



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du grade Master 2

Mention : Sciences Agronomiques

Parcours : Développement Agricole et Rural

Année Académique 2012-2013

Détermination de la capacité de nodulation de quelques lignés du haricot cas du Moyen Ouest de Madagascar

Présenté par

ANDRIAMIHAJA Danie Jackie, soutenu le 29 Novembre 2013

Devant le jury composé de :

Président de jury : Monsieur ANDRIANASOLO Hasina, Enseignant à l'ASJA

Rapporteurs : Madame RAHANTARINORO Doline Lucie, Enseignante à l'ASJA

Et Madame RABARY Bodovololona, Chercheur au FOFIFA

Examineurs : Monsieur RAKOTONIRAINY Jaona Heriarivony, Directeur de l'EASTA et enseignant à l'ASJA

Et Monsieur RALAMBOMANANA Joseph Olivier, Ingénieur agronome et enseignant à l'ASJA



REMERCIEMENTS

Nous rendons grâce à Dieu Tout Puissant de nous avoir armé de force, de courage et de volonté tout au long de ces cinq années académiques et surtout de nous avoir guidé jusqu'à l'achèvement de ce travail. Merci Seigneur !

Ce travail n'aurait jamais vu le jour sans le concours actif et les appuis que diverses personnes nous ont apportés. Ainsi nous tenons à adresser nos plus vifs remerciements à :

- Père CUOMO Mario Giuseppe, Directeur Fondateur de l'ASJA, fondateur de l'ASJA afin que les étudiants puissent poursuivre ces études.
- Madame RALAMBORANTO Laurence, Recteur de l'ASJA, qui nous a donné l'autorisation d'effectuer ce stage.
- Monsieur RAZAKAMIARAMANANA, Directeur régional du FOFIFA Antsirabe, qui nous a donné l'occasion d'effectuer notre stage au sein de son établissement.
- Madame RABARY Bodovololona, Chercheur du FOFIFA, notre encadreur professionnel, pour son encadrement et son entière disponibilité malgré ses multiples occupations.
- Monsieur Thierry BECQUER, Directeur de recherche de l'IRD, pour son encadrement et son soutien tout au long de ce stage.
- Monsieur ANDRIANASOLO Hasina, enseignant à l'ASJA qui a bien voulu présider notre soutenance.
- Monsieur RAKOTONIRAINY Jaona Heriarivony, Directeur de l'EASTA et enseignant à l'ASJA, qui a bien voulu apporter son jugement constructif sur notre travail.
- Monsieur RALAMBOMANANA Joseph Olivier, Ingénieur agronome et enseignant à l'ASJA qui a aussi bien voulu accepter d'examiner ce mémoire.
- Madame RAHANTARINORO Doline Lucie, enseignante à l'ASJA notre encadreur pédagogique, qui n'a pas ménagé ses efforts dans notre formation et encadrement tout au long des études.

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements :

- Au corps professoral de l'ASJA,
- A tout le personnel du FOFIFA,
- A toute la famille pour les soutiens financier et moral
- A mes amis.

Que toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail trouvent ici notre reconnaissance.

RÉSUMÉ

La capacité de nodulation des plantes de haricot est fonction de la présence de Rhizobia et de la fertilité des sols, et surtout fonction de la disponibilité en phosphore de ces sols. L'objectif principal de notre travail vise à étudier le potentiel de nodulation des haricots dans diverses parcelles agricoles afin de tester le lien éventuel entre cette disponibilité en phosphore du sol et la capacité de nodulation des variétés. Ce travail est mené en collaboration avec FOFIFA, IRD et PABRA/ECABREN.

L'étude est concentrée dans la zone du Moyen Ouest du Vakinankaratra (Ankazomiriotra et Vinany), basée sur des réseaux de parcelles paysannes. Les matériels végétaux utilisés sont les variétés Goiano Precoce (variété tolérante sur tanety), utilisé comme témoin à long terme et Soafianarana pour témoins local. Les lignées contrastantes, RIL 115 et RIL 147 ont été testées. La fertilisation phosphate de Super triple phosphate est apporté avec 46% de P_2O_5 . La quantité de P_2O_5 apporté est 50 kg/ha. L'expérimentation comprend 25 répétitions repartis dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra. Une parcelle paysanne représente une répétition. Chacune de ces parcelles a reçu les quatre variétés de haricot avec deux niveaux de phosphore zéro et 50 kg/ha P_2O_5 . De ce fait, le dispositif comporte huit traitements qui sont randomisés au hasard dans la parcelle et séparés par un canal pour éviter les contaminations entre traitements.

Ainsi, les résultats permettent de classifier les parcelles en quatre typologies par rapport à la fixation symbiotique d'azote et selon les variétés. En effet, les résultats ont montré une faible réponse sur l'apport de phosphate. Ainsi, des analyses de corrélation entre le poids de nodosités et le poids de la biomasse aérienne n'ont pas montré un effet significatif.

Mot clé : lignées du haricot, capacité le nodulation, disponibilité en phosphore, parcelles tanety

ABSTRACT

Nodulation ability of bean plants depends on the presence of rhizobia and soil fertility, especially depending on the availability of phosphorus in these soils. The main objective of our work is to investigate the potential for nodulation of beans in various agricultural plots to test the association between the availability of soil phosphorus and nodulation ability of varieties. This work is conducted in collaboration with IRD, PABRA/ECABREN and FOFIFA.

The study is concentrated in the area of the Middle East Vakinankaratra (Ankazomiriotra and Vinany), based on networks of farmers' fields. The plant materials used are varieties Goiano Precoce (tolerant variety on tanety), used as a control in the long term and Soafianarana to local witnesses. Contrasting lines, RIL: RIL 115 and 147 were tested. Super phosphate fertilizer triple phosphate is made with 46 % P_2O_5 . The amount of P_2O_5 is made 50 kg / ha. The experiment consists of 25 repetitions left in the Middle East Vakinankaratra. A peasant plot represents a repetition. Each of these plots received four bean varieties with two levels of zero phosphorus and 50 kg / ha P_2O_5 . Therefore, the device includes eight treatments were randomized at random from the lot and separated by a channel to avoid contamination between treatments.

Thus, the results are used to classify the plots into four typologies in relation to symbiotic nitrogen fixation and depending on the variety. Indeed, the results showed a low response on the addition of phosphate. Thus, correlation analyzes between the weight of nodules and weight of aboveground biomass did not show a significant effect.

Keyword: lines of bean, nodulation ability, phosphorus availability, tanety plots

TABLE DE MATIERE

Remerciement

Résumé/Abstract

Liste des illustrations

Liste des abréviations

Glossaire

TABLE DE MATIERE 1

PREMIERE PARTIE : CONTEXTE ET GENERALITE DE L'ETUDE

INTRODUCTION 1

Chapitre I : Justification de l'étude..... 1

I.1. Problématique 3

I.2. Objectif 3

I.3. Hypothèse 3

Chapitre II : Cadre de l'étude 4

II.1. Cadre géographique 4

II.2. Cadres institutionnelles de recherche 4

Chapitre III : Objet de l'étude..... 7

III.1. Le rhizobium..... 7

III.2. Le haricot 8

III.3. La symbiose Rhizobium-Légumineuse 13

DEUXIEME PARTIE : DEMARCHE, MATERIELS ET METHODES

Chapitre I : Démarches 15

I.1. Choix des sites expérimentaux 16

I.2. Prélèvement des échantillons..... 17

Chapitre II : Matériels et méthodes 18

II.1. Dispositif expérimental..... 18

II.2. Conduite de l'expérimentation..... 22

II.3. Traitement des résultats 24

TROISIEME PARTIE : ANALYSE DES RESULTATS, DISCUSSION ET

SUGGESTION

Chapitre I : Résultats 25

I.1. Résultats obtenu dans les Moyen Ouest 25

I.2. Analyse de corrélation 30

Chapitre II : Discussions	32
II.1. La capacité de nodulation des variétés.....	32
II.2. L'offre en P dans les différentes parcelles paysannes	32
II.3. La typologie des parcelles.....	33
CONCLUSION	35
Bibliographie et webographie	
Annexes	

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Listes des figures

Figure 1 : Etapes de développements du haricot.....	13
Figure 2 : Schéma illustrant le métabolisme de la fixation symbiotique.....	15
Figure 3 : Cartographie des 25 parcelles étudiées dans les deux communes du District de Mandoto, de la commune d'Ankazomiriotra et Vinany.....	20
Figure 4 : Exemple de dispositif expérimental de la parcelle A.....	21
Figure 5 : Les dispositifs expérimentaux.....	23
Figure 6 : Méthode de prélèvement.....	17
Figure 7 : (7A) Poids secs de nodosités et (7B) la biomasse aérienne sèche de la variété RIL 147.....	25
Figure 8 : (8A) Poids secs de nodosités et (8B) la biomasse aérienne sèche de la variété RIL 115.....	26
Figure 9 : (9A) Poids secs de nodosités et (9B) la biomasse aérienne sèche de la variété Goiano precoce.....	28
Figure 10 : (10A) Poids secs de nodosités et (10B) la biomasse aérienne sèche de la variété Soafianarana.....	29
Figure 11 : Test de corrélation cas de la parcelle T.....	31
Figure 12 : Test de corrélation cas de la parcelle B.....	31
Figure 13 : Organisation générale du FOFIFA.....	Annexe I
Figure 14 : Carte de la région du Vakinankaratra.....	Annexe III

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Composition nutritionnelle des graines sèches du haricot.....	10
Tableau n°2 : Répartition des traitements.....	19
Tableau n°3 : Typologie des parcelles comportant les quatre variétés, les parcelles et les observations.....	30
Tableau n°4 : Une fiche descriptive des parcelles.....	Annexe IV
Tableau n°5: codage des parcelles paysannes de A à Y comportant le nom du paysan et sa localité	Annexe III

Liste des photos

Photo 1: la racine et les nodules.....	09
Photo 2: la germination du haricot.....	11
Photo 3: la première feuille du haricot.....	11
Photo 4 : balance de précision.....	24

Liste des annexes

Annexe I : organisation générale du FOFIFA.....	i
Annexe II : une fiche descriptive des parcelles.....	ii
Annexe III : la région du Vakinakaratra	v
Annexe IV : codage des parcelles paysannes de A à Y.....	vi

LISTE DES ABREVIATIONS

RIL : Recombinant Inbred Lines

GP : Goiano Precoce

So : Soafianarana

CEC : Capacité d'Echange Cationique

R² : Coefficient de corrélation

FOFIFA : Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina aminy Fampanandrosoana ny eny Ambanivohitra.

SCV : Systèmes de culture sous Couvertures Végétales

IRD : Institut de Recherche pour le Développement

RN34 : Route Nationale numéro 34

Nb : Nombre

UNITES DE MESURES

m : mètre

µm : micro mètre

cm : centimètre

kg/ha : kilogramme par l'hectare

t/ha : tonne par hectare

g/plant : gramme par plant

°C : degré Celsius

pH : potentiel d'hydrogène

GLOSSAIRE

Réseaux de parcelle paysanne : Ce sont des parcelles paysannes qui ont suivi des expérimentations aux champs. L'expérimentation se passe donc sur les parcelles paysannes.

Répétition : C'est une différence intra parcellaire. C'est pour mesurer les erreurs expérimentales sur les parcelles étudiés.

Aérobie : C'est la capacité d'un organisme à survivre et à se développer qu'il dépend de l'oxygène.

Corrélation : La corrélation fournit une mesure du degré de relation entre les variables et la qualité de l'obtention des mesures prescrites.

Symbiose : C'est une relation entre deux être vivant à bénéfice réciproque. C'est-à-dire que l'un vit en dépend de l'autre.

INTRODUCTION

Le haricot ou *Phaseolus vulgaris* L. fait partie des légumineuses les plus cultivées à Madagascar. Il est cultivé généralement sur des terrains meubles et riches en éléments nutritifs. La plupart des paysans malagasy cultivent le haricot sur les bas-fonds ; les cultures sur *tanety* sont presque inexistantes par raison des problèmes de fertilité de ces sols. De plus, les paysans utilisent uniquement des engrais organiques, comme les fumiers de ferme, sur ces sols, ce qui rend difficile la correction de leur fertilité.

La faible disponibilité des terres et la nécessité d'augmenter la production, pour faire face à la croissance démographique, conduit les agriculteurs à utiliser de façon croissante les *tanety*. En raison de la faible fertilité du sol, la production est limitée. L'introduction de légumineuses pourrait contribuer à une amélioration de la fertilité azotée du sol. Le haricot, malgré une production de biomasse limitée par rapport à d'autres légumineuses (Stylosanthes) présente par contre l'avantage d'être très utilisé pour l'alimentation humaine. La nodulation du haricot est limitée, du fait de la faible fertilité du sol et en particulier du manque de phosphore, ce qui limite, par conséquent, la fixation d'azote atmosphérique et la croissance des plantes.

Ces raisons nous ont conduites à étudier un réseau de parcelles agricoles, afin de déterminer les liens entre la disponibilité en phosphore du sol et la croissance des plantes. Les études ont été menées dans une zone du Moyen Ouest de la région du Vakinankaratra. La zone a été choisie en raison des caractéristiques des parcelles sur *tanety* et aussi en fonction de la rigueur des paysans à cultiver du haricot tout en respectant les contraintes expérimentales du projet.

Ces études sont développées en collaboration avec le centre de recherche FOFIFA, PABRA/ECABREN et l'Institut de Recherche et Développement (IRD). Ces organismes collaborent dans le cadre du Programme FABATROPIMED (*Ecological services of legumes for nitrogen and phosphorus bio-geochemical cycles and C sequestration in cereal cropping systems in Africa and the Mediterranean Basin*), qui vise à mieux connaître le rôle des sols et de ses composantes biologiques dans les services écosystémiques fournis par les agrosystèmes (production primaire, séquestration du carbone, recyclage des nutriments) et l'importance des légumineuses (haricot) dans les

systèmes agricoles. Le suivi d'expérimentations aux niveaux de parcelles paysannes, est une partie importante du projet, où s'insère notre stage.

Notre étude comporte trois grandes parties :

- Le contexte et généralité de l'étude, concernant les revues bibliographiques et le cadre de l'étude ;
- Les démarches, matériels et méthodes, y compris les expérimentations qui ont été faites ;
- Les résultats de l'expérimentation, les discussions et les suggestions

PREMIERE PARTIE :
*CONTEXTE ET
GENERALITE DE
L'ETUDE*

Chapitre I : Justification de l'étude

I.1. Problématique

Un des problèmes rencontrés dans les sols tropicaux est leur pauvreté en élément nutritif pour les cultures. De plus, surtout sur les sols ferrallitiques malgaches, la disponibilité en phosphore est très limitée.

Cependant, l'importance de la nodulation est fonction de la fertilité des sols, notamment de la disponibilité en P de ces sols. Les questions sont donc :

- est-ce qu'un apport de phosphore sur les parcelles étudiées favorise la formation des nodosités, pour les variétés de haricot étudiées ?
- est-ce que l'offre en phosphore du sol est suffisante pour la nodulation et pour la croissance de la plante ?

I.2. Objectif

L'objectif principal vise à étudier le potentiel de nodulation des haricots dans diverses parcelles agricoles afin de tester le lien éventuel entre la disponibilité en phosphore du sol et la capacité de nodulation de cette plante.

L'étude consiste à planter des variétés de haricot tolérantes et sensible aux sols pauvres en phosphore, dans un réseau multi local de parcelles chez des paysans, pour vérifier si la disponibilité du phosphore affecte la nodulation et la croissance N₂-dépendante des variétés de haricot.

I.3. Hypothèse

L'hypothèse est que le potentiel de croissance des haricots sur le sol de tanety est fortement limité par la très faible disponibilité du phosphore limitant ainsi la nodulation et, par conséquent la fixation symbiotique d'azote et la croissance des plantes.

Chapitre II : Cadre de l'étude

II.1. Cadre géographique

L'étude se concentre dans la zone du Moyen Ouest malgache, de la région du Vakinankaratra. Les communes rurales d'Ankazomiriotra et de Vinany ont profité des essais. Ankazomiriotra est une commune rurale située aux bords de la RN34 à 159 kilomètres à l'Ouest d'Antsirabe. Elle a comme coordonnée géographique une longitude de 19° 36' Sud, une latitude de 46° 30' Est et est située à 1 016 m d'altitude. Avec une population de 34 000 habitants, la commune possède un marché à ciel ouvert ainsi que plusieurs cantines. La ville comprend aussi un poste de gendarmerie nationale de même qu'une ancienne station radio issue de la colonisation. Quant à Vinany, elle a comme coordonnée géographique 19° 60' de longitude Sud, 46° 43' de latitude Est et est située à 1 023 m d'altitude. Ces deux communes font parties du District de Mandoto, de la région du Vakinankaratra (Ankazomiriotra, base de données en ligne).

Le type de sol

La zone agro écologique du Moyen Ouest de Madagascar possède des sols ferrallitiques. Ce sont des sols de couleur rouge ou brun rouge, argileux (autour de 60% d'argile), peu acide (pH= 5,5-6) qui se rencontrent sur les zones de tanety et les colluvions de bas de pente. La végétation naturelle y est assez diversifiée (RAKOTOMANGA, 2013).

Leur caractéristique physico-chimique varie suivant la toposequence et le système de culture. Les sols ferrallitiques se caractérisent par un horizon friable et une CEC de 2-4 cmolc/kg (RAKOTOMANGA, 2013).

II.2. Cadres institutionnelles de recherche

Notre étude a été effectuée au sein du Centre de Recherche Régional du FOFIFA à Antsirabe qui est en collaboration avec le Centre de Recherche IRD dans le cadre du projet FABATROPIMED (Ecological services of legumes for nitrogen and phosphorus biogeochemical cycles and C sequestration in cereal cropping systems in Africa and the Mediterranean Basin), financé par la Fondation Agropolis (Montpellier) et le PABRA/ECABREN.

II.2.1. Le FOFIFA

Le FOFIFA ou Centre de Recherche Appliquée au Développement Rural a été créé en 1974 suite au départ des institutions agronomiques françaises. Il est la plus importante institution de recherche agricole à Madagascar. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC). Les activités du FOFIFA sont :

- La capitalisation de résultats de recherche dans le domaine agricole
- La mise en œuvre de recherches de base et de recherches appliquées en production végétale (cultures vivrières, cultures de rente ou d'exportation), en production animale et santé animale, en foresterie et en conservation et transformation post-récolte
- Les sciences sociales et économiques
- La formation et l'encadrement technique
- L'expertise et le conseil en développement, en montage et en évaluation des projets.

Quant à la Station de Recherche Régionale (SRR) d'Antsirabe où nous avons effectué notre stage, elle se situe à Tsivatrinikamo à proximité de La Pépinière d'Antsirabe. Ses activités principales de recherche sont axées dans les domaines de la riziculture pluviale, de la riziculture irriguée, des légumineuses en particulier le haricot, des SCV dans le cadre de l'Unité de Recherche en Partenariat sur le Système de Cultures et Rizicultures Durables (SCRiD).

II.2.2. L'IRD

L'IRD ou Institut de Recherche pour le Développement est un établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST) français. C'est un organisme de recherche dont le siège est situé à Marseille. Ses activités de recherche ont pour objectif de contribuer aux développements sociaux, économiques et culturels des pays en voie du développement. L'IRD a débuté ses activités à Madagascar dès 1947. Les activités portent sur les domaines d'étude les plus divers : l'hydrologie, la pédologie, la démographie,...

II.2.3. Le PABRA/ECABBREN

L'Alliance de recherche panafricaine sur le haricot (PABRA) est un consortium de réseaux régionaux sur le haricot qui rassemble les groupes nationaux de recherche

agricole, les scientifiques du Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) et les représentants de divers donateurs. Deux réseaux régionaux sur le haricot, solidement établis, font partie de l'Alliance :

- Le Réseau de recherche sur le haricot pour l'Afrique de l'Est et du Centre (ECABREN), et
- Le Réseau de recherche sur le haricot pour l'Afrique australe (SABRN)

Les objectifs du PABRA est de renforcer la sécurité alimentaire, les revenus et la santé des agriculteurs pauvres en ressources en Afrique grâce à la recherche sur les haricots. Pour atteindre cet objectif, ils travaillent en partenariat avec les agriculteurs et les communautés rurales, les organisations non gouvernementales, les commerçants et d'autres partenaires du secteur privé. Les principaux bénéficiaires des travaux de PABRA sont les femmes rurales, qui sont principalement responsables de la production et de post-récolte, de la manipulation de la récolte.

Chapitre III : Objet de l'étude

III.1. Le rhizobium

Le Rhizobium est un genre bactérien fixateur d'azote associé aux légumineuses. Le « Rhizobia » est un terme qui a été donné aux bactéries du sol qui sont capables d'induire des nodules sur les légumineuses, et d'y fixer l'azote atmosphérique en symbiose. Ce terme « rhizobia » est dérivé du nom du genre Rhizobium (ZAKHIA et *al.* 2004)

L'histoire des rhizobia commence au XIX^{ème} siècle, quand BEIJERINCK (1888) et FRANK (1889) regroupent toutes les bactéries isolées de nodosités de racines de légumineuses dans le genre Rhizobium (DOMERGUE, 2006).

III.1.1. Caractéristique

Les Rhizobiums sont classés selon deux groupes suivant leurs caractéristiques de croissance (RABARY, 1993) :

- Les Rhizobiums à croissance rapide, parmi lesquels appartient le Rhizobium Phaseoli, qui est la bactérie nodulant le haricot. Leur temps de germination est de 2 à 4 heures. Et ils se déplacent grâce à 2 ou 3 flagelles péritriches ;
- Les Rhizobiums à croissance lente, leur temps de germination est de 6 à 7 heures. Leur moyen de locomotion est un flagelle unique subpolaire. On appelle aussi ces bactéries des Bradyrhizobium.

Les Rhizobiums sont très aérobies et donc facile à cultiver. Leurs milieux de cultures doivent comporter une source de carbone, d'azote, des vitamines et des éléments minéraux (RABARY, 1993).

III.1.2. Morphologie, Biologie et écologie

D'un point de vue morphologique et microscopique, les rhizobiums se présentent sous forme de bâtonnets Gram négatif, mobiles (grâce à un flagelle polaire ou subpolaire ou 2 à 6 flagelles péritriches), avec des dimensions approximatives de 0,5 à 0,8 µm de largeur et 1,3 à 3,0 µm de longueur. Ils se développent facilement dans un milieu de culture proche de la neutralité avec une source de carbone et une source d'azote, à une température optimale de croissance de $28 \pm 2^\circ\text{C}$ (FATIMA, 2008).

III.2. Le haricot

C'est une légumineuse originaire d'Amérique latine et centrale, où il est domestiqué depuis plus de 8000 ans (DEBOUCK, 1991). Le haricot commun, décrit par Linné, en 1753, et qui lui a donné pour nom d'espèce *Phaseolus vulgaris* L., est une plante annuelle cultivée pour l'alimentation humaine (CIRAD, 2002).

Les variétés les plus cultivées à Madagascar sont : Tsaramianakavy, Ranjan'omby, Lingot blanc, Lingot rouge, Menakely... Les variétés diffusées par le FOFIFA comme Goiano Precoce, Soafianarana sont aussi cultivées actuellement (FOFIFA, 2004)

III.2.1. Classification

Selon la classification décrite par CHARLES (1998) et CHAUX et FOURY (1994), la position taxonomique du haricot est la suivante :

- Règne : VEGETAL
- Embranchement : SPERMATOPHYTES
- Sous embranchement : ANGIOSPERMES
- Classe : DICOTYLEDONES
- Ordre : ROSALES
- Famille : LEGUMINOSAE
- Sous famille : PAPILIONOIDEAE
- Tribu: PHASEOLEAE
- Sous tribu: PHASEOLINAE
- Genre : *Phaseolus*
- Espèce : *vulgaris*
- Nom courant : Tsaramaso en Malagasy ; Haricot commun en Français ; Common bean en Anglais.

III.2.2. Description morphologique

III.2.2.1. Système racinaire

Le haricot présente une racine pivotante, bien développée et complétée par des racines adventives latérales. Les racines adventives sont nombreuses et ont un développement qui dépasse par la suite en longueur celui de la racine principale. Elles atteignent 15 cm de profondeur au stade de la troisième feuille trifoliée et dépassent 30 cm au début de la floraison (SAMSON et FETIARISON, 1989). Sur les racines, des nodosités se forment

surtout durant la floraison (photo 1). Ces nodosités contiennent des bactéries symbiotiques du genre *Rhizobium*. Ces bactéries sont capables de convertir l'azote atmosphérique en azote organique assimilable par la plante.



Photo 1: la racine et les nodosités
Source : auteur

III.2.2.2. Port et feuilles

Le haricot est une plante buissonnante ou grimpante, annuelle et légèrement pubescente. Les tiges peuvent être angulaires ou cylindriques. La plante se développe selon deux modes bien distinctes (CHARLES, 1998):

- Le haricot à croissance déterminée dont la tige est plus forte, très ramifié et dressée. Elle donne une plante buissonnante de 35 à 50 cm de hauteur (haricot nain).
- Le haricot à croissance indéterminée qui est caractérisé par une tige volubile et faiblement ramifiée. Elle peut atteindre 2 m de hauteur. Ce type représente les variétés dites « à rames ».

Les feuilles sont trifoliées, habituellement ovales, mesurant de 7,5 à 14 cm. Les deux premières feuilles au sommet de l'hypocotyle sont simples. Les feuilles suivantes sont composées et disposées de façon alterne (KROLL, 2000)

III.2.2.3. Fleurs

Les fleurs sont regroupées en grappes. Chaque grappe porte quatre à dix fleurs. Leurs couleurs sont variables suivant les variétés, à savoir blanche, crème, mauve ou rose. Selon

CHARLES (1998), elles apparaissent à l'aisselle de chaque feuille. La fleur du haricot est autogame et complète. Elle est composée de cinq sépales, cinq pistils, dix étamines, un ovaire avec plusieurs ovules.

III.2.2.4. Graines

Les graines, sans albumen, sont riches en protéines et en glucides (Tableau 1). Elles sont rondes, elliptiques quelque peu aplaties ou arrondies (FATOU, 2002).

Tableau n°1 : Composition nutritionnelle des graines sèches du haricot

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

Source : Fatou, 2002, adapté par l'auteur

III.2.3. Phase de développement

Les étapes de développement du haricot sont divisées en deux grandes phases très différentes : la phase végétative et la phase reproductive. Ces différentes phases de développement du haricot ont été décrites par FERNANDEZ (1986), puis exploitées par CHAUX et FOURY en 1994.

III.2.3.1. Phase végétative

Cette phase commence à la germination des graines et se termine avec l'apparition de boutons floraux. Elle comprend cinq étapes de développement :

- Etape V0 : germination

L'étape V0 commence dès que la graine dispose assez d'humidité dans le sol pour sa germination épigée. La graine absorbe de l'eau et émet la radicule. La radicule devient ensuite la racine primaire ; les cotylédons restent au niveau du sol.



Photo 2: la germination du haricot
Source : [23]

- Etape V1 : émergence

Les cotylédons sortent du sol et commencent à se séparer. L'hypocotyle continue de s'allonger jusqu'à atteindre sa taille maximum. Quand il se dresse complètement, les cotylédons commencent à se diviser en deux. Les feuilles primaires commencent à se déployer.

- Etape V2 : feuilles primaires

Les feuilles primaires sont complètement déployées. Elles prennent une position horizontale. Ces feuilles sont insérées au niveau du deuxième nœud de la tige principale. Elles sont du type unifoliolé et opposé. A cette étape, la tige, les rameaux et les feuilles trifoliées se forment. On observe également la formation progressive des cotylédons qui finissent par se déperir.



Photo 3: la première feuille du haricot
Source : [23]

- Etape V3 : première feuille trifoliée

La croissance d'une feuille trifoliée se fait en trois étapes. Les folioles encore unies augmentent de taille. Ensuite elles se séparent et se déploient enfin en s'étendant sur un même plan. Lorsque la première feuille trifoliée s'est dépliée, la deuxième et la troisième feuille commencent à se déployer.

- Etape V4 : troisième feuille trifoliée

La troisième feuille trifoliée s'est dépliée quand les limbes des folioles se trouvent sur un même plan. Cette feuille est encore sous la première feuille trifoliée au début de cette étape. Les bourgeons des nœuds inférieurs se développent généralement et produisent des rameaux.

III.2.3.2. Phase reproductive

Elle commence à l'apparition des boutons floraux ou les racèmes jusqu'à la maturation à point de récolte. Elle comprend :

- Etape R5 : préfloraison

Elle commence lorsque le premier bouton floral ou la première grappe apparaît. Les boutons floraux se développent sur le dernier nœud de la tige ou du rameau.

- Etape R6 : floraison

Elle commence quand la première fleur s'ouvre. La floraison apparaît une trentaine de jours après semis.

- Etape R7 : formation des gousses

La première gousse de plus de 2,5 cm de longueur apparaît. La formation des gousses commence par le développement des valves. 10 à 15 jours après la floraison, la gousse croît dans le sens longitudinal, avec peu de progrès des graines.

- Etape R8 : remplissage des gousses

La première gousse commence à se remplir et les graines croissent en volume. La pigmentation caractéristique des valves survient généralement après le début de celle des graines.

- Etape R9 : maturation ou murissement

Les gousses se décolorent et se dessèchent. Après jaunissement, les feuilles se dessèchent également et tombent. La teneur en eau des graines diminue jusqu'à 15% et les graines acquièrent leur coloration définitive. En ce moment, la récolte peut se faire soit manuellement soit mécaniquement. Ces étapes de développements du haricot sont illustrées par la figure suivante :

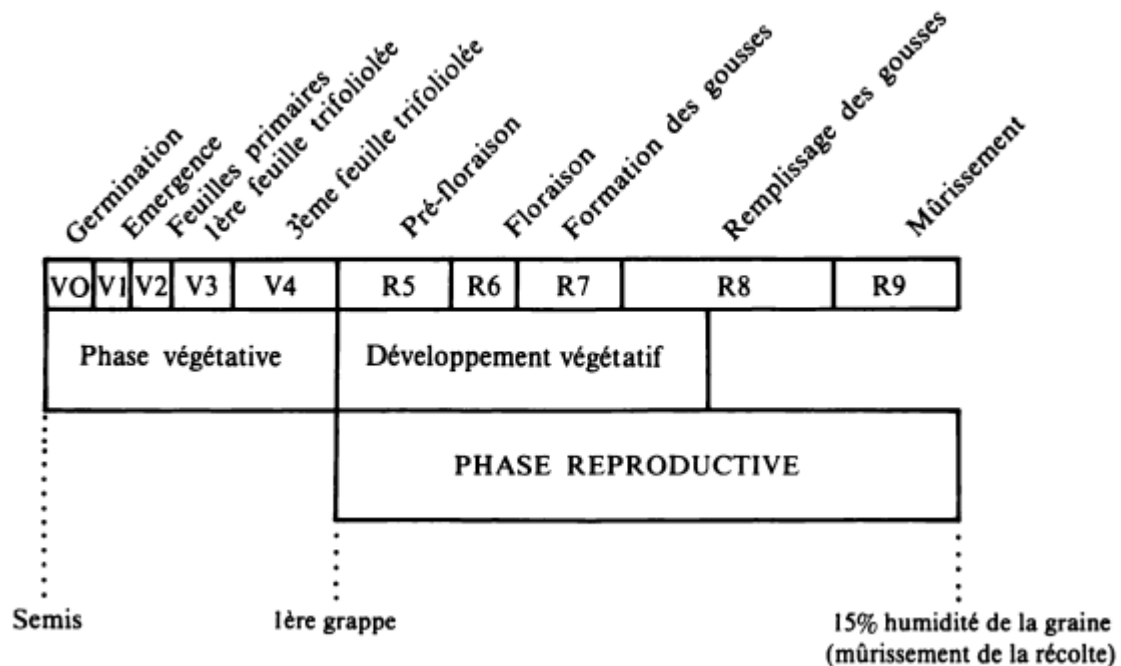


Figure 1 : Etapes de développement du haricot

Source : Fernando, 1986, adapté par l'auteur

III.3. La symbiose Rhizobium-Légumineuse

III.3.1. La symbiose

C'est une association entre 2 êtres vivants, à bénéfice réciproque. Le Rhizobium prélève dans la plante les glucides nécessaires à sa nutrition carbonée, tandis que la plante profite des substances azotées produites par la bactérie (Figure 2). L'ammoniac est ensuite transformé en acide aminé utilisable par la plante.

III.3.2. La nodulation

Dans l'interaction entre la plante hôte, le haricot, et le *Rhizobium*, les composés phénoliques exsudés par la plante hôte entraînent chez la bactérie la production de lipooligosaccharides spécifiques appelés les facteurs nod. Ce sont des signaux moléculaires qui déclenchent la division des cellules corticales de la racine, conduisant à la formation d'un nouvel organe différencié chez la plante, le nodule ou nodosité (FATOU, 2002).

Ces nodules représentent de véritables organes d'échanges métaboliques entre les bactéries et la plante. A l'intérieur du nodule, les rhizobia se différencient en bacteroides qu'ils échangent avec la plante contre les produits de la photosynthèse (RAJAONARIMAMY, 2010).

III.3.3. Importance du phosphore sur la formation des nodosités

Chez le haricot, la formation des nodules est très sensible à la concentration de phosphore dans le sol. En milieu pauvre en P, les nodules s'enrichissent plus rapidement en P que les autres parties de la plante (FATOU, 2002). Des nombreux auteurs expliquent que la quantité d'azote fixé par la plante est fortement limitée par la carence du sol en P. Au Kenya, l'application de 150 kg/ha de P_2O_5 sur la culture de haricot permet de multiplier le nombre des nodules et la quantité d'azote atmosphérique fixé (FATOU, 2002).

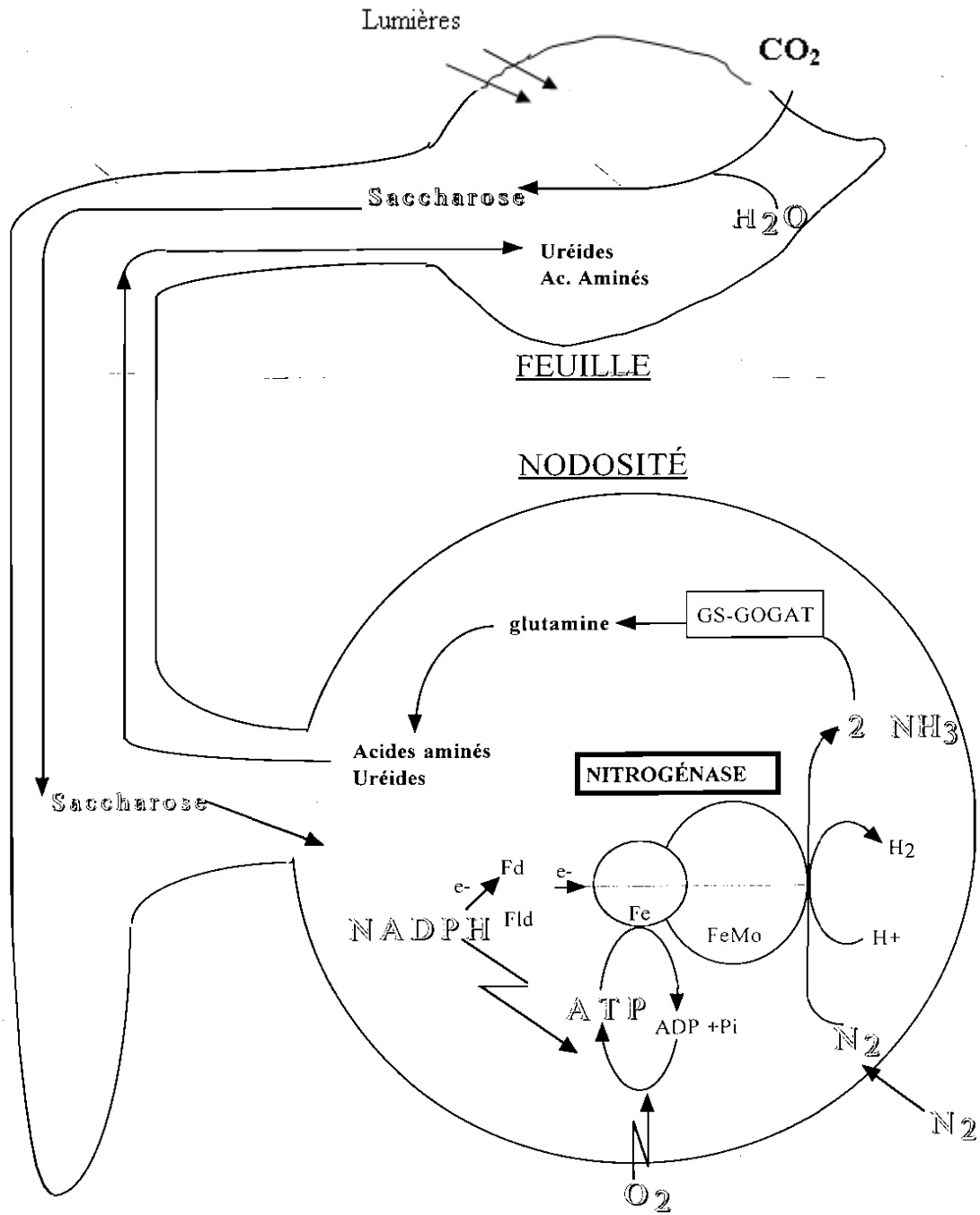


Figure 2: Schéma illustrant le métabolisme de la fixation symbiotique entre le rhizobium et la plante du haricot
 Source : Fatou, 2002

DEUXIEME PARTIE :
*DEMARCHES MATERIELS
ET METHODES*

Chapitre I : Démarches

I.1. Choix des sites expérimentaux

Dans le cadre de cette étude, la zone agro écologique du Moyen Ouest de Madagascar a été choisie. L'approche adoptée est de choisir des parcelles paysannes sur des sols de tanety. La détermination des précédents culturaux a été faite sur ces parcelles de tanety. L'historique des parcelles durant les quatre ou cinq dernières années a été noté.

I.1.1. Choix des paysans

Le but de notre étude est de suivre un réseau de parcelles chez les paysans pour évaluer la disponibilité en phosphore du sol et la capacité de nodulation des variétés de haricot. Ainsi, nous avons sélectionné 25 parcelles de tanety dans deux communes rurales du Moyen Ouest, Vinany et Ankazomiriotra. La sélection des paysans a été faite selon leur disposition à entretenir leurs parcelles, à respecter l'objectif de l'expérimentation et à faire des suivis pour assurer le bon développement des cultures. Tout au long de l'expérimentation, les désherbages manuels ont été alors confiés aux paysans responsables des parcelles.

I.1.2. Géo référence des parcelles paysannes

Pour repérer la localisation des parcelles que nous avons suivies, une détermination des coordonnées géographiques a été effectuée. Dans ce cas, la longitude, la latitude et l'altitude de ces parcelles ont été notées. Une fiche descriptive des parcelles est donnée en Annexe II donnant le nom des paysans, la localisation des parcelles et les précédents culturaux.

Les géo références vont faciliter la réalisation d'une cartographie précise de ces parcelles (figure 3). Ces données sont aussi utiles pour cibler les parcelles à suivre pour des études à venir.

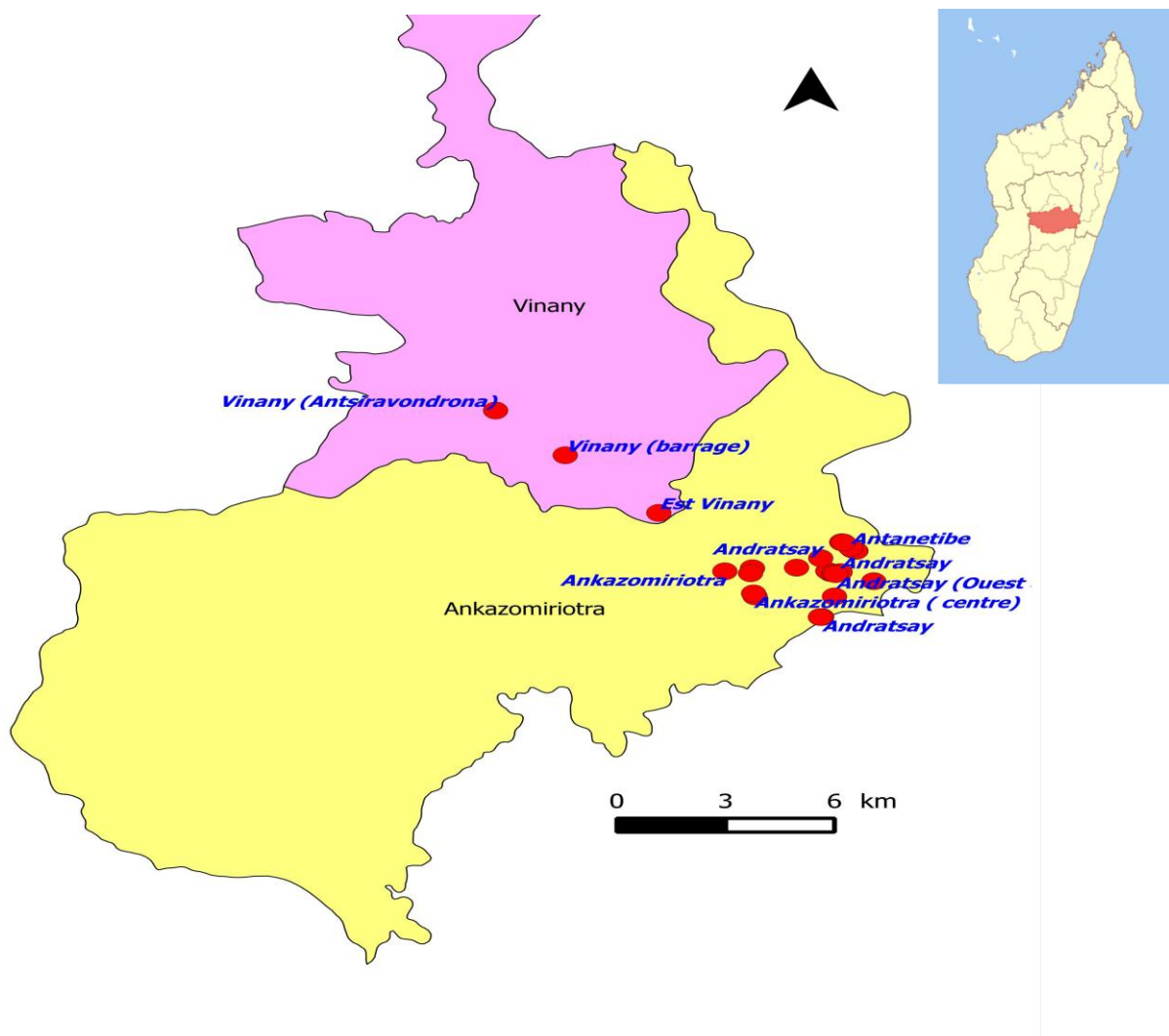


Figure 3 : Cartographie des 25 parcelles étudiées dans les deux communes du District de Mandoto, de la commune d'Ankazomiriotra et Vinany. Les localités de ces parcelles sont présentées sur la figure.
Source : Auteur

I.2. Prélèvement des échantillons

Au stade floraison du développement de la plante, des prélèvements des échantillons ont été faits. Quatre plantes par traitement ont été prélevées en cours de culture. Ces prélèvements sont utilisés pour la détermination des biomasses aériennes et des nodosités. La méthode de prélèvement des échantillons est montrée par la figure 6, en chapitre matériels et méthodes.

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est de type exploratoire avec une seule répétition par parcelle paysanne. Ce genre de dispositif simple permet une investigation sur les problèmes de la fixation symbiotique de l'azote du haricot sur le terrain. Il est utilisé lorsqu'on ne connaît pas les causes des problèmes pressentis. Dans notre cas, nous voulons explorer la disponibilité du phosphore qui pourrait être un facteur limitant de la fixation symbiotique de l'azote du haricot. Les lignées testées pourraient alors être utilisées comme un outil de diagnostic sur la fertilité en P des sols.

II.1.1. Traitements

Les traitements sont au nombre de huit, correspondant à une combinaison de deux facteurs : la variété (quatre variétés testées) ; le niveau d'apport de phosphore (deux niveaux de phosphore). Une seule répétition par parcelle paysanne a été mise en place dans chacune des 25 parcelles agricoles suivies.

II.1.1.1. *Les variétés de haricot*

- Les lignées testées

Notre étude comporte deux variétés testées qui sont des lignées RILs (Recombinant Inbreed Lines) à caractères contrastants. Ce sont le RIL 115 et le RIL 147. Ces RILs sont issus de la descendance du croisement de lignées de haricot BAT 477 et DOR 364 réalisé dans le cadre de la coopération CIAT-INRA en 1995-98. Les semences ont été obtenues auprès du centre de recherche INRA à Montpellier (France) en 2011.

L'expression du contraste entre ces deux lignées d'efficacité différente pour l'utilisation du phosphore, c'est-à-dire RIL 115, une lignée tolérante à une déficience de phosphore versus RIL 147, lignée sensible à une déficience de P, devrait permettre d'identifier des sols où l'offre de P serait limitant pour la croissance du haricot (DREVON et SIFI, 2013).

La comparaison au champ des RILs contrastantes, à l'efficacité d'utilisation du phosphore pour la fixation symbiotique de l'azote, a l'objectif supplémentaire de vérifier si la biodisponibilité du phosphore affecte la nodulation et la croissance N₂ – dépendante des variétés de haricot.

- *Les variétés témoins*

Nous avons utilisé deux types de témoins :

- le témoin local, la variété Soafianarana ou Tsaramaso fotsy, une variété sensible à la fertilité du sol, qui est une variété que les paysans ont l'habitude de cultiver et qui est la plus répandue dans la zone.
- le témoin à long terme, la variété Goiano Precoce, qui a été sélectionnée par le FOFIFA pour son adaptation aux sols acides et pauvres en phosphore, et qui a un rendement relativement stable sur les hautes terres. Cette variété est déjà diffusée par le FOFIFA et a un rendement supérieur à 2t/ha en condition de stress modéré de l'acidité du sol.

L'introduction de ces deux types de témoin bien connus dans les essais permettra d'évaluer les niveaux de fertilité des sols utilisés.

II.1.1.2. La fertilisation phosphatée

Le phosphore a été apporté sous forme de Super Triple Phosphate (46% de P_2O_5) à la dose de 50 kg/ha de P_2O_5 . Les deux niveaux de phosphore sont ainsi zéro et 50 kg/ha de P_2O_5 .

Les 8 traitements sont repartis au hasard dans chaque parcelle. Ces traitements sont récapitulés dans le Tableau 2 suivant :

Tableau n°2 : Répartition des traitements

Traitement	Niveau de P_2O_5 (kg/ha)	Variété de haricot
T1	50	Goiano Precoce
T2	0	Goiano Precoce
T3	50	Saofianarana
T4	0	Soafianarana
T5	50	RIL 115
T6	0	RIL 115
T7	50	RIL 147
T8	0	RIL 147

Source : auteur

II.1.2. La taille des parcelles et la densité de semis

La parcelle élémentaire est formée de 2 lignes de 3 m par traitement. Un écartement de 50 cm entre les lignes et 20 cm entre les poquets a été adopté (Figure 3). Cet écartement permet de bien prélever les racines des plants pour l'évaluation de la nodulation. Chaque ligne présente 15 poquets avec une graine de haricot par poquet. Le schéma de l'essai multi local dans 25 parcelles paysannes est donné dans la Figure 5. Chaque parcelle paysanne est considérée comme une répétition donnant ainsi 25 répétitions au total. Les parcelles sont codées de A à Y.

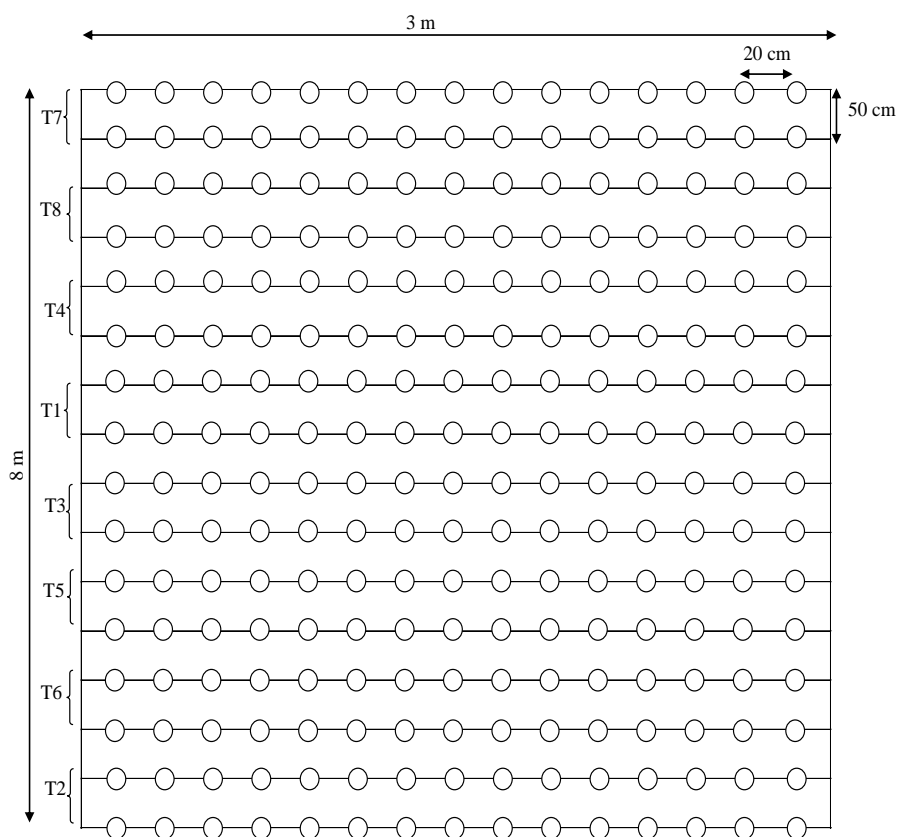


Figure 4 : Exemple de dispositif expérimental de la parcelle A montrant les 8 traitements et les écartements de semis.

Source : Auteur

Répétition 1 : Ankazomiriotra (centre)								Répétition 22 : Antanetibe							
A7	A8	A4	A1	A3	A5	A6	A2	V2	V3	V1	V4	V6	V7	V5	V8
Répétition 2 : Ankazomiriotra (Ambopoloalina Ambomanatrika)								Répétition 23 : Est Vinany							
B3	B7	B2	B6	B1	B5	B4	B8	W1	W4	W7	W2	W8	W3	W6	W5
Répétition 3 : Ankazomiriotra (Ambopoloalina)								Répétition 24 : Antanetibe							
C2	C8	C1	C7	C5	C4	C3	C6	X7	X8	X3	X6	X5	X2	X4	X1
Répétition 4 : Ankazomiriotra								Répétition 25 : Antanetibe							
D1	D7	D2	D4	D6	D3	D5	D8	Y5	Y4	Y1	Y6	Y3	Y8	Y2	Y7
Répétition 5 : Ankazomiriotra (Antsahabe)															
E1	E5	E2	E8	E7	E4	E6	E3								
Répétition 6 : Ankazomiriotra (centre)															
F5	F2	F1	F7	F6	F1	F3	F8								
Répétition 7 : Vinany (Antsiravondrona)															
G4	G2	G7	G1	G6	G5	G8	G3								
Répétition 8 : Vinany (barrage)															
H8	H2	H5	H3	H6	H4	H1	H7								
Répétition 9 : Andratsay															
I1	I4	I5	I8	I7	I3	I6	I2								
Répétition 10 : Andratsay															
J2	J7	J4	J8	J3	J1	J6	J5								
Répétition 11 : Andratsay															
K4	K1	K2	K6	K7	K5	K8	K3								
Répétition 12 : Andratsay															
L5	L6	L8	L3	L7	L2	L1	L4								
Répétition 13 : Andratsay															
M1	M3	M6	M2	M5	M7	M4	M8								
Répétition 14 : Andratsay (Vatolahy)															
N8	N2	N7	N6	N1	N5	N4	N3								
Répétition 15 : Andratsay															
O4	O1	O6	O3	O2	O7	O5	O8								
Répétition 16 : Andratsay															
P7	P6	P3	P1	P2	P8	P5	P4								
Répétition 17 : Andratsay															
Q3	Q7	Q1	Q5	Q6	Q4	Q8	Q2								
Répétition 18 : Andratsay															
R1	R6	R3	R8	R7	R2	R4	R5								
Répétition 19 : Antanetibe															
S3	S6	S1	S4	S8	S5	S2	S7								
Répétition 20 : Antanetibe															
T5	T1	T8	T3	T4	T7	T2	T6								

Légende :

- **Lettres** : codage des parcelles
- **Chiffres** : les traitements

Figure 5: Les 25 répétitions réparties dans les parcelles paysannes de différentes localités montrant les traitements randomisés.

Source : Auteur

II.2. Conduite de l'expérimentation

II.2.2. La mise en place

La mise en place des dispositifs expérimentaux a été faite pendant la demi-saison « verimboly », et a débuté le 12 février 2013. Pour éviter une contamination en phosphate entre les traitements, un canal de protection de 30 cm de profondeur et 20 cm de large, est réalisé manuellement pour séparer les placettes.

II.2.3. Suivi de culture

Durant la culture, des désherbages sont faits afin d'éliminer la compétition des mauvaises herbes avec les plants de haricot. Le désherbage est fait manuellement par arrachage à la main ou à l'aide de l'angady. La fréquence du désherbage dépend du taux d'envahissement des mauvaises herbes sur la parcelle.

II.2.4. Prélèvement des échantillons

Au stade floraison (R6) de développement des haricots, 4 plantes sont prélevées en bordures de chaque parcelle élémentaire. Deux plants par ligne sur les 2 côtés opposés des deux lignes (Figure 6) sont délicatement déracinés à l'angady en faisant attention de ne pas couper les racines. Les racines servent à évaluer la nodulation (nombre de nodosités et leur poids secs) ainsi que la biomasse sèche racinaire. Les parties aériennes des plants prélevés servent à mesurer la biomasse de la matière sèche aérienne. La partie centrale est laissée pour évaluer les rendements en graines à la récolte.

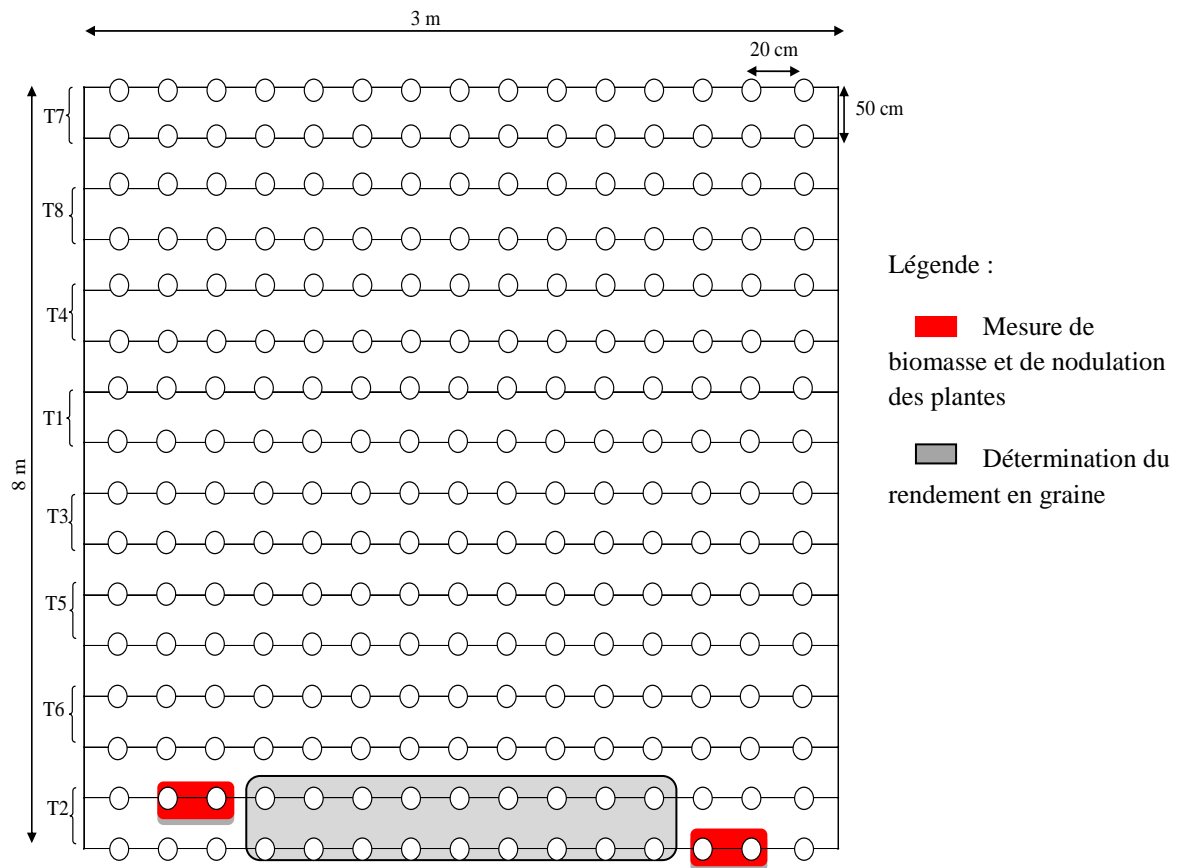


Figure 6 : Plan de prélèvement des échantillons

Source : Auteur

Les échantillons de plantes prélevés sont mis dans un sac en plastique et ramenés au laboratoire pour les différentes mesures. Mesure de biomasses et de nodulation des plantes.

II.2.4.1. Détermination de la biomasse sèche des plantes

Le prélèvement nous a permis d'obtenir quatre plants par traitement. Pour chaque plant, Les parties aériennes sont séparées de la partie racinaire à l'aide de ciseaux. Puis, la biomasse fraîche est mesurée à l'aide d'une balance de précision. Ensuite, les échantillons enveloppés dans un papier emballage sont mis à l'étuve à 60°C pendant 72 heures pour séchage. En fin de séchage, le poids sec des échantillons est déterminé. Les biomasses sèches des parties aériennes et des racines sont exprimées en gramme.

II.2.4.2. Détermination du nombre et du poids sec de nodosités

Les nodosités sont délicatement séparées de la racine à l'aide d'une pince et comptées en les séparant selon leur taille (petite, moyenne et grande). Les nodosités sont pesées à l'aide d'une balance de précision pour déterminer leur poids frais, puis elles sont séchées à l'étuve à 60°C pendant 72 heures. Ensuite, leur poids sec est mesuré.



Photo 4 : Balance de précision

Source : ANDRIANIRIANA, 2010

II.3. Traitement des résultats

Les résultats obtenus sont représentés sous forme d'histogrammes à valeurs décroissantes selon le poids sec de nodosités, avec apport de P, pour chaque variété de haricot étudiée. La réponse en nodulation est confrontée avec la réponse en biomasse aérienne sèche des plantes. Les réponses sont classées en typologie de parcelles selon la nodulation et la croissance N₂-dépendante des variétés et les sols où l'offre de P seraient limitant. Une analyse de corrélation entre la biomasse aérienne et le poids sec des nodosités a été faite pour les parcelles qui permettent une nodulation pour toutes les variétés étudiées à l'aide d'un logiciel statique : XLSTAT 2008.

TROISIEME PARTIE :

RESULTATS
DISCUSSIONS ET
SUGGESTIONS

Chapitre I : Résultats

I.1. Résultats obtenu dans les Moyen Ouest

Les figures suivantes vont montrer le poids des nodosités et de la biomasse aérienne des variétés étudiées, obtenus à partir des échantillons prélevés dans les parcelles paysannes ayant participées à cette expérimentation en milieu réel dans le Moyen Ouest Vakinankaratra. Ces variétés sont : RIL 147, RIL 115, Goiano precoce et Soafianarana, Les parcelles sont présentées selon le poids par ordre décroissant des nodosités des plantes ayant reçu la fertilisation phosphatée.

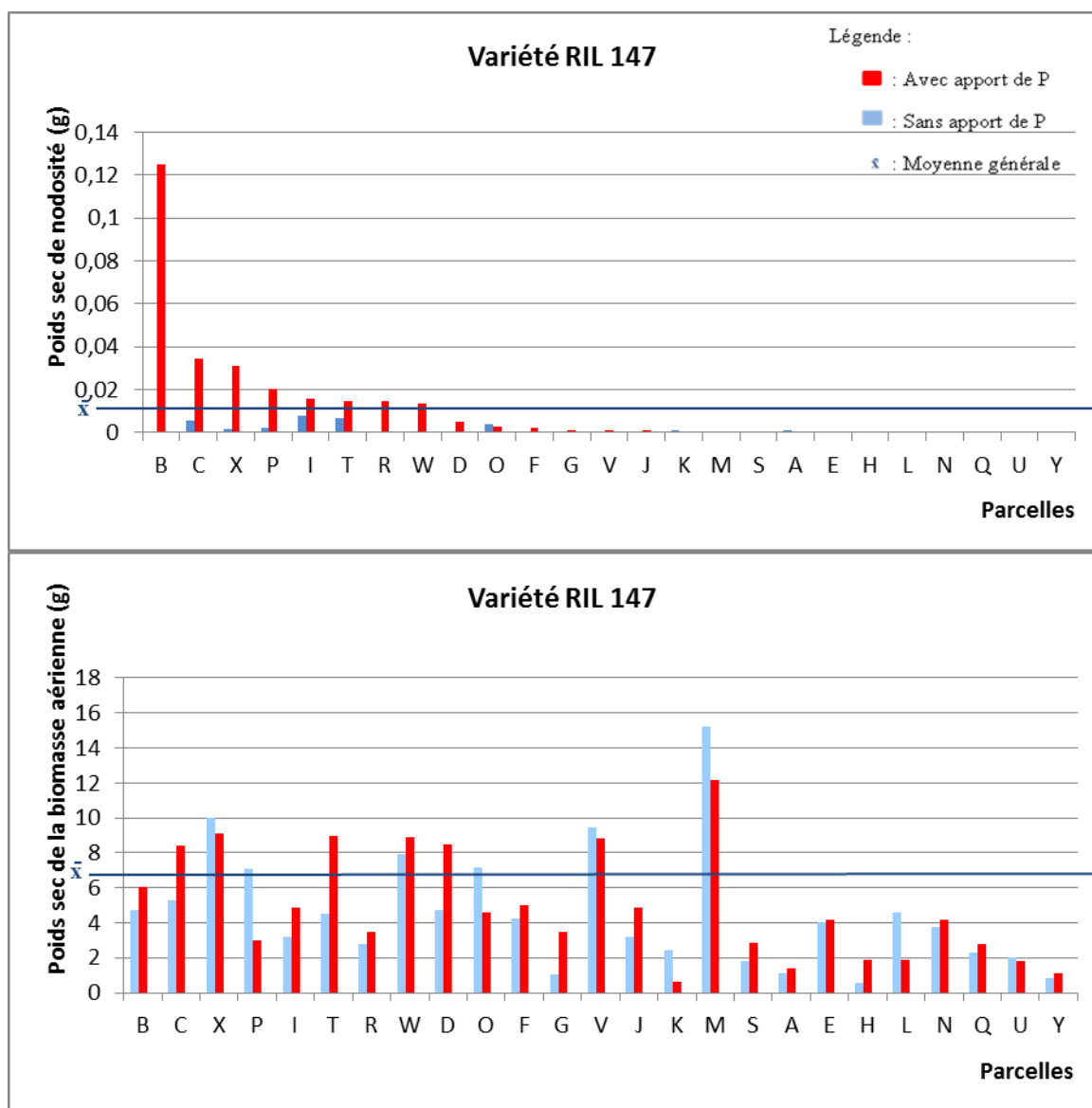


Figure 7: (7A) Poids secs de nodosités et (7B) biomasse aérienne sèche de la variété RIL 147, avec et sans apport de phosphate, dans les parcelles paysannes à Ankazomiriotra. Les parcelles sont codées avec des

lettres majuscules A à Y décrit en annexe IV. Le niveau de la moyenne générale du poids sec des nodosités et de la biomasse aérienne est représenté dans les graphiques par un trait horizontal

Pour la variété recombinaée RIL 147 qui est une variété sensible à une carence en phosphore, on constate que l'apport de phosphate a favorisé l'augmentation du poids sec des nodosités dans certaines parcelles (B, C, X, P, R et W). Cependant, dans le reste des parcelles aucun effet de l'apport de phosphate n'a été trouvé, en général, il n'y a pas de nodulation.

Dans les parcelles où RIL 147 donne de très faible nodulation ou nulle, la biomasse aérienne est très faible à l'exception de la parcelle M.

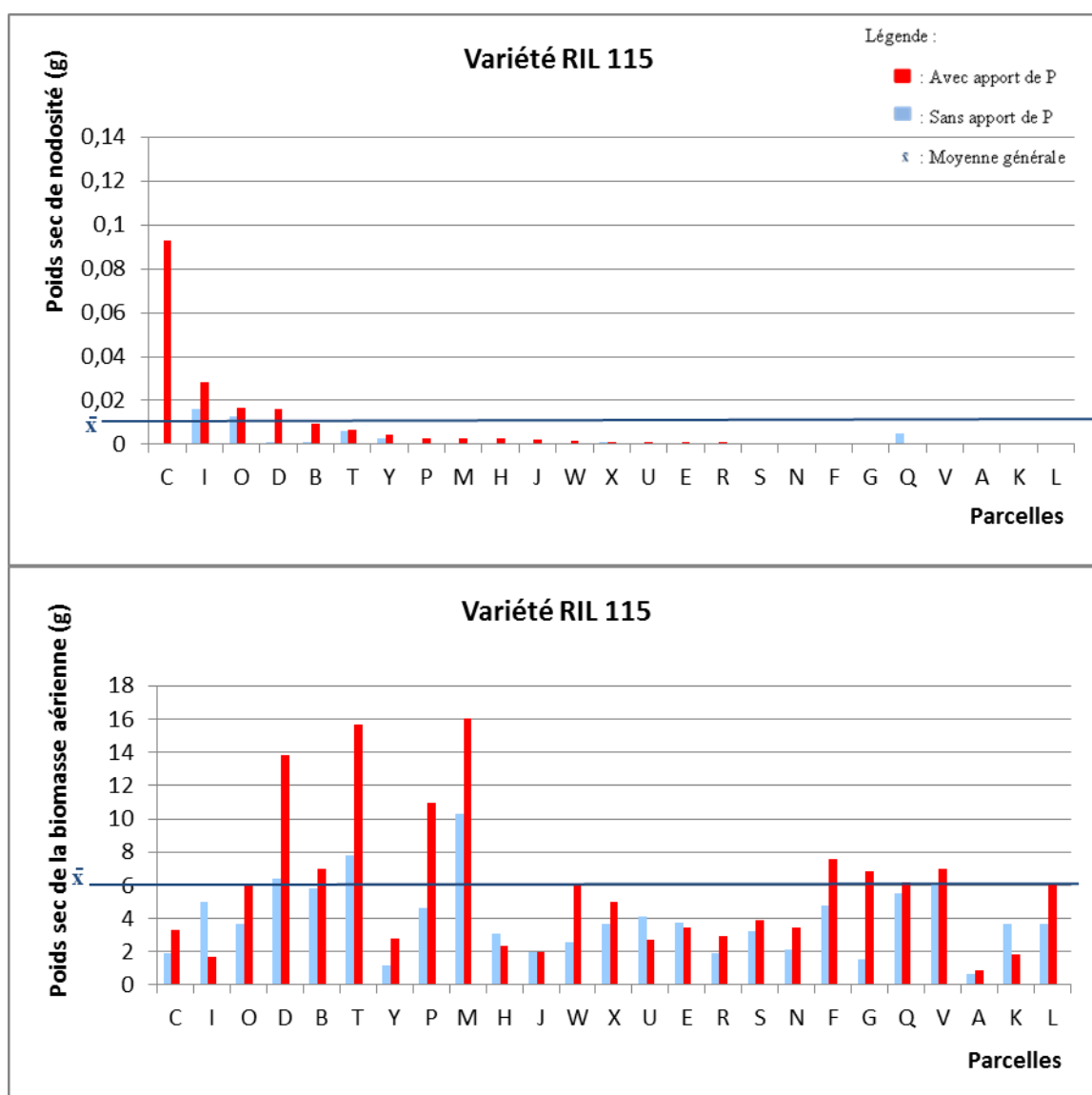
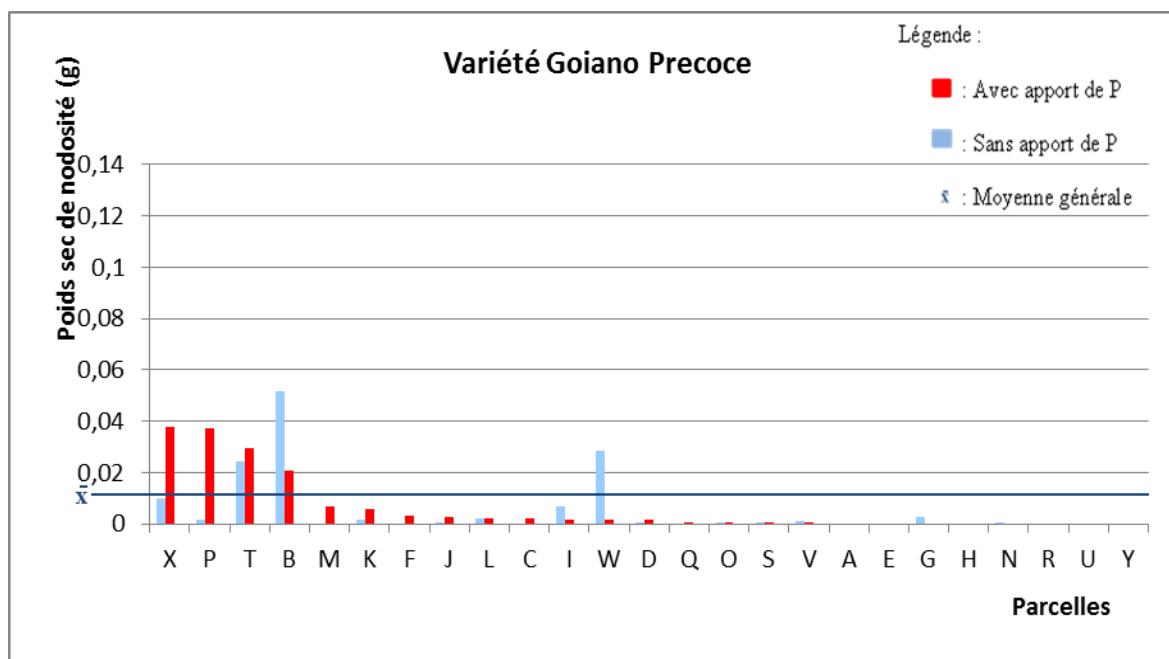


Figure 8: (8A) Poids secs de nodosités et (8B) biomasse aérienne sèche de la variété RIL 115, avec et sans apport de phosphate, dans les parcelles paysannes à Ankazomiriotra. Les parcelles sont codées avec des

lettres majuscules A à Y décrit en annexe IV. Le niveau de la moyenne générale du poids sec des nodosités et de la biomasse aérienne est représenté dans les graphiques par un trait horizontal

Pour la variété recombinaée RIL 115 qui est une variété tolérante à la carence en phosphore, l'apport de phosphate n'a induit qu'une augmentation moindre du poids sec de nodosités dans 3 parcelles (I, O, D). Seules les plantes de la parcelle C qui n'avaient pas nodulé dans le traitement sans P ont donné un poids de nodosité le plus élevé (0,09 g). Le reste des parcelles n'ont donné qu'une très faible nodulation à nulle des plantes.

L'augmentation de la biomasse aérienne de RIL 115 sous l'apport de phosphate ne concorde pas avec la nodulation. Les plantes ayant produit plus de nodosités n'ont pas eu un accroissement de la biomasse aérienne à l'exception des plantes dans la parcelle D. Le reste des parcelles donne des plantes à très faible biomasse aérienne sauf dans 3 parcelles (T, P, M). Dans ces 3 parcelles, l'apport de phosphate a favorisé l'augmentation de la biomasse aérienne de RIL 115 de 36 à 84 %.



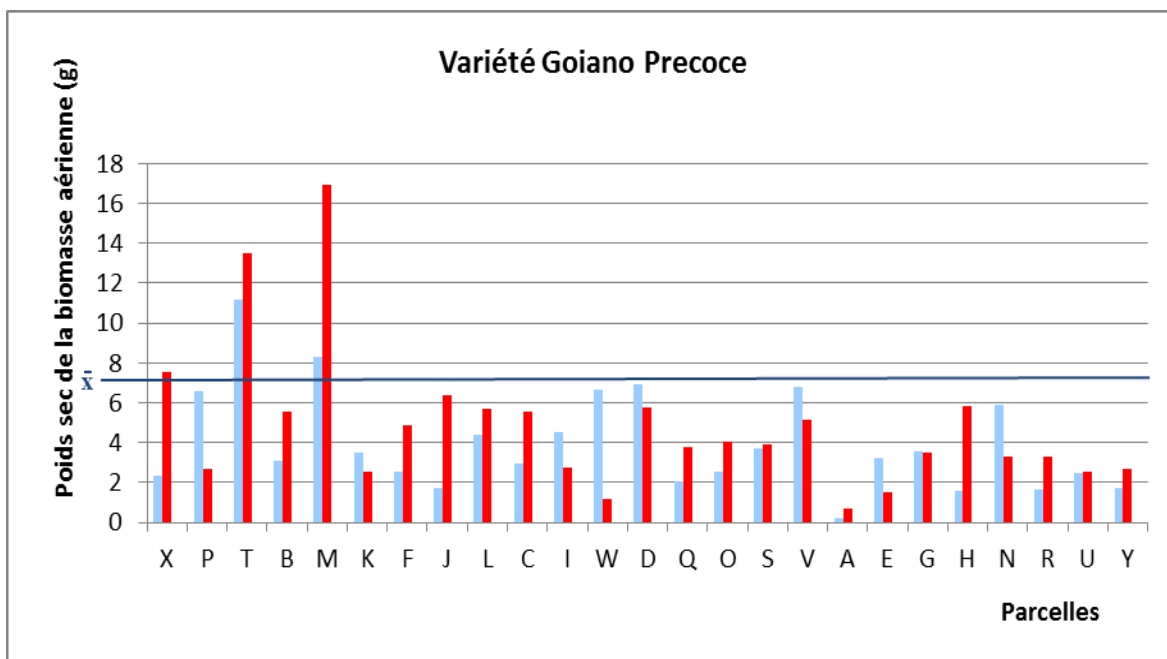


Figure 9: (9A) Poids secs de nodosités et (9B) biomasse aérienne sèche de la variété Goiano precoce, avec et sans apport de phosphate, dans les parcelles paysannes à Ankazomiriotra. Les parcelles sont codées avec des lettres majuscules A à Y décrit en annexe IV. Le niveau de la moyenne générale du poids sec des nodosités et de la biomasse aérienne est représenté dans les graphiques par un trait horizontal.

Pour la variété Goiano Precoce qui est une variété tolérante à la carence en phosphore sur les hautes terres, il n'y a eu augmentation du poids de nodosités, avec l'apport de phosphate, que pour 2 parcelles (X et P) avec une valeur faible (0,04g). Dans le reste des parcelles il n'y a pas eu d'effet du P, le poids sec des nodosités est très faible à nul.

Concernant la biomasse aérienne, les plantes dans la plupart des parcelles ont eu une augmentation de celle-ci mais faible, en dessous de la moyenne générale (5,12g), sauf dans la parcelle M où la biomasse aérienne a augmenté de 48,8%. Tandis que dans la parcelle T, la biomasse aérienne des plantes est élevée même sans apport de P (11,2g).

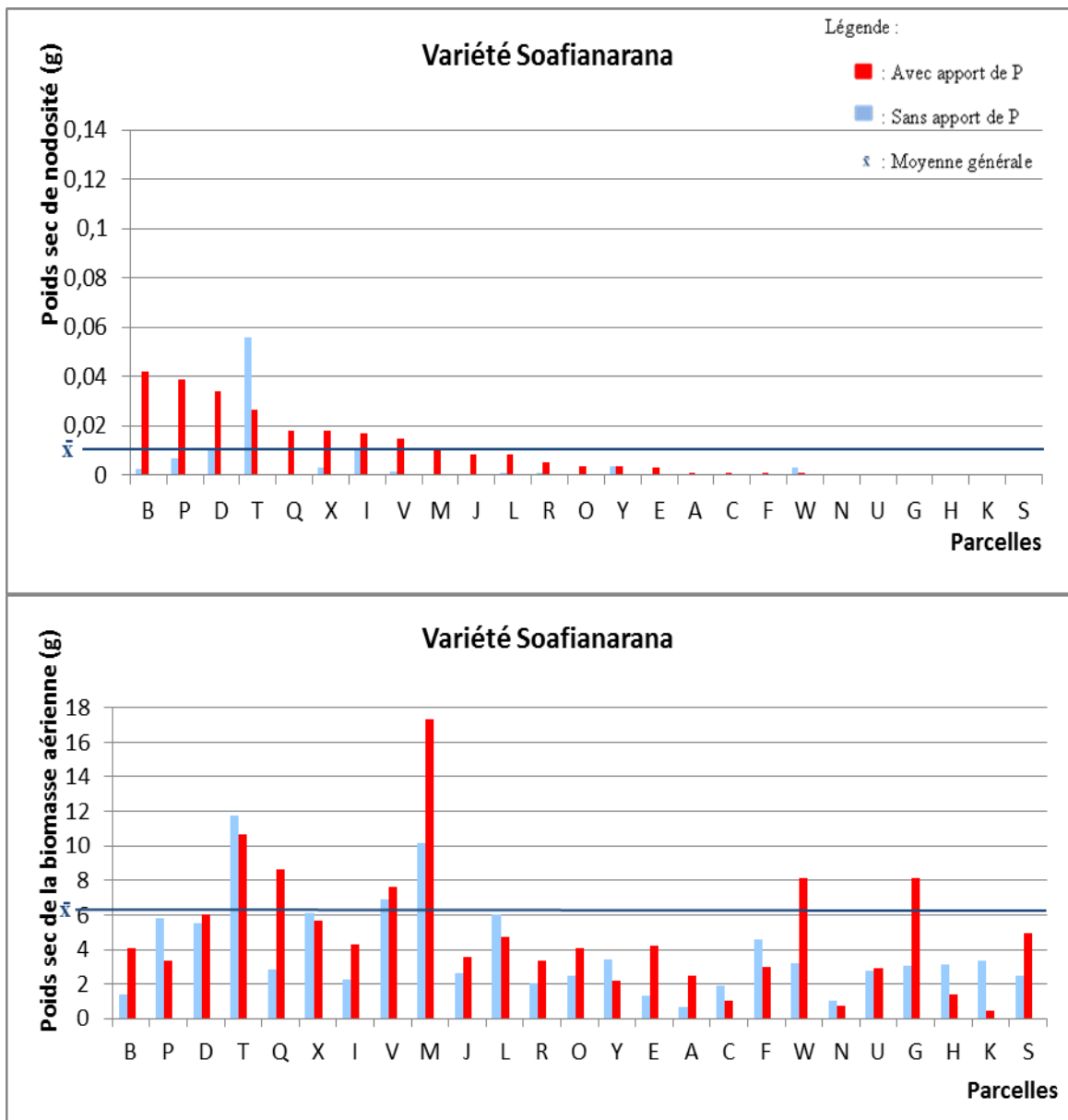


Figure 10: (10A) Poids secs de nodosités et (10B) biomasse aérienne sèche de la variété Soafianarana, avec et sans apport de phosphate, dans les parcelles paysannes à Ankazomiriotra. Les parcelles sont codées avec des lettres majuscules A à Y décrit en annexe IV. Le niveau de la moyenne générale du poids sec des nodosités et de la biomasse aérienne est représenté dans les graphiques par un trait horizontal

Pour la variété Soafianarana, qui est la variété populaire locale, l'apport de P a favorisé une augmentation du poids sec de nodosité dans 11 parcelles. Cependant, le poids sec de nodosité reste faible (0,04g). Le reste des parcelles ont des plantes sans nodosité.

Concernant les biomasses aériennes, l'augmentation du poids des nodosités n'a pas eu d'effet sur les biomasses aériennes du Soafianarana, sauf pour les plantes dans les 2 parcelles Q et M. L'augmentation de leur biomasse aérienne fait respectivement 33% et 58,6% par rapport à celle des plantes sans P.

En général, pour les poids de nodosités et les biomasses aériennes, avec l'apport de phosphate, nous avons quatre typologies de parcelles par rapport à la fixation symbiotique de l'azote et selon les variétés :

Tableau n°3 : typologie des parcelles comportant les quatre variétés, les parcelles et les observations

Variétés	Parcelles	Observation
RIL 147	B, C, T et D	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du poids sec des nodosités - Augmentation du poids sec de la biomasse aérienne
RIL 147, RIL 115, Goiano Precoce, Soafianarana	B, C, P, I, X, W	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du Poids sec des nodosités - Pas d'augmentation observée sur le poids sec de la biomasse aérienne
RIL 147, RIL 115, Goiano Precoce, Soafianarana	M, T, R, D, V	<ul style="list-style-type: none"> - Poids sec des nodosités est très faible et sans nodosité - Augmentation poids sec de la biomasse aérienne élevée
RIL 147, RIL 115, Goiano Precoce, Soafianarana	A, E, F, G, H, J, K, L, N, O, Q, S, U, Y	<ul style="list-style-type: none"> - Sans nodosités - Pas d'augmentation du poids sec de la biomasse aérienne (poids : faible à très faible)

I.2. Analyse de corrélation

Afin de déterminer les relations entre le poids de nodosités et le poids de la biomasse aérienne des plantes, des analyses de corrélations ont été faites. Les analyses ont été effectuées pour deux parcelles d'Ankazomiriotra (B et T) qui ont présenté suffisamment de nodosités pour toutes les variétés. L'analyse pour la parcelle T a montré qu'il n'y a pas de corrélation entre ces variables. Le coefficient de détermination R^2 est égal à 0,1104, la droite de régression montre une faible pente (Figure 11).

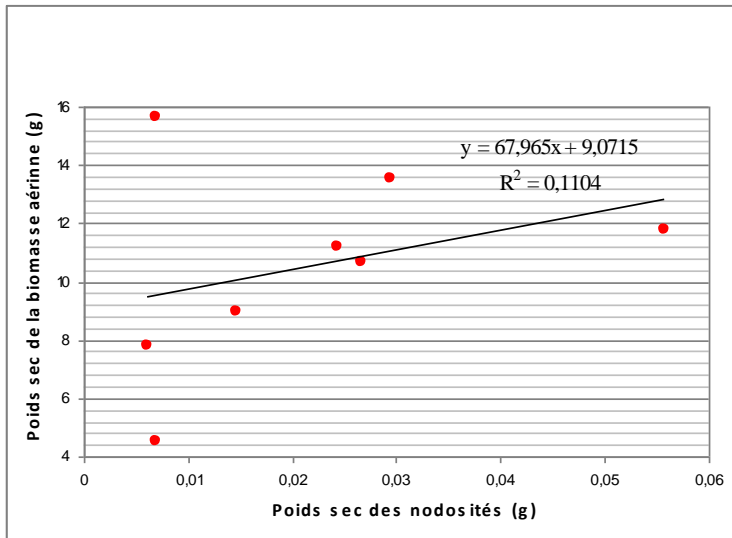


Figure 11 : Corrélation entre le poids sec de nodosité et la biomasse aérienne sur la parcelle T, montrant les 8 traitements étudiés représenté ici par des points.

Source : Auteur

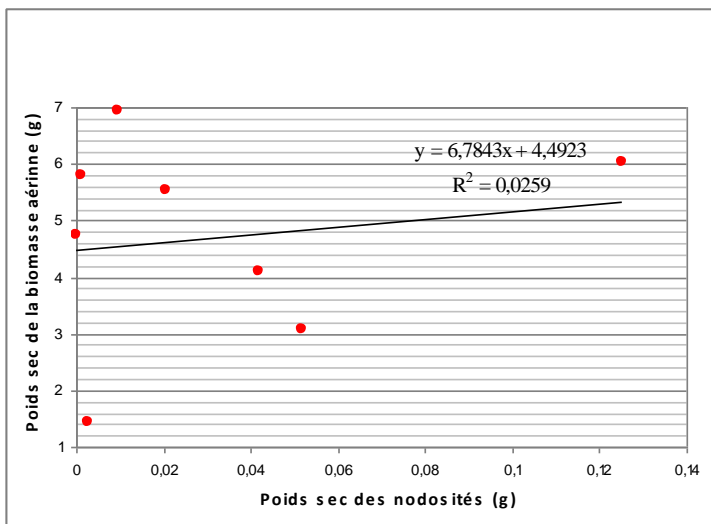


Figure 12: Corrélation entre le poids sec de nodosité et la biomasse aérienne sur la parcelle B, montrant les 8 traitements étudiés représenté ici par des points.

Source : Auteur

De même, la corrélation entre le poids de nodosité et de la biomasse aérienne des plantes pour la parcelle B n'est pas significative. Le coefficient de détermination R^2 est égal à 0,0259.

Ainsi, on peut conclure que la présence de nodosités n'a qu'un faible effet sur le développement de la plante du haricot, en expérimentation aux champs dans la zone d'Ankazomiriotra, pour ces deux parcelles.

Chapitre II : Discussions

II.1. La capacité de nodulation des variétés

La fixation de l'azote atmosphérique résultant de la symbiose rhizobia-légumineuses peut constituer une source d'azote durable et peut compléter ou remplacer les intrants azotés. Le haricot est une culture importante que ce soit comme source d'argent, de protéine de bonne qualité ou pour l'amélioration de la fertilité du sol. Les paysans du Moyen Ouest du Vakinankaratra cultivent surtout le haricot sur le sol de bas de pente (kidona) car la culture de haricot sur le sol acide ferrallitique de tanety est limitée par la carence du sol en azote et en phosphore. Comme cette étude concerne surtout le sol des tanety, la comparaison de la capacité de nodulation des variétés ayant reçu une dose de P et celle sans apport de P, permet de déterminer si la fixation d'azote a couvert les besoins azotés de la plante.

Nos résultats ont montré que les variétés sensibles RIL 147 et Soafianarana avec zéro apport de P_2O_5 ne donnent pas de nodosité. Tandis que, l'application de phosphate 50 kg/ha de P_2O_5 permettent d'obtenir une augmentation du poids de nodosités. Nos résultats confirment celui de AMIJEE et al. (1988) en Tanzanie qui avaient obtenues une forte nodulation du haricot avec l'apport de 180 kg/ha de P_2O_5 sous forme de Super Triple Phosphate.

Quant aux variétés tolérantes RIL 115 et Goiano Precoce, la nodulation des plantes dans les parcelles n'ayant pas reçu de P est très faible à nulle. Une faible nodulation est observée à l'apport de P. Ceci montre que ces variétés tolérantes sont performantes même sans nodulation car elles étaient sélectionnées pour cette caractéristique. Par rapport au Goiano Precoce, la variété RIL 115 répond mieux à l'apport de P. Le Goiano Precoce est une variété tolérante aux sols acides et à la carence en P sur les hautes terres. Cela suppose que la variété Goiano Precoce est peu adaptée aux conditions pédoclimatiques du Moyen Ouest de Vakinankaratra.

II.2. L'offre en P dans les différentes parcelles paysannes

Beaucoup de parcelles paysannes n'ont pas permis aux variétés de haricot de noduler. Cependant dans le Moyen ouest du Vakinankaratra, les enquêtes que nous avons menées ont montré que certains paysans apportent des fumiers de ferme sur leurs cultures. De ce

fait, la fertilité du sol ne devrait pas être trop mauvaise. Mais, les résultats de RANDRIANANDRASANA (2012) montrent un sol fortement acide (pH = 4,8) et très pauvre en matière organique (C total 1,5 %) de ces sols de Moyen Ouest. RAKOTOMANGA (2013) confirme la très basse fertilité phosphatée des sols ferrallitiques du Moyen Ouest avec une capacité d'adsorption moyenne. L'étude de corrélation qu'il a faite n'a pas permis de mettre en évidence un effet du pH sur la rétention et la disponibilité du P. Il attribue les variations des teneurs en P au rôle des matières organiques des sols. Ces différents résultats confirment que l'offre en P dans les parcelles étudiées est fortement insuffisante. C'est ce qui a été observé dans la parcelle B qui se trouve à Ambopoloalina (Ankazomiriotra), une augmentation du poids des nodosités de la variété RIL 147 est obtenue avec l'apport de phosphore.

II.3. La typologie des parcelles

L'augmentation de la biomasse aérienne des variétés de haricot varie beaucoup selon les parcelles. Cette augmentation ne suit pas toujours l'accroissement du poids des nodosités et dans certains cas, l'apport de phosphore n'apporte pas de changement de poids des parties aériennes des plantes. Ces différentes réponses des variétés en fonction de l'apport de P ont permis une classification des parcelles.

Les parcelles ont été classées en 4 groupes selon la réponse des variétés à l'apport de phosphore et leur capacité de nodulation. Les réponses des variétés par rapport à leur biomasse aérienne et le poids sec de nodosités reflètent l'efficacité et la compétitivité des souches de rhizobiums dans les sols étudiés. Les souches de rhizobiums présents dans une parcelle peuvent être considérées comme efficaces si le poids sec des nodosités a un effet positif sur les poids sec de la biomasse aérienne (RABARY, 1993).

Dans le groupe 1 de la typologie des parcelles, en réponse à l'apport de phosphore, seule la variété RIL 147 a montré une nodulation élevée des plantes ayant des effets positifs sur le poids de la biomasse aérienne. Ceci n'a été observé que dans 4 parcelles (B, C, T et D). Dans ces situations, RIL 147 montrent une croissance N₂-dépendante. Cependant, l'analyse de corrélation entre le poids sec des nodosités et le poids sec de la biomasse aérienne dans les parcelles B et T n'est pas significative. Ceci montre que la fixation symbiotique de N₂ n'est pas proportionnelle au poids sec des nodosités, mais est fonction de l'efficacité des souches (RABARY, 1993).

Le groupe 2 contient des parcelles qui permettent l'augmentation du poids sec des nodosités avec l'apport de P, mais ces nodosités n'induisent pas une augmentation de la biomasse aérienne. Ceci a été observé pour toutes les variétés. Cette situation montre une capacité de nodulation des plantes mais une déficience des rhizobia. Selon RABARY (1993), même si la plante est pourvue de nodosité, il n'y a pas obligatoirement de fixation de l'azote. Dans ce genre de situation une inoculation des graines de haricot avec des souches efficaces et compétitives de Rhizobia sera nécessaire au moment du semis. Ce groupe est formé par les parcelles B, C, P, I, X et W.

Le groupe 3 est caractérisé par des parcelles ayant des plantes dont la biomasse aérienne est élevée alors que la masse des nodosités est très faible ou sans nodulation. Ce cas peut correspondre soit à un taux important d'azote dans le sol de ces parcelles (M, T, R, D et V), soit l'infectivité des souches autochtones fait défaut. Une augmentation du poids de la biomasse aérienne qui n'est pas causé par la nodulation explique que la fertilité du sol dans ces parcelles permet à la plante de se développer sans fixation d'azote atmosphérique. Les plantes puisent l'azote qui est déjà présent dans le sol. En ce qui concerne l'infectivité, c'est l'aptitude de la souche à pénétrer dans les tissus racinaires et à induire la nodulation (HAMDI, 1986). Toutes les variétés ont été représentées dans ce groupe.

Enfin, le groupe 4 est formé par les parcelles qui donnent des plantes sans nodosités et des biomasses aériennes très faibles même avec l'apport de phosphore pour toutes les variétés même les variétés tolérantes au sol pauvre en P. Dans ces parcelles, les niveaux de carence en N et P du sol peuvent être tellement excessifs que l'apport de 50 kg/ha de P₂O₅ est trop faible, n'induisant aucune réponse des plantes. Dans ces parcelles, il serait nécessaire d'augmenter la dose de P apportée. Malheureusement, ce cas a été observé dans plus de la moitié des parcelles paysannes suivies. Ce qui reflète l'insuffisance d'amendement et de fertilisation des parcelles dans le Moyen Ouest.

CONCLUSION

La fixation symbiotique de l'azote joue un rôle important dans le développement et la croissance du haricot et des légumineuses en général. Cependant, le haricot est considéré comme étant une légumineuse à faible capacité de fixation d'azote (FATOU, 2002).

D'après notre étude, l'apport de phosphate est primordial dans le cas des sols du Moyen Ouest du Vakinankaratra. Les résultats ont montré une faible réponse des variétés de haricot étudiées en apport de phosphore dans la plupart des parcelles étudiées.

En effet, ces résultats nous ont permis d'établir une typologie des parcelles vis-à-vis de la culture du haricot. Cette typologie peut aider à prendre une décision pour la conduite des cultures dans le futur. Il est nécessaire de continuer cette expérimentation dans le futur en bien sélectionnant les parcelles à étudier selon les groupes établis. Donc selon le cas, soit une augmentation de l'apport de P est recommandée, accompagnée de l'inoculation des graines de haricot par des souches efficaces de rhizobium, soit c'est la technique culturale des paysans qui devrait être corrigée pour qu'ils restituent plus de matière organique dans leur sol rectifiant ainsi petit à petit le pH ainsi que la teneur en C du sol.

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

Bibliographie

1. Amijee F et al, 1988. *Response of Phaseolus-vulgaris L to inoculation with Rhizobium and fertilization with nitrogen and phosphorus in Northern Tanzania*. In Maximiser la fixation biologique de l'azote pour la production agricole et forestière en Afrique. 228-238 pp.
2. ANDRIANIRIANA J Robert, 2010. *Evaluation et caractérisation agronomique des lignés du haricot sur les Hautes terres malagasy*. 40 pp. Rapport de stage en vue de l'obtention de la licence professionnelle. ASJA, filière science agronomiques, option production végétale.
3. C. SAMSON, R. FETIARISON, 1989. *Nodulation du haricot cultivé en sol de rizière*. 153 pp, CIRAD-IRAT, Paris.
4. CHARLES Messian, 1998. *Le potager tropical*. 583 pp, CILF, Paris.
5. CIRAD, GRET, 2002. *Mémento de l'agronome*, 1691 pp, Ministère des affaires étrangères, France.
6. CL. CHAUX, CL. FOURY, 1994. *Productions légumières Tome 3*, 563 pp, TEC&DOC, Paris.
7. Debouck D, 1991. *Systematics and morphology*. P55-118 In *Common bean: Research for crop improvement*. A Van Shoonhoven & O Voysest Eds. C.A.B International, Wallingford, UK and CLAT, Cali, Colombia
8. Fatou N D, 2002. *Utilisation des inoculum de Rhizobium pour les cultures du haricot (Phaseolus vulgaris) au Sénégal*. Thèse, université Cheikh Anta Diop Dakar, 3-20.
9. FERNANDEZ Fernando, 1986. *Etapas du développement de la plante du haricot commun*, 34 pp, CIAT, Cali Colombie.
10. FOFIFA, 2004. *Filière Haricot : des semences de qualité pour l'exportation*, 20 pp, KAROKA, Antananarivo.
11. HAMDI, 1986. *Application des systèmes fixateurs d'azote dans l'amélioration et l'aménagement des sols*. FAO, 49. Rome.

12. JJ DREVON et B SIFI. *Protocole d'enquête sur la nodulation et les cycles C, N, P du haricot et légumineuses à graines*. 3pp.
13. Odile DOMERGUE, 2006. *Diversité des rhizobia associés à ononis repens : Une légumineuse adaptée aux milieux Méditerranéens*, Mémoire pour l'obtention du Diplôme de l'École Pratique des Hautes Études, Sciences de la vie et de la terre, 78 pp.
14. Pereira PA et Bliss FA, 1987. Nitrogen fixation and plant growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at different levels of phosphorus availability. 79-84 pp. Plant Soil 104.
15. R. KROLL, 2000. *Les cultures maraîchères*, 219 pp, Maisonneuve et Larose, Paris.
16. RABARY Bodovololona, 1993. *Criblage de souche de rhizobium léguminosarium bv phaseoli sur Phaseolis vulgaris variété Menakely*. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie en Science biologique appliqué. 73 pp.
17. RAJAONARIMAMY Elinarindra, 2010. *Influence de la diversité mycorhizienne sur la symbiose dalbergia trichocarpa – rhizobia et sur la structure de la microflore tellurique*. Mémoire pour l'obtention de diplôme d'études approfondies en Sciences de la vie, option : biotechnologie – microbiologie. Université d'Antananarivo, faculté des Sciences, département de biochimie fondamentale et appliquée
18. RAKOTOMANGA Hajaniaina Noa Hervé, 2013. *Evaluation des teneurs et du stock de phosphore (P) total et de son potentiel de rétention sur les sols d'une petite région agricole du Moyen-Ouest de Madagascar*. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master en filière sciences agronomiques, option production végétale. ASJA. 50pp.
19. RANDRIANANDRASANA Rija Parfait, 2012. *Effet du Stylosanthes sur la production du riz pluvial et sur la disponibilité de l'azote et du phosphore*. Cas des parcelles paysannes du Moyen-Ouest du Vakinankaratra. 38 pp, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome, spécialisation Agriculture. Université d'Antananarivo.

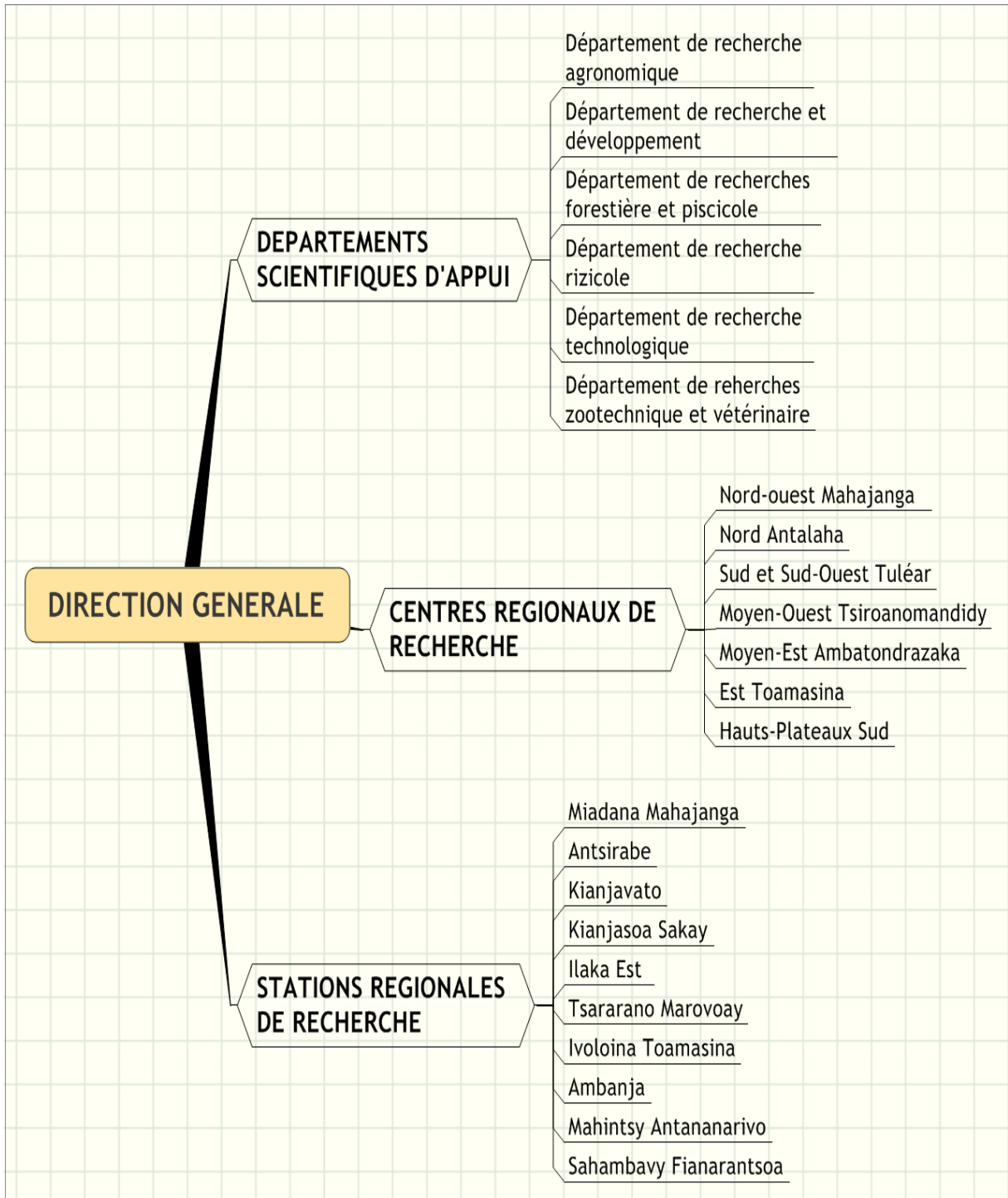
20. Sebihi Fatima Zohra, 2008. *Les Bactéries Nodulant les Légumineuses (B.N.L) : caractérisation des bactéries associées aux nodules de la Légumineuse Fourragère, Hédysarum perrauderianum*, Thèse pour l'obtention de Magister en Génétique et Amélioration des plantes, Option Génomique et Techniques Avancées des Végétaux. Université Mentouri de Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie Végétale, 79 pp.
21. Zakhia F et al, 2004. *Characterization of Legume-Nodulating Bacteria (LNB) in arid regions of Tunisia*. Systematic and Applied Microbiology, 27 pp.

Webographie

22. Ankazomiriotra [base de données en ligne]. [réf du 12 mai 2013]. Format World Wide Web. Disponible sur : «<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ankazomiriotra>».
23. Haricot et Description [base de données en ligne]. [réf du 4 juillet 2013]. Format World Wide Web. Disponible sur : «[http://fr.wikipedia.org/wiki/Haricot Description](http://fr.wikipedia.org/wiki/Haricot%20Description)».
24. Institut de recherche et de développement [base de données en ligne]. [réf du 25 septembre 2013]. Format World Wide Web. Disponible sur : «[http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Institut de recherche pour le développement](http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Institut_de_recherche_pour_le_d%C3%A9veloppement) ».
25. Madagascar/IRD-Site de représentation/IRD-Madagascar [base de données en ligne].Format Word Wide Web. Disponible sur : «<http://www.madagascar.ird.fr/> ».
26. Tritriva [base de données en ligne]. [réf du 17 mars 2013]. Format World Wide Web. Disponible sur : «<http://fr.wikipedia.org/wiki/Tritriva> ».

ANNEXES

Annexe I : Organisation générale du FOFIFA



Source : ANDRIANIRIANA, 2010, adopté par l'auteur

Annexe II :

Tableau n°5 : Une fiche descriptive des parcelles

Nom et prénom (sexe et âge) du paysan	Localité	Précédent culturel	Date prévue pour le semis	Type de parcelle	Coordonnée GPS de la parcelle
RAVELOARI SOA Juliette	Ankazomiriotra (centre)	Maïs	14/02/2013	tanety	S: 19,67659° E: 046,53807° Alt: 1129 m
Jean Marie (Zama)	Ankazomiriotra (Ambopoloalina Ambomanatrika)	Manioc	14/02/2013	tanety	S: 19,66579° E: 046,54899° Alt: 1132 m
RAZANAMIALY	Ankazomiriotra (Ambopoloalina)	Arachide	14/02/2013	tanety	S: 19,66601° E: 046,53740° Alt: 1139 m
RAZAFINDR AINIBE René Martial	Ankazomiriotra	Maïs et arachide	12/02/2013	tanety	S: 19,66716° E: 046,53012° Alt: 1131 m
RASOMOFO MANANA Ratoma	Ankazomiriotra (Antsahabe)	Manioc	12/02/2013	tanety	S: 19,66789° E: 046,53689° Alt: 1124 m
RAHAJANIRINA (Haja)	Ankazomiriotra (centre)	Riz pluvial	12/02/2013	tanety	S: 19,67548° E: 046,53768° Alt: 1127 m
RAHARIMALALA Tina Mariette	Vinany (Antsiravondrona)	Maïs et haricot	11/02/2013	plus ou moins baiboho	S: 19,60667° E: 046,46978° Alt: 1023 m
R. Berthine	Vinany (barrage)	Stylosanthes	11/02/2013	tanety	S: 19,62350° E: 046,48811° Alt: 1040 m
RAKOTOND RAMANANA (dada manana)	Iandratsay	Haricot et manioc	12/02/2013	tanety	S: 19,66780° ; E: 046,55799° ; Alt: 1153 m
RAKOTOND RASAMITSIRY	Iandratsay	Maïs	13/02/2013	tanety	S: 19,67087° E: 046,56931° Alt: 1192 m

RAKOTOARI MANANA Jean Louis	Iandratsay	Manioc et arachide	13/02/2013	tanety	S: 19,68434° E: 046,55563° Alt: 1158 m
ANDRIANJA FY Laurent	Iandratsay	Manioc et arachide	13/02/2013	tanety	S: 19,68437° E: 046,55527° Alt: 1150 m
RASOAFARA MANANA Juliette	Iandratsay	Haricot	15/02/2013	tanety	S: 19,66747° E: 046,56045° Alt: 1189 m
RASOANIRIN A Eveline	Iandratsay (Vatolahy)	Arachide	15/02/2013	tanety	S: 19,67662° E: 046,55898° Alt: 1163 m
RATOLOJAN AHARY Jules	Iandratsay	Maïs	15/02/2013	tanety	S: 19,66703° E: 046,55721° Alt: 1149 m
Jean Baptiste (dadan'i Naina)	Iandratsay	Maïs	15/02/2013	tanety	S: 19,66791° E: 046,55877° Alt: 1158 m
Mr RABENARIV O (dadan'i Eveline)	Iandratsay	Manioc	17/02/2013	tanety	S: 19,66223° E: 046,55535° Alt: 1150 m
Perline	Iandratsay (Ouest de Naina)	Maïs et haricot	17/02/2013	tanety	S: 19,66820° E: 046,55927° Alt: 1179 m
RASOAMAL ALA Florentine	Antanetibe	Maïs et haricot	16/02/2013	tanety	S: 19,65889° E: 046,56370° Alt: 1187 m
RAIVO Charline	Antanetibe	Maïs	16/02/2013	tanety	S: 19,65947° E: 046,56462° Alt: 1191 m
RAIVOMAN ANA Monique	Antanetibe	Pois de terre	16/02/2013	tanety	S: 19,65631° E: 046,56126° Alt: 1180 m

R. Maurice	Antanetibe	Maïs	17/02/2013	tanety	S: 19,65622° E: 046,56087° Alt: 1187 m
Mme Voahangy	Est Vinany	Stylosanthes	17/02/2013	tanety	S: 19,64518° E: 046,51274° Alt: 1084 m
RAIVOMAN ANA Maurelle	Antanetibe	Maïs	16/02/2013	tanety	S: 19,65831° E: 046,56324° Alt: 1193 m
RABARIMAN ANA Modeste	Antanetibe	Maïs et haricot	16/02/2013	tanety	S: 19,65631° E: 046,56132° Alt: 1182 m

Source : Auteur

Annexe III : la région du Vakinankaratra

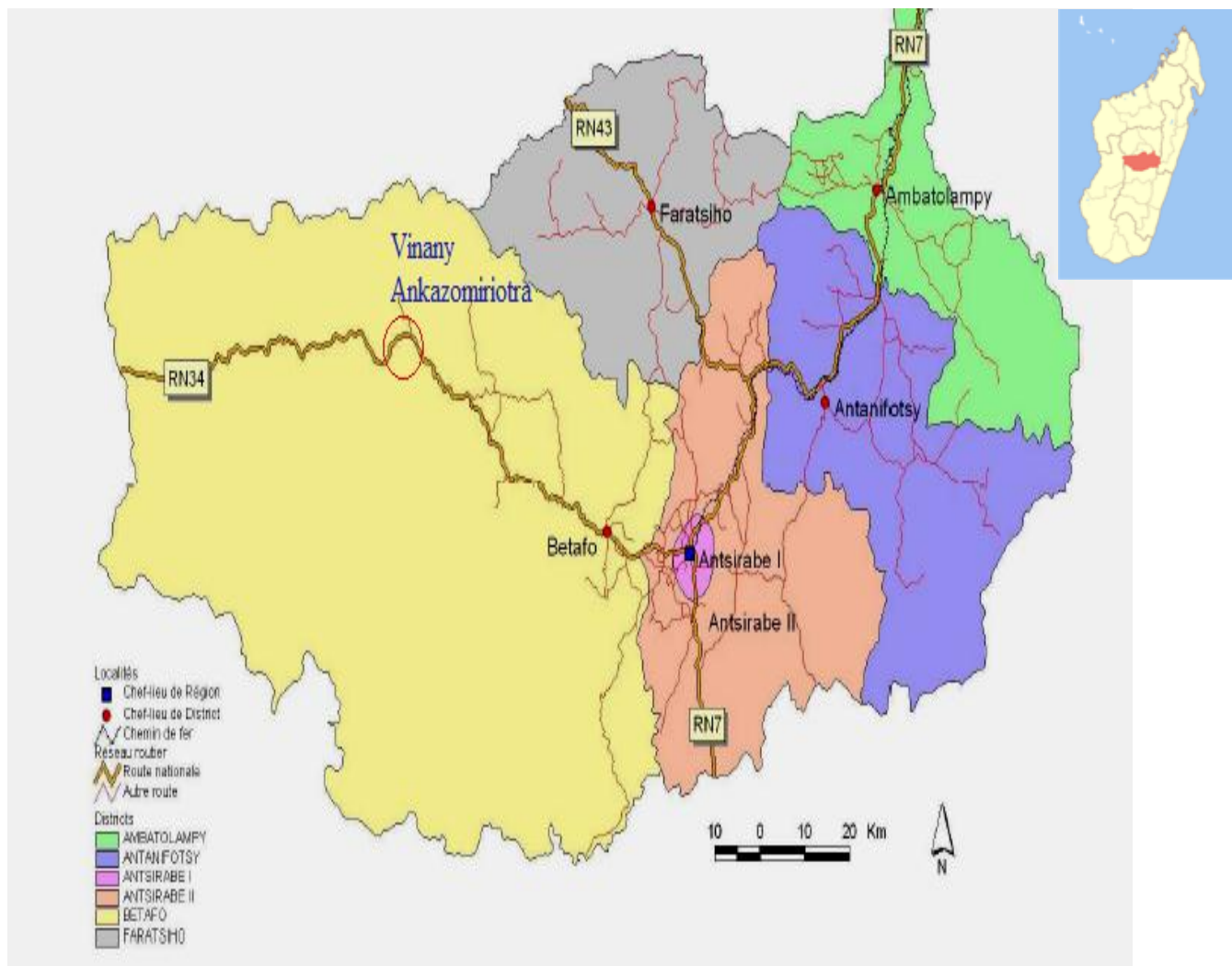


Figure : une carte de la région du Vakinankaratra montrant les 6 Districts et la zone d'étude
Source : RANDRIANANDRASANA, 2012

Annexe IV :

Tableau n°6: codage des parcelles paysannes de A à Y comportant le nom du paysan et sa localité

CODE	NOMS DES PAYSANS	LOCALITE
A	RAVELOARISOA Juliette	Ankazomiriotra
B	Jean Marie (Zama)	Ankazomiriotra
C	RAZANAMIALY	Ankazomiriotra
D	RAZAFINDRAINIBE René Martial	Ankazomiriotra
E	RASOMOFOMANANA Ratoma	Ankazomiriotra
F	RAHAJANIRINA (Haja)	Ankazomiriotra
G	RAHARIMALALA Tina Mariette	Vinany
H	R. Berthine	Vinany
I	RAKOTONDRAMANANA (Dada Manana)	Iandratsay
J	RAKOTONDRASAMITSIRY	Iandratsay
K	RAKOTOARIMANANA Jean Louis	Iandratsay
L	ANDRIANJAFY Laurent	Iandratsay
M	RASOAFARAMANANA Juliette	Iandratsay
N	RASOANIRINA Eveline	Iandratsay
O	RATOLOJANAHARY Jules	Iandratsay
P	Jean Baptiste (dadan'i Naina)	Iandratsay
Q	RAIVOMANANA Maurelle	Antanetibe
R	RABARIMANANA Modeste	Antanetibe
S	RASOAMALALA Florentine	Antanetibe
T	RAIVO Charline	Antanetibe
U	RAIVOMANANA Monique	Antanetibe
V	R. Maurice	Antanetibe
W	Mme Voahangy	Est Vinany
X	Mr RABENARIVO (dadan'i Eveline)	Iandratsay
Y	Perline	Iandratsay

Source : Auteur