

# SOMMAIRE

---

|                                                      |      |
|------------------------------------------------------|------|
| REMERCIEMENTS .....                                  | i    |
| PRESENTATION DES PARTENAIRES.....                    | ii   |
| SOMMAIRE.....                                        | iii  |
| LISTE DES FIGURES .....                              | v    |
| LISTE DES TABLEAUX .....                             | vi   |
| LISTE DES ABREVIATIONS .....                         | vii  |
| RESUME.....                                          | viii |
| INTRODUCTION.....                                    | 1    |
| PARTIE I : MATERIELS ET METHODES.....                | 3    |
| I-1- Présentation de la zone d'étude .....           | 3    |
| I-1-1- Situation géographique.....                   | 3    |
| I-1-2- Climat.....                                   | 3    |
| I-1-3- Sols.....                                     | 4    |
| I-2- Conduite de l'expérimentation .....             | 5    |
| I-2-1- Choix des parcelles.....                      | 5    |
| I-2-2- Matériels végétaux .....                      | 5    |
| I-2-3- Traitements étudiés .....                     | 5    |
| I-2-4-Dispositif expérimental .....                  | 6    |
| I-2-5- Conduite de culture .....                     | 7    |
| I-3- Analyses et mesures effectuées .....            | 8    |
| I-3-1- Analyses en laboratoire: Analyse du sol ..... | 8    |
| I-3-2- Mesures sur le terrain .....                  | 8    |
| I-3-3- Traitement des données:.....                  | 9    |
| I-3-4- Analyses économiques .....                    | 10   |
| PARTIE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....        | 11   |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| II-1- Résultats de l'analyse du sol .....                                      | 11 |
| II-2- Effet du phosphore sur les composantes de rendement.....                 | 11 |
| II-2-1- Croissance en hauteur des talles .....                                 | 11 |
| II-2-2- Tallage.....                                                           | 14 |
| II-2-2-1- Evolution du nombre de talles .....                                  | 14 |
| II-2-2-2- Nombre de talles fertiles.....                                       | 16 |
| II-2-3- Nombre de grains par panicule .....                                    | 18 |
| II-2-4- Pourcentage des grains pleins .....                                    | 19 |
| II-2-5- Poids des 1000 grains.....                                             | 21 |
| II-3- Effet des engrais phosphatés sur le rendement.....                       | 22 |
| II-4- Analyse en composante principale (ACP) des éléments du rendement .....   | 24 |
| II-5- Résultats sur le calcul économique .....                                 | 26 |
| II-5-1- Consommation intermédiaire.....                                        | 26 |
| II-5-1-1- Intrants agricoles.....                                              | 26 |
| II-5-1-2- Coûts de la main d'œuvre: .....                                      | 26 |
| II-5-2- Produit brut .....                                                     | 27 |
| II-5-3- Valeur ajoutée brute.....                                              | 27 |
| PARTIE III : DISCUSSIONS .....                                                 | 29 |
| III-1- Effet du phosphore sur les composantes de rendement .....               | 29 |
| III-2- Réponse du riz pluvial aux engrais phosphatés .....                     | 29 |
| III-3- Effets combinés de la matière organique et de l'engrais phosphaté ..... | 30 |
| III-4- Potentialité de la variété N9.....                                      | 31 |
| PARTIE IV : LIMITES ET RECOMMANDATIONS .....                                   | 33 |
| IV-1- Problèmes climatiques et phytosanitaires.....                            | 33 |
| IV-2- Problèmes de l'expérimentation en milieu paysan .....                    | 33 |
| CONCLUSION .....                                                               | 35 |
| ANNEXES .....                                                                  | I  |

## LISTE DES FIGURES

---

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Carte de la zone d'étude ( <i>Source : Auteur</i> ).....                                                                    | 3  |
| Figure 2: Courbe ombro-thérmiq ue de Gaussen de 2004 à 2014 ( <i>Source : Services de la météorologie -Ampandrianomby, 2015</i> )..... | 4  |
| Figure 3 : Un bloc de 8 parcelles élémentaires.....                                                                                    | 6  |
| Figure 4 : Méthode de prélèvement des échantillons de sol.....                                                                         | 8  |
| Figure 5 : Méthode de sondage de rendement adoptée .....                                                                               | 9  |
| Figure 6: Croissance (moyenne) en hauteur des deux variétés .....                                                                      | 12 |
| Figure 7: Hauteur des talles par traitement des deux variétés et suivant les stades phénologiques .....                                | 13 |
| Figure 8 : Evolution du nombre de talles des deux variétés.....                                                                        | 14 |
| Figure 9: Evolution du nombre de talles des deux variétés selon les traitements .....                                                  | 15 |
| Figure 10: Moyenne du nombre de talle fertile des deux variétés.....                                                                   | 16 |
| Figure 11 : Nombre de grains par panicule de chaque variété .....                                                                      | 18 |
| Figure 12 : Pourcentage des grains pleins des deux variétés.....                                                                       | 20 |
| Figure 13 : Poids des 1000 grains des deux variétés .....                                                                              | 21 |
| Figure 14 : Effet du P sur le rendement en grain.....                                                                                  | 23 |
| Figure 15: Cercles de corrélation des variables.....                                                                                   | 25 |
| Figure 16: Parcelle présentant un très faible taux de levée .....                                                                      | 33 |

## LISTE DES TABLEAUX

---

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Dose des engrais minéraux utilisés selon le traitement .....                                    | 6  |
| Tableau 2: Résultats de l'analyse du sol .....                                                              | 11 |
| Tableau 3: Hauteur des talles des deux variétés suivant les traitements .....                               | 13 |
| Tableau 4: Effet du P sur le nombre de talles des variétés testées à chaque stade .....                     | 16 |
| Tableau 5 : Effets séparés des deux facteurs sur le nombre de talle fertile .....                           | 17 |
| Tableau 6: Nombre de talles fertiles de chaque producteur suivant les traitements et les variétés .....     | 17 |
| Tableau 7 : Effets des deux facteurs sur le nombre de grains par panicule.....                              | 18 |
| Tableau 8 : Nombre de grains par panicule des deux variétés pour tous les traitements .....                 | 19 |
| Tableau 9 : Effet des traitements sur le pourcentage de grains par panicule.....                            | 20 |
| Tableau 10: Pourcentage de grains pleins des 4 traitements et des 2 variétés de chaque producteur .....     | 21 |
| Tableau 11 : Effets des deux facteurs sur le poids de 1000 grains .....                                     | 22 |
| Tableau 12: Poids de 1000 Grains des différents traitements et des deux variétés de chaque producteur ..... | 22 |
| Tableau 13 : Effets des deux facteurs sur le rendement en grains.....                                       | 23 |
| Tableau 14: Rendement en grain (t/ha) des différents traitements pour les deux variétés .....               | 24 |
| Tableau 15: Matrice de corrélation (Pearson n) .....                                                        | 24 |
| Tableau 16 : Valeurs propres.....                                                                           | 25 |
| Tableau 17 : Consommation en intrants agricoles.....                                                        | 26 |
| Tableau 18 : Consommation en main d'œuvre (/ha) pour chaque traitement .....                                | 27 |
| Tableau 19: Consommation intermédiaire totale en Ar/ha.....                                                 | 27 |
| Tableau 20: Produit brut en Ariary.....                                                                     | 27 |
| Tableau 21: VAB par hectare .....                                                                           | 28 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

---

ANOVA: ANalysis Of Variance

Ar: Ariary

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CI : Consommation Intermédiaire

CO : Carbone Organique

Hj : Homme-jours

JAS : Jours Après Semis

JL : Variété Locale Jean Louis

N9 : Variété Nerica 9

PB : Produit Brut

PMG : Poids de 1000 Grains

TSP : Triple Super Phosphate

VAB : Valeur Ajoutée Brute

## RESUME

---

Face à la pression démographique en milieu rural, les bas-fonds sont devenus insuffisants pour la production agricole. Les paysans sont amenés à valoriser les zones de *tanety* connus par sa faible teneur en P biodisponible. Un travail de recherche sur la diffusion des variétés de riz pluvial NERICA 9 a été mené avec la société NESTLE et le FOFIFA à Bevato, Tsiroanomandidy. Il s'agit d'une expérimentation en milieu paysan avec un dispositif split-plot. L'objectif est d'analyser la réponse de cette variété biofortifiée en fer et en zinc, à différentes doses d'engrais phosphatés. En comparaison avec la variété locale Jean Louis (JL) ou FOFIFA 3737, la N9 a été testée avec des doses croissantes de phosphore : **0kg (T0), 44kg (T1), 60kg (T2) et 100 kg(T3) de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha** combinées avec 5 t/ha de fumure organique. Le résultat obtenu a montré que l'apport suffisant d'engrais phosphatés permet d'obtenir une hauteur de talles maximale, un bon nombre de grains par panicule, un poids de 1000 grains et un pourcentage de grains pleins élevés. A 50% épiaison, les deux variétés atteignent le nombre de talle maximal variant de 16 à 26 pour la JL et de 10 à 15 pour la N9. Les rendements sont proportionnels aux doses de P: de l'ordre de 2,57 t/ha pour N9 et 2,54 pour JL sous T0, 4,7 t/ha pour N9 et 3 t/ha pour JL sous T3. Les rendements issus de T1, T2 et T3 diffèrent significativement de celui de T0, dus essentiellement aux apports d'Urée, de NPK et du TSP qui favorisent la production rizicole. Avec une moyenne de 4 t/ha, la variété N9 affiche un meilleur rendement par rapport au JL (2,8 t/ha). Ce rendement est expliqué surtout par le Nb de Gr/Pan, le PMG et le pourcentage des grains pleins. L'analyse économique des différents traitements révèle que l'application de T2 avec le N9 permet d'avoir une VAB plus élevée. Etant donné qu'il s'agit d'une variété riche en micronutriment et présentant un potentiel de rendement élevé, elle pourra constituer une alternative pour l'amélioration de la production rizicole et une solution aux problèmes nutritionnels à Madagascar.

**Mots clés:** Biofortifié, Bongolava, Ferralsols, Nerica 9, Phosphore.

## ABSTRACT

---

Facing population pressure in rural areas, low-land area is not enough to feed the local people. Farmers are encouraged to valorise *tanety* areas which are poor in phosphorus bioavailable. Research and diffusion of upland variety Nerica 9 have been done by NESTLE company and FOFIFA in Bevato, Tsiroanomandidy. To analyse the response of Nerica 9 biofortified in iron and zinc with different doses of phosphorus fertilizer, experimentation is carried out in rural area with a split plot device. Both the local variety called Jean Louis and the Nerica 9 have been tested with increasing doses phosphorus: **0kg (T0), 44kg (T1), 60kg (T2) et 100kg (T3) de  $P_2O_5$ /ha** combined with 5 t/ha of organic manure. The result showed that adequate intake of phosphate fertilizers allows a maximum height of tillers, a high number of: grains per panicle, weight of 1000 grains and percentage of full grains. In 50% heading, both varieties reach the maximum number of tiller ranging from 16 to 26 for the JL and 10 to 15 for the N9. Yields are proportional to the doses of P: in T0, 2.57 t / ha for JL and 2.54 for N9, 4.7 t / ha for N9 and 3 t / ha for JL under T3. The yield from T1, T2 and T3 significantly higher from that of T0. With an average of 4 t / ha, the N9 variety shows better yield compared to the JL (2.8 t / ha). This yield is mainly explained by the number. of Gr / Pan, PMG and the percentage of filled seeds. The economic analysis of different treatments revealed that the highest Gross Value Added is gotten with N9 under T2. The N9 variety is biofortified and has a good yield. Therefore, it may be an alternative for the improvement of rice production and a way for malnutrition problems in Madagascar.

**Key words:** Biofortified, Bongolava, Ferralsols, Nerica 9, Phosphorus.

## INTRODUCTION

---

Dans le monde, le maïs, le riz, le blé et la pomme de terre constituent les principales cultures vivrières. Pourtant, la production n'arrive pas à satisfaire les besoins alimentaires de la population mondiale qui est estimée aujourd'hui à 7 milliards d'habitants (FAOSTAT, 2013).

Ainsi, selon toujours la FAO en 2013, environ 842 millions de personnes, soit près d'une personne sur huit, souffrent de la faim chronique. Plus de 2 milliards de personnes subissent de graves carences en micronutriments : minéraux et vitamines (Mazoyer, 2006). A travers le monde, près de 3,5 milliards de personnes principalement des femmes et des jeunes enfants rencontrent des problèmes de santé suite à une carence en fer et en zinc (Berger, 2004). La carence en fer touche environ 40 à 60% des enfants de 6 et 24 mois. Suite à ce problème, 500 jeunes femmes malgaches meurent chaque année durant la grossesse ou l'accouchement et une diminution de la productivité de main d'œuvre adulte provoquant une perte d'environ 0,8% du PIB a été constatée (FAO, 2005).

La carence en micronutriments devient un véritable problème pour la santé publique. D'une manière générale, la carence en Zinc entraîne le retard de croissance, des troubles mentaux et des infections à répétition. Pour le fer, elle se traduit par une diminution de la capacité physique et de la productivité ; par des décès maternels et de faible poids du nourrisson à la naissance et par la faible performance intellectuelle ainsi que le retard de la croissance (Berger, 2004). D'après la statistique, près de 1.487.900 personnes, soit près de 297.500 ménages, vivent dans l'insécurité alimentaire sévère (PAM, 2011).

En 2013 à Madagascar, la production rizicole est de l'ordre de 3,6 millions de tonnes de paddy. Seul le quart ou le tiers de cette quantité a été écoulé sur le marché local et international et le reste a été destiné à l'autoconsommation pour la population locale soit 2,5 millions de tonnes par an (FAO/PAM, 2013). Par rapport au besoin national, la production reste largement insuffisante. Ainsi, l'Etat est obligé d'importer une certaine quantité de riz chaque année.

Entre 1970 et 2004, si la croissance démographique est de 2,7%, l'augmentation de la production rizicole a été estimée à 1,2% soit deux fois moins que celle de la population. Par conséquent, la quantité de riz produit par habitant a baissé de 275 kg à 175 kg durant cette période. Cette situation est due à plusieurs facteurs entre autres: la non adoption des variétés améliorées et la faible utilisation d'engrais qui est de l'ordre de 10 kg/ha (MinAgri, 2011).

Ces contraintes sont également rencontrées dans la région Bongolava (Moyen Ouest) où les terres sont largement dominées par des zones de « *tanety*<sup>1</sup> ». La riziculture pluviale y domine et occupent environ 100 000 hectares avec un faible rendement de l'ordre de 2,1 t/ha (Monographie

---

<sup>1</sup> Zone constituée par les replats sommitaux, les versants des collines plus ou moins accusés, à forme plus ou moins arrondie, et les bas de pente.



de la région Bongolava, 2009). Dans cette région, la superficie cultivable a été estimée à 51 % du territoire et dont 17,9% seulement est encore exploitée.

Dans le Moyen-Ouest où le feu de brousse reste très fréquent, les sols ferrallitiques de *tanety* sont exposés à une érosion plus ou moins intense selon la pente. Il en résulte des sols nus sur les fortes pentes et des sols profonds mais lessivés, dessaturés et acides sur les versants à pente faible. Ce sont des sols médiocres physiquement que chimiquement au niveau de la localité (Rabezandriny, 1990). La pratique du riz pluvial dans ces zones nécessite ainsi une meilleure maîtrise et gestion de la fertilité du sol.

Le phosphore est un élément majeur pour la plante et, qui constitue un facteur limitant de la production agricole. Il favorise la croissance de la plante, le développement racinaire et surtout la formation des grains. Cependant, les sols ferrallitiques exploités pour la culture pluviale sont caractérisés par une faible teneur en phosphore assimilable. Leur richesse en fer et en aluminium limite fortement la phytodisponibilité de P (Rabeharisoa, 2004). L'apport d'engrais phosphaté est donc, indispensable pour la culture sur *tanety*.

Pour mieux valoriser les sols de *tanety* tout en améliorant la production rizicole d'une part et d'assurer une qualité nutritionnelle des consommateurs d'autre part, Nestlé lance un projet de recherche sur la dose de fertilisation phosphatée adaptée à la culture pluviale d'une variété de riz biofortifiée en Fer et en Zinc, le « Nerica 9 », dans la région Bongolava (Nestlé, 2012).

Ainsi, la question centrale de la présente étude est la suivante : **quelle formule de fertilisation à adopter pour optimiser le rendement en riz pluvial de la variété Nerica 9 en comparaison avec la variété locale Jean Louis ou FOFIFA 3737 dans la zone de Bevato ?**

L'objectif principal de cette étude est d'analyser la réponse de la variété de riz Nerica 9 en culture pluviale aux différentes doses d'engrais phosphatés. Trois objectifs spécifiques sont à considérer:

- Trouver la meilleure dose de fertilisation pour la culture pluviale du riz Nerica 9 et Jean Louis
- Comparer la performance des deux variétés testées
- Faire une analyse économique pour les différentes doses d'engrais utilisé

Afin de répondre à la question préalablement posée, deux hypothèses ont été formulées, à savoir :

- **Hypothèse 1: L'augmentation du rendement est proportionnelle à celle de la dose d'engrais utilisée.**
- **Hypothèse 2: La variété Nerica 9 répond mieux à la fertilisation phosphatée que la variété "Jean Louis"**

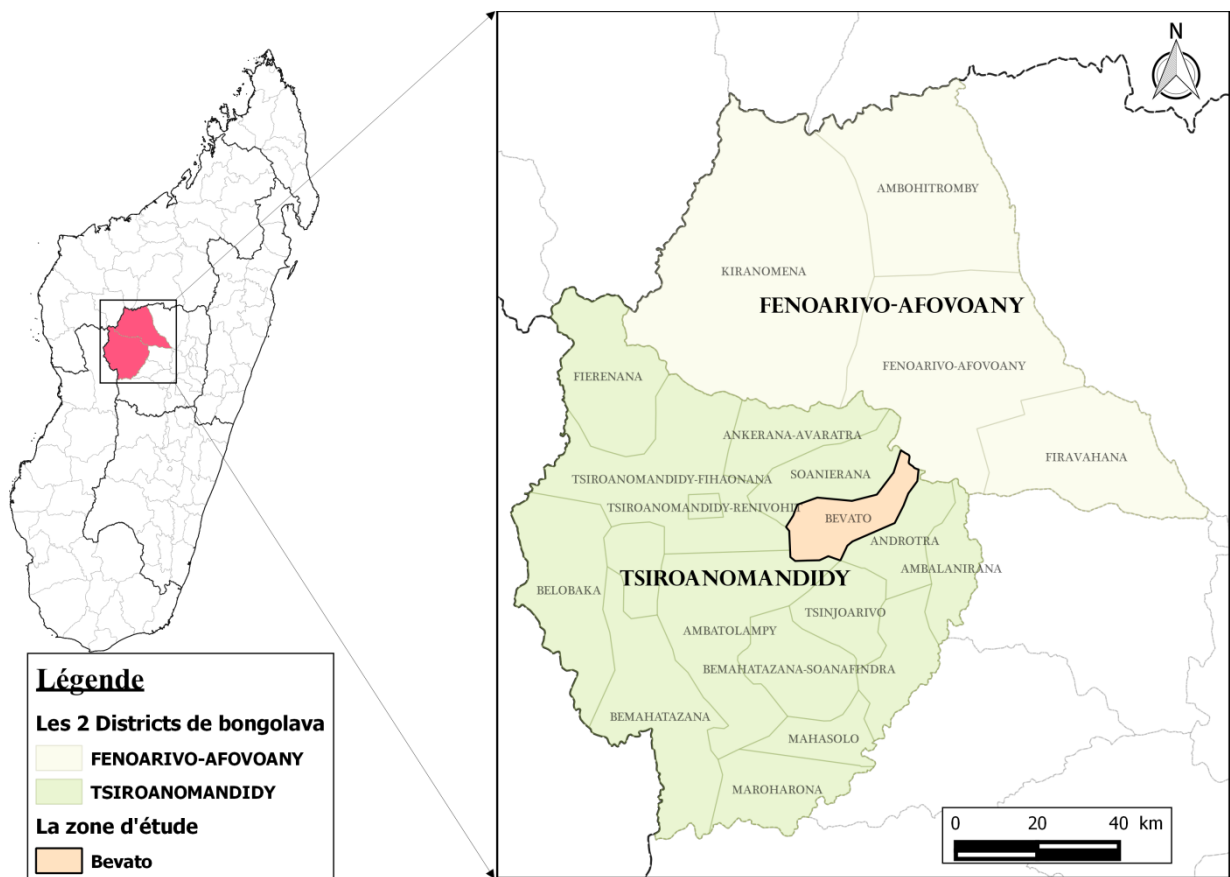
Le document sera divisé en trois grandes parties. La première partie sera consacrée aux matériels et méthodes, la deuxième à la présentation des résultats et interprétations et la troisième partie à la discussion générale sur les résultats.

# PARTIE I : MATERIELS ET METHODES

## I-1- Présentation de la zone d'étude

### I-1-1- Situation géographique

L'expérimentation a été menée dans la commune de Bevato, Région Bongolava dans le Moyen-Ouest de Madagascar. Elle est délimitée à l'Ouest par la Région Melaky, à l'Est par la Région Itasy, au Sud par Vakinankaratra, et à l'Ouest par la Région Menabe. Elle se situe entre 17,76° et 19,46° de latitude Sud et 45,48° et 47,08° de longitude Est.

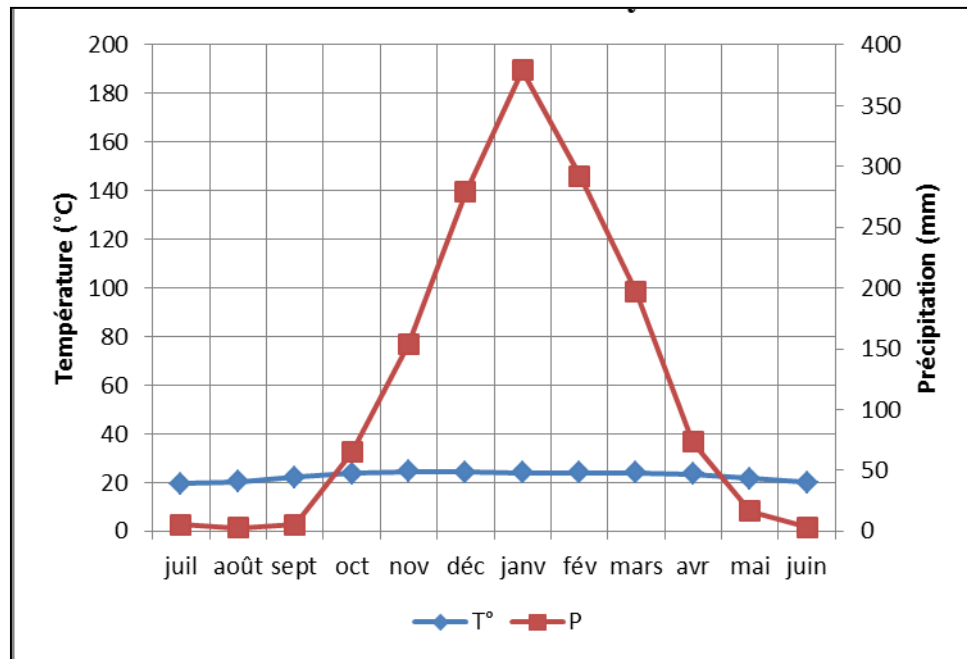


**Figure 1** : Carte de la zone d'étude (Source : Auteur)

### I-1-2- Climat

La région Bongolava fait partie du régime climatique tropical d'altitude, supérieure à 900 mètres. La température moyenne annuelle de la région tourne autour de 22,7°C. L'année comporte deux saisons bien distinctes: une saison pluvieuse (humide et chaude) entre le mois de Novembre et Mars avec une température moyenne de 24°C et une saison sèche entre Avril et Octobre avec une température variant de 19,6°C à 23,7°C.

Les précipitations mensuelles de la région varient de 2,8 à 379,4 mm avec une moyenne annuelle de 122,7 mm. La tendance observée pendant la période de 2004 à 2014 à Tsiroanomandidy, affiche un pic de précipitation vers le mois de Janvier avec une moyenne de 379,4 mm.



**Figure 2:** Courbe ombro-thermique de Gaussien de 2004 à 2014 (Source : Services de la météorologie -Ampandrianomby, 2015)

### I-1-3- Sols

La région Bongolava est caractérisée par la dominance des sols ferrallitiques moyennement dessaturés pour les zones de *tanety* avec un faible taux de couverture végétale. Cette situation est aussi valable pour la commune de Bevato.

Dans l'ensemble, les sols ferrallitiques sont des sols acides à texture variable, compacts et difficiles à travailler. Ils donnent en général un bon rendement pour les cultures pluviales sur *tanety*, mais la faible profondeur de l'horizon humifère nécessite obligatoirement l'apport d'engrais. Ce terroir de plateaux à forte dominance de graminée (*Heteropogon contortus*) subit systématiquement le passage des feux de brousse.

Sur les bas-fonds, les sols sont de type hydromorphes minéraux à moyennement organiques aptes à la riziculture inondée, puis aux diverses cultures de contre saison (légumineuses, cultures maraichères et fourragères).

## **I-2- Conduite de l'expérimentation**

### **I-2-1- Choix des parcelles**

L'expérimentation a été réalisée en milieu paysan durant la campagne culturale 2014-2015, auprès de 7 producteurs dans la commune rurale de Bevato. Les parcelles retenues ont dû répondre aux critères suivantes: (i) des parcelles situées sur les zones de tanety et (ii) ayant comme précédent cultural la culture de « *Vigna subterranea* », connu sous le nom de "voanjobory" en malgache. Ce type de culture est fréquemment pratiqué dans la région afin d'améliorer la fertilité des « tanety » après une longue durée de jachère.

### **I-2-2- Matériels végétaux**

Deux variétés de riz pluvial ont été utilisées pour l'expérimentation : la variété Nerica 9 et la variété locale Jean Louis.

(i) La variété locale Jean Luis a été choisie pour sa bonne capacité de production, sa forte capacité de tallage et surtout sa tolérance au *Striga* qui est une mauvaise herbe très coriace envahissant la région Bongolava. Avec un cycle végétatif de 120 jours environ, elle est la variété la plus cultivée dans la région.

(ii) La variété NERICA (New Rice for Africa) a été développée par l'AfricaRice à travers le croisement du riz asiatique *Oryza sativa* avec le riz indigène d'Afrique *Oryza glaberrima* (ADRAO, 2002). Il s'agit d'une variété enrichie en fer et en zinc. Avec un rendement moyen de 4,1 t/ha, la Nerica 9 fournit le rendement le plus élevé parmi les variétés de riz pluvial Nerica cultivées dans la zone de Bevato (Marikindrianjafimpahizato A., 2014).

### **I-2-3- Traitements étudiés**

Quatre types de traitement ont été utilisés pour la présente expérimentation. Ils correspondent à des doses croissantes de phosphore notées T0, T1, T2 et T3. Ce facteur comprend donc 4 modalités.

A part les témoins T0 (sans apport d'engrais minéraux), les doses de N et de K restent constantes pour les autres parcelles. L'ensemble des parcelles ont reçu 5T/ha d'engrais organique.

Les engrais utilisés se présentaient sous deux formes :

- Engrais minéraux : NPK 11 22 16, urée 46%, TSP 46% (Triple Super Phosphate), Sulfate de Potasse 50%
- Engrais Organique : fumier de ferme.

Le tableau ci-après montre les types et doses d'engrais minéraux utilisés pour les 4 traitements adoptés:

**Tableau 1 : Dose des engrais minéraux utilisés selon le traitement**

| Traitements | Doses des engrais (kg/ha) |      |                                |     | Unité fertilisante totale |            |    |
|-------------|---------------------------|------|--------------------------------|-----|---------------------------|------------|----|
|             | NPK                       | Urée | K <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> | TSP | N                         | P          | K  |
| <b>T0</b>   | 0                         | 0    | 0                              | 0   | 0                         | <b>0</b>   | 0  |
| <b>T1</b>   | 200                       | 120  | 24                             | 0   | 77,2                      | <b>44</b>  | 44 |
| <b>T2</b>   | 200                       | 120  | 24                             | 35  | 77,2                      | <b>60</b>  | 44 |
| <b>T3</b>   | 200                       | 120  | 24                             | 122 | 77,2                      | <b>100</b> | 44 |

#### **I-2-4-Dispositif expérimental**

L'expérimentation consiste à l'étude de l'effet de l'engrais phosphaté en utilisant 2 variétés de riz pluvial. Ainsi, il s'agit d'une expérimentation à deux facteurs contrôlés: le facteur principal est l'engrais phosphaté et le facteur subsidiaire constitué par les deux variétés utilisées. Le dispositif adopté est de type « split-plot ».

Les dispositifs utilisés étaient en multi-locale, dispersés au niveau des 7 producteurs. Chaque dispositif était constitué par 3 blocs de 128 m<sup>2</sup> comportant chacun 8 parcelles élémentaires de 16 m<sup>2</sup> (Cf. **figure 3-figure 4**). La surface totale d'un dispositif est donc de 384m<sup>2</sup>. Afin d'éviter le transfert des éléments nutritifs, les parcelles ont été séparées les unes des autres par des canaux de drainage de 20 cm de largeur, et il en est de même pour les trois blocs.



**Figure 3 : Un bloc de 8 parcelles élémentaires**

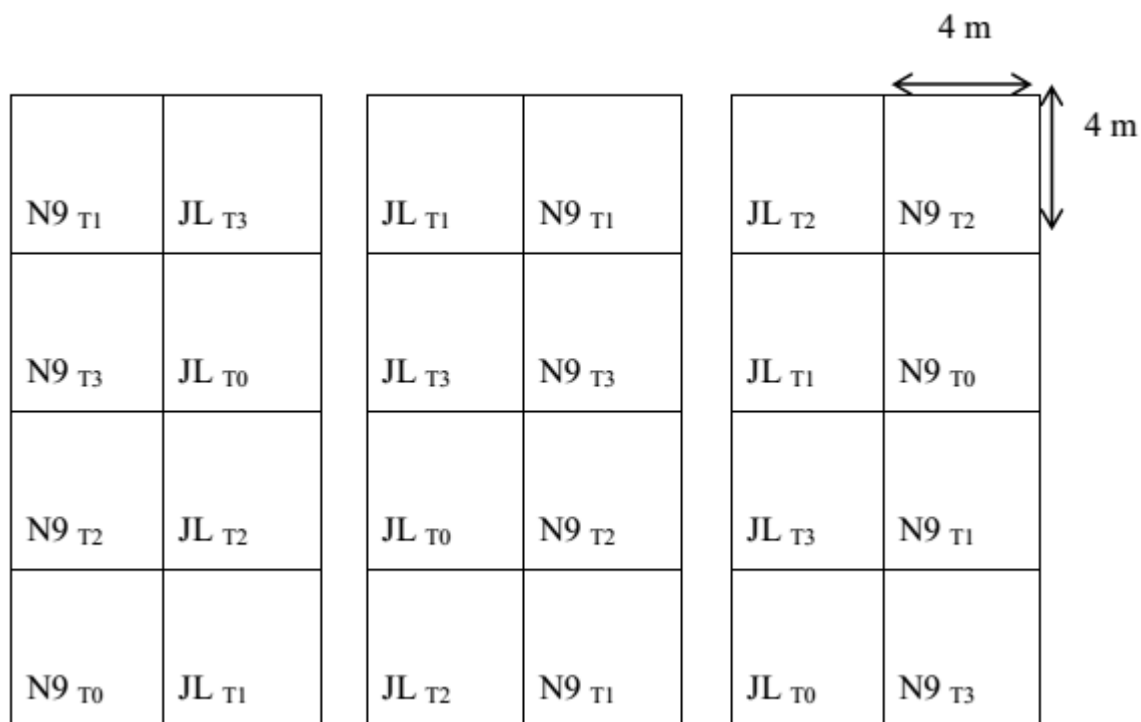


Figure 4: Schéma d'un dispositif expérimental

- JL : variété locale Jean Louis
- N9: variété Nerica 9
- T0: témoin absolu (aucun apport d'engrais chimique)
- T1: traitement avec 44 kg de P/ha
- T2 : traitement avec 60 kg de P/ha
- T3 : traitement avec 100 kg de P/ha

### I-2-5- Conduite de culture

Le semis a été fait en ligne distant de 20 x 20 cm à raison de 3 à 5 graines par poquet à une profondeur d'environ 3cm.

Deux ou trois sarclages ont été réalisés durant le cycle cultural. Les interventions dépendent surtout de l'importance de l'envahissement des adventices.

Concernant l'apport d'engrais, le fumier, le NPK, le sulfate de potasse et le triple superphosphate ont été utilisés comme fumure de fond et l'urée comme fumure d'entretien. Cette dernière a été fractionnée en deux apports dont le premier durant le deuxième sarclage et le second au début de la moisson.

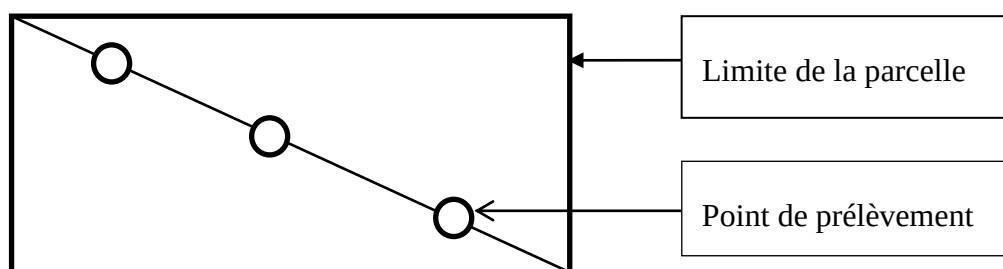
La récolte a été effectuée manuellement environ 120 jours après semis.

### I-3- Analyses et mesures effectuées

#### I-3-1- Analyses en laboratoire: Analyse du sol

##### ➤ Méthode d'échantillonnage

Afin de connaître les propriétés du sol des sites d'expérimentation, il faut procéder à une analyse physico-chimique en laboratoire. Pour l'échantillonnage, 3 parcelles représentatives de l'ensemble des dispositifs de la zone ont été choisies pour prélever 3 échantillons du sol sur 0-20 cm de profondeur. Les prélèvements d'échantillons ont été réalisés à l'aide d'une « tarière ». La méthode de prélèvement est représentée par le schéma ci-dessous:



**Figure 4 : Méthode de prélèvement des échantillons de sol**

Les éléments analysés sont :

- P total et P assimilable :
- C et Matière Organique par la méthode de Walkley et Black
- N total
- Bases échangeables
- CEC (Capacité d'échange cationique)
- Granulométrie
- Le pH (acidité):

#### I-3-2- Mesures sur le terrain

##### I-3-2-1- Comptage et mensuration des talles

Afin de savoir l'évolution du tallage et l'effet du phosphore sur la hauteur des talles des deux variétés cultivées, quatre mensurations ont été réalisées jusqu'à la récolte : le premier en milieu tallage, le second en fin tallage, vers 50% d'épiaison et le dernier à la récolte.

Concernant la méthode utilisée pour cette opération, deux échantillons constitués chacun par 4 touffes ont été choisis au hasard pour chaque parcelle élémentaire.

Juste avant la récolte, quatre touffes ont été choisies pour le comptage des talles fertiles ainsi que la mensuration de la longueur des panicules et la hauteur à la récolte de la plante selon les doses d'engrais utilisées.

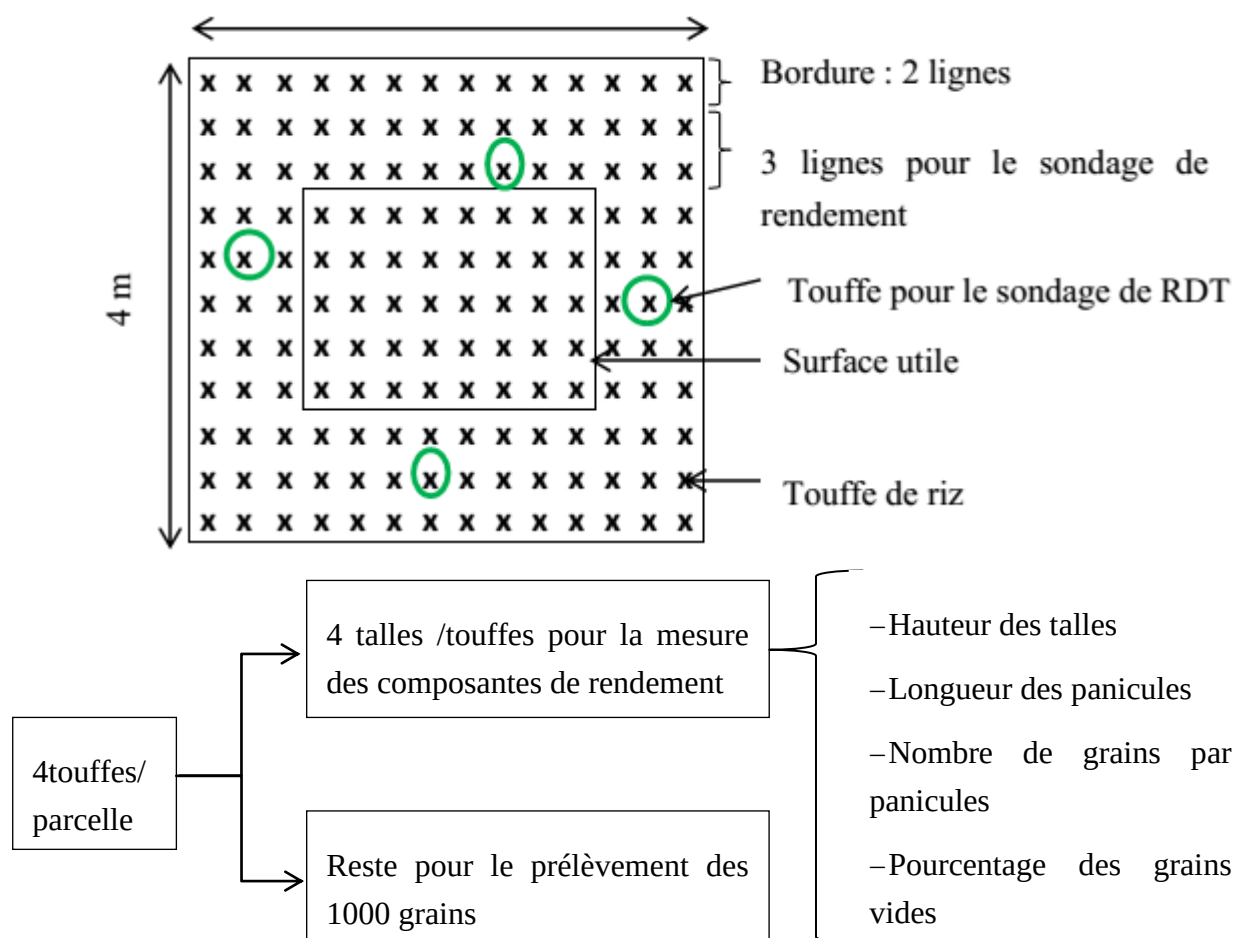
Il est à noter que ces échantillons ont été choisis au hasard sur trois lignes suivant la bordure, constituée par deux lignes.

### ***I-3-2-2-Nombre de grain par panicule et pourcentage des grains pleins***

Toutes les panicules sur les quatre touffes choisies pour la précédente opération ont été collectées. Et, quatre panicules ont été choisies au hasard pour le comptage du nombre des grains totaux ainsi que les grains vides.

### ***I-3-2-3- Poids des 1000 grains***

Les restes des quatre panicules utilisées pour le comptage du nombre de grain par panicule ont été utilisés pour avoir le poids des 1000 grains.



**Figure 5 : Méthode de sondage de rendement adoptée**

### **I-3-3- Traitement des données:**

Les données obtenues ont été traitées avec le logiciel XLSTAT 2008. Une statistique descriptive a été effectuée pour avoir les résultats sommaires obtenus par variété ainsi que par traitement. De plus, on a utilisé l'analyse de variance (ANOVA), en utilisant le test de Tukey HSD. Cette analyse a été utilisée pour observer l'effet significatif des différents traitements sur les



composantes de rendement et sur la production. Enfin, une analyse en composante principale (ACP) a été effectuée pour visualiser les groupes homogènes d'unité statistique et analyser les liaisons entre les variables. L'objectif pour cette dernière est d'identifier les groupes de variables (facteurs) influençant le rendement.

#### **I-3-4- Analyses économiques**

L'étude économique consiste à comparer la rentabilité des traitements étudiés vis à vis des deux variétés utilisés pour l'expérimentation. La connaissance de la rentabilité permet de mieux analyser la productivité du riz pluvial avant de faire leur diffusion auprès des paysans. La méthode de calcul s'effectue par l'estimation de la valeur ajoutée brute (VAB) qui est la différence entre le produit brut (PB) et la consommation intermédiaire (CI). La CI regroupe l'achat des biens et services pour la production à savoir les salaires des mains d'œuvres recrutés de la préparation du sol jusqu'au traitement post-récolte et le prix des intrants agricoles (engrais chimiques, engrais organiques, semences). Et, le produit brut c'est le prix des produits obtenus par unité de surface.

## PARTIE II : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### II-1- Résultats de l'analyse du sol

Le tableau ci-contre résume les résultats de l'analyse du sol des trois dispositifs représentant toutes les parcelles expérimentales.

**Tableau 2: Résultats de l'analyse du sol**

| Echan-<br>tillons | pH<br>eau | C<br>(%) | MO<br>(%) | N<br>(%) | C/N  | P<br>(Bray<br>II)<br>ppm | Bases échangeables<br>(méq/100g) |      |      |      | Granulométrie<br>% |       |       | CEC<br>(méq/10<br>0g) |
|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|------|--------------------------|----------------------------------|------|------|------|--------------------|-------|-------|-----------------------|
|                   |           |          |           |          |      |                          | Ca                               | Mg   | K    | Na   | Argile             | Limon | Sable |                       |
| Ech. I            | 5,1       | 1,3      | 2,3       | 0,07     | 18,9 | 2,5                      | 0,9                              | 0,15 | 0,07 | 0,1  | 20                 | 9     | 71    | 5,4                   |
| Ech. II           | 4,7       | 1,5      | 2,5       | 0,13     | 11,4 | 6,5                      | 2,2                              | 0,88 | 0,18 | 0,3  | 20                 | 7     | 73    | 9,5                   |
| Ech. III          | 4,8       | 1,3      | 2,3       | 0,09     | 14,4 | 1,7                      | 1,4                              | 0,23 | 0,1  | 0,17 | 18                 | 13    | 69    | 5,8                   |

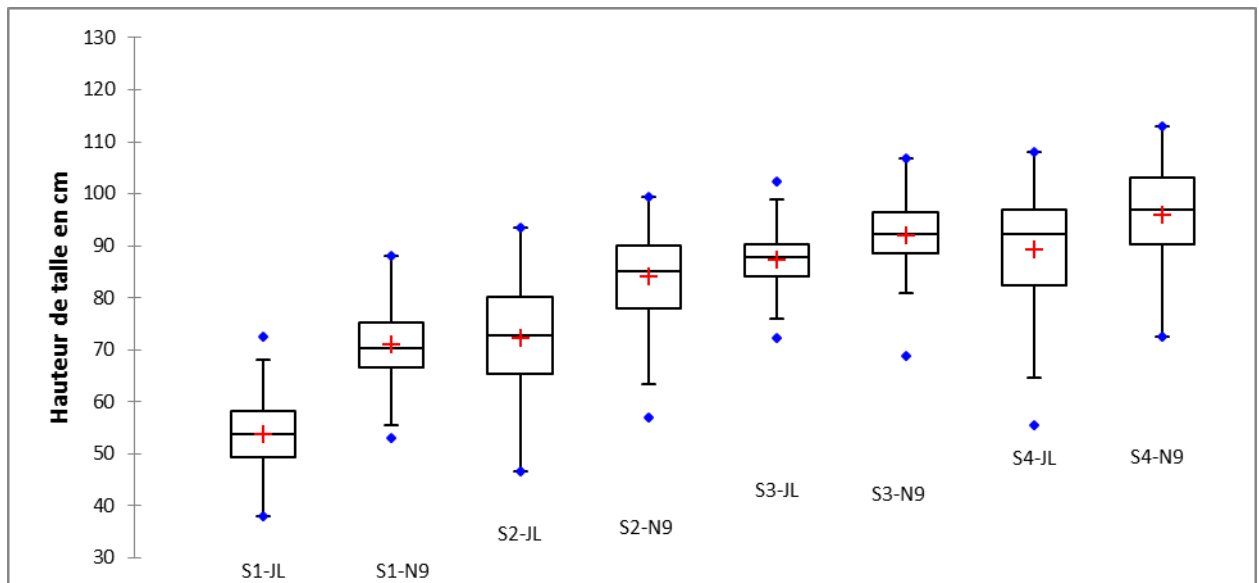
*Source : Laboratoire de pédologie-FOFIFA, 2015*

D'après le tableau 2, le pH du sol de Bevato varie de 4,7 à 5,1. Il s'agit donc des sols fortement à très fortement acides. Cette forte acidité du sol a une influence négative sur la biodisponibilité du phosphore. La quantité en cet élément varie de 1,7 à 6,5 ppm avec une moyenne de 3,57 ppm. Ces sols présentent un pourcentage moyen en carbone variant de 1,3 à 1,5% et une faible teneur en azote. Mais, le rapport C/N du sol reste satisfaisant. De plus, il est pauvre en bases échangeables. Concernant la granulométrie, ce sont des sols sablement argileux. Ce qui explique ainsi sa faible capacité d'échange cationique (CEC) qui varie entre 5,4 et 9,5 méq/100g.

### II-2- Effet du phosphore sur les composantes de rendement

#### II-2-1- Croissance en hauteur des talles

La figure 8 présente la croissance en hauteur des deux variétés. Les mesures ont été effectuées sur quatre stades physiologiques: phase en milieu de tallage (56 JAS), à la fin du tallage (72 JAS), vers 50% d'épiaison (82 JAS) et à la récolte:



**Figure 6: Croissance (moyenne) en hauteur des deux variétés**

-S1 : Stade milieu-tallage

-S3 : Stade 50% Epiaison

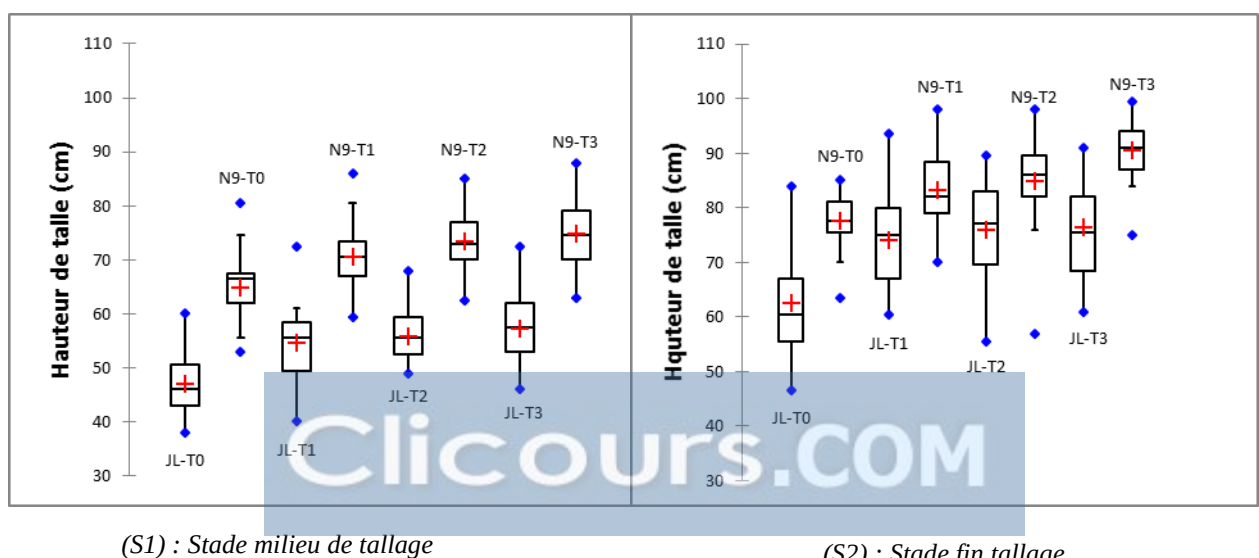
-S2 : Stade fin tallage

-S4 : Stade maturation (Récolte)

En milieu de tallage, la hauteur moyenne des talles est d'environ 53,7 cm pour le JL et 71 cm pour le N9. Cette hauteur évolue successivement à 72,2 cm et 84 cm à la fin du tallage. Une croissance de 18,5 cm est constatée pour le JL et seulement 13 cm pour le N9.

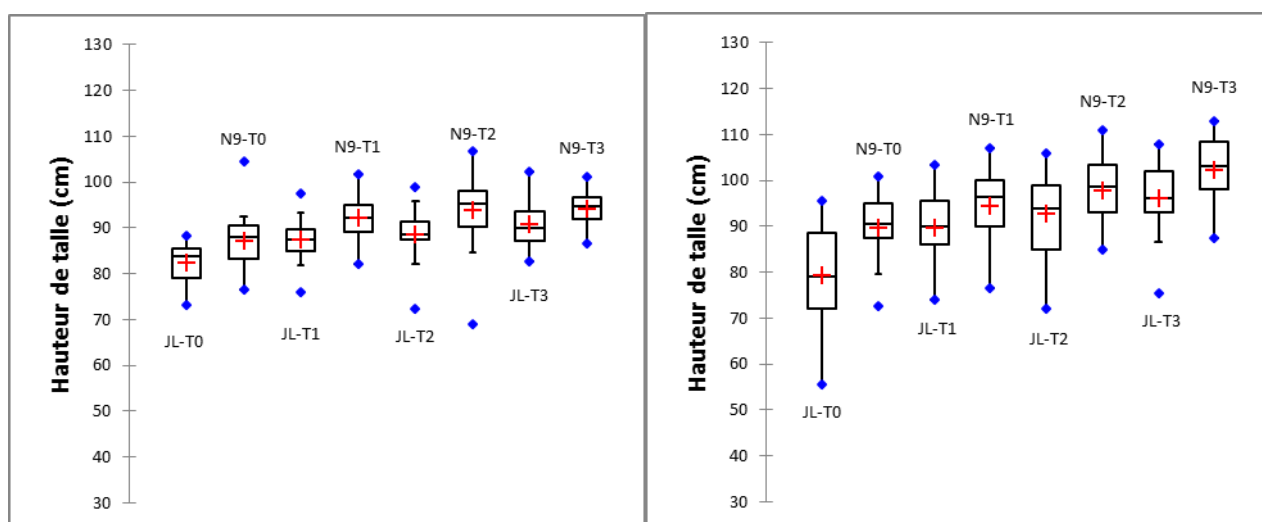
Et, vers 50% de l'épiaison, elle atteint 89,8 cm pour la variété locale et 96 cm pour le N9. Ainsi, une croissance de 36,1 cm a été remarquée pour le JL et seulement 25 cm pour N9. A la récolte, la hauteur moyenne des talles des deux variétés atteint les 89 cm pour le JL et 96 pour le N9. C'est donc, la variété N9 qui a la hauteur de talle la plus élevée.

Suivant les traitements et les stades, la croissance en hauteur des deux variétés peut se schématiser comme suit :



(S1) : Stade milieu de tallage

(S2) : Stade fin tallage



(S3) : Stade 50% épiaison

(S4) : Stade de maturation (à la récolte)

**Figure 7: Hauteur des talles par traitement des deux variétés et suivant les stades phénologiques**

Globalement, la croissance en hauteur des talles du N9 et du JL affiche la même tendance durant les quatre stades. Dès le début de tallage, des différences au niveau de la hauteur des plants ont déjà été remarquées sur les différents traitements. L'apport suffisant d'engrais phosphatés permet d'obtenir une hauteur de talles maximale pour l'ensemble.

(S1) : Vers 56 JAS, la hauteur des talles varie suivant la dose de P appliquée, elle a successivement un minimum de 47cm et 65 cm et un maximum de 57 cm et 74,9 cm pour le JL et le N9.

(S2) : A la fin du tallage, elle oscille entre 62,6 cm et 76,4 cm pour la variété locale et 77,6 cm et 90,4 cm pour le N9.

(S3) et (S4) : Jusqu'à la maturation, la hauteur des talles des deux variétés ne cesse d'accroître, mais elle reste toujours proportionnelle aux doses d'engrais phosphatés. Suivant ces doses, elle varie entre 79 et 96 cm pour le JL et entre 89,8 et 102 cm pour le N9 à la récolte.

Le tableau ci-dessous résume l'analyse de la variance de la hauteur des talles des deux variétés à chaque stade phénologique suivant les traitements.

**Tableau 3: Hauteur des talles des deux variétés suivant les traitements**

| Stades phénologique | Traitements |        |         |         |        |         |         |         |
|---------------------|-------------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
|                     | JL*T0       | JL*T1  | JL*T2   | JL*T3   | N9*T0  | N9*T1   | N9*T2   | N9*T3   |
| Milieu tallage      | 47,0 a      | 54,7 b | 55,8 b  | 57,2 b  | 64,9 c | 70,5 d  | 73,3 de | 74,9 e  |
| Fin tallage         | 62,6 a      | 74,0 b | 76,0 b  | 76,4 b  | 77,6 b | 83,1 c  | 85,0 c  | 90,4 d  |
| 50% épiaison        | 82,3 a      | 87,5 b | 88,6 bc | 90,8 cd | 87,3 b | 92,3 de | 93,9 de | 94,3 e  |
| A la récolte        | 79,2 a      | 89,7 b | 92,6 bc | 96,0 c  | 89,8 b | 94,5 bc | 97,7 cd | 102,3 d |

Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )

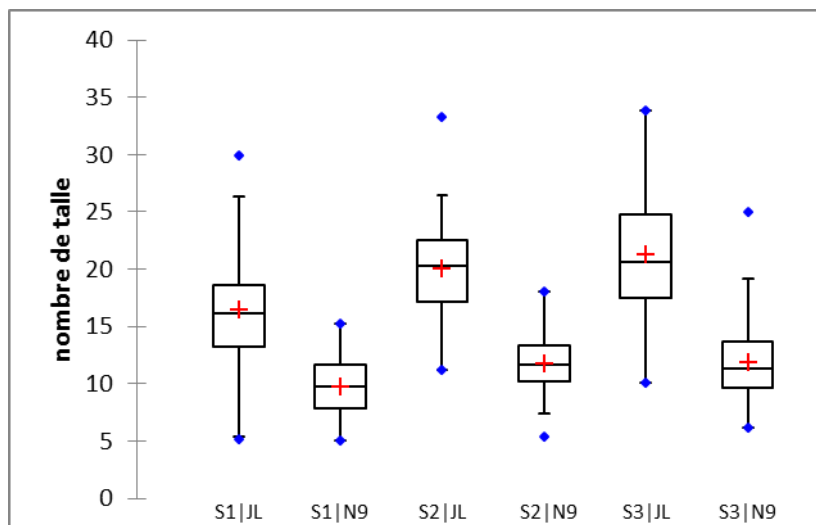
D'après ce tableau, les témoins T0 présentent une faible hauteur de talle durant le cycle

végétatif du riz. Et, ils diffèrent significativement de T1, T2 et T3. De plus, aucune différence significative de la hauteur des talles n'a été constatée entre T1 et T2 pour tous les stades de développement.

## II-2-2- Tallage

### II-2-2-1- Evolution du nombre de talles

La figure ci-après montre l'évolution de la moyenne du nombre de talles des deux variétés étudiées du tallage à l'épiaison.



**Figure 8 : Evolution du nombre de talles des deux variétés**

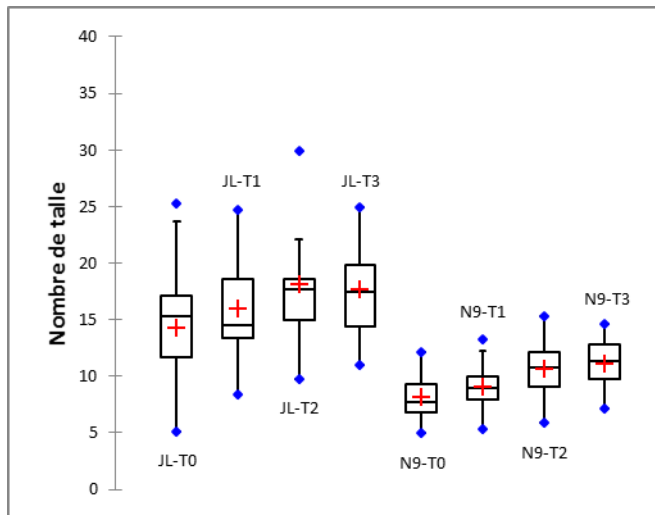
*S1 : Stade milieu tallage*

*S2 : Stade fin tallage*

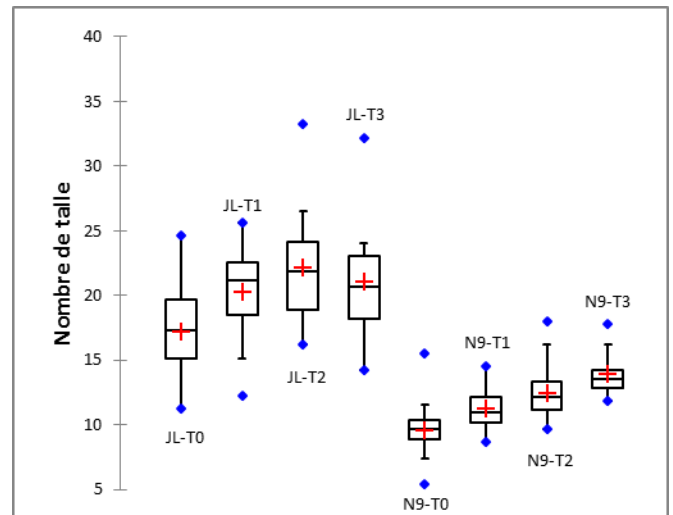
*S3 : Stade 50% Epiaison*

Les deux variétés ont une même allure d'évolution du nombre de talles. De plus, la vitesse de tallage est assez élevée entre les deux premiers stades. Du milieu à la fin du tallage, une augmentation de 3 talles a été constatée pour le JL contre 2 talles pour le N9. De la fin du tallage au 50% épiaison, il y a une augmentation de 2 talles contre 1 seul pour le JL.

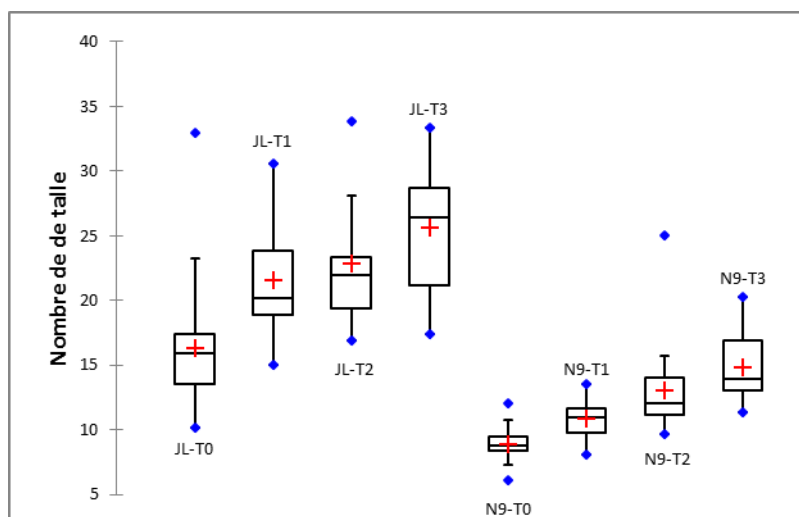
Les box-plots ci-dessous présentent l'effet du phosphore sur le nombre de talles des deux variétés à chaque stade.



*S1 (stade milieu tallage)*



*S2 (Stade fin tallage)*



*S3 (Stade 50% Epiaison)*

**Figure 9: Evolution du nombre de talles des deux variétés selon les traitements**

Ces graphes montrent que le nombre de talles des deux variétés est proportionnel aux doses de P.

En milieu du tallage (S3), le nombre de talle varie de 14 à 18 en fonction des doses de P pour le JL et de 8 à 11 pour le N9. A la fin du tallage, il évolue de 17 à 22 pour la variété locale et de 10 à 14 pour la variété biofortifiée. Vers 50% d'épiaison, les deux variétés atteignent les maximums qui varient de 16 à 26 pour le JL et de 10 à 15 pour le N9 suivant les doses de P.

Le tableau ci-dessous résume l'analyse de la variance de l'évolution du nombre de talles des deux variétés en fonction des doses d'engrais phosphatés.

**Tableau 4: Effet du P sur le nombre de talles des variétés testées à chaque stade**

| Stades phénologiques | Traitements |        |        |        |       |         |         |        |
|----------------------|-------------|--------|--------|--------|-------|---------|---------|--------|
|                      | JL*T0       | JL*T1  | JL*T2  | JL*T3  | N9*T0 | N9*T1   | N9*T2   | N9*T3  |
| S1                   | 14,3 c      | 16 cd  | 18,1 d | 17,7 d | 8,1 a | 9,1 ab  | 10,7 b  | 11,0 b |
| S2                   | 17,2 d      | 20,3 e | 22,1 f | 21 ef  | 9,6 a | 11,2 ab | 12,5 bc | 13,9 c |
| S3                   | 16,3 d      | 21,6 e | 22,8 e | 25,6 f | 8,9 a | 10,8 ab | 13 bc   | 14,8 c |

*Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )*

*S1 : stade milieu tallage*

*S2 : Stade fin tallage*

*S3 : 50% Epiaison*

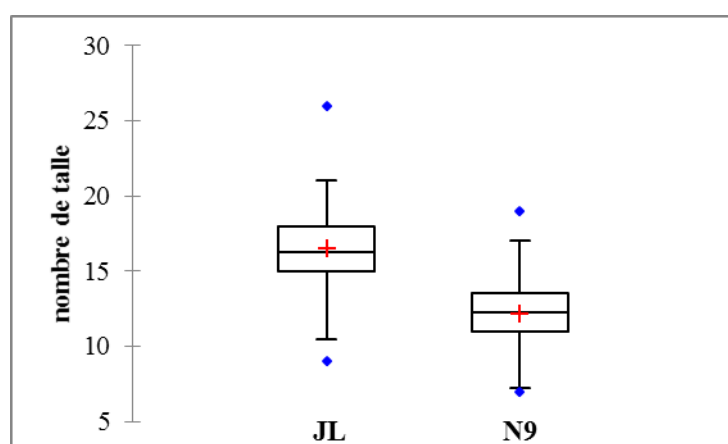
(JL): En milieu de tallage, l'effet significatif du P sur le nombre de talle n'est observé qu'à partir de T2. Tandis qu'à partir de la fin du tallage, le nombre de talle sous T0 est significativement faible par rapport à ceux de T1, T2 et T3 pour le JL. De plus, aucune différence considérable du nombre de talle n'a été constatée entre les traitements.

(N9) : Pour tous les stades, le nombre de talle de T0 n'est pas significativement différent de celui de T1. Comme pour le JL, l'effet significatif de P sur le nombre de talle n'est pas significatif qu'à partir de T2. Et, pour cette variété, le nombre de talle de T1 et celui de T3 sont significativement différent sauf en S1.

Durant son cycle végétatif, le nombre de talle de la variété N9 est significativement faible par rapport à celui de JL.

#### II-2-2-2- Nombre de talles fertiles

La distribution du nombre moyen de talle fertile des deux variétés est la suivante :



**Figure 10: Moyenne du nombre de talle fertile des deux variétés**

D'une manière générale, la variété locale Jean Louis a une forte capacité de tallage par rapport au Nerica 9. Avec un minima de 7, un maxima de 19 et une médiane de 16, le nombre moyen de talle par touffe est de l'ordre de 13 pour la variété introduite. Il varie de 9 à 26 talles par touffes pour le JL dont la moyenne et la médiane sont respectivement de 16 et 12 talles.

D'après l'ANOVA, l'interaction variété-doses de P ne présente aucun effet significatif sur le nombre de talle fertile (Cf. Annexe 3). Alors, ces deux facteurs doivent être analysés séparément. La variété a un effet significatif dans son ensemble (Cf. Annexe 3), ainsi que les doses de P.

**Tableau 5 : Effets séparés des deux facteurs sur le nombre de talle fertile**

| Modalités   |    | Moyenne | Groupes |
|-------------|----|---------|---------|
| Traitements | T0 | 12      | A       |
|             | T1 | 14      | B       |
|             | T2 | 15      | B       |
|             | T3 | 16      | C       |
| Variétés    | N9 | 12      | A       |
|             | JL | 17      | B       |

D'après ce tableau, les 4 traitements sont divisés en 3 groupes : A, B, C. Et chaque groupe se diffère significativement de l'un et de l'autre. A titre indicatif, le traitement T0 appartenant au groupe A se diffère de T1 et T2 du groupe B et se diffère aussi de T3 du groupe C.

Pour le facteur variétés, le nombre de talle fertile de la variété N9 présente un écart significatif avec celui de la variété JL.

Le tableau suivant résume l'analyse de la variance du nombre de talles fertiles de chaque producteur.

**Tableau 6: Nombre de talles fertiles de chaque producteur suivant les traitements et les variétés**

| Producteurs | Traitements |         |         |        | Variétés |        |
|-------------|-------------|---------|---------|--------|----------|--------|
|             | T0          | T1      | T2      | T3     | JL       | N9     |
| P1          | 13,1 a      | 16,3 ab | 17 ab   | 18 b   | 18 a     | 14,3 b |
| P2          | 10,25 a     | 13,2 b  | 12,5 ab | 15,7 c | 14,7 a   | 11 b   |
| P3          | 13,4 a      | 15 ab   | 14 a    | 16,3 b | 17 a     | 12,5 b |
| P4          | 11,9 a      | 14 ab   | 14,8 b  | 15,6 b | 16 a     | 12 b   |
| P5          | 13 a        | 14,5 ab | 16 b    | 15 ab  | 17 a     | 12,4 b |
| P6          | 13 a        | 13 a    | 13,8 ab | 14,4 b | 16 a     | 12,3 b |
| P7          | 11,9 a      | 14,6 ab | 14,7 ab | 16,3 b | 17 a     | 11,5 b |

Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )



: Effet significatif entre T0 et T3



: Effet significatif entre T1 et T3

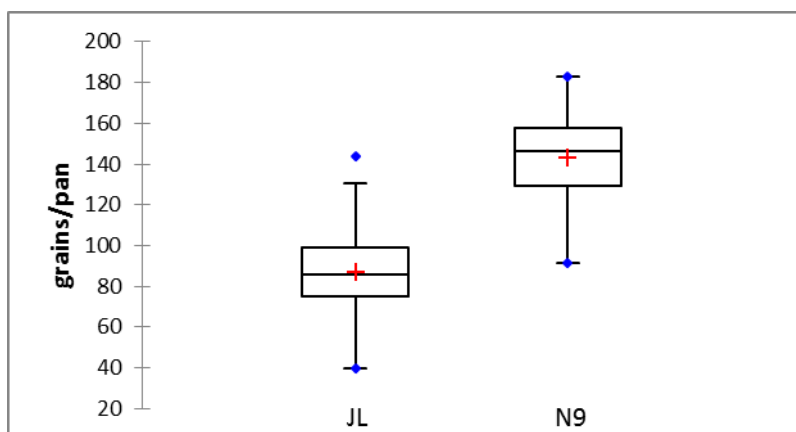
D'après ce tableau, aucune différence significative sur le nombre de talles fertiles ne se manifeste entre T0, T1 et T2 pour les producteurs P2, P4 et P5. Pour ces derniers, on constate un écart significatif entre T0 et T2. C'est donc le nombre de talles fertiles issu du dispositif de ces producteurs qui modifie la moyenne générale du nombre de talle obtenue qui est présentée dans le tableau 3. En outre, les doses croissantes de P ne présentent pas des effets significatifs sur le nombre de talles fertiles sauf entre T1 et T3 pour P2 et P6.



Pour l'ensemble des producteurs, le nombre de talle fertile de la variété locale diffère significativement de celui du N9.

### II-2-3- Nombre de grains par panicule

Le box-plot ci-dessous montre le nombre moyen de grains par panicule par variété.



**Figure 11 : Nombre de grains par panicule de chaque variété**

Par rapport à la variété locale, le N9 présente un nombre de grains par panicule élevé. Il a un minimum de 91 et un maximum de 183 grains par panicule avec une moyenne de 143 et une médiane de 146 grains. Cette variété présente une moyenne inférieure à la médiane, ce qui signifie que plus de 50% de la variable possède une valeur supérieure à la moyenne. Et, pour le JL, le nombre de grains par panicule oscille entre 39 et 144 dont la moyenne est de l'ordre de 87. La variété locale a une médiane de 86 grains par panicule.

Selon une analyse de la variance à 5% de seuil de significativité, aucun effet d'interaction n'est constaté entre les deux facteurs étudiés c'est à dire le facteur traitement et le facteur dose (Cf. Annexe 4). Alors, ces deux facteurs doivent être analysés chacun de leur côté. Les résultats de cette analyse révèlent que la variété présente un effet significatif dans son ensemble (Cf. Annexe 4), ainsi que les doses de P.

**Tableau 7 : Effets des deux facteurs sur le nombre de grains par panicule**

| Modalité    |    | Moyenne | Groupes |   |
|-------------|----|---------|---------|---|
| Traitements | T0 | 98      | A       |   |
|             | T1 | 113     |         | B |
|             | T2 | 119     |         | B |
|             | T3 | 131     |         | C |
| Variétés    | JL | 87      | A       |   |
|             | N9 | 143     |         | B |

Ce tableau montre que le nombre de grains par panicule de T0 diffère significativement de celui de T1 et T2. Et, ils sont significativement inférieurs à celui de T3. Pour le facteur variétés, le N9 présente un nombre de grains par panicule significativement supérieur à celui de JL.

Le tableau suivant montre le nombre de grains par panicule des différents traitements et des deux variétés pour chaque producteur.

**Tableau 8 : Nombre de grains par panicule des deux variétés pour tous les traitements**

| Producteurs | Traitements |          |          |         | Variétés |         |
|-------------|-------------|----------|----------|---------|----------|---------|
|             | T0          | T1       | T2       | T3      | JL       | N9      |
| P1          | 99,4 a      | 105,8 a  | 129,5 b  | 139 b   | 101,8 a  | 135 b   |
| P2          | 81,8 a      | 104,9 b  | 123 bc   | 126,8 c | 73,2 a   | 145 b   |
| P3          | 101 a       | 103 a    | 107 a    | 133,4 b | 89 a     | 133,4 b |
| P4          | 106,3 a     | 113,8 ab | 125 bc   | 134,5 c | 87 a     | 152,7 a |
| P5          | 101,3 a     | 118 b    | 122,6 bc | 131,4 c | 91,4 a   | 145,2 b |
| P6          | 103 a       | 122,5 b  | 125,4 b  | 129,8 b | 89,4 a   | 151 b   |
| P7          | 94 a        | 109,5 a  | 105,7 a  | 133 b   | 79,8 a   | 141,3 b |

*Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )*



: Effet significatif entre T0 et T1



: Effet significatif entre T2 et T3



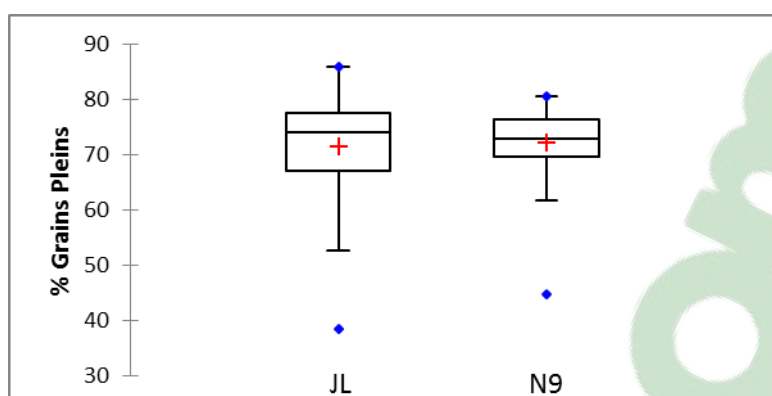
: Effet significatif entre T1 et T2

D'après ce tableau, il n'existe pas de différence significative entre le nombre de grains par panicule obtenu sous T0 et T1 sauf pour P2, P5 et P6. Entre autre, il n'y a aucune différence significative entre T1 et T2 sauf pour P1. Et, entre T2 et T3, la différence significative en termes de nombre de grain par panicule n'est remarquée que sur le dispositif de P3 et P7.

De plus, le nombre de grain par panicule de la variété locale est significativement faible par rapport à celui du N9

## II-2-4- Pourcentage des grains pleins

Le pourcentage moyen des grains pleins des deux variétés est synthétisé par le box-plot ci-dessous :



**Figure 12 : Pourcentage des grains pleins des deux variétés**

D'après ce graphe, le pourcentage moyen des grains pleins oscille entre 38,4% et 86% avec une moyenne générale de 71,7% et une médiane de 71,5%. Il est à noter que plus de la moitié de l'échantillon possède une valeur supérieure à la moyenne. Pour le N9, il balance entre 44,7 et 80,5% avec une moyenne de 72,3%. Cette moyenne est quasi-égale à la médiane. Ce qui explique que la moyenne divise les variables en deux groupes égaux, c'est à dire 50% de la variable affiche un pourcentage de grains par panicule supérieur à 72,3.

L'ANOVA a montré que l'interaction entre les deux facteurs n'est pas significatif. Et que le facteur variété n'a pas d'effet significatif sur le pourcentage de grains pleins (Cf. Annexe 5). Alors, il suffit d'analyser seulement le facteur dose de P.

**Tableau 9 : Effet des traitements sur le pourcentage de grains par panicule**

| Traitements | Moyennes | Groupes |
|-------------|----------|---------|
| T0          | 67       | A       |
| T1          | 73       | B       |
| T2          | 74       | B       |
| T3          | 74       | B       |

L'analyse de la variance du pourcentage du nombre de grains par panicule révèle à deux groupes distincts : groupe de T0 qui significativement différent du groupe de T1, T2 et T3.

L'analyse de la variance du pourcentage de grains pleins par traitement de chaque producteurs est résumée dans le tableau ci-après.

**Tableau 10:** Pourcentage de grains pleins des 4 traitements et des 2 variétés de chaque producteur

| Producteurs | Traitements |         |         |        | Variétés |        |
|-------------|-------------|---------|---------|--------|----------|--------|
|             | T0          | T1      | T2      | T3     | JL       | N9     |
| P1          | 64 a        | 70 ab   | 71,5 ab | 75,3 b | 67 a     | 73,6 b |
| P2          | 60,3 a      | 70 ab   | 74,3 b  | 76 b   | 67,9 a   | 72,4 a |
| P3          | 70 a        | 72 ab   | 73,4 ab | 77,4 b | 72,3 a   | 74 a   |
| P4          | 72,6 a      | 72,6 a  | 74 a    | 76,3 a | 73 a     | 74,6 a |
| P5          | 70,8 a      | 73 a    | 73,8 a  | 76,4 a | 73 a     | 74 a   |
| P6          | 68,8 a      | 75,3 b  | 77,6 b  | 73 ab  | 73 a     | 74 a   |
| P7          | 62,7 a      | 68,8 ab | 71,7 b  | 73,7 b | 67,3 a   | 71 a   |

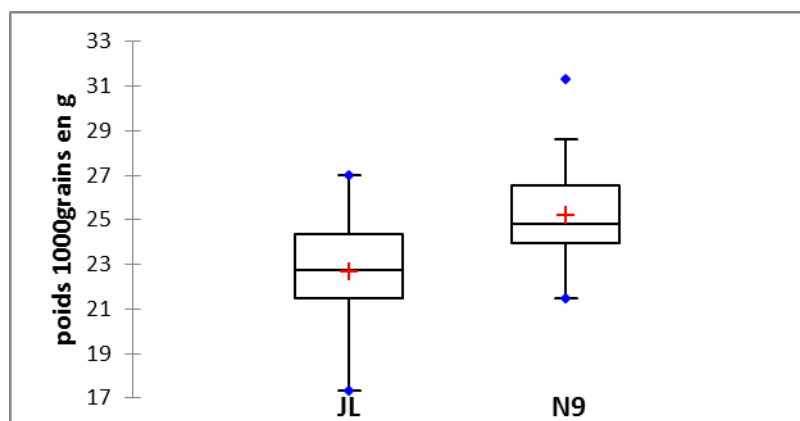
Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )

 : Effet significatif entre T0 et T1

La même analyse mais en fonction des paysans expérimentateurs révèle que la différence significative des pourcentages de grains pleins sous T0 et T1 n'a été remarquée que pour P6. Cela influe essentiellement le résultat précédent vu qu'aucune grande différence de pourcentage de grains pleins n'a été observée entre les témoins et les traitements avec le P sauf pour P4 et P5. De plus, il n'y a aucun effet significatif des doses croissantes de P sur le pourcentage de grains pleins pour l'ensemble. En outre, à l'exception du P1, aucune différence significative de ce pourcentage n'a été constatée entre les deux variétés

## II-2-5- Poids des 1000 grains

La figure ci-dessous résume les résultats sur le poids moyen des 1000 grains des deux variétés.



**Figure 13 :** Poids des 1000 grains des deux variétés

Les deux variétés présentent des valeurs différentes. Elle varie de 17,3 à 27 g pour la variété locale et 21,5 à 31,3 g pour le N9 avec une moyenne respective de 22,7g et 25 g. Ainsi, le N9 a un poids des 1000 grains moyen supérieur à celui de la variété locale avec un écart de 2,3 g.

D'après l'ANOVA, l'interaction variété-doses de P ne présente aucun effet significatif sur le nombre de talle fertile (Cf. Annexe 6). Alors, ces deux facteurs doivent être analysés séparément. La variété a un effet significatif dans son ensemble (Cf. Annexe 6), ainsi que les doses de P.

**Tableau 11 : Effets des deux facteurs sur le poids de 1000 grains**

| Modalités   |    | Moyenne | Groupes |   |
|-------------|----|---------|---------|---|
| Traitements | T0 | 23      | A       |   |
|             | T1 | 24      |         | B |
|             | T2 | 24      | B       | C |
|             | T3 | 25      |         | C |
| Variétés    | JL | 23      | A       |   |
|             | N9 | 25      |         | B |

Ce tableau montre que T0 diffère significativement de T1 en termes de poids de 1000 grains (PMG). De plus, le PMG de T1 est significativement inférieur à celui de T3. Mais, écart significatif n'est remarqué entre le PMG de T1 et T2 ainsi qu'entre celui de T2 et T3. Pour le facteur variété, la N9 affiche un PMG significativement supérieur à celui de JL.

Le tableau ci-après présente la moyenne du Poids de 1000 grains des différents traitements et des deux variétés pour chaque producteur :

**Tableau 12: Poids de 1000 Grains des différents traitements et des deux variétés de chaque producteur**

| Producteurs | Traitements |         |         |         | Variétés |        |
|-------------|-------------|---------|---------|---------|----------|--------|
|             | T0          | T1      | T2      | T3      | JL       | N9     |
| P1          | 22 a        | 23 ab   | 24 b    | 24,4 b  | 21,8 a   | 25 b   |
| P2          | 22 a        | 21,5 a  | 23 a    | 23,2 a  | 20 a     | 24,9 b |
| P3          | 23 a        | 24 a    | 24,3 a  | 24,5 a  | 23 a     | 25 b   |
| P4          | 22,7 a      | 24,4 ab | 23,7 a  | 26 b    | 23 a     | 25,3 b |
| P5          | 24 a        | 25 ab   | 25 ab   | 27,2 b  | 25 a     | 25,7 a |
| P6          | 22,9 a      | 24,3 ab | 24,5 ab | 23,8 ab | 23 a     | 24,6 b |
| P7          | 23,5 a      | 24,2 a  | 24,9 a  | 25 a    | 23 a     | 25 8 b |

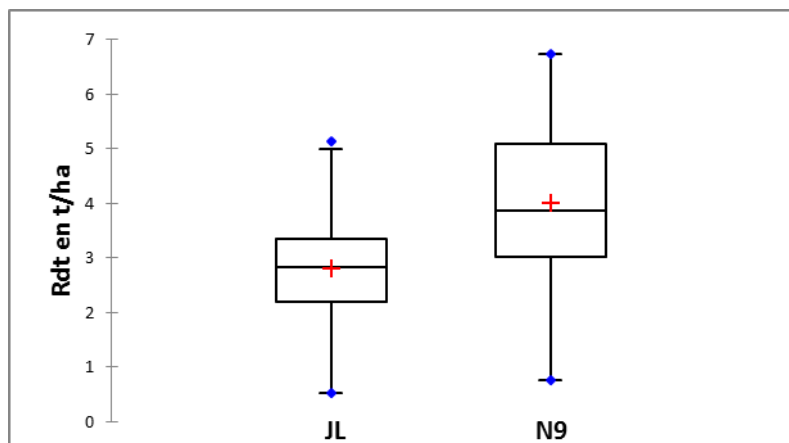
*Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )*

sous T2 pour P1 et sous T3 pour P4 et P5. En comparaison avec celui du JL, le Poids de 1000 grains du N9 issu de tous les dispositifs est élevé.

### II-3- Effet des engrais phosphatés sur le rendement

Le rendement moyen issu des différentes doses de P par variété est représenté par la figure ci-après.

Clicours.COM



**Figure 14 : Effet du P sur le rendement en grain**

D'après la figure 18, le N9 présente un rendement moyen le plus élevé par rapport au JL. Avec un minima de 0,5 t/ha et un maximum de 5,14 t/ha. Le rendement moyen de la variété locale est de 2,28 t/ha. Pour le N9, il varie de 0,77 t/ha à 6,75 t/ha avec une moyenne de 4 t/ha. Un écart de 1,7 t/ha est observé entre les deux variétés.

L'interaction variété-doses de P ne présente aucun effet significatif sur le nombre de talle fertile (Cf. Annexe 7). Alors, ces deux facteurs doivent être analysés séparément. La variété a un effet significatif dans son ensemble (Cf. Annexe 7), ainsi que les doses de P.

**Tableau 13 : Effets des deux facteurs sur le rendement en grains**

| Modalité    |    | Moyenne | Groupes |   |
|-------------|----|---------|---------|---|
| Traitements | T0 | 3,7     | A       |   |
|             | T1 | 5,4     |         | B |
|             | T2 | 6,1     |         | C |
|             | T3 | 7,5     |         | D |
| Variétés    | JL | 4,9     | A       |   |
|             | N9 | 6,4     |         | B |

Suivant les traitements, l'analyse de la variance des rendements en grains révèle à 4 groupes distincts : groupe de T0 qui présente le plus faible rendement et qui diffère significativement de groupe de T1 qui est aussi significativement inférieur au T2 : Et, le groupe de T3 qui présente un écart significatif avec T0, T1 et T2.

Le tableau ci-après synthétise l'analyse de la variance des rendements obtenus par traitements de chaque dispositif.

**Tableau 14: Rendement en grain (t/ha) des différents traitements pour les deux variétés**

| Producteurs | Traitements |        |       |       | Variétés |       |
|-------------|-------------|--------|-------|-------|----------|-------|
|             | T0          | T1     | T2    | T3    | JL       | N9    |
| P1          | 3,6 a       | 5,4 b  | 7,7 c | 8,3 c | 5,9 a    | 6,6 a |
| P2          | 2,2 a       | 4,5 b  | 4,9 b | 6,6 c | 3,0 a    | 6,0 b |
| P3          | 4,2 a       | 5,2 a  | 5,4 a | 8 b   | 5,2 a    | 6,2 b |
| P4          | 4,1 a       | 5,5 ab | 6,3 b | 7,9 c | 4,8 a    | 7 b   |
| P5          | 4,4 a       | 6 b    | 7 bc  | 7,9 c | 5,9 a    | 6,8 b |
| P6          | 4,0 a       | 6,0 b  | 6,3 b | 6 b   | 4,8 a    | 6,3 b |
| P7          | 3,0 a       | 5 b    | 5,3 a | 7,6 c | 4,4 a    | 6,1 b |

Les valeurs suivies par une lettre minuscule différente d'un traitement à l'autre sont significativement différentes ( $p < 0,05$ )

Ce tableau montre que l'apport d'engrais phosphaté permet d'augmenter significativement le rendement sauf pour le dispositif P3. Par rapport au JL, le N9 présente un rendement significativement élevé.

## II-4- Analyse en composante principale (ACP) des éléments du rendement

Le tableau suivant montre la matrice de corrélation pour les composantes de rendement.

**Tableau 15: Matrice de corrélation (Pearson n)**

| Variables         | Nombre de talle | Hauteur de talle | Longueur de panicule | Poids 1000 Grains | Grains/panicule | % Grains Pleins | Rendement en t/ha |
|-------------------|-----------------|------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Nombre de talle   | 1               |                  |                      |                   |                 |                 |                   |
| Hauteur de talle  | 0,122           | 1                |                      |                   |                 |                 |                   |
| Longueur panicule | -0,199          | 0,557            | 1                    |                   |                 |                 |                   |
| Poids 1000 Grains | -0,215          | 0,293            | 0,407                | 1                 |                 |                 |                   |
| Grains/panicule   | -0,434          | 0,469            | 0,624                | 0,582             | 1               |                 |                   |
| % Grains Pleins   | -0,047          | 0,111            | 0,008                | 0,162             | 0,335           | 1               |                   |
| Rendement en t/ha | 0,175           | 0,548            | 0,479                | 0,592             | 0,753           | 0,511           | 1                 |

D'après le tableau 15, des corrélations ont observées entre :

- La hauteur des talles et le rendement en grains.
- Le pourcentage de grains pleins et le rendement en grains
- Le nombre de grains par panicule et le rendement
- Le PMG et le rendement
- La longueur des panicules, le PMG et le nombre de grains par panicule
- La hauteur des talles et la longueur des panicules

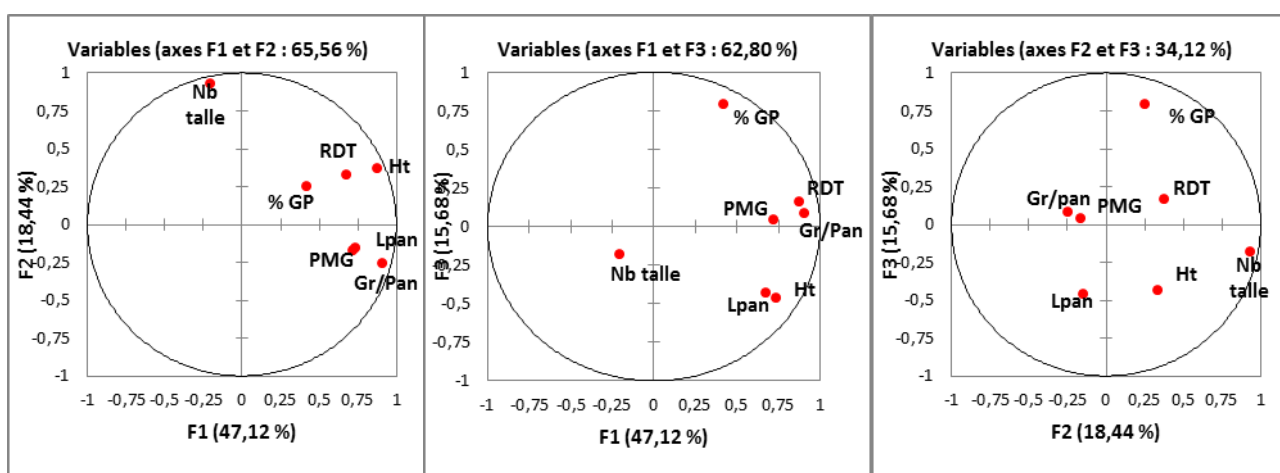
Entre autre, le nombre de talles par touffe et le nombre de grains par panicule ont des effets opposants c'est-à-dire qu'ils sont inversement proportionnels.

Le tableau suivant montre la variabilité des informations portée par chaque axe.

**Tableau 16 : Valeurs propres**

|                        | F1   | F2   | F3   |
|------------------------|------|------|------|
| <b>Valeur propre</b>   | 3,3  | 1,3  | 1,1  |
| <b>Variabilité (%)</b> | 47,1 | 18,4 | 15,7 |
| <b>% cumulé</b>        | 47,1 | 65,6 | 81,2 |

Une grande partie de la variabilité des informations est portée par l'axe F1 avec une valeur de 47,1%. La variabilité cumulée de F1 et F2 est de l'ordre de 65,6. Dans cette analyse, nous avons décidé de s'arrêter à F3 avec un pourcentage cumulé de 81,2% des informations.



**Figure 15: Cercles de corrélation des variables**

*Nb* taille nombre de talle

*RDT* rendement en grain

*PMG* poids de 1000 grains

*%GP* % de grains pleins

*L. pan* longueur de panicule

*Ht* hauteur de talle

*Gr/Pan* nombre de grains par panicule

Ces figures montrent que les variables 'PMG', le 'Nb de Gr/Pan', le 'pourcentage des grains pleins' et le 'RDT' sont expliquées par l'axe F1. Le 'Nb de talle' participe à la formation de F2 et la 'Ht', la 'Lpan' et le '%GP' à l'axe F3. Les variables constituant chaque axe forment des groupes homogènes. Ce qui signifie que ces variables ont des fortes corrélations entre elles.

Ces précédents résultats ont montré que le rendement en grains du riz pluvial est expliqué surtout par le Nb de Gr/Pan, le PMG et le pourcentage des grains pleins. En fait, c'est le nombre de talle et le nombre de grains par panicule qui déterminent en premier lieu le rendement. Plus le nombre de talle est élevé, plus le nombre de panicule par unité de surface augmente. Donc, plus le rendement s'accroît. Toutefois, ce n'est pas le nombre de talle qui est le plus important, c'est le nombre de grains porté par chaque panicule. Entre autre, l'abondance des grains vides par panicule diminue considérablement le rendement. D'où l'importance du pourcentage des grains pleins. Et enfin, le poids de 1000 grains a un effet essentiel sur le rendement en grains du riz



pluvial. Le groupe homogène formant l'axe F3 explique que la hauteur des plants et la longueur des panicules sont proportionnelles par rapport aux deux variétés.

## II-5- Résultats sur le calcul économique

Cette partie consiste à analyser la rentabilité des exploitations. Pour cela, le calcul des consommations intermédiaires, des produits bruts ainsi que la valeur ajoutée brute seront présentés par les tableaux suivants.

### II-5-1- Consommation intermédiaire

#### II-5-1-1- Intrants agricoles

Les intrants agricoles concernent les semences de riz, les engrais minéraux et organiques apportés durant la campagne agricole.

Le tableau ci-après résume les quantités utilisées et les coûts en Ar/ha de la consommation en intrants agricoles par traitement des deux variétés étudiées.

**Tableau 17 : Consommation en intrants agricoles**

| Intrants                           | Doses (kg/ha) |       |       |       | PU (Ar) | Montant (Ar/ha) |                |                |                  |
|------------------------------------|---------------|-------|-------|-------|---------|-----------------|----------------|----------------|------------------|
|                                    | T0            | T1    | T2    | T3    |         | T0              | T1             | T2             | T3               |
| <b>NPK</b>                         | 0             | 200   | 200   | 200   | 2 000   | 0               | 400 000        | 400 000        | 400 000          |
| <b>Urée</b>                        | 0             | 120   | 120   | 120   | 1 500   | 0               | 180 000        | 180 000        | 180 000          |
| <b>TSP</b>                         | 0             | 0     | 35    | 122   | 2 300   | 0               | 0              | 80 500         | 280 600          |
| <b>K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub></b> | 0             | 24    | 24    | 24    | 2 000   | 0               | 48 000         | 48 000         | 48 000           |
| <b>Semence</b>                     | 24            | 24    | 24    | 24    | 2 000   | 48 000          | 48 000         | 48 000         | 48 000           |
| <b>Fumier</b>                      | 5 000         | 5 000 | 5 000 | 5 000 | 10      | 50 000          | 50 000         | 50 000         | 50 000           |
| <b>TOTAL</b>                       |               |       |       |       |         | <b>98 000</b>   | <b>726 000</b> | <b>806 500</b> | <b>1 006 600</b> |

Le fumier a été utilisé à une dose de 5t/ha. Il a été acheté à 3000 Ar la charrette. Une charrette de fumier sec bien décomposé est estimée à 300 kg. Ainsi, le prix par kg de fumier est de 10 Ar.

#### II-5-1-2- Coûts de la main d'œuvre:

Le tableau suivant montre la consommation en main d'œuvre pour chaque traitement et par unité de surface. La quantité de main d'œuvre nécessaire reste constante pour tous les traitements considérés.

**Tableau 18 : Consommation en main d'œuvre (/ha) pour chaque traitement**

| Activités                | Unité      | Nombre/ha | PU    | Montant (Ar/ha) |
|--------------------------|------------|-----------|-------|-----------------|
| Labour                   | Charrue    | 20        | 5 000 | 100 000         |
| Semis                    | Homme-jour | 104       | 2 500 | 260 000         |
| 1 <sup>er</sup> sarclage | Homme-jour | 26        | 2 500 | 65 000          |
| 2 <sup>e</sup> sarclage  | Homme-jour | 26        | 2 500 | 65 000          |
| 3 <sup>e</sup> sarclage  | Homme-jour | 26        | 2 500 | 65 000          |
| Récolte                  | Homme-jour | 52        | 2 500 | 130 000         |
| <b>TOTAL</b>             |            |           |       | <b>685 000</b>  |

Ainsi, la consommation intermédiaire totale par hectare est résumée par le tableau ci-après :

**Tableau 19: Consommation intermédiaire totale en Ar/ha**

|                       | Traitements    |                  |                  |                  |
|-----------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
|                       | T0             | T1               | T2               | T3               |
| Intrants              | 98 000         | 726 000          | 806 500          | 1 006 600        |
| MO                    | 685 000        | 685 000          | 685 000          | 685 000          |
| <b>CI totale (Ar)</b> | <b>783 000</b> | <b>1 411 000</b> | <b>1 491 500</b> | <b>1 691 600</b> |

## II-5-2- Produit brut

Le rendement considéré est celui du paddy. Le prix moyen retenu est de 500 Ariary le kilo. Le tableau ci-contre récapitule le produit brut de chaque traitement :

**Tableau 20: Produit brut en Ariary**

| Traitement | Rendement en kg | PU  | PB (Ar)   |
|------------|-----------------|-----|-----------|
| JL * T0    | 2539            | 500 | 1 269 500 |
| JL * T1    | 2693            | 500 | 1 346 500 |
| JL * T2    | 2975            | 500 | 1 487 500 |
| JL * T3    | 3060            | 500 | 1 530 000 |
| N9 * T0    | 2677            | 500 | 1 338 500 |
| N9 * T1    | 4169            | 500 | 2 084 500 |
| N9 * T2    | 4468            | 500 | 2 234 000 |
| N9 * T3    | 4703            | 500 | 2 351 500 |

D'après ce tableau, l'apport d'engrais phosphatés augmente le produit brut pour chaque variété. Avec un apport de 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, on obtient un surplus de 1 013 000 Ar par rapport au témoin pour le N9 et de 260 500 Ar pour le JL.

## II-5-3- Valeur ajoutée brute

Le tableau ci-dessous montre la VAB par hectare pour chaque traitement :

**Tableau 21: VAB par hectare**

| Traitements | Variétés | PB        | CI        | VAB            |
|-------------|----------|-----------|-----------|----------------|
| T0          | JL       | 1 269 500 | 783 000   | 486 500        |
|             | N9       | 1 338 500 | 783 000   | 555 500        |
| T1          | JL       | 1 346 500 | 1 411 000 | -64 500        |
|             | N9       | 2 084 500 | 1 411 000 | 673 500        |
| T2          | JL       | 1 487 500 | 1 491 500 | -4 000         |
|             | N9       | 2 234 000 | 1 491 500 | <b>742 500</b> |
| T3          | JL       | 1 530 000 | 1 691 600 | -161 600       |
|             | N9       | 2 351 500 | 1 691 600 | 659 900        |

Le résultat de l'analyse économique de la variété locale montre que l'apport d'une forte dose de P est largement déficitaire, vu que le rendement est faible alors que l'investissement en fertilisant est élevé. Pour le Nerica 9, le traitement avec le TSP permet d'augmenter la VAB, mais celle-ci diminue si l'apport est trop élevé. Ainsi, pour tous les traitements, le Nerica 9 traité avec 60 kg de P/ha donne une VAB maximale avec une valeur de 742 500 Ar par hectare.

## PARTIE III : DISCUSSIONS

---

### III-1- Effet du phosphore sur les composantes de rendement

Les résultats précédents montrent l'effet significatif des différents traitements sur le nombre et la hauteur des talles par rapport aux témoins. En 2011, Gala et *al.*, a aussi obtenu un résultat semblable à celui-ci. Cet auteur a montré que le nombre de talles croît avec l'augmentation de la dose d'engrais. Cela est dû aux apports combinés de l'engrais phosphatés, de l'engrais azotés, de l'engrais potassiques avec la fumure organique.

Lors de l'expérimentation, le phosphore a été appliqué comme fumure de fond durant le semis. Cet élément est peu mobile donc non lessivé. Il est donc, consommé presque en totalité pendant les phases du tallage et d'épiaison-floraison (Arraudeau, 1998; Segda, 2002). Ainsi, le phosphore influe sur la croissance du plant de riz (ADRAO, 2001). D'après Lacharme et Karamage en 2001, le phosphore stimule la croissance racinaire ce qui favorise le processus de tallage.

De plus, l'apport des engrais contenant de l'Azote et du Potassium (Urée 46% et NPK 11 22 16) favorise aussi le développement végétatif du riz. L'azote permet une croissance vigoureuse des plants de riz (Lacharme, 2011). Il assure l'augmentation du nombre de talles et de la croissance en hauteur du riz (Tapsoba, 1997). Comme le phosphore, le potassium n'est pas lessivé et est appliqué comme fumure de fond pendant l'expérimentation (Aïda, 2014). D'après l'ADRAO (1995), il favorise le tallage et surtout, il augmente la réponse du riz au phosphore.

L'analyse de variance montre la variation significative du nombre de grains par panicule, du pourcentage des grains pleins ainsi que du poids des 1000 grains suivant les traitements. Cette variation est due à la disponibilité du phosphore pour les plantes ainsi qu'aux apports d'engrais potassique durant le semis.

Ces résultats confirment celui de Randrianarison en 2011. Selon cet auteur, le phosphore est un élément indispensable à la formation des graines, son existence en quantité suffisante dans le sol permet une meilleure nutrition de la plante en cet élément. D'où l'obtention d'un nombre élevé de grains par panicule ainsi qu'un bon remplissage de ces grains. Il a pu obtenir un poids de 1000 grains jusqu'à 35g si habituellement ce poids tourne autour de 25g environ pour le riz irrigué.

De plus, la baisse du poids des 1000 grains des témoins peut aussi être expliquée par l'absence des apports en engrais potassique. En 1995, l'ADRAO a mentionné que le potassium augmente la taille et le poids des grains.

### III-2- Réponse du riz pluvial aux engrais phosphatés

L'analyse de variance révèle que le rendement en grain des deux variétés augmente avec la dose de P. Une différence significative de rendement de N9 a été constatée entre le témoin et les traitements avec apport de P. Ce résultat est conforme à celui de Fanjaniaina en 2009 et

Andriamananjara en 2011 ainsi qu'à celui de Sanogo et *al*, en 2001, et Camara en 2010. Selon les deux premiers auteurs, les témoins ont des rendements significativement faibles par rapport aux traitements avec apport de P. Sanogo en 2001 a montré que le rendement en grain est passé de 2,9 kg/ha avec le témoin sans engrais à 4,8 t /ha avec 13P-120N. Et, le dernier auteur a obtenu un rendement de 1,3 à 2,1 t/ha suivant la dose de P qui varie de 0 à 150 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Ces constatations nous ont conduit à avancer que **la première hypothèse disant que le rendement en grain du riz pluvial augmente avec la dose de P est donc confirmée.**

Généralement, d'après Bertrand et Gigou (2000), les plantes carencées en P ont des faibles rendements. Ainsi, le faible rendement des témoins est dû à l'inexistence d'apport de phosphore étant donné que le sol de Bevato n'en a qu'une très faible quantité qui varie de 1,7 à 6,5 ppm. Entre autre, ce sol est caractérisé par sa forte acidité avec un pH variant de 4,7 à 5,1. Ce qui est d'après Parent et *al.*, en 2002, le facteur le plus impliqué dans l'immobilisation de P par sa fixation avec les minéraux argileux et les oxydes ou hydroxydes de Fer et d'Aluminium . Selon ce même auteur, la plus forte solubilité de P dans les sols se situe entre les pH 6,2 et 7.

En effet, un apport d'engrais phosphaté ne peut avoir un effet sur les rendements que si le P est le premier des facteurs limitant de la croissance et le développement (Dominique, 2003). Ainsi, l'apport d'engrais phosphatés est indispensable pour l'augmentation du stock de P biodisponible dans le sol. Le résultat de Fanjaniaina en 2009 l'a justifié. Elle a montré que l'apport de 50 kg de P/ha permet l'obtention jusqu'à 10 mg /kg du sol de P disponible.

Pour la variété locale, aucune différence significative sur le rendement en grain n'a été constatée entre le témoin et les différents traitements. Cela est dû à l'abondance du nombre de touffes manquantes observée sur la parcelle utile. Ces touffes manquantes varient de 15 à 18% selon les traitements, celles du témoin ne dépassent pas les 10%. De plus, la faible performance de cette variété par rapport à celui du N9 est causée en une partie par l'attaque de la Pyriculariose durant la floraison et la maturation de la graine. Ce champignon perturbe la floraison et entraîne la vidange des grains. Si l'attaque a eu lieu après la floraison, les grains sont devenus maculés de tâches de différentes dimensions (Olga, 1983). Selon le même auteur, la gravité de la maladie se traduit par une réduction de la quantité des grains produits et une diminution de leur qualité. Cette maladie entraîne une perte énorme de production dans le monde entier. A l'échelle mondiale, les pertes dues à la Pyriculariose du riz ont été chiffrées à 157 millions de tonnes entre la période 1975-1990 selon Ratsimba en 2008. A Madagascar, Raelivololona (1983) a estimé une perte de 20% dans la province d'Antananarivo et Rafalimanana (1994) entre 20 et 60% dans le lac Alaotra.

### **III-3- Effets combinés de la matière organique et de l'engrais phosphaté**

Tout d'abord, la matière organique joue un rôle important dans la biodisponibilité du P dans le sol, directement par sa minéralisation ou indirectement par sa décomposition. Selon

Andriamanananjara (2011), le phosphore organique constitue une source potentielle en P dans la nutrition phosphatée des plantes surtout dans les régions tropicales marquées par leurs richesses en oxyde métallique.

De plus, comparé avec l'apport simple de fumier ou d'engrais phosphatés, l'apport combiné de fumier et de phosphore minéral permet d'obtenir un meilleur rendement parce que la richesse en phosphore du sol a été nettement améliorée. Selon Akanza et *al.*, en 2014, les traitements combinant l'engrais chimique avec le fumier ont été les plus performants vis-à-vis de la fixation du phosphore par le sol. Entre autre, de nombreuses études ont montré que l'apport prolongé de fumure organo-minérale ont augmenté la disponibilité du phosphore minéral et le stock de phosphore disponible dans le sol (Fanjaniaina, 2009, Henintsoa, 2011, Ralaizafisoloarivony, 2012). Cela est dû notamment à la présence simultanée de P inorganique fourni par le NPK et le TSP ainsi que du P minéral et organique contenus dans le fumier.

Ainsi, pour avoir un bon rendement, l'utilisation d'engrais phosphaté exige un apport de fumure organique du fait que celle-ci favorise la mobilité du phosphore. En 1991, Hue a mentionné que l'effet des fertilisants sur la mobilité du phosphore est principalement lié à l'ajout de fertilisants organiques. En effet, la matière organique influe positivement l'assimilation du P par la plante. Un enrichissement du sol en matière organique augmente la contribution du P organique à la dynamique du phosphore. Ce phénomène est lié à l'activité microbienne qui est conditionnée par le rapport C/P. Si le rapport C/P est faible, la biomasse microbienne immobilise le P. Donc, plus on augmente le taux de phosphate, plus la valeur C/P atteint un niveau critique. D'où l'importance de l'apport de matière organique pour augmenter la teneur en C (Parent et *al.*, 2002).

Pour conclure, afin d'obtenir un bon rendement tout en améliorant la fertilité du sol, l'apport d'engrais phosphaté doit être toujours combiné avec la fumure organique.

### **III-4- Potentialité de la variété N9**

D'après les analyses statistiques avec un intervalle de confiance de 95%, c'est le nombre de grains par panicule qui explique beaucoup le rendement avec un coefficient de détermination de 74,5% pour le JL et 59,7% pour le N9. Or, l'analyse de variance a révélé qu'une différence considérable est observée entre le nombre de grains par panicule des deux variétés. Comparée avec le N9, la variété locale JL est dotée d'une forte capacité de tallage. Mais, le coefficient de détermination du nombre de grains par panicule et du nombre de talle de celle-ci est de l'ordre de 87,7%. Cela veut dire que le nombre de talle n'explique que 13 % du rendement de cette dernière.

C'est donc le nombre de grains par panicule qui constitue le facteur principal déterminant le rendement de ces deux variétés avant le nombre de talle fertile. Pour ces deux variables, le Nerica 9 présente un atout par rapport au JL parce qu'il a un nombre de grains par panicule

important même si sa capacité de tallage est assez faible. D'où sa forte production par rapport à la variété locale. **La deuxième hypothèse qui stipule que la variété N9 a un meilleur rendement par rapport à la variété locale JL est donc vérifiée.** Ainsi, grâce à sa richesse en fer et en zinc d'une part et à sa forte production d'autre part, la culture de Nerica 9 est importante et fortement recommandée.

## PARTIE IV : LIMITES ET RECOMMANDATIONS

---

A part les problèmes climatiques et phytosanitaires, cette étude a souffert aussi des différentes contraintes liées à la conduite d'une expérimentation en milieu paysan.

### IV-1- Problèmes climatiques et phytosanitaires

Le problème climatique concerne surtout l'arrêt temporel des pluies juste après le semis. Le taux de levée reste faible à cause d'une attaque sévère de *Hétéronychus*<sup>2</sup> durant cette période. D'où l'abandon de 8 dispositifs expérimentaux. Ces problèmes ont provoqué des conséquences majeures sur le rendement. Dans certaines parcelles, les résultats obtenus ne reflètent pas exactement le rendement réel des variétés testées. Ainsi, pour réduire l'erreur expérimentale, il faut bien caler le calendrier culturale, notamment l'opération de semis avec l'arrivée des pluies.



**Figure 16:** Parcelle présentant un très faible taux de levée

De plus, l'attaque de la Pyriculariose sur la variété Jean Louis sur certaines parcelles durant le stade de maturation n'a pas permis de savoir la réelle performance de cette variété. Les rendements obtenus sur les parcelles attaquées sont très faibles pour tous les traitements étudiés. Par conséquent, il est difficile voire impossible d'analyser l'effet des différentes doses de P sur le rendement en grains de la variété locale. Le traitement de semence avant le semis ou l'utilisation des variétés résistantes reste donc indispensable et obligatoire pour éviter ce problème.

### IV-2- Problèmes de l'expérimentation en milieu paysan

L'expérimentation a été conduite en milieu paysan. Et, ces paysans s'éparpillent dans plusieurs hameaux distants de 5km entre eux. Il est difficile de faire le suivi périodique et les mensurations dans le temps. Les déplacements se font à pieds pour la visite des parcelles.

---

<sup>2</sup> hannetons (Coléoptère) de 15 à 20mm de long et de 5 à 8 mm de large ayant de couleur noire brillant, appelé communément 'antsana' ou 'fano'.



Certains travaux ont dû être décalés de quelques jours. De plus, il est possible que les directives sur la conduite de l'expérimentation données aux paysans aient changé entre deux périodes de suivi. Il est toujours difficile de contrôler toutes les opérations pour chaque paysan expérimentateur. Par ailleurs, l'hétérogénéité du milieu physique peut influencer les résultats. Les propriétés du sol varient d'un hameau à un autre ainsi que les microclimats. L'existence de ces nombreux facteurs non contrôlés augmente les erreurs expérimentales.

Il serait intéressant d'installer les dispositifs sur les mêmes topos-séquences. Une étude en milieu contrôlés serait nécessaire aussi pour pouvoir comparer les résultats obtenus avec ceux de la présente étude.

## CONCLUSION

---

Le centre de recherche rizicole africain ADRAO continue la production des variétés de riz répondant aux besoins en rendement et en valeur nutritionnelle pour les producteurs. La suite de la recherche consiste donc à trouver les conditions optimales les plus adaptées pour ces variétés dans sa diffusion en milieu rural. En collaboration avec le FOFIFA, la société NESTLE a initié la présente recherche dans le but de diffuser une des variétés de riz pluvial créées par ce centre. Il s'agit d'une variété de riz pluvial enrichie en Fer et e Zinc dénommée NERICA 9. Vue que la plupart des zones exploitables à Madagascar est dominée par des sols ferrallitiques de *tanety*, caractérisé par sa faible disponibilité en phosphore, la présente étude se focalise sur la réponse de la variété Nerica 9 et JL aux doses croissantes d'engrais phosphatés (T0 : 0kg P/ha, T1 : 44kg P/ha, T2 : 60 kg P/ha et 100kg/ha). L'expérimentation a été réalisée sur des sols fortement acides, pauvre en phosphore et en bases échangeables et surtout caractérisés par sa faible capacité d'échange cationique de Bevato, Tsiroanomandidy. Le dispositif utilisé a été de type split-plot.

Pour les résultats de l'expérimentation, la variété Nerica 9 a démontré sa forte potentialité en termes de rendement vis-à-vis de la variété locale la plus cultivée dans la zone. Le rendement moyen obtenu a été de 2,8 t/ha pour le JL et 4 t/ha pour le N9. Ce rendement augmente avec la dose de P apportée pour l'ensemble. Il varie de 2,5 à 3 t/ha pour la variété locale et de 2,7 à 4,7 pour le Nerica 9. Pourtant, cette variété locale affiche une capacité de tallage élevée par rapport à celle de la variété N9. En outre, la majorité des composantes de rendement varie significativement suivant les doses de P appliquées. Le nombre de grains par panicule varie entre 71 et 102 pour le JL et entre 125 et 163 pour le N9. Et, le poids de 1000 grains de la variété JL et N9 a successivement un minima de 21,8 et 24g et un maxima de 23,7 et 26g. L'analyse économique des différents traitements montre l'importance de l'utilisation des engrais phosphatés vu que cette variété est plus performante pour le N9. Tandis qu'il suffit de valoriser seulement la fumure organique pour la variété locale à cause de sa faible production, la baisse du prix de paddy et surtout la hausse du prix des engrais chimiques.

En guise de conclusion, cette expérimentation a permis de soulever l'importance de la fertilisation phosphatée sur la production rizicole surtout sur les zones de *tanety*. Ainsi, l'apport 60 kg de P/ha et l'utilisation de la variété Nerica 9 constitue une meilleure solution pour la réduction de la famine et de la pauvreté à Madagascar par le biais de l'accroissement de la production de riz pluvial et aussi par l'augmentation des valeurs ajoutées par unité de surface.

## BIBLIOGRAPHIES

---

ADRAO, 1995, *Formation en riziculture*, manuel du formateur 305 pages.

AIDA L., 2014, *Effet des rotations et des fumures à base du Burkina Phosphate sur la croissance et le rendement du riz pluvial strict dans la zone soudanienne du Burkina Faso*, Mémoire de fin de cycle présenté en vue de l'obtention du diplôme de master en production végétale, 59 pages.

AKANZA, 2014, *Effets de la fertilisation sur la fertilité des sols et les rendements: incidence sur le diagnostic des carences du sol*, 17 pages.

ANDRIAMANANJARA T., 2011, *Système de culture a rotation voandzou – riz pluvial (Oryza sativa) sur les hautes terres de Madagascar. Rôle du voandzou (Vigna subterranea) sur la biodisponibilité du phosphore dans les ferralsols*, Thèse présentée pour l'obtention de diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques, ESSA, Université d'Antananarivo, 186 pages.

ARRAUDEAU., 1998, *Le riz irrigué*, Edition Maisonneuve et la rose: le technicien d'agriculture tropicale 321p.

BERTRAND R., 2000, *La fertilité des sols tropicaux*, 105-322 pages.

C. BEGLINGERA, C. BREYMANN, 2010, *Traitement de la carence en fer*, 6 pages.

CAMARA, 2010, *Effet de différentes sources de phosphate sur le rendement du riz sur sols acides*, 9 pages.

DOMINIQUE B., 2003, *La fertilisation phosphatée ?*, Journées techniques ITAB-GRAB, L'info du réseau n°5, 4 pages.

FANJANIAINA M. L., 2009. « *Effet du Guano et du triple superphosphate sur le rendement du riz pluvial et sur la phytodisponibilité du phosphore du sol* » ; mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ESSA ; département Agriculture ; 66 pages.

FAO, 2005, *Profil Nutritionnel de Madagascar*, 49 pages.

FAO, 2012, *Guide de production de semences de riz*, 20 pages.

FAO, 2013, *Etat de l'insécurité alimentaire dans le monde*, 4 pages.

FAO/PAM, 2011, *Evaluation rapide des récoltes et de la situation alimentaire campagne agricole 2010/2011 Madagascar*, 55 pages.

FAO/PAM, 2013, *Mission FAO/PAM d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar*, Rapport spécial, 75 pages.

GALA BI T., 2011, *Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau : Cas de la zone de Gagnoa dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire*, Journal of Applied Biosciences 46: 3153– 3162, 10 pages.

- HENINTSOA, M., 2011, *Disponibilité du phosphore et productivité agricole sous système de culture à rotation biennale voandzou-riz pluvial et système de culture pluviale continue de riz. Cas d'un sol ferrallitique de « tanety » sis à Laniera*. Mémoire de fin d'études en vue d'obtenir le Diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques Spécialisation Agriculture, Université d'Antananarivo, 87pp.
- HUE N., 1991, *Effects of organic acids/anions on sorption and phytoavailability in soils with different mineralogies*, Soil Science, Vol 152, 6, pp.463-471
- J. BERGER, 2006, *Stratégies de lutte contre les carences en micronutriments, en particulier en fer, dans les pays en développement*, 15 pages.
- KARAMAGE F.X., 2001, *Etude de l'influence de la fertilisation phosphatée sur les attaques de cécidomyie africaine, ses parasitoïdes et les foreurs de tige en riziculture irrigué*, Mémoire de fin d'études de l'Institut de Développement rural Université polytechnique de Bobo Dioulasso 80 pages.
- LOMPO, 2009, *Effets induits des modes de gestion de la fertilité sur les états du phosphore et de la solubilisation des phosphates naturels dans deux sols acides du Burkina Faso*, p.254.
- M. MAZOYER, 2006, *La situation agricole et alimentaire mondiale*, 13 pages.
- MARIKINDRIANJAFIMPAHIZATO J., 2014, *Rapport d'activité du projet Voly Vary pour une alimentation saine 2014/2015*, 8 pages
- MINAGRI, 2011, *Madagascar-Note sur la politique rizicole*, 14 pages.
- NESTLE, 2012, *Nestlé et la société*, 53 pages.
- PARENT L.-E., 2002, *Le flux et la dynamique du phosphore dans les sols agricoles québécois*, Colloque sur le phosphore, une gestion éclairée, nov. 2002, 27 pages.
- PNAN (PLAN NATIONAL D'ACTION POUR LA NUTRITION), 2012, 92 pages.
- RABEHARISOA L., 2004, *Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar*, 214 pages.
- RABEZANDRINY, 1990, *Régénération par le fumier et les engrais verts de sols ferrallitiques dégradés*, 10 pages.
- RAFALIMANANA H., 1994, *Étude de quelques aspects de la protection des cultures à Madagascar*.
- RAKOTAOARISOA T., 2009, *Analyse des composantes de rendement des variétés de riz pluvial Nerica sous diverses sources d'engrais phosphatés*, Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention d'un diplôme d'ingénieur agronome spécialisé en Agriculture, ESSA, 78 pages.

- RAOELIVOLOLONA O., 1983. *Maladies et ennemis de la riziculture dans le Faritany d'Antananarivo*, mémoire de fin d'études spécialisation Agriculture, 121 pages
- RATSIMBA R., 2008. *Étude de la résistance des variétés de riz à la pyriculariose dans la région du Vakinankaratra*, mémoire de fin d'études pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur; spécialisation Agriculture (ASJA).
- RALAIZAFISOLOARIVONY N., 2012, *Effets de la fertilisation organique sur la biodisponibilité de phosphore: cas des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar (Lazaina)*. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de diplôme d'ingénieur agronome, 74 pages
- SANOGO S., 2010, *Effets de la fertilisation minérale sur des variétés améliorées de riz en condition irriguée à Gagnoa, Côte d'Ivoire*, Journal of Applied Biosciences 35: 2235 – 2243, 9pages.
- SEGDA Z., 2002, *Agronomie et technique culturale du riz*, Formation participative en gestion intégrée de la production et déprédateur du riz en technique culturale. INERA Institut l'Environnement et de Recherches Agricoles; 67pages.
- SOSSA E., 2012, *Arrière effet de la fertilisation et des résidus de récolte du niébé (Vigna unguiculata) sur la production du riz de bas-fond dans un système de culture riz maraîchage*, Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Études Approfondies (DEA) en sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Benin, 63 pages.
- TAPSOBAM., 1997, *Contribution à l'étude des besoins nutritifs du riz pluvial dans la zone Ouest du Burkina Faso*; Mémoire de fin d'études de l'Institut développement rural Université polytechnique de Bobo Dioulasso, 70 pages.
- UNIVERSITE MEDICALE VIRTUELLE FRANCOPHONE, 2010, *Anémie par carence martiale*, 8 pages.

# ANNEXES

Annexe 1 : Tableau d'ANOVA de la longueur de panicule (en cm)

| Source             | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F       | Pr > F   |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|---------|----------|
| Var                | 1   | 299,491          | 299,491            | 215,149 | < 0,0001 |
| Dose P (kg/ha)     | 3   | 69,682           | 23,227             | 16,686  | < 0,0001 |
| Var*Dose P (kg/ha) | 3   | 1,129            | 0,376              | 0,270   | 0,847    |
| Erreur             | 152 | 211,587          | 1,392              |         |          |
| Total corrigé      | 167 | 771,559          |                    |         |          |

Annexe 2: Tableaux d'ANOVA de la hauteur de talle (en cm)

| Source              | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F      | Pr > F   |
|---------------------|-----|------------------|--------------------|--------|----------|
| Var                 | 1   | 908,372          | 908,372            | 39,365 | < 0,0001 |
| Dose P (kg/ha)      | 3   | 1461,875         | 487,292            | 21,117 | < 0,0001 |
| Var* Dose P (kg/ha) | 3   | 22,098           | 7,366              | 0,319  | 0,811    |
| Erreur              | 152 | 3507,539         | 23,076             |        |          |
| Total corrigé       | 167 | 7190,021         |                    |        |          |

Annexe 3: Tableaux d'ANOVA du nombre de talle fertile

| Source             | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F       | Pr > F   |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|---------|----------|
| Var                | 1   | 802,813          | 802,813            | 170,703 | < 0,0001 |
| Dose P (kg/ha)     | 3   | 259,775          | 86,592             | 18,412  | < 0,0001 |
| Var*Dose P (kg/ha) | 3   | 7,471            | 2,490              | 0,530   | 0,663    |
| Erreur             | 152 | 714,853          | 4,703              |         |          |
| Total corrigé      | 167 | 1932,732         |                    |         |          |

Annexe 4: Tableaux d'ANOVA du nombre de grains par panicule

| Source             | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F       | Pr > F   |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|---------|----------|
| Var                | 1   | 131754,003       | 131754,003         | 501,665 | < 0,0001 |
| Dose P (kg/ha)     | 3   | 24342,593        | 8114,198           | 30,896  | < 0,0001 |
| Var*Dose P (kg/ha) | 3   | 341,081          | 113,694            | 0,433   | 0,730    |
| Erreur             | 152 | 39920,246        | 262,633            |         |          |
| Total corrigé      | 167 | 200039,357       |                    |         |          |

#### Annexe 5: Tableaux d'ANOVA du pourcentage de grains par panicule

| Source             | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F      | Pr > F   |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|--------|----------|
| Var                | 1   | 15,957           | 15,957             | 0,338  | 0,562    |
| Dose P (kg/ha)     | 3   | 1481,032         | 493,677            | 10,466 | < 0,0001 |
| Var*Dose P (kg/ha) | 3   | 13,327           | 4,442              | 0,094  | 0,963    |
| Erreur             | 152 | 7170,118         | 47,172             |        |          |
| Total corrigé      | 167 | 9460,493         |                    |        |          |

#### Annexe 6: Tableaux d'ANOVA du poids de 1000 grains (en g)

| Source             | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F      | Pr > F   |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|--------|----------|
| Var                | 1   | 263,283          | 263,283            | 93,319 | < 0,0001 |
| Dose P (kg/ha)     | 3   | 84,001           | 28,000             | 9,924  | < 0,0001 |
| Var*Dose P (kg/ha) | 3   | 8,610            | 2,870              | 1,017  | 0,387    |
| Erreur             | 152 | 428,842          | 2,821              |        |          |
| Total corrigé      | 167 | 906,621          |                    |        |          |

#### Annexe 7: Tableau d'ANOVA du rendement (en t/ha)

| Source             | DDL | Somme des carrés | Moyenne des carrés | F      | Pr > F   |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|--------|----------|
| Var                | 1   | 102,062          | 102,062            | 76,112 | < 0,0001 |
| Dose P (kg/ha)     | 3   | 313,697          | 104,566            | 77,979 | < 0,0001 |
| Var*Dose P (kg/ha) | 3   | 2,664            | 0,888              | 0,662  | 0,577    |
| Erreur             | 152 | 203,824          | 1,341              |        |          |
| Total corrigé      | 167 | 681,377          |                    |        |          |

#### Annexe 8: Contribution des variables en %

|          | F1     | F2     | F3     |
|----------|--------|--------|--------|
| Nb talle | 1,315  | 66,808 | 2,785  |
| Ht       | 13,652 | 8,426  | 16,663 |
| Lpan     | 16,423 | 1,803  | 19,059 |
| PMG      | 15,614 | 2,171  | 0,186  |
| Gr/Pan   | 24,771 | 4,917  | 0,693  |
| % GP     | 5,225  | 4,894  | 58,110 |
| RDT      | 23,000 | 10,982 | 2,504  |

Ces précédentes illustrations montrent que le 'PMG', le 'Nb' de 'Gr/Pan' et le 'RDT' constitue l'axe F1. Il s'agit d'un groupe homogène. Cela veut dire qu'il existe une forte interdépendance entre ces variables. Le 'Nb de talle' participe à la formation de F2 et la 'Ht', la 'L. pan' et le '%GP' à l'axe F3.

#### Annexe 9 : Précipitation moyennes mensuelles (en mm) sur 10 ans de la région Bongolava

| Années | Janvier | Février | Mars  | Avril | Mai  | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|--------|---------|---------|-------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|
| 2005   | 331     | 211,8   | 237,7 | 74,4  | 6,5  | 2,9  | 21      | 3    | 2,5       | 12,6    | 153,2    | 425,5    |
| 2006   | 305,3   | 183,5   | 233,1 | 59,6  | 18,2 | 6,2  | 12      | 10   | 9,7       | 28,6    | 171,9    | 369,1    |
| 2007   | 567,9   | 418,5   | 75,7  | 58,2  | 17,5 | 1,3  | 8,7     | 0,6  | 6,2       | 79,6    | 126,3    | 381,4    |
| 2008   | 312,9   | 347,7   | 137,5 | 65,4  | 21,7 | 5,6  | 4,9     | 0    | 22        | 126,4   | 234      | 206,5    |
| 2009   | 372,9   | 322,1   | 238,8 | 125,8 | 3,6  | 0,9  | 3,7     | 2,4  | 2,3       | 55,2    | 86,4     | 248,4    |
| 2010   | 313,8   | 193,3   | 207,6 | 36,9  | 15,7 | 5,6  | 0,6     | 5,8  | 0         | 32,6    | 141,9    | 164,5    |
| 2011   | 322,8   | 247,9   | 255,4 | 85,6  | 33,5 | 0    | 0       | 4,3  | 1,7       | 88,5    | 133,6    | 236,7    |
| 2012   | 422,5   | 292,5   | 201,5 | 212,6 | 21   | 5,1  | 0       | 0,8  | 1,4       | 98,1    | 150,9    | 233      |
| 2013   | 276,3   | 245,7   | 192,7 | 34,1  | 13,9 | 3,6  | 0       | 0    | 2,2       | 108,5   | 187,9    | 276,7    |
| 2014   | 490     | 230,3   | 88,8  | 32,7  | 1,5  | 1,3  | 4,8     | 0,7  | 2,9       | 19,9    | 149,9    | 245,4    |
| 2015   | 457,8   | 517,5   | 296,6 | 21,8  | 26,3 |      |         |      |           |         |          |          |

#### Annexe 10 : Température moyenne mensuelle sur 10 ans de la région Bongolava

| Années | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai  | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre |
|--------|---------|---------|------|-------|------|------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|
| 2005   | 24,3    | 24,9    | 24,4 | 23,4  | 22,0 | 20,7 | 19,5    | 20,0 | 21,5      | 23,4    | 24,0     | 24,6     |
| 2006   | 24,2    | 24,3    | 24,8 | 24,0  | 21,8 | 20,9 | 20,3    | 20,2 | 22,3      | 23,9    | 24,6     | 24,3     |
| 2007   | 23,8    | 24,2    | 24,0 | 23,8  | 22,7 | 19,9 | 20,6    | 20,8 | 22,5      | 23,8    | 24,9     | 24,6     |
| 2008   | 24,2    | 23,7    | 23,6 | 23,2  | 21,0 | 19,8 | 19,6    | 21,2 | 23,1      | 24,1    | 24,6     | 24,4     |
| 2009   | 24,5    | 24,0    | 24,4 | 23,2  | 21,8 | 20,9 | 20,0    | 21,1 | 22,8      | 24,0    | 24,3     | 24,5     |
| 2010   | 24,0    | 24,2    | 24,8 | 24,4  | 22,9 | 21,1 | 19,6    | 20,3 | 21,4      | 24,0    | 24,0     | 24,2     |
| 2011   | 23,7    | 23,7    | 23,7 | 23,3  | 21,5 | 20,6 | 19,6    | 20,5 | 22,1      | 23,7    | 24,7     | 24,6     |
| 2012   | 23,4    | 24,2    | 23,6 | 22,8  | 21,3 | 19,9 | 19,2    | 20,4 | 22,0      | 23,8    | 24,3     | 24,0     |
| 2013   | 24,3    | 24,0    | 24,1 | 23,6  | 21,7 | 19,3 | 19,5    | 20,3 | 22,5      | 23,7    | 25,3     | 24,2     |
| 2014   | 24,1    | 23,8    | 23,4 | 22,2  | 20,1 | 18,3 | 17,7    | 19,3 | 20,3      | 22,2    | 23,9     | 24,1     |
| 2015   | 24,1    | 23,3    | 23,8 | 23,4  | 21,3 |      |         |      |           |         |          |          |

#### Annexe 11 : Méthode adoptée lors de l'analyse du sol

- P total et P assimilable :

Le phosphore assimilable a été obtenu grâce à la méthode Olsen. Il s'agit d'une extraction chimique avec l'hydrogénocarbonate de sodium  $\text{NaHCO}_3$  en ajustant le pH à 8,5. Le dosage colorimétrique a été fait avec la méthode de Murphy et Riley, utilisant le molybdate d'ammonium comme réactif. Et, la lecture se fait par spectrophotomètre à 660 nm.

- C et Matière Organique par la méthode de Walkley et Black

Le principe est basé sur l'oxydation à froid du carbone organique de l'échantillon du sol (1 g de sol broyé à 0,2mm) par une solution de bichromate de potassium en excès en milieu acide (20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) suivie d'une agitation manuelle pendant une minute. Après 30 mn, on a ajouté 200 ml d'eau distillée, 10 ml d'acide phosphorique concentré et 5 gouttes de diphénylamine sulfonate de baryum avant la titration par le sel de Mohr (sulfate de fer et d'ammonium II :  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_6(\text{H}_2\text{O})$ ). L'excès du bichromate dans la réaction est dosé par



une solution de sel de Mohr (réductrice), la quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique. La matière organique est obtenue par la formule suivante :  $MO\% = C\% \times 1,72$ .

- N total

La minéralisation est faite par l'acide sulfurique concentré, en présence de catalyseur et réduction sous forme de nitrite-Méthode de Kjeldahl; dosage en colorimétrie automatisée.

- Bases échangeables

L'échantillon du sol à analyser a été mis en contact avec une solution molaire et neutre d'acétate d'ammonium. Les cations basiques échangeables sont extraits dans la solution, tandis qu'une partie de  $NH_4^+$  est adsorbée par le sol. Les cations basiques ainsi extraits sont ensuite déterminés à l'aide du spectromètre d'absorption atomique.

- CEC (Capacité d'échange cationique)

Après l'extraction des bases échangeables, le sol est saturé de  $NH_4^+$ . On enlève les sels d'ammonium libre, puis on procède à l'extraction de  $NH_4^+$  ainsi adsorbé par une solution molaire de NaCl. L'ammoniaque sera ensuite déplacée en milieu alcalin, puis entraîné par la vapeur d'eau. Le dosage volumétrique est effectué sur le distillat.

- Granulométrie

L'analyse granulométrique consiste d'abord à la destruction de la matière organique du sol (broyé à 2mm) par l'eau oxygénée et quelques gouttes d'ammoniaque. On procède après à la destruction des calcaires et des sédiments ferrugineux par l'acide chlorhydrique (HCl). La dernière étape consiste à la sédimentation et isolement de l'argile, du limon et enfin du sable par siphonage successif.

- Le pH (acidité):

La mesure du pH se fait dans une suspension de sol dans l'eau à l'aide d'un pH-mètre muni d'électrodes en verre. Le pH eau correspond à la concentration en hydrogène  $H^+$  de la solution du sol. C'est l'acidité active ou acidité réelle du sol. Et, concernant le  $pH_{KCl}$ , celui-ci a pour effet de chasser les  $H^+$  fixés sur le Complexe Argilo-Humique, ce qui permet de déterminer l'acidité totale du sol.

The logo for Clicours.COM, featuring the text "Clicours.COM" in a white, sans-serif font on a blue rectangular background.