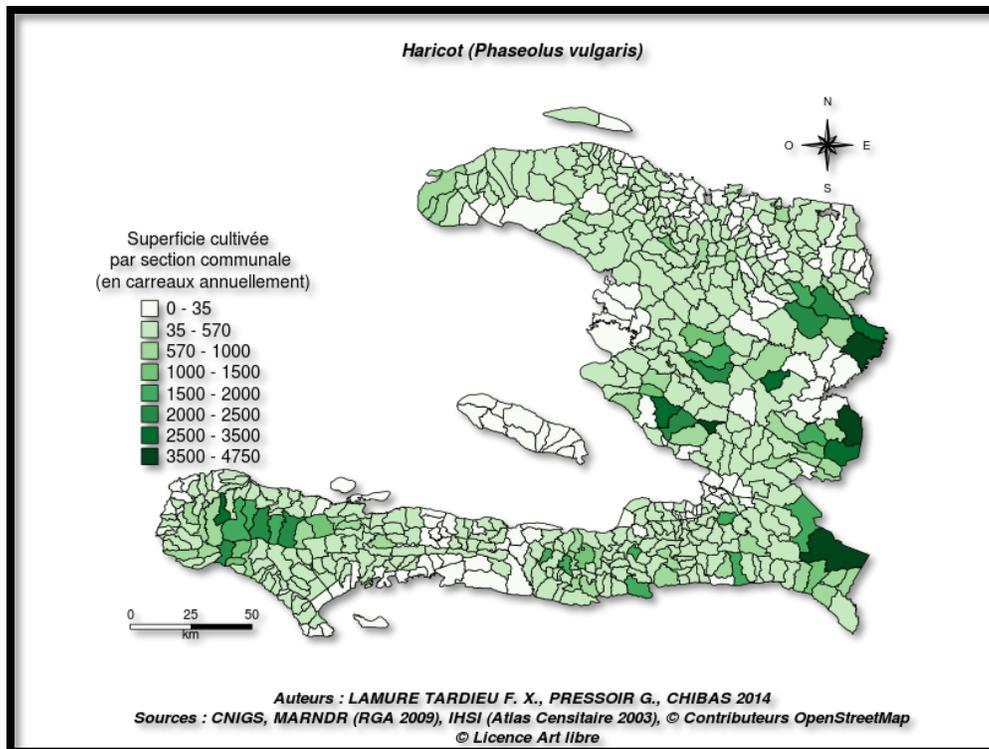


Figure 1: Zone de production du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) en Haïti

1.11- Importance nutritionnelle du haricot dans l'alimentation humaine

Le haricot, comme toutes les autres légumineuses, est une graine protéagineuse qui a une grande valeur nutritive. Elle est cultivée pour sa richesse en protéines. Les graines de *Phaseolus vulgaris* contiennent des protéines globulines qui représentent 40 à 60% des protéines totales. Les globulines et les albumines sont les principaux composés de la phaséoline (Leterme et al. 2010). Il fait partie de l'un des groupes de légumineuses apportant à la fois des protéines et un grand nombre de sels minéraux (calcium, fer, potassium, phosphore et azote) jouant ainsi un rôle important dans l'alimentation. Dans sa graine, nous retrouvons toute la chaîne des acides aminés-essentiels et non-essentiels à des proportions inégales (Bliss et Brown 1983 ; Leterme et al. 2010). La graine du haricot sec contient 30 % de protéine, 63 % de glucides et 17 % de lipides (Guene, 2002).

II-MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1- Cadre physique de l'étude

Cette étude a été réalisée durant la période du mois de décembre à mars à Garyche Prince une localité de la commune de Cabaret. Elle est située dans le département de l'Ouest à environ de 35 kilomètres du centre-ville de Port-au-Prince. Cette commune constitue une vaste plaine côtière de 20 km de long et de 5 km de large. Ses coordonnées géographiques se situent entre 72° 41 et 72°51 de longitude Ouest et 18° 74 et 18°76 de latitude Nord. Elle a une pluviométrie annuelle qui varie entre 900 et 1000 mm avec deux saisons pluvieuses (CHIBAS, 2012). Cette zone est caractérisée par un climat tropical et sa température moyenne annuelle est située entre 25 et 27° C. Les types de sol prédominant la commune de Cabaret sont : les Inceptisols et les Entisols développés sur des sédiments d'origine fluviale (Jeune et al, 2015)²

2.2- Matériels de terrain

Pour mener à bien cette étude nous avons utilisé plusieurs matériels tels que :

- Une machette pour nettoyer le site
- Une houe pour tracer les parcelles et faire les billons
- Un ruban métrique pour prendre les mesures avec précision
- Une ficelle et des piquets de bois pour délimiter les parcelles
- Une balance commerciale pour prendre le poids de 100 grains a la récolte
- Une camera numérique pour la prise des photos pour durant l'expérience
- Une feuille de silotex, peinture et pinceau pour la numérotation des parcelles

2.2.1- Choix des variétés à cultiver

Dans le cadre de cet essai expérimental, nous avons utilisé trois variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*): AIFI, DPC-40 et X-RAV. Ces variétés ont été déjà testées à travers des essais effectués dans les stations expérimentales de Damien. Elles ont toutes un cycle cultural similaire (récolte 90 jours après semis). Nous les avons utilisés en raison de leurs cycles culturaux, leurs potentiels rendements, leurs résistances aux maladies et aux attaques d'insecte. Nous présentons les caractéristiques des variétés étudiées dans le tableau 2.

² Jeune et al, thèse de doctorat 2015 p 187

Tableau 2: Résumé des caractéristiques des variétés étudiées

Variétés	Maturité physiologiques (jours après semis)	Date de floraison (jours après semis)	Nombre de grain par gousse	Habitus de croissance	Poids de 100 grains (gramme)	Hauteur des plantes (cm)	Couleur des graines	Couleur des fleurs	Rendement (T/ha)
DPC-40	70	37	7	Type II	20	70	Noire opaque	Violette	1.75
X-RAV-4-40	63	37	6	Type II	17	67	Noire opaque	Violette	2
AIFI	66	36	7	Type II	22	35	Noire opaque	Violette	1.75

Source : informations tirées dans la fiche technique proposée par le SNS et l'IDIAF, 2013

2.2.1.1- Présentation et origine des variétés de l'étude

2.2.1.2- AIFIWURIFI

Elle a été développée au Honduras à l'école Panaméricaine de l'agriculture en croisant plusieurs lignées sœurs avec des sources résistantes à la mosaïque dorée, la tache angulaire et le rhizoctone. C'est une variété précoce avec un potentiel de rendement élevé et résistante à la mosaïque dorée. En Haïti, elle est actuellement l'une des variétés les plus demandées. Elle a été évaluée au Honduras au cours des années 2006-2009 et sa vulgarisation a eu lieu en 2010. Evaluer périodiquement la récolte pour établir le niveau des dommages causés par les ravageurs et les maladies.³

2.2.1.3- DPC-40

Son nom vient de la thèse de Dr Dermot P .Coyne de l'Université Nebraska des Etats-Unis d'Amérique. Elle est issue de croisements multiples de deux lignées sœurs avancées de X-RAV (PR9603-22, RAVEN). La première lignée a un gène récessif résistant à la chlorose et un gène dominant résistant à la déformation de la graine. DPC-40 est une variété de haricot noir développée par l'Institut Dominicain de l'Agriculture et de la recherche Forestière (IDIAF). Elle a été créée dans le but de maintenir la baisse de production causée par les pertes dues aux maladies et de résister à la sécheresse. Elle a été évaluée en République Dominicaine, Honduras, Porto Rico, Royaume Unis et Haïti. Elle peut donner jusqu'à 2.5 t/ha selon le système de fertilisation et d'irrigation pratiquée⁴. Elle a produit 1.5 t/ha dans les essais expérimentaux menés dans les stations expérimentales de Damien (SNS, 2013).

2.2.1.4- X-RAV-4-40

X-RAV est une variété issue de multiples croisements de deux lignées (PR003-124 et DOR-483). Sa publication a été faite grâce à un partenariat de l'Université de Porto Rico et de l'Université Nebraska. DOR-483 a été choisie pour sa résistance aux BGYMV (Bean golden Yellow Mosaic Virus), pourriture des racines, tolérance à la chaleur ainsi que la lignée PR003-124. RAVEN est un cultivar noir développé dans la station expérimentale de Michigan et elle a été sélectionnée pour s'adapter aux climats des pays tropicaux. Les essais effectués ont montré

³ Fiche technique proposé par le service national de semencier (SNS) placé sous la tutelle MARNDR

⁴ Source: fiche technique proposée par L'IDIAF.

qu'elle résistante aux attaques des insectes et ravageurs et aux multiples maladies communes du haricot sous le tropique (Prophète, communication personnelle). La variété X-RAV a été évaluée dans les essais menés à Porto Rico, République, Dominicaine et Haïti. Elle a produit un rendement moyen de 2 t/ha qui est similaire aux deux cultivars susmentionnés (DPC-40 2 t/ha et AIFI 1.88 t/ha).⁵ .Nous allons présenter une carte de la commune de Cabaret (figure 2).

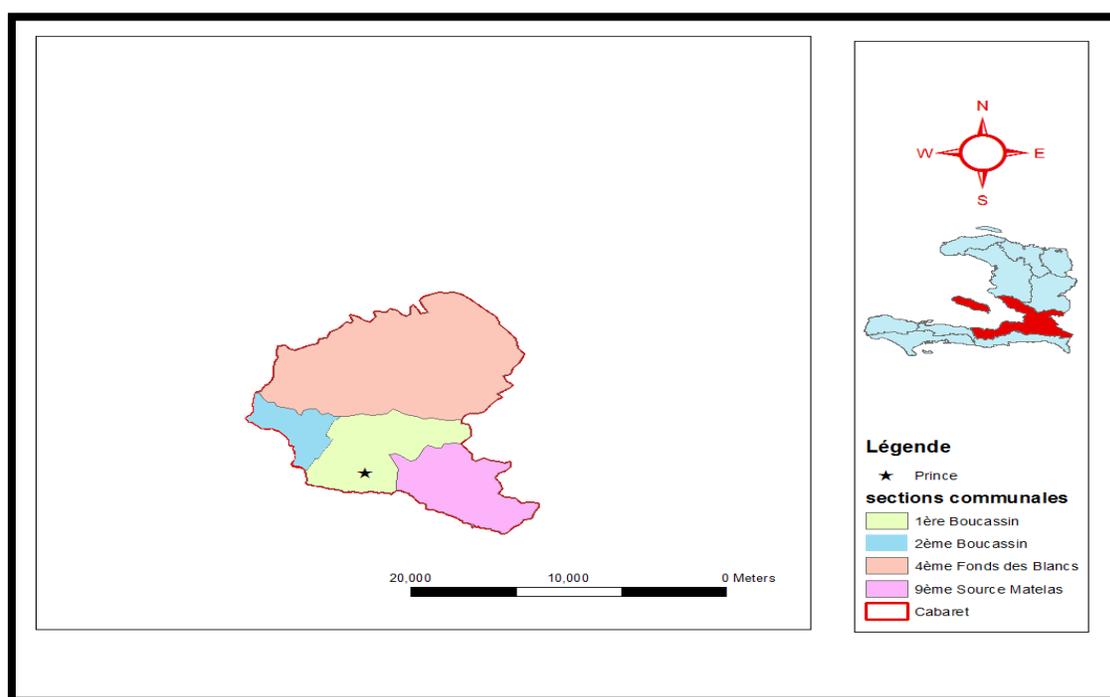


Figure 2: Carte de la commune de Cabaret

Réalisée par Jean Wisguen Inozile (CHIBAS ,2016)

2.3- Engrais chimique NPK 12-12-20 et Super Phosphate Triple 0-46-0

Pour fertiliser le sol, nous avons utilisé deux types d'engrais dont l'un est un engrais complet et l'autre un engrais phosphaté. Nous avons utilisé 7.392 kg de NPK qui correspond à 550 kg/ha et 2.191 kg de SPT qui correspond à 228.26 kg/ha. Les caractéristiques de ces deux types d'engrais se trouvent dans le tableau ci-dessous (tableau 3). La photo 1 présente l'aspect (couleur, forme) des fertilisants utilisés.

⁵ Fiche technique proposé par le service national de semencier (SNS) placé sous la tutelle du MARNDR

Photo 1: Engrais complet NPK et SPT



Tableau 3 : Composition chimique des engrais utilisés

Nom commercial	Azote disponible (N)	Phosphate disponible (P ₂ O ₅)	Potassium disponible (K ₂ O)	Aspect	Couleur	Fabriquant
NPK 12-12-20	12	12	20	Grain	Rouge Brune Blanche	Fertilisantes Santo Domingo SA
Super Phosphate Triple (SPT) 46%	0	46	0	Grain	Grise	Fertilisantes Santo Domingo SA

2.4- Matériels de laboratoire

- Tube graduée
- Erlenmeyer
- Boites de pétri
- Lame et lamelle
- Eau distillée
- Alcool 95°C
- Microscope électronique
- Anse à platine
- Gants
- Broyeur

2.5- Travaux au laboratoire

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons collecté les nodules sur deux variétés de haricot créées par le projet ORE dans la commune de Camp Perrin. Les nodules ont été lavés et séchés hors soleil dans un endroit propre. Après les avoir détachés de ses racines, nous les avons conservés dans un récipient fermé au frigo pendant dix jours.

2.5.1- Méthode de préparation des milieux de culture

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons utilisé deux milieux de culture pour inoculer les semences (voir annexe pour les ingrédients). Ils ont été chauffés au four pendant 20 minutes à 120 C°. Un four à micro-onde a été utilisé pour stériliser le récipient dans lequel les bouillons de culture ont été versés. Après leur refroidissement, nous les avons versés dans des boîtes de pétri stérilisées avec de l'alcool. Le broyat des nodules a été ajouté sur le milieu favorisant la croissance de ces bactéries.



Photo 2 : Présentation des milieux de culture pour la préparation de l'inoculum



Photo 3 : Présentation des milieux de culture après l'inoculation



Photo 4: Colonisation des milieux de culture en incubation

2.5.2- Préparation de l'inoculum liquide pour inoculer les semences présélectionnées

Une fois que les milieux aient été colonisés, nous avons visualisé les images pour savoir s'il s'agissait vraiment de bactérie du genre *rhizobium*. La forme comparée de cette bactérie ne nous a pas permis de voir si c'était le *rhizobium* car les nodules ont été broyés. Mais les images du microscope nous ont permis de voir qu'il y avait la présence de certaines bactéries. Pour inoculer les semences, nous avons utilisé un récipient stérilisé au four à micro-onde (microwave). Une anse de platine stérilisée au four a été utilisée pour prélever les géloses dans les boites de pétri. Les géloses ont été versées dans l'eau distillée (500 ml) du récipient. Après avoir versé le milieu dans l'eau nous les avons agités pendant 10 minutes puis nous les avons versés sur les semences présélectionnées. Les semences inoculées ont été séchées à l'abri des rayons lumineux.

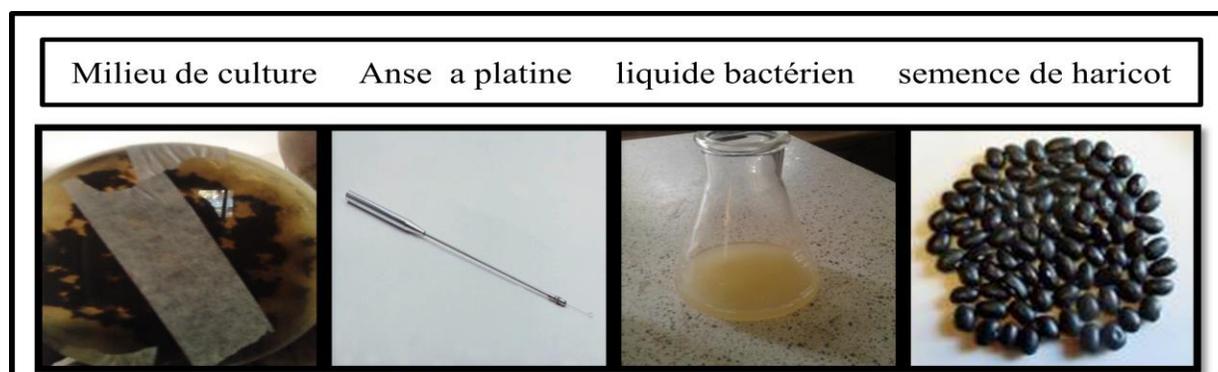


Photo 5: les étapes de l'inoculation des semences de haricot.

2.6- Méthodologie de la fertilisation

La méthodologie que nous avons utilisée est simple. Selon Hylkema et al, (2011), le haricot a un besoin en élément nutritif 67-105-105 kg/ha de N-P₂O₅-K₂O. Dans un tableur Excel nous avons fait le calcul en fonction des besoins de la plante et de la densité de plantation. À tous les 10 centimètres sur chaque billon, nous avons placé la ficelle. Pour savoir quelle quantité d'engrais à épandre par poquet. Pour l'engrais complet une quantité 2.2 grammes a été utilisée par poquet sur les 24 parcelles à traitements NPK. Pour le Superphosphate triple une quantité de 0.65 grammes par poquet a été appliquée sur les 24 parcelles qui étaient destinées à recevoir les traitements Super Phosphate Triple (SPT).

2.7- Choix de la parcelle expérimentale

2.7.1- Travail en champ

Les travaux de préparation du sol ont été menés au cours du mois de décembre 2015 suivies des opérations. Le nettoyage du site pour l'établissement des parcelles en vue d'éliminer les souches des mauvaises herbes et celles des sorghos. Nous avons retiré tous les objets non biodégradables tels les pots et les sachets plastiques pour ameublir le sol.

2.7.2- Formation des blocs et traitements

Le sol a été labouré jusqu'à une profondeur de 20 cm. Nous avons formé quatre blocs à raison de 18 parcelles par bloc. L'expérience comprend 18 traitements dont les facteurs suivis de leur modalité sont les suivants : variétés (DPC-40, X-RAV-4-40, AIFI) les traitements tels que la fertilisation et l'inoculation (3*3*2). Toute l'expérience comprend 72 unités expérimentales.



Photo 6 : Délimitation du dispositif expérimental et formation des blocs

2.7.3- Mise en place du dispositif expérimental

Notre expérience se déroule suivant un dispositif en bloc aléatoire complètement randomisé (DBCR). Pour cet essai nous avons eu trois facteurs à considérer. Le facteur variétal (3 variétés), le facteur de fertilisant (témoin, avec engrais complet, avec le superphosphate triple) et le facteur d'inoculation (Non inoculé et Inoculé). Nous avons donc 18 traitements par bloc. Quatre répétitions pour tout le dispositif. Il comporte 72 unités expérimentales. La distance entre les blocs est de 1 mètre et celle entre les billons (rangs) est de 0.40 mètre. La distance entre les poquets est de 0.1 mètre. Pour éviter l'effet de bordure chaque parcelle est séparée par une distance de 0.35 mètre. La surface d'une parcelle est de 5.60 m².

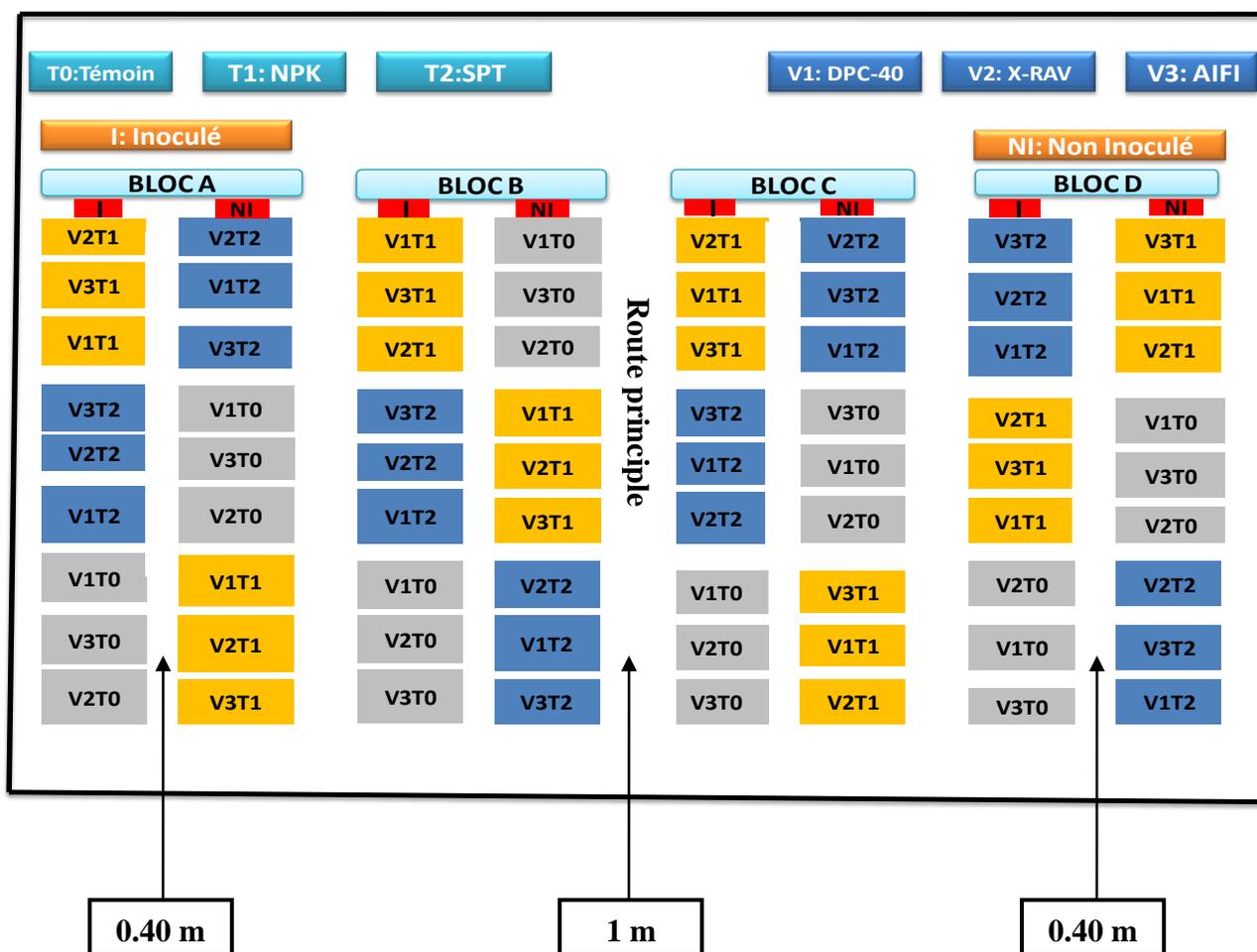


Figure 3: Schéma du dispositif expérimental

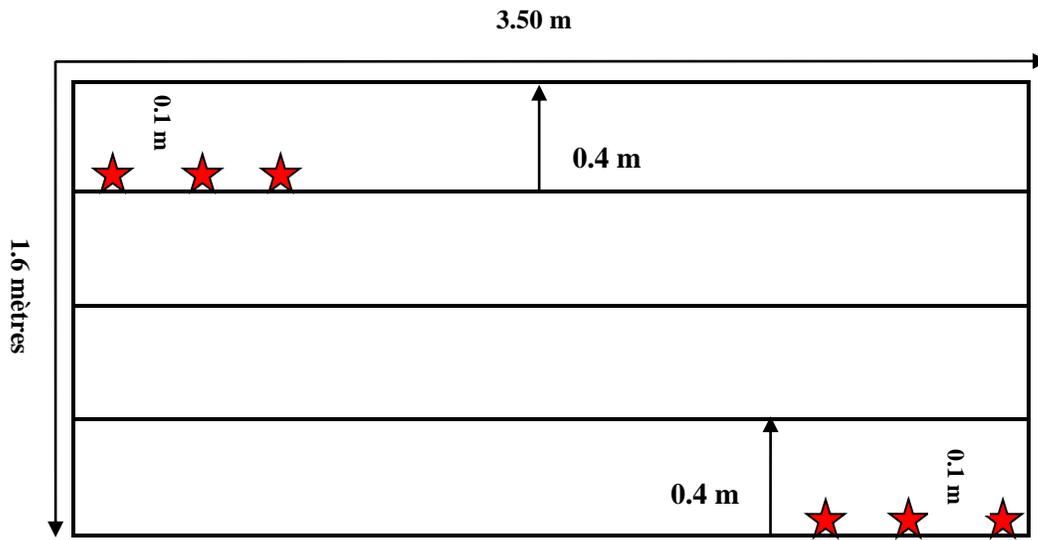


Figure 4: Représentation d'une unité expérimentale

2.7.4- Superficie du dispositif expérimental

- Surface d'une parcelle fait en mètres carrés $(3.50 \times 1.60) \times 72 = 403.2 \text{ m}^2$
- La distance entre les blocs est de 1 mètre et celle entre les rangs (billon) est de 0.40 mètre
- La distance entre poquet est 0.1 mètre nous avons mis 1 grain par poquet
- Une parcelle comporte 4 billons (rangs) de 35 poquets
- Nous avons une superficie totale environs 410.40 mètres carrés
- Distance entre parcelle 0.40 mètre

2.7.5- Semis direct

Le semis a été fait deux jours après l'épandage des engrais. Nous avons placé une ficelle graduée afin de respecter la distance de plantation entre les poquets et les piquets de bois pour enfouir les grains dans le sol à une profondeur de cinq centimètres. À cause de la rareté d'eau de la zone d'étude, un faible taux de germination a été enregistré (75%). Pour combler ce vide, nous avons pu quand même faire un ressemis après 12 jours.



Photo 7 : La phase de plantation de l'expérience

2.8- Opérations après le ressemis

Pour lutter contre les mauvaises herbes, nous avons fait des désherbages manuels. Le premier désherbage a été réalisé 27 Janvier 2016 soit le 23^{ième} jour après le semis et les 8^{ième} jours après le ressemis. Normalement le ressemis devait être fait après le 8^{ième} jour de la date de plantation mais les conditions d'irrigation de la zone d'étude étaient difficiles nous l'avons fait aux 12 jours après la plantation. La germination continuait jusqu'aux 15^{ième} jours qui succèdent la plantation en plus l'hétérogénéité du sol a aussi contribué à ce retard. Les observations et mesures après le semis sont les suivantes :

- ❖ Le taux de germination
- ❖ Hauteur de la plante
- ❖ Nombre de gousse par pied
- ❖ Poids total des gousses
- ❖ Poids total des grains
- ❖ Poids de 100 grains
- ❖ Rendement parcellaire et total



Photo 8 : Vue partielle du dispositif et une unité expérimentale après un premier sarclage



Photo 9: Présentation de deux plantes au stade de floraison

2.8.1- Détermination de la hauteur des jeunes plantes un mois après le semis

Pour déterminer la hauteur des jeunes plantes au stade de croissance (début de floraison), nous avons utilisé une règle graduée 80 cm. Nous avons pris la hauteur des plantes de haricot sur les deux billons du milieu afin d'éviter l'effet de bordure. Dix plantes ont été sélectionnées sur chaque billon puis la moyenne a été calculée sur chaque parcelle. Cette mesure a été prise lorsque la parcelle était à 50 % de plante fleuries.

2.8.2- Méthodologie du prélèvement des nodules

Pour le prélèvement des nodules, nous avons utilisé une pelle et une machette lesquelles nous ont permis de creuser les 35 premiers centimètres de la rhizosphère de la plante. Il faut dire que le creusage a été fait sur les deux rebords du billon. Pour chaque parcelle aucuns nodules n'ont été recueillis au niveau de la racine des variétés étudiées.

2.8.3- Récolte

Elle a été effectuée 90 jours après le semis soit le 3^{ième} mois après la plantation. Elle a été faite manuellement. Les plantes récoltées ont été transportées vers une espace libre près du champ sur un grand tapis pour l'enlèvement des gousses de ses pieds. Ensuite, nous avons sélectionné le nombre de gousses dans chaque parcelle. Il faut dire que toutes les variétés n'ont

pas été récoltées le même jour. Pour déterminer le nombre de gousses que contient chaque pied, nous avons choisi 10 pieds par parcelle. Pour ce faire sur ces 10 pieds choisis, nous avons fait une moyenne pour chaque unité expérimentale afin de déterminer le nombre de gousse que contient chaque parcelle en moyenne.



Photo 10 : Détermination du nombre de gousse par plante et la pesée des grains récoltés

2.8.4-Poids total des gousses, nombre de gousses par pied, poids 100 grains

Pour prendre ces mesures nous avons utilisé une balance commerciale et une autre balance dite de précision. Nous avons sélectionné 10 plantes sur lesquelles le nombre de gousse a été calculé. Nous avons compté le nombre de gousse que contient chaque pied puis nous avons fait une moyenne pour chaque unité expérimentale. Le rendement a été déterminé en fonction du poids des grains récoltés. Chaque unité a été égoussée puis séchée séparément afin de ne pas mélanger les traitements. Il faut mentionner que le rendement a été calculé sur trois billons.

2.8.5-Traitement statistique des données collectées lors de l'expérience

Pour le traitement des données, nous avons utilisé le logiciel R et Microsoft Excel pour randomiser le dispositif et faire des tests sur les données recueillies lors de l'expérience. Sur R nous avons utilisé le carré moyen de type III avec l'option (*contrasts=c* ("*contr.sum*", "*contr.poly*")). Le seuil de probabilité d'erreur a été fixé à 0.05 pour effectuer l'analyse de variance (ANOVA) en vue de faire une comparaison entre les différents traitements pour le rendement et la nodulation. Lorsque l'hypothèse alternative a été vérifiée, une analyse deux à deux a été faite pour situer la différence.

2.8.6- Détermination de la taille d'une graine de haricot sur imageJ

Premièrement, nous avons choisi 10 grains dans chaque unité expérimentale (parcelle) puis nous les avons mis sur une feuille blanche avec un témoin de taille de 1.8 cm x 1.8 cm. Nous avons utilisé un trépied afin de prendre les photos à la même distance 35 cm. Deuxièmement, les photos (elles sont de très hautes qualités) ont été toutes prises avec ce téléphone portable (Smart phone marque Huawei-U8665) puis nous les avons exportées vers un ordinateur pour ensuite les analyser sur le logiciel ImageJ. Une fois sur imageJ, nous avons suivi toutes les étapes se trouvant dans le tutoriel de base d'ImageJ pour enfin effectuer les calculs (voir annexe pour les détails).

III- RESULTATS

Nous allons présenter les résultats de l'effet de la fertilisation sur le rendement (poids 100 grains, Nombre de gousse/pied, poids des gousses récoltées, poids des grains récoltés, Rdmt/parcelle) des variétés étudiées. Il faut noter que les variétés de l'étude n'ont pas nodulés. Nous allons présenter un tableau résumant l'analyse de variance sur l'ensemble des variables étudiées.

Tableau 4: Représentation d'analyse de variance de l'effet de la fertilisation et de l'inoculation sur les variables évaluées chez le haricot

Les variables évaluées	Variétés	Fertilisation	Inoculation
Germination	NS	NS	NS
Hauteur	*** p=3.747e- 07	NS	NS
Nodulation	NA	NA	NA
Nbre de gousse/pied	NS	NS	NS
Rendement grain	NS	* p=0.01245	NS
Taille des grains	** p=0.001652	NS	NS
Poids 100 grains	*** p=9.105 e- 05	NS	NS

Interprétation : nous pouvons observer dans le tableau ci-dessus le degré de significativité entre les différents traitements pour l'ensemble des paramètres étudiés. D'une part, cela nous a permis de voir que certains des paramètres évalués étaient non significatifs pour la fertilisation et l'inoculation hormis le rendement grain. D'autre part, nous avons remarqué l'existence d'une grande variabilité entre les variétés pour la hauteur, la taille des grains et le poids de cent grains. Enfin nous avons fait une analyse deux à deux pour le rendement grain et le moyen de cent grains afin de voir parmi les traitements appliqués celui qui a donné le meilleur poids de cent grains et rendement par rapport aux autres.

3.1-Les variétés utilisées non nodulées sous l'effet de la fertilisation (limite de la recherche)

Le paramètre de la nodulation n'a pas pu être mesuré car nous n'avons trouvé aucun nodule sur les racines des variétés étudiées et quelque que soit le traitement appliqué (NPK, SPT, Témoin). Nous n'avons pas pu tester l'effet de l'inoculation et de la fertilisation sur la croissance nodulaire de ces variétés. Nous avons remarqué que toutes les autres variétés cultivées dans la zone nodulaient très bien. Les variétés que le SNS nous a proposées ont été testées à travers des essais menés sur différents sites expérimentaux de Damien. Elles sont les plus recommandées pour leur potentiel de rendement. Cependant leur nodulation n'a jamais été évaluée. Le choix variétal a été la limite de la recherche.

3.2-Variation du poids moyen 100 grains chez les variétés

Modèle (lm1.linear ← lm (PdcentGrn ~ Rep + Var + Fert + Inoc, data = données)

- **H₀** : les variétés ne sont différentes pour le poids de 100 grains.
- **H₁** : les variétés sont différentes pour le poids de 100 grains.

Tableau 5 : ANOVA poids moyen de 100 grains en fonction des variétés étudiées

SV	DL	SCM	SCR	Test F	Probabilité	Significativité
Rep	3	7.24	181.36	0.87	0.46	NS
Var	2	59.83	233.95	10.82	9.11e ⁻⁰⁵	***
Fert	2	6.21	180.32	1.12	0.33	NS
Inoc	1	0.59	174.7	0.21	0.65	NS

Le poids de 100 grains n'a révélé aucune différence significative pour la fertilisation et l'inoculation. Cependant il y a une grande variabilité entre les variétés pour ce paramètre. Puisque p-value est inférieur au seuil de probabilité ($p < 0.05$). Nous rejetons l'hypothèse nulle mais nous acceptons l'hypothèse alternative disant que les variétés sont différentes pour le poids de 100 grains.

Shapiro-Wilk test de normalité des données $W = 0.95638$, $p\text{-value} = 0.0003751$

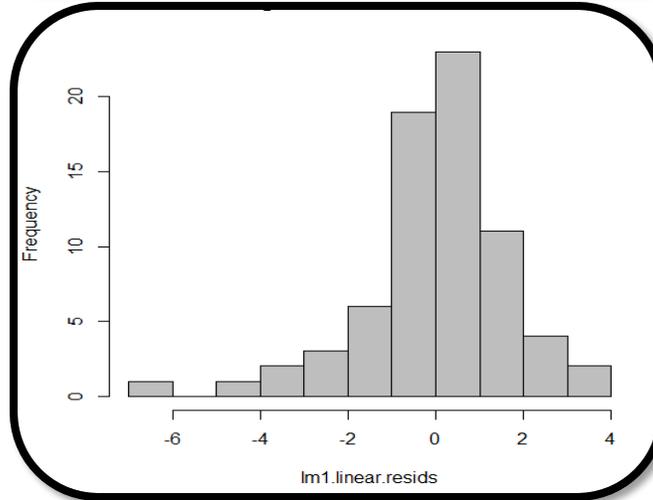


Figure 5: Histogramme des résiduels pour le poids de 100 grains

Le test de Shapiro-Wilk est inférieur au seuil de significativité ($p > 0.05$). Nous rejetons l'hypothèse de la normalité des données. Néanmoins à cause de la valeur de w qui est supérieure à 0.95 nous avons réalisé une analyse de variance. Cependant il faut prendre les résultats du poids de 100 grains sous réserves. Nous ne sommes pas dans les conditions d'application d'un test paramétrique.

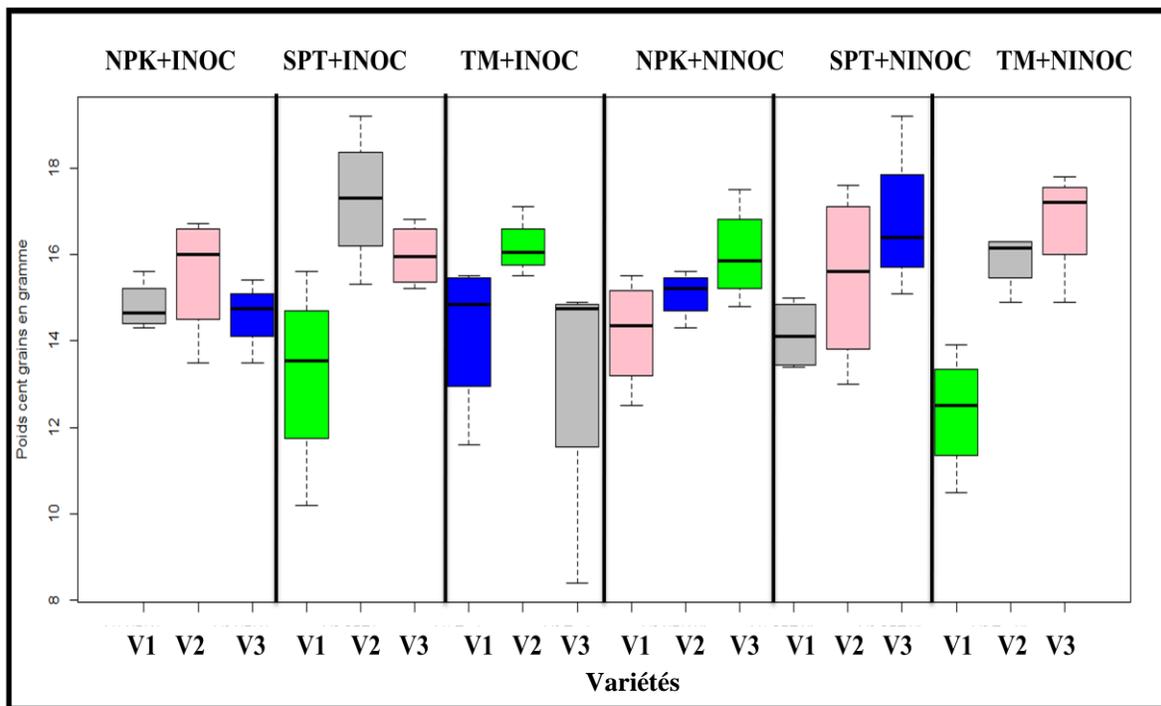


Figure 6: Boîte à moustaches du poids de 100 grains en fonction des variétés

*INOC : Inoculé ; NINOC ; Non- Inoculé ; NPK : Engrais complet ; SPT : Engrais phosphaté ; TM : Témoin ;
 VI : DPC-40 ; V2 : X-RAV-4-40 ; V3 : AIFIWURIFI*

Sur cette boîte à moustaches (figure 6) nous pouvons voir que le poids de 100 grains chez les variétés est différent les unes des autres. La variété AIFI présente un poids de 100 grains plus important que celui de X-RAV et DPC-40 qui est probablement lié à ses caractéristiques phénotypiques (forme des graines, longueur des cosses etc.). Nous pouvons observer que la fertilisation et l'inoculation n'ont pas influencé le poids moyen de 100 grains chez les variétés étudiées. Cela nous amène à dire que le poids de 100 grains ne varie pas en fonction de la fertilisation et de l'inoculation c'est plutôt en fonction des variétés.

Tableau 6: Analyse deux à deux pour le poids moyen de 100 grains chez les variétés

	AIFI	DPC-40	X-RAV-4-40
AIFI			
DPC-40	** P=11.4084 AIFI>DPC-40 0.86 gr		
X-RAV-4-40	NS	*** P=24.9788 X-RAV>DPC-40 -1.04 gr	

Pour le paramètre du poids de 100 grains, toutes les variétés étaient différentes. Cependant, nous pouvons remarquer que la variété X-RAV a donné un meilleur poids de 100 grains que celui des autres variétés (DPC-40, X-RAV). Toutefois DPC-40 a donné un poids un peu plus faible par rapport à la variété AIFI et X-RAV. Il faut dire aussi que la différence entre AIFI et X-RAV n'était pas significative.

3.3-Effet de la fertilisation sur le rendement des variétés

Modèle $lm1.linear \leftarrow lm(Rdmtparc \sim Rep + Var + Fert + Inoc, data = données)$

- H_0 : la fertilisation n'a aucun effet sur le rendement.
- H_1 : la fertilisation a un effet sur le rendement.

Tableau 7 : ANOVA variation du rendement en fertilisation et de La fertilisation

SV	DL	SCM	SCR	Test F	Probabilité	Significativité
Rep	3	0.39	5.61	1.47	0.23	NS
Var	2	0.09	5.31	0.49	0.61	NS
Fert	2	0.79	6.01	4.47	0.02	*
Inoc	1	0.28	5.49	3.11	0.08	NS

Etant donné que la valeur de la probabilité est inférieure à 0.05 nous rejetons l'hypothèse nulle. Nous avons acceptons l'hypothèse alternative en confirmant que la fertilisation a un effet significatif sur le rendement des variétés étudiées.

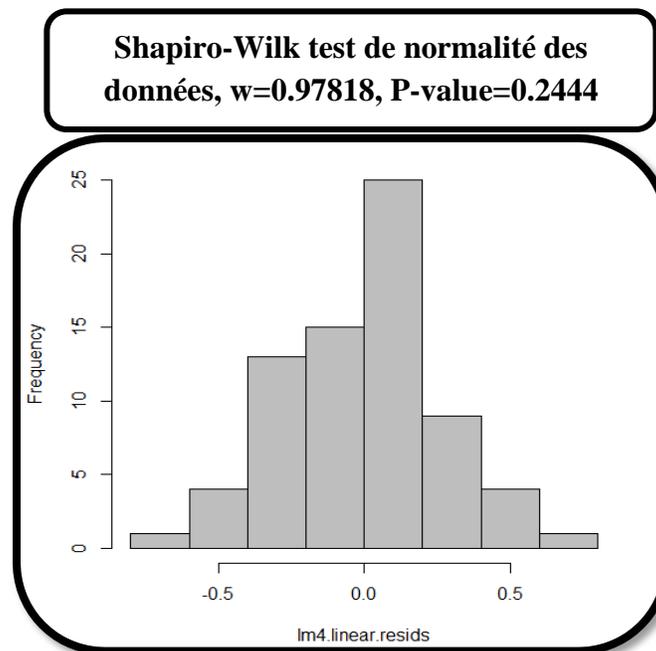


Figure 7 : Histogramme des résiduels pour le rendement grain

Le test de Shapiro-Wilk nous indique que nos résiduels sont normalement distribués car la valeur de P est supérieure au seuil de probabilité ($p > 0.05$) donc nous ne rejetons pas l'hypothèse de la normalité des données. Nous allons présenter une figure qui illustre la variation du rendement en fonction des traitements appliqués.

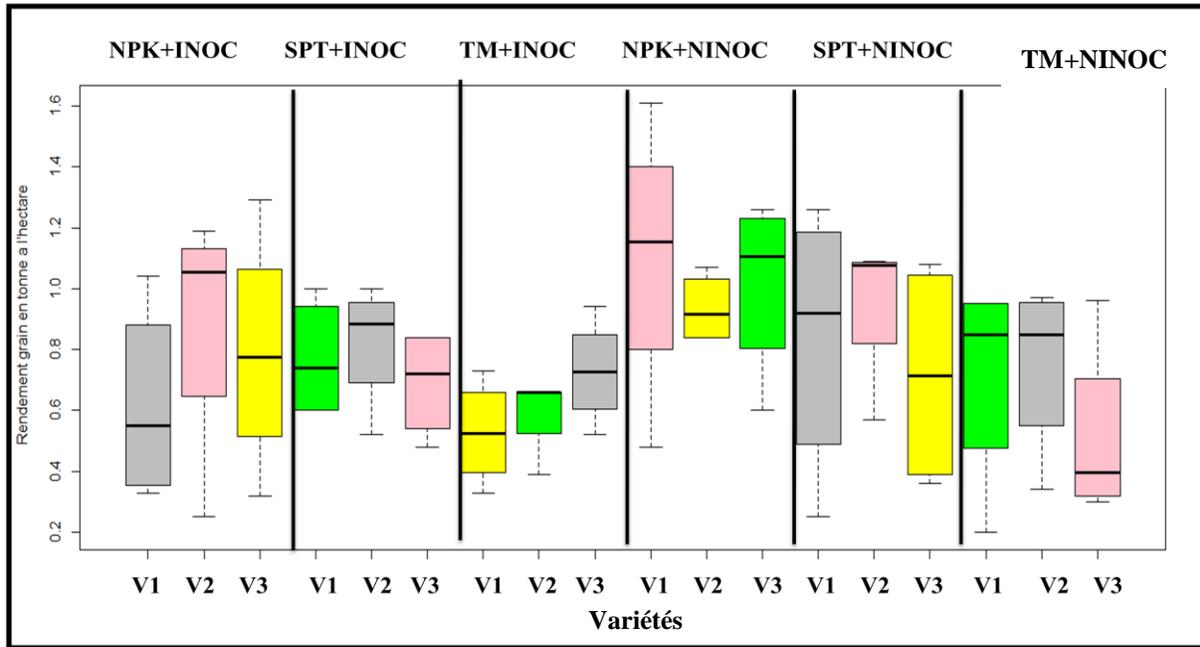


Figure 8: Boîte à moustaches du rendement grain en fonction de la fertilisation

INOC : Inoculé ; NINOC ; Non- Inoculé ; NPK : Engrais complet ; SPT : Engrais phosphaté ; TM : Témoin ; V1 : DPC-40 ; V2 : X-RAV-4-40 ; V3 : AIFIWURIFI

Sur ce graphique (figure 8), nous pouvons observer que tous les traitements fertilisés ont produit un rendement grain qui surpasse les traitements non fertilisés. Cependant, le traitement NPK a donné un meilleur rendement par rapport aux autres traitements (SPT, Témoin). Nous présentons un tableau de l'analyse deux à deux du rendement en fonction des fertilisants appliqués.

Tableau 8 : Analyse deux à deux pour le rendement chez les variétés étudiées

	NPK	SPT	Témoin
NPK			
SPT	NS		
Témoin	** P=0.006322 NPK > Témoin 0.76 t /ha	* P=0.03985 SPT > Témoin 0.71 t/ha	

Dans le tableau 8, nous pouvons observer que les traitements : NPK, SPT et Témoin sont significatifs pour le rendement en grain exprimé en tonne par hectare (t/ha). Le traitement en superphosphate triple (SPT) a donné un rendement grain faiblement significativement que les témoins. Tandis que le traitement en NPK a donné un rendement grain moyennement significatif que le traitement non fertilisé. Cependant la différence entre SPT et NPK n'est pas significatif pour le rendement grain ce qui tendrait à expliquer l'ordre ascendant (NPK>SPT>Témoin).

IV- DISCUSSIONS

Les résultats obtenus à partir de l'analyse de variance (ANOVA) ont montré que la fertilisation phosphatée n'a exercé aucun effet significatif sur la hauteur des plantes. Ces résultats ne sont pas différents de ceux obtenus par Pramanik et al, (2009) qui ont montré que l'apport de l'engrais phosphaté n'a pas influencé significativement la hauteur du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*). Contrairement à notre étude, Zafar et al, (2011) ont vérifié que l'apport de l'engrais phosphaté a exercé une influence significative sur la hauteur du haricot commun. L'analyse de variance qui porte sur le poids de cent (100) de grains a révélé une différence significative entre les variétés étudiées. Cependant la fertilisation phosphatée n'a eu aucun effet significatif sur le poids de cent grains des variétés de l'étude. Les résultats sont similaires à ceux obtenus par Sulieman et al. (2009) qui ont montré que l'application du superphosphate triple n'a eu aucun effet significatif sur le poids de 100 grains chez le cultivar de haricot. Par contre les résultats obtenus par Araujo et al, (2000), Zafar et al, (2011) sont différents de ceux de notre étude où ils ont trouvé que l'apport de l'engrais phosphaté (SPT) a augmenté significativement le poids de 100 grains du haricot commun. Néanmoins, la forte teneur en calcium du sol a dû favoriser la fixation du phosphore en des composés insolubles, hautement stables appartenant au groupe des apatites (Mengel and Kirkby, 2001). De l'autre côté, le pH élevé des sols (pH ~ 8) sur lesquels a été conduite l'expérience, pourrait avoir limité la biodisponibilité du phosphore.

Comme nous l'avons vu précédemment, les résultats obtenus à partir des analyses de variance a montré que la fertilisation azotée a eu un effet significatif sur le rendement grain du haricot ($p=0.02$). Ces résultats sont concordants avec ceux obtenus par Daba et Haile (1998) ; Vargas et al (2000) qui ont remarqué que l'engrais azoté a influencé très significativement le rendement grain chez le haricot commun (*Phaseolus vulgaris*). Cette conclusion est en étroite conformité avec celle de Singh et al, (2011). Par contre Muthomi et al (2009) ont trouvé des résultats contrastants, selon lesquels l'apport de l'engrais azoté sous forme d'Urée n'a exercé aucune influence significative sur le rendement grain du pois chiche (*Cicer arietinum*). Les résultats de la présente étude a permis d'observer que toutes les légumineuses le haricot et le pois chiche ne réagissent pas de la même manière en ce qui a trait à l'apport de l'engrais azoté.

Les résultats obtenus au cours de l'expérience ne nous ont pas permis de tester l'effet de la fertilisation phosphatée sur le rendement et la nodulation du haricot. Il est probable que les variétés étudiées qui sont les plus diffusées par le SNS, ne nodulent pas dans les conditions de l'expérience (sol à pH alcalin). Lorsqu'une variété est sélectionnée pour son haut potentiel de rendement et qu'elle ne nodule pas, cela est préjudiciable pour les agriculteurs. En absence de la nodulation la plante n'a pratiquement pas fixé l'azote qui sert à enrichir le sol. Or les agriculteurs n'utilisent pas d'engrais dans leur plantation. Les essais effectués sur ces variétés ont montré qu'elles ont donné de meilleur rendement en présence de fertilisant et dans un sol riche (Prophète communication personnelle). En utilisant ces variétés, nous avons constaté qu'elles n'ont pas nodulés. Leur diffusion a été faite dans un contexte qui ne tient pas compte de la réalité socio-économique des agriculteurs. Le plus souvent ils cultivent leurs champs en fonction de la fertilité des sols. Le choix de ces variétés n'est pas trop judicieux pour ceux qui ne font pas l'usage d'engrais. Nous cherchons à utiliser les variétés fixatrices d'azote qui peuvent améliorer la fertilité des sols du pays.

Comme nous avons vu plus haut, les résultats de l'étude nous montre clairement que les variétés (DPC-40, X-RAV, AIFI) ne nodulent pas dans les sols alcalin de Cabaret. A travers la littérature, nous n'avons pas trouvé de référence sur le haricot commun en ce qui a trait à l'effet du pH alcalin sur sa nodulation. Toutefois pour d'autres légumineuses telles le lupin (*Lupinus angustifolius*) et la fève (*Vicia faba*) dont le pH très fortement alcalin peuvent inhiber la nodulation. En effet, Tang et Robson en 1994 ont démontré dans une expérience réalisée en pot que la variation du pH (6.0 à 7.5) a réduit significativement le nombre de nodules par plante chez le lupin ainsi que leur poids frais. Ces résultats ne sont pas différents de ceux obtenus par Abd-Alla et al (2004) qui ont démontré que la variation du pH a diminué la masse nodulaire de la fève et lorsque le pH est fortement alcalin aucun nodule n'a été observé. Nous constatons que ces variétés n'ont pas nodulées tandis que certaines variétés locales nodulaient très bien dans les mêmes conditions ((pH>7.0) (observations personnelles)).

CONCLUSION

Cette étude a été réalisée dans le but de tester l'effet de la fertilisation (NPK, SPT) et de l'inoculation sur la nodulation et le rendement de trois variétés de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) telles qu'AIFI, DPC-40 et X-RAV. Au vue des résultats obtenus, nous avons remarqué que les variétés ne nodule pas dans les conditions de l'expérience (sol a pH alcalin).

Cependant, le tableau d'ANOVA a montré que la fertilisation était significative pour le rendement grain. En outre, la boîte à moustaches situés ci-dessus a indiqué que l'engrais complet (NPK) est supérieur à celui des deux autres traitements (SPT, Témoin). Ce qui nous amène à dire que les variétés ont très bien réagi à la fertilisation azotée. Le poids de cent grains n'est pas affecté par la fertilisation et l'inoculation car l'analyse de variance n'a révélé aucune différence significative. En effet l'apport de l'engrais complet (NPK) nous a permis d'obtenir un rendement 0.89 t/ha et de l'engrais phosphaté (SPT) 0.79 t/ha contre 0.63t/ha pour le témoin. Il faut mentionner qu'entre les variétés étudiées, il n'y a pas de grande variation pour le rendement grain. Ce qui veut dire qu'aucune différence significative n'a été trouvée entre les variétés pour ce paramètre.

Les résultats de cette étude ont révélé que les variétés ne nodulent pas dans les conditions de l'expérience. Toutefois, la fertilisation a eu un effet significatif sur le rendement grain du haricot commun ce qui nous permet de conclure qu'elles ont donné une réponse favorable l'engrais azoté. Toutes les variétés ont donné à peu près le rendement. En dépit de l'échec de la nodulation observé chez les variétés étudiées, il est donc nécessaire de continuer cette expérience en sélectionnant des variétés qui ont la capacité de noduler dans les conditions de sol à pH alcalin.

PERSPECTIVES

En se basant sur l'objectif de cette étude qui était de tester l'effet de l'inoculation et de la fertilisation sur le rendement et la nodulation du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*), puisque les variétés utilisées ne nodulent pas et qu'elles réagissent bien à la fertilisation azotée. Pour les travaux de recherches futurs, il serait intéressant de :

- Refaire des essais aux champs pour confirmer les résultats de l'étude
- Faire d'autres essais tout en utilisant d'autres variétés qui ont la capacité de noduler dans les conditions de nos sols à pH alcalin
- Faire d'autres études en vue de mesurer la nodulation et le rendement du haricot commun avec d'autres variétés (locales et améliorées) en fonction de la fertilité des sols.
- Mise au point des techniques de production d'inocula bactériens à partir des nodules provenant des variétés locales améliorées.

BIBLIOGRAPHIES

Abaidoo, R. C., & van Kessel, C. (1989). 15N-uptake, N₂-fixation and *rhizobial* interstrain competition in soybean and bean, intercropped with maize. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(1), 155-159.

Abd-Alla, M. H., El-Enany, A. W. E., Nafady, N. A., Khalaf, D. M., & Morsy, F. M. (2014). Synergistic interaction of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* and arbuscular mycorrhizal fungi as a plant growth promoting biofertilizers for faba bean (*Vicia faba* L.) in alkaline soil. *Microbiological research*, 169(1), 49-58.

Baudoin, J. P. (2001). Contribution des ressources phylogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 5(4), 221-230.

Bernal, G., & Graham, P. H. (2001). Diversity in the rhizobia associated with *Phaseolus vulgaris* L. in Ecuador, and comparisons with Mexican bean rhizobia. *Canadian journal of microbiology*, 47(6), 526-534.

Bliss, F. A., & Brown, J. W. (1983). Breeding common bean for improved quantity and quality of seed protein. In *Plant breeding reviews* (pp. 59-102). Springer US.

Bordeleau, L. M., & Prévost, D. (1994). Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. In *Symbiotic Nitrogen Fixation* (pp. 115-125). Springer Netherlands.

Brink, M., & Belay, G. (2006). Plant resources of tropical Africa. 1. Cereals and pulses. 298 p. PROTA Foundation, Wageningen.

Buruchara, R., Mukankusi, C., & Ampofo, K. (2010). Bean Disease and Pest Identification and Management: Handbooks for small-scale seed producer's no. 04. *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, pp 25-48.

Busogoro, J. P., Jijakli, M. H., & Lepoivre, P. (1999). Identification of a novel source of resistance to angular leaf spot disease of common bean within the secondary gene pool. *Plant Breeding*, 118(5), 417-423.

Buttery, B. R., Tan, C. S., & Park, S. J. (1994). The effects of soil compaction on nodulation and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Canadian journal of plant science*, 74(2), 287-292.

Chamberland, E. (1982). Prédiction des besoins en engrais N, P et K des légumes cultivées en sol minéral: Pois et haricots. *Canadian Journal of Soil Science*, 62(4), 663-672.

Chaverra, M. H., & Graham, P. H. (1992). Cultivar variation in traits affecting early nodulation of common bean. *Crop science*, 32(6), 1432-1436.

CHIBAS. 2012. Manuel de culture du sorgho en Haïti.

CIRAD et GRET. 2006. Mémento de l'agronome. ISBN : 978-2-7592-0357-4. Editions Quæ.

CNSA 2012. "Evaluation de la campagne agricole de printemps 2012 et analyse des marchés et de la sécurité alimentaire." service agronomique, pp 30-34.

Daba, S., & Haile, M. (2000). Effects of rhizobial inoculant and nitrogen fertilizer on yield and nodulation of common bean. *Journal of plant nutrition*, 23(5), 581-591.

De Jesus, W. C., Do Vale, F. X. R., Coelho, R. R., Hau, B., Zambolim, L., Costa, L. C., & Filho, A. B. (2001). Effects of angular leaf spot and rust on yield loss of *Phaseolus vulgaris*. *Phytopathology*, 91(11), 1045-1053.

Dita, M. A., Rispail, N., Prats, E., Rubiales, D., & Singh, K. B. (2006). Biotechnology approaches to overcome biotic and abiotic stress constraints in legumes. *Euphytica*, 147(1-2), 1-24.

Dowling, D. N., & Broughton, W. J. (1986). Competition for nodulation of legumes. *Annual Reviews in Microbiology*, 40(1), 131-157.

Emam, Y., Shekoofa, A., Salehi, F., & Jalali, A. H. (2010). Water stress effects on two common bean cultivars with contrasting growth habits. *Am-Eur J Agric Environ Sci*, 9(5), 495-499.

Faghire M, 2012. "Rôle des microorganismes symbiotiques (cas de *rhizobia*) dans l'amélioration de la production agricole de *Phaseolus vulgaris* sous stress salin." thèse de doctorat, pp 4-8.

FAO-STAT, 2013. GOOGLE [Online] // <http://www.fao.org/faostat/en# data>. - Google – novembre 15, 2016 – [thhp://www.fao.org/faostat/en data](http://www.fao.org/faostat/en data).

Fertial, 2010 – Manuel d'utilisation des engrais pp 63.

Figueiredo, M. V. B., Martinez, C. R., Burity, H. A., & Chanway, C. P. (2008). Plant growth-promoting Rhizobacteria for improving nodulation and nitrogen fixation in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24(7), 1187-1193.

Graham, P. H. (1981). Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a review. *Field Crops Research*, 4, 93-112.

Graham, P. H., & Ranalli, P. (1997). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research*, 53(1), 131-146.

Hungria, M., & Vargas, M. A. (2000). Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field crops research*, 65(2), 151-164.

Hylkema, A. L. (2011). Haiti Soil fertility analysis and crop interpretations for principal crops in the five winner watershed zones of intervention. *Department of Soil and Water Science, University of Florida*.

Kassa, M., Yebo, B., & Habte, A. (2014). Liming Effects on Yield and Yield Components of Haricot Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Varieties Grown in Acidic Soil at Wolaita Zone, Ethiopia. *International Journal of Soil Science*, 9, 67-74.

Katungi, E., Farrow, A., Mutuoki, T., Gebeyehu, S., Karanja, D., Alamayehu, F., & Buruchara, R. (2010). Improving common bean productivity: An Analysis of socioeconomic factors in Ethiopia and Eastern Kenya. *Baseline Report Tropical Legumes II. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Cali, Colombia*.

Lizana, C., Wentworth, M., Martinez, J. P., Villegas, D., Meneses, R., Murchie, E. H., ... & Pinto, M. (2006). Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress I. Effects of drought on yield and photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, 57(3), 685-697.

L'taief, B., Sifi, B., Zaman-Allah, M., Hajji, M., & Lachaâl, M. (2009). Effets de la fertilisation azotée, de l'inoculation par *Rhizobium* sp et du régime des pluies sur la production de la biomasse et la teneur en azote du pois chiche. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(4), 537.

Mengel, K. and Kirkby, E.A., (2001) "Principales of plant nutrition." Principales of plant nutrition (Springer Netherlands) pp 849.

Meseret Turuko, Amin Mohammed, (2014). "Effect of Different Phosphorus Fertilizer Rates on Growth, Dry Matter Yield and Yield Components of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.)." *World Journal of Agricultural Research* II, no. 3: 88-92.

Montealegre C, Graham P.H. and Kipe-Nolt J.A. (1998). "Preference in the nodulation of *Phaseolus Vulgaris* cultivar RAB391." *Canadian J Microbiol*, no. 41: 292-298.

Musandu, A. A., & Joshua, O. O. (2001). Response of common bean to *Rhizobium* inoculation and fertilizers. *Journal of Food Technology in Africa*, 6(4), 121-125.

Oagile, O., Mmolotsi, R., Segwagwe, A., & Babili, T. P. (2012). African Yam Bean (*Sphenostylis stenocarpa*) Nodulates Promiscuously with *Rhizobium* Indigenous to Soils of Botswana. *Journal of Plant Studies*, 1(2), 109.

Otieno, P. E., Muthomi, I. W., Chemining'wa, G. N., & Nderitu, J. H. (2009). Nodulation and Yield of Food Grain Legumes. *Journal of Biological Sciences*, 9(4), 326-332.

Patel, N., Sticher, H., & Karlen, D. L. (2000). Soil fertility-phenomenon and concept. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(2), 129-142.

Pramanik, M. Y. A., Sarkar, M. A. R., Uddin, M. S., & Faruk, G. M. (2009). Effect of phosphorus rate on growth, nodulation and biomass yield of green manure crops. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 7(1), 23-28.

Rabat, P. (2003). Les engrais et leurs applications. *Précis à l'usage des agents de la vulgarisation agricole*, 77.

Rebah, F. B., Tyagi, R. D., & Prévost, D. (2001). Acid and alkaline treatments for enhancing the growth of rhizobia in sludge. *Canadian Journal of Microbiology*, 47(6), 467-474.

Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161(11), 1189-1202.

Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., & Kelly, J. D. (1997). Improving common bean performance under drought stress. *Crop Science*, 37(1), 43-50.

Sedghi, M., Seyed Sharifi, R., Pirzad, A. R., & Amanpour-Balaneji, B. (2012). Phytohormonal regulation of antioxidant systems in petals of drought stressed pot marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14(4), 869-878.

Serraj, R., Sinclair, T. R., & Purcell, L. C. (1999). Symbiotic N₂ fixation response to drought. *Journal of Experimental Botany*, 50(331), 143-155.

Shamseldin, A., & Werner, D. (2005). High salt and high pH tolerance of new isolated *Rhizobium etli* strains from Egyptian soils. *Current microbiology*, 50(1), 11-16.

Shubhashree, K. S., Alagundagi, S. C., Hiremath, S. M., Chittapur, B. M., Hebsur, N. S., & Patil, B. C. (2011). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium levels on growth, yield and economics of rajmash (*Phaseolus vulgaris*). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 24(3).

Singh, B., Pathak, K., Verma, A., Verma, V., & Deka, B. (2011). Effects of vermicompost, fertilizer and mulch on plant growth, nodulation and pod yield of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Vegetable Crops Research Bulletin*, 74, 153-165.

Smithson, J. B., Edje, O. T., & Giller, K. E. (1993). Diagnosis and correction of soil nutrient problems of common bean (*Phaseolus vulgaris*) in the Usambara Mountains of Tanzania. *The Journal of Agricultural Science*, 120(02), 233-240.

Sulieman, S. A., & Hago, T. E. (2009). The effects of phosphorus and farmyard manure on nodulation and growth attributes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Shambat soil under irrigation.

Tang, C., & Robson, A. D. (1993). pH above 6.0 reduces nodulation in *Lupinus* species. *Plant and Soil*, 152(2), 269-276.

Teixeira Caixeta, E., Borém, A., Azevedo Fagundes, S., Niestche, S., Gonçalves de Barros, E., & Alves Moreira, M. (2003). Inheritance of angular leaf spot resistance in common bean line BAT 332 and identification of RAPD markers linked to the resistance gene. *Euphytica*, 134(3), 297-303.

Vadez, V., Lasso, J. H., Beck, D. P., & Drevon, J. J. (1999). Variability of N₂-fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under P deficiency is related to P use efficiency. *Euphytica*, 106(3), 231-242.

Vargas, A. A., & Graham, P. H. (1988). *Phaseolus vulgaris* cultivar and *Rhizobium* strain variation in acid-pH tolerance and nodulation under acid conditions. *Field Crops Research*, 19(2), 91-101.

Vargas, A. A., & Graham, P. H. (1989). Cultivar and pH effects on competition for nodule sites between isolates of *Rhizobium* in beans. *Plant and Soil*, 117(2), 195-200.

Vargas, M. A., Mendes, I. C., & Hungria, M. (2000). Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. *Biology and Fertility of Soils*, 32(3), 228-233.

Vlassak, K. M., Vanderleyden, J., & Graham, P. H. (1997). Factors influencing nodule occupancy by inoculant rhizobia. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 16(2), 163-229.

Wortmann, C. S. (1998). *Atlas of common bean (Phaseolus vulgaris L.) production in Africa* (No. 297). CIAT.

Zafar, M., Abbasi, M. K., Rahim, N., Khaliq, A., Shaheen, A., Jamil, M., & Shahid, M. (2011). Influence of integrated phosphorus supply and plant growth promoting Rhizobacteria on growth, nodulation, yield and nutrient uptake in *Phaseolus vulgaris*. *African Journal of Biotechnology*, 10(74), 16781-16792.

ANNEXES

Annexe 1 : Présentation des milieux de culture pour les bactéries

1) Liste des ingrédients que nous avons utilisé pour préparer le premier milieu de culture

- a) Peptone 5 grammes
- b) Extrait de levure 2 grammes
- c) Agar 5 grammes
- d) Glucose 10 grammes
- e) Sel de table 1.7 grammes
- f) Eau distillée 1 litre

2) Liste des ingrédients du second milieu de culture CRITERION Agar nutritif

- a) Agar
- b) Gélatine de peptone
- c) Extrait de bœuf

3) Méthode de préparation

Ajoutez 23 grammes du milieu de culture dans un litre d'eau distillée dans un récipient stérilisé. Puis le chauffez le milieu au four à 121°C (autoclave) pendant 15 minutes.

Annexe 2 : Photos de quelques plantes présentant des symptômes de maladies

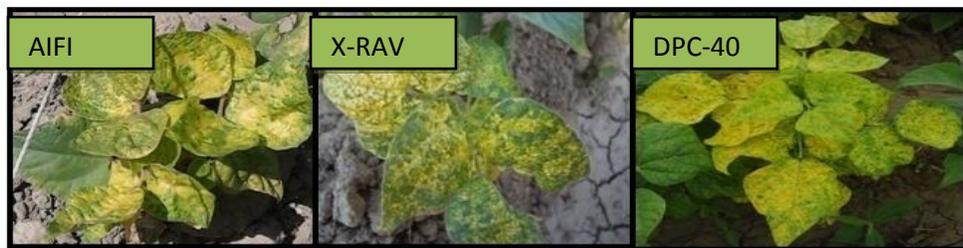


Photo 11 : Plantes présentant les symptômes de la mosaïque dorée

Annexe 3 : Protocole de calcul de la taille d'une graine sur imageJ

Questions de recherches :

- 1) Quel sera l'effet de la fertilisation et de l'inoculation sur la taille d'un grain de haricot ?
- 2) Est-ce que la taille d'une graine peut varier en fonction des variétés ?

Hypothèses :

- 1) La fertilisation et l'inoculation peuvent avoir une certaine influence sur la taille d'une graine de haricot.
- 2) La taille d'une graine varie en fonction des variétés étudiées.

Echantillonnage :

Nous avons sélectionné 10 grains de façon à avoir la même quantité à chaque unité expérimentale. Nous les avons choisis en fonction de leur qualité, bonne présentation de la graine bien remplie, pas de déformation ni d'attaque insecte.

Matériel et méthode

- 1) Echantillons des grains de haricot
- 2) Trépied
- 3) Smart phone
- 4) Feuille blanche avec un témoin de taille
- 5) Logiciel Image J
- 6) Excel

Méthode

Premièrement, nous avons choisi 10 grains dans chaque unité expérimentale (parcelle) puis nous les avons mis sur une feuille blanche avec un témoin de taille de 1.8 cm*1.8 cm. Nous avons utilisé un trépied afin de prendre les photos à la même distance 35 cm. Deuxièmement les photos (elles sont de très hautes qualités) ont été toutes prises avec mon téléphone portable (Smart phone marque Huawei-U8665) puis nous les avons exportées vers un ordinateur pour ensuite les analyser sur le logiciel ImageJ. Une fois sur imageJ, nous avons suivi toutes les étapes qui se trouvent dans le tutoriel de base d'ImageJ pour faire les éventuelles analyses.

Les étapes de transformation de l'image jusqu'à la phase de calcul

Étape 1) File/Open / cliqué sur l'image visée

Étape 2) binariser image/type/8-bit

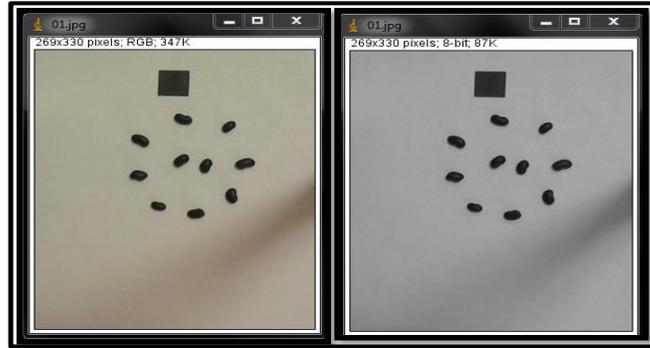


Photo 12: Présentation d'une image initiale et binarisée

Étape 3) cliquez sur image/Adjust/Threshold

Étape 4) détectez un contour Process/Find Edges

Étape 5) Analysez les particules Analyze/Analyze Particules

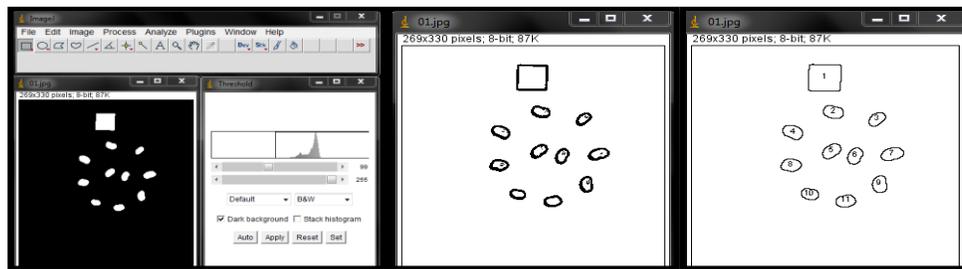


Photo 13: Images présentant les différentes étapes

Pour commencer, nous avons binarisé (image en noir et blanc) en allant sur Image/type/8 bit. Ensuite, nous avons défini un seuil en niveau de gris grâce à l'outil Image/Adjust/Threshold. Pour détecter un contour, nous avons utilisé la fonction Process/ Find Edges une petite fenêtre apparaît avec les objets entourés (grains de haricot).

Étape 6) Analyze / Set Scale (échelle de mesure en longueur)

Étape 7) Analyze/Set Scale (échelle de mesure en largeur)

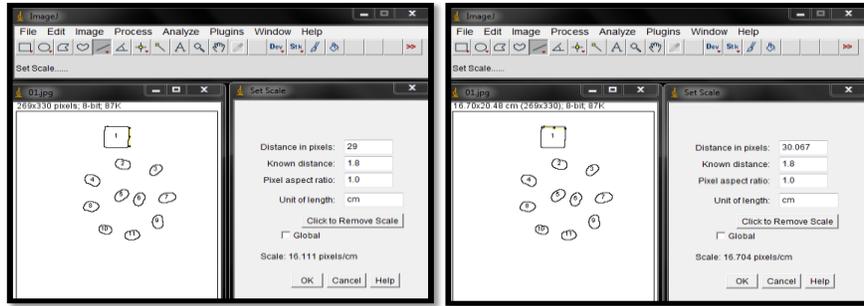


Photo 14: Capture d'écran des étapes aboutissant à l'échelle de mesure (témoin de taille)

Pour définir une échelle de mesure, nous avons utilisé l'outil Straight line puis la fonction Analyse/ Set Scale pour connaître la distance en longueur et en largeur de la particule à analyser. La distance connue étant 1.8 cm*1.8cm pour le témoin de taille.

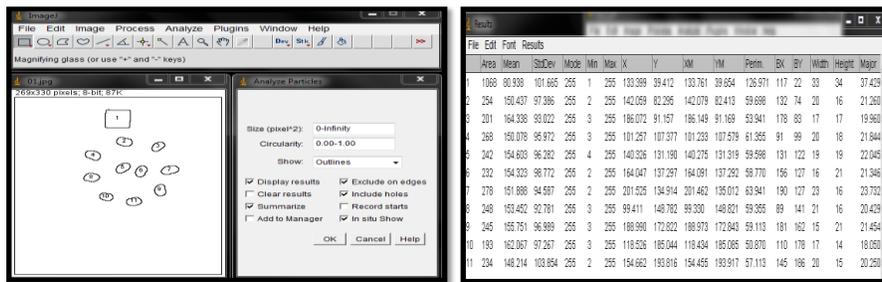


Photo 15: Capture d'écran présentant les étapes aboutissant à l'analyse des particules (grains de haricot).

Pour ce faire nous avons lancé Analyse/Analyse Particules. Nous pouvons sélectionner sur la fenêtre correspondante la taille des particules prises en compte ainsi que d'autres options. Une fois l'analyse terminée, le contour des particules et le numéro qui leur a été assigné apparaît sur une nouvelle fenêtre que nous pouvons sauvegarder dans un tableau Excel.