



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

AGRICULTURE TROPICALE &
DÉVELOPPEMENT DURABLE

**ÉCOLE SUPÉRIEURE DES SCIENCES
AGRONOMIQUES**

**Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable
Parcours : Agriculture tropicale**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur
Agronome au grade de Master II**

**Effet d'une micro-dose de phosphore sur la pépinière de la
riziculture irriguée :
cas de la Région Vakinankaratra**

Présenté par ANDRIATSIORIMANANA Aina

Promotion : FANDRIÀKA Misonga

2013-2018

Soutenu le 12 Octobre 2018 devant le jury composé de :

- **Présidente** : Pr. RAFALIMANANA Halitiana Joséa
- **Examineur** : Dr. RAZAFINDRAMANANA RAKOTONIAINA
Norosoa Christine
- **Encadreur professionnel** : Dr RAKOTOSON Tovohery
- **Encadreur pédagogique** : Dr RAMANANKAJA Landiarimisa





AGRICULTURE TROPICALE &
DÉVELOPPEMENT DURABLE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES
AGRONOMIQUES**

**Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable
Parcours : Agriculture tropicale**

**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur
Agronome au grade de Master II**

**Effet d'une micro-dose de phosphore sur la pépinière de la
riziculture irriguée :
cas de la Région Vakinankaratra**

Présenté par ANDRIATSIORIMANANA Aina

Promotion : FANDRIÀKA Misonga

2013-2018

Soutenu le 12 Octobre 2018 devant le jury composé de :

- **Présidente** : Pr. RAFALIMANANA Halitiana Joséa
- **Examineur** : Dr. RAZAFINDRAMANANA RAKOTONIAINA
Norosoa Christine
- **Encadreur professionnel** : Dr RAKOTOSON Tovohery
- **Encadreur pédagogique** : Dr RAMANANKAJA Landiarimisa



REMERCIEMENTS

Avant tout, je rends gloire à Dieu qui m'a tout donné pour arriver au terme de ce mémoire de fin d'études.

J'exprime aussi ma profonde gratitude aux nombreuses personnes sans qui ce présent travail n'a pu aboutir :

- Madame RAFALIMANANA Halitiana Joséa, Professeur en Sciences Agronomiques et Enseignante chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.
- Madame RAZAFINDRAMANANA RAKOTONIAINA Norosoa Christine, Docteur en Sciences Agronomiques et Enseignante chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques qui m'a fait l'honneur de siéger en qualité d'examineur malgré ses nombreuses occupations.
- Monsieur RAKOTOSON Tovohery, Ph.D in Biosciences Engineering, chercheur au Laboratoire des Radio-isotopes, mon maître de stage, qui a accepté de m'encadrer durant mon stage au sein du LRI. Ses précieux conseils et ses recommandations ont été d'une grande importance pour le bon déroulement des travaux de terrains et la rédaction du manuscrit.
- Madame RAMANANKAJA Landiarimisa, Ph.D in Agriculture, Enseignante chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques et Chef du parcours Agriculture Tropicale, mon encadreur pédagogique, qui n'a pas ménagé ses efforts face à ses nombreuses obligations pour affiner ce mémoire.
- Madame RAZAFIMANANTSOA Marie-Paule, Assistante chercheur au Laboratoire des Radio-isotopes, qui a eu l'amabilité et la bonté de m'avoir accompagné durant les expérimentations au champ et dans la réalisation des différentes analyses au laboratoire.

Je tiens aussi à témoigner ma reconnaissance à :

- A tous les enseignants et le personnel administratif de la Mention AT2D et de l'ESSA, pour la formation instructive durant ces cinq années d'études
- A toute l'équipe de recherches du Laboratoire des Radio-Isotopes pour leurs précieux conseils tout au long de la réalisation de ce travail,
- A ma famille et mes amis pour leur affection, leur encouragement et leur soutien moral et financier durant mes années d'études,
- A tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire.

Merci à tous.

Aina

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES.....	ii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux	iv
Liste des abréviations	v
RESUME.....	vi
ABSTRACT	vii
FINTINA	viii
INTRODUCTION.....	1
I. MATERIELS ET METHODES	3
1.1. Sites expérimentaux.....	3
1.1.1. Localisation géographique	3
1.1.2. Milieu pédologique	3
1.1.3. Climat	4
1.2. Matériel végétal	6
1.3. Dispositif expérimental.....	6
1.4. Conduite de l'expérimentation.....	10
1.5. Prélèvements et mesures sur terrain.....	10
1.5.1. Prélèvements d'échantillons du sol de départ.....	10
1.5.2. Prélèvements d'échantillons de plantes	11
1.5.3. Critères déterminants la vigueur des plantules.....	11
1.5.4. Méthode d'observation et récolte	11
1.5.5. Méthode de calcul de la rentabilité économique.....	12
1.6. Méthodes analytiques	12
1.6.1. Analyse chimique.....	12
1.6.2. Analyse statistique	13
II. RÉSULTATS	14
2.1. Effets d'une micro-dose de P en pépinière sur les caractères des plantules et leur vigueur au moment de la transplantation.....	14
2.1.1. Nombre de feuilles et nombre de racines nodales.....	14
2.1.2. Hauteur des plantules et longueur des racines	15

2.1.3.	<i>Poids secs de la biomasse aérienne et poids secs des racines</i>	16
2.1.4.	<i>Concentration en P et teneur en N de la biomasse aérienne</i>	17
2.2.	Effet de la fertilisation en pépinière combinée à celle au champ principal sur la croissance des plants et le rendement en grains du riz	19
2.2.1.	<i>De la croissance des plantes au tallage maximal</i>	19
2.2.2.	<i>Rendement en grains</i>	23
2.3.	Rentabilité économique de la technique	25
III.	DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS.....	30
3.1.	Effet de la fertilisation en pépinière sur la vigueur des plantules au moment du repiquage	30
3.2.	Effet de la fertilisation en pépinière combinée à celle au champ principal sur la croissance des plants et le rendement en grains du riz	32
3.3.	Analyse économique de la technique.....	34
3.4.	Recommandations.....	36
	CONCLUSION	37
	BIBLIOGRAPHIES	38
	ANNEXES	I
	Liste des annexes.....	I

Liste des figures

Figure 1: Localisation de la zone d'étude	3
Figure 2 : Courbes ombrothérmiques de Gausсен à Antohobe (gauche) et à Behenjy (droite)	4
Figure 3 : Variation des températures moyennes mensuelles durant l'expérimentation (2017-2018).....	5
Figure 4: Variation des précipitations mensuelles durant l'expérimentation (2017-2018).....	6
Figure 5: Schéma du dispositif expérimental en pépinière.....	7
Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental du champ principal	9
Figure 7: Nombre de feuilles et nombre de racines nodales des jeunes plants au moment de la transplantation.	14
Figure 8: Hauteur des plantules et longueur des racines au moment de la transplantation.....	15
Figure 9: Poids secs de la biomasse aérienne et poids secs des racines au moment de la transplantation	16
Figure 10: Concentration en P et teneur en N de la biomasse aérienne au moment de la transplantation	17
Figure 11 : Hauteur des plantes suite à l'effet combiné des traitements sur pépinière et traitements au champ principal.....	19
Figure 12: Nombre de talles suite à l'effet combiné des traitements sur pépinière et traitements au champ principal	21
Figure 13 : Rendement en grains suite à l'effet combiné des traitements sur pépinière et traitements au champ principal.....	23
Figure 14 : Coût de revient d'1kg de paddy, Retour sur investissement et Bénéfice net pour chaque modalité de traitement.....	28

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques initiales des parcelles des deux sites expérimentaux	4
Tableau 2: Teneur en N, P, K et dose d'engrais sur la pépinière	7
Tableau 3: Teneur en N, P, K et dose d'engrais sur champ principal	9
Tableau 4: Calcul économique pour 1 m ² de champ pour l'essai à Antohobe	25
Tableau 5: Calcul économique pour 1 m ² de champ pour l'essai à Behenjy	27

Liste des abréviations

Al	Aluminium
Ar	Ariary
AT2D	Agriculture Tropicale et Développement Durable
CR	Coût de revient
ESSA	Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
Fe	Fer
GN	Guanomad
K	Potassium
KCl	Chlorure de potassium
LRI	Laboratoire des Radio-isotopes
N	Azote
P	Phosphore
pH	potentiel hydrogène
RSI	Retour sur investissement
SNK	Student-Newman-Keuls
TCP	Traitements au champ principal
TP	Traitements sur la pépinière
TSP	Triple superphosphate
VC	Lombricompost

RESUME

La déficience en phosphore (P) du sol suivie d'une faible utilisation d'engrais par les paysans constitue une des causes d'un faible rendement rizicole à Madagascar. Une étude réalisée dans deux Communes de la Région Vakinankaratra, Antohobe et Behenjy, concerne l'efficacité de l'application d'une micro-dose de P en pépinière sur des rizières déficientes en P. L'étude vise à déterminer l'effet du microdosage de P sur les plantules de riz en pépinière et les rendements en grains, en vue de dégager la rentabilité économique de la technique. L'expérimentation a prévu deux échelles de traitements. Au niveau de la pépinière, il y a cinq traitements : le témoin et quatre sources de P à la dose de 6g de P.m⁻² (TSP, guanomad, lombricompost et NPK 11-22-16). Le dispositif expérimental au champ comporte la combinaison des traitements en pépinière avec cinq traitements au champ (témoin sans fertilisation P0, P, N, NP, NPK) en quatre répétitions. La variété utilisée est le X265. Les résultats montrent que les plantules les plus vigoureuses sont obtenues avec le traitement NPK 11-22-16. Elles sont caractérisées par une augmentation accrue du nombre de feuilles, du nombre de racines, de la hauteur des plantules, du poids sec de la biomasse aérienne, de la concentration en P et de la teneur en N, par rapport aux témoins. Les traitements avec guanomad et lombricompost produisent des plantules moyennement vigoureuses. Au moment du tallage maximal, les plantules vigoureuses donnent des plantes plus hautes, des talles plus nombreuses par rapport à celle issue du témoin. Le rendement en grains moyen pour le traitement NPK en pépinière est de 462,95 g.m⁻² et 404,1 g.m⁻² respectivement pour Antohobe et Behenjy. Ce traitement engendre un bénéfice net et un retour sur investissement élevé avec un coût de revient bas, quel que soit le traitement au champ. Le classement par ordre de grandeur décroissante des rendements en grains des traitements au champ est : NPK > NP > P > P0 > N. Ainsi, une fertilisation complète et équilibrée en éléments nutritifs, au moins avec N et P, tant en pépinière qu'au champ principal donne une production élevée et un bénéfice net satisfaisant.

Mots clés : Bénéfice net, Fertilisation sur pépinière, NPK, Rendement en grains, Vigueur des plantules.

ABSTRACT

Soil P-deficiency with a low use of fertilizers by farmers is one of low rice yield causes in Madagascar. A study carried out in two Communes of Vakinankaratra's Region: Antohobe and Behenjy, concerns P-micro dosing efficiency on the nursery in P-deficient lowland soil. The aim of the study is to define P -microdosing effect on rice seedlings and grain yields, in order to determine its economic profitability. Two scales of treatments were studied in interaction for the experiment. In the nursery, there are five treatments: control and four P sources at a rate of 6g P.m⁻²: TSP, guanomad, vermicompost and NPK 11-22-16. Experimental field design included the combination of nursery treatments with five main field treatments (control without fertilization P0, P, N, NP and NPK) in four replications. X265 is the variety used. The results showed that the most vigorous seedlings were obtained with NPK treatment 11-22-16. They are characterized by an increase of leaves number, roots number, seedlings height, shoot dry weight, P concentration and N content, compared to control. Treatments with guanomad and vermicompost produced moderately vigorous seedlings. The vigorous seedlings give at the maximum tillering, plants higher, more tillers compared to nursery control. The mean grain yields for NPK nursery treatment was 462,95 g.m⁻² and 404,1 g.m⁻² for Antohobe and Behenjy, respectively. This treatment has generated a net return and return on investment high with a low-cost price, regardless of the field treatment. The decreasing order of grain yield for main field treatments is: NPK> NP> P> P0> N. Thus, complete and balanced nutrient fertilization, at least with N and P, both in the nursery bed and in the main field produced high rice production and a satisfactory net return.

Keywords: Net return, Nursery fertilization, NPK, Grain yield, Seedlings vigour.

FINTINA

Ny tsy fahampian'ny faosiforo amin'ny tany miampy ny taham-pampiasan'ny tantsaha zezika ambany dia anisan'ny mahakely ny voka-bary eto Madagasikara. Ny fikarohana natao tao amin'ny kaominina roa amin'ny faritra Vakinankaratra izay ao Antohobe sy Behenjy, dia mikasika ny fahombiazan'ny fampiasana ny faosiforo amin'ny fatra kely eny amin'ny taninketsa izay ahitana tsy fahampian'ny faosiforo. Ny fikarohana dia mikendry ny ahafantarana ny fiantraikan'ny fampiasana fatra kely amin'ny faosiforo eo amin'ny ketsa sy eo amin'ny voka-bary mba ahafahana mamoka ny lafiny ekonomika ny teknika. Ny fanandramana dia ahitana ambaratongan'andranan'ampiharina roa. Andranan' dimy no nampiharina eo amin'ny taninketsa: tsy misy zezika, sy karazan-jezika efatra misy faosiforo amin'ny fatra 6g-na faosifora.m⁻², dia ny TSP, zezika tain-dramanavy, zezika tain-kankana ary ny NPK 11-22-16. Ny andranan' eny antanimbary dia ahitana ny fifangaroan'ny andranan' nampiharina amin'ny tanin-ketsa sy andranan' dimy nampiharina an-tanimbary (tsy misy zezika P0, P, N, NP, NPK), miverina in-efatra. Ny karazan-bary nampiasaina dia ny X265. Ny voka-pikarohana dia mampiseho fa ny ketsa matanjaka dia azo avy amin'ny fampiasana NPK, izay ahitana fitomboan'ny isan'ny ravina, isan'ny faka, ny halavan'ny ketsa, ny lanjan'ny taho maina, ny taha-patran'ny faosiforo ary ny taha-patran'ny azota, mihoatra ny ketsa tsy nasiana zezika. Ny fampiharana ny zezika tain-dramanavy sy ny zezika tain-kankana dia manome ketsa antonony amin'ny tanjaka . Amin'ny fotoana ahazoana zana-bary betsaka indrindra, ny vary avy amin'ny ketsa tena matanjaka dia manome, halavan'ny avo kokoa, zana-bary betsaka kokoa noho ny vary tsy nahazo zezika teny amin'ny taninketsa. Ny voka-bary avy amin'ny fampiharana ny andranan' NPK tany amin'ny taninketsa dia 462,95 g.m⁻² ho an'ny Antohobe ary 404,1 g.m⁻² ho an'ny Behenjy. Io andranan' nampiharina io no nanome tombony afa-karatsaka sy tombony araky ny fanorenana ambony ary mason-karena ambany, na inona na inona andranan' nampiharina tamin'ny tanimbary. Ny fandaharana ny andranan' nampiharina an-tanimbary araka ny habetsahan'ny vokatra nomeny dia: NPK > NP > P > P0 > N. Noho izany, ny fitondrana zezika feno sy mifandanja araka ny singa ara-tsakafo, farafahakeliny misy azota sy faosiforo, na eny amin'ny taninketsa na an-tanimbary no ahazoana voka-bary tsara sy tombony afa-karatsaka mahafa-po.

Teny fototra: Tombony afa-karatsaka, Zezika amin'ny taninketsa, NPK, Voka-bary, Tanjaky ny ketsa.

INTRODUCTION

Le riz (*Oryza sativa L.*) est une céréale importante dans le monde. Il peut être cultivé dans les bas-fonds ou sur tanety. Originaire de Chine et d'Inde, il s'est ensuite étendu à d'autres régions du continent et à l'Afrique de pays à climat tropical. A Madagascar, le riz est la principale culture vivrière la plus cultivée par les paysans dans presque toutes les régions et constitue l'aliment de base de la population. Malgré l'importance du riz, les principaux obstacles à sa productivité à Madagascar sont les coûts élevés des intrants avec un faible pouvoir d'achat des paysans, les sols majoritairement acides, l'utilisation de semences non certifiées, l'attaque par les organismes nuisibles. Ainsi, plusieurs recherches ont été déjà effectuées pour augmenter le rendement rizicole par la diffusion de nouvelles techniques ou l'utilisation de variétés performantes. Cependant, ces efforts n'ont pas résolu totalement le problème actuel des paysans sur la production rizicole, car les caractéristiques des sols ne permettent pas d'obtenir une production satisfaisante. Effectivement, 87% de la riziculture est conduite en irriguée et se développe majoritairement sur des sols ferrallitiques déficients en phosphore (P) (Rabeharisoa *et al.*, 2012), surtout sur les Hautes Terres malgaches. Ces sols sont riches en oxydes de fer et d'aluminium et sont caractérisés par une faible teneur en P assimilable, de 0,4-10mg de P.kg⁻¹ avec l'extraction par méthode résine échangeuse d'anions (Rakotoson *et al.*, 2015) malgré une teneur élevée de P, de l'ordre de 300 à 1200 mg de P.kg⁻¹, le pouvoir fixateur de ces sols vis-à-vis du P étant élevé (Rabeharisoa, 2004).

Le P est un nutriment essentiel et aucune plante ne peut produire un bon rendement si elle souffre d'une déficience en P (Tandon, 1987). Durant la croissance des jeunes plants de riz, la carence en P réduit le tallage et le développement des racines au cours des premiers stades de croissance, pouvant entraîner une diminution du rendement en grains (Yoshida, 1981 et Lacharme, 2001). Son besoin élevé en P se situe entre le tallage et la floraison (Dobermann *et al.*, 1998). De plus, selon Grant *et al.* (2001), la carence en P au début de croissance des jeunes plants peut causer une restriction sur sa croissance et affectera le développement de la culture jusqu'à la récolte.

Vu l'importance du P dans la production rizicole et dans une perspective d'améliorer le rendement, il est essentiel de proposer une alternative pour les paysans malgaches pour pallier à ces problèmes de biodisponibilité du P et coût élevé des engrais. Vandamme *et al.* (2016) ont évalué au Benin l'effet d'une micro-dose de P appliquée en pépinière sur riziculture irriguée pauvre en P assimilable, à une dose de 6 g de P.m⁻² soit 3 kg de P.ha⁻¹ au champ principal. Le résultat a montré que l'application de micro-dose de P en pépinière peut substantiellement augmenter la vigueur des plantules et le rendement en grains du riz transplanté à faible apport de P. En effet, le microdosage se définit comme l'application d'une dose d'engrais considérablement inférieure aux taux généralement recommandés pour une croissance optimale des cultures. A Madagascar, une récente étude sur l'application de micro-dose de P sur pépinière

de la riziculture irriguée a été déjà réalisée avant celle-ci avec les mêmes facteurs étudiés. Cette deuxième année d'expérimentation a permis de vérifier les résultats obtenus lors de la première année et de déterminer le type d'engrais approprié à apporter pour une production élevée et rentable. Elle consiste à évaluer l'effet d'un apport d'une micro-dose de P sur pépinière de la riziculture irriguée. L'étude a été effectuée sur deux sites des Hautes Terres de Madagascar, dans la Région Vakinankaratra. Les champs ont été choisis par leur forte déficience en P disponible.

Ceci nous amène à poser la problématique : **L'application d'une micro-dose de P sur pépinière de la riziculture irriguée contribue-t-elle à diminuer l'effet de la déficience en P du sol de la rizière et ainsi à améliorer le rendement en grains du riz ?**

L'objectif principal de cette présente étude est de déterminer l'effet d'une micro-dose de P appliquée en pépinière de la riziculture irriguée sur le rendement.

Comme pour la première étude réalisée par Rinasoa (2017), les objectifs spécifiques sont :

- observer les caractéristiques morphologiques des jeunes plants et ainsi leur vigueur au moment de la transplantation pour chaque traitement sur pépinière;
- évaluer l'effet de la fertilisation sur pépinière combiné avec celle au champ principal sur la croissance et le développement des plants de riz et leurs rendements en grains.

Mais en addition, nous avons évalué la rentabilité économique de la technique pour chaque modalité de traitement.

Ainsi, trois hypothèses ont été avancées :

Hypothèse 1 : L'application d'une micro-dose de P en pépinière influe sur la vigueur des plantules au moment de la transplantation ;

Hypothèse 2 : La fertilisation sur la pépinière améliore la croissance et le développement des plants au champ et augmente les rendements en grains ;

Hypothèse 3 : L'application d'une micro-dose de P en pépinière améliore la rentabilité économique de la production.

Le présent manuscrit est organisé en trois parties. La première partie décrit les matériels et méthodes de l'étude, la deuxième partie est consacrée aux résultats de l'expérimentation et la dernière partie traite la discussion.

I. MATERIELS ET METHODES

1.1. Sites expérimentaux

1.1.1. Localisation géographique

L'expérimentation a été menée dans deux champs situés dans la Région Vakinankaratra, l'une dans la Commune rurale de Behenjy avec une latitude 19°10'47.71" Sud, longitude 47°29'37.46" Est et l'autre dans la Commune rurale d'Antohobe avec une latitude 19°46'41.016" Sud, longitude 46°41'59.99" Est. L'essai a été réalisé sur des rizières n'ayant pas reçu des fertilisants depuis plus de cinq ans.

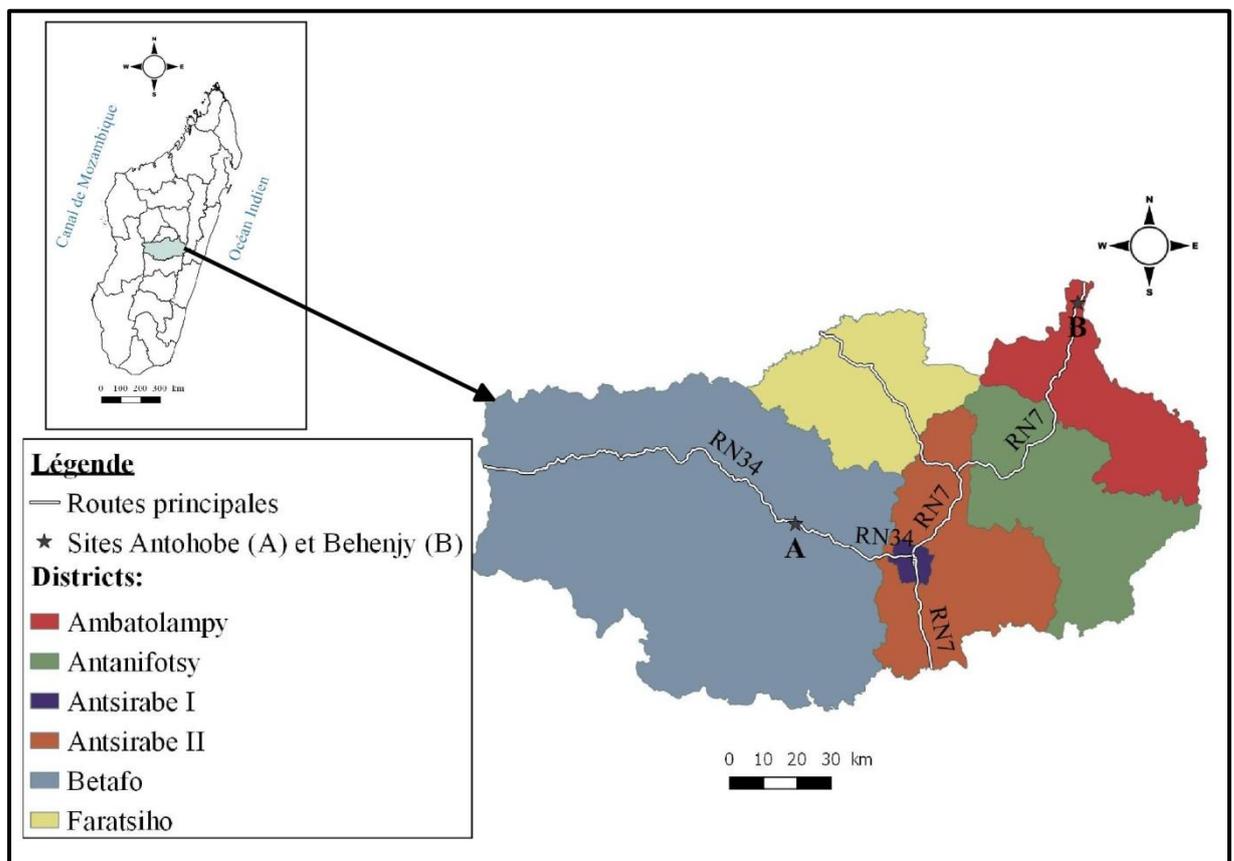


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Source : BD200-FTM, éditée par l'auteur, 2018

1.1.2. Milieu pédologique

Le terrain d'expérimentation est choisi sur une ancienne rizière ayant une forte déficience en P assimilable. Les caractéristiques physico-chimiques des sols avant la mise en place de l'expérimentation sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques initiales des parcelles des deux sites expérimentaux

Caractéristiques physico-chimiques du sol		Sites	
		Antohobe	Behenjy
pH CaCl ₂		4,15 ±0,06	4,13 ±0,06
Carbone organique (g.kg ⁻¹)		26,25 ±01,97	22,08 ±0,97
P résine (mg.kg ⁻¹)		2,84 ±0,42	1,75 ±0,22
P oxalate (mg.kg ⁻¹)		57,84 ±15,78	59,32 ±17,93
Texture	Argile (%)	36,10 ±1,30	30.65 ±3.04
	Limon (%)	21,04 ±1,33	33.26 ±6.14
	Sable (%)	42,86 ±1,93	36.09 ±3.85

Source : Laboratoire des RadioIsotopes, 2018

Les sols des deux sites expérimentaux sont de texture limono-argileux. Ils ont des pH acides (pH inférieur à 7), bien pourvus de matière organique ($18 \text{ g.kg}^{-1} < \text{CO} < 35 \text{ g.kg}^{-1}$), une teneur très faible en P assimilable ($< 7 \text{ mg de P.kg}^{-1}$) (Doberman et Fairhurst, 2000) et une teneur élevée en P fixé par les oxydes de Fe et d'Al.

1.1.3. Climat

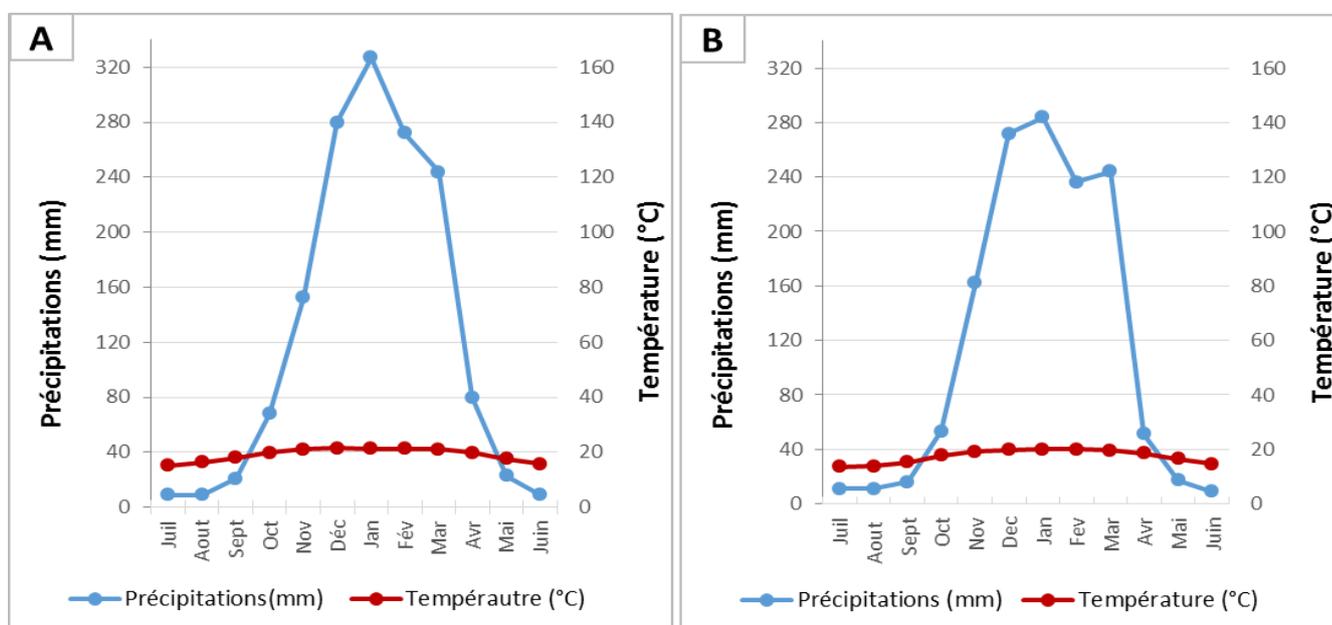


Figure 2 : Courbes ombrothermiques de Gaussen à Antohobe (A) et à Behenjy (B)

Source : Climate-data.Org

Pour les deux Communes, le climat est de type tropical d'altitude avec deux saisons bien marquées : une saison chaude et humide d'octobre à avril (7 mois) et une saison sèche et froide de mai à septembre (5 mois). Les précipitations maximales sont observées au mois de janvier avec des moyennes mensuelles de 327 mm pour Antohobe et 284 mm pour Behenjy tandis que les précipitations minimales sont en juin avec des moyennes mensuelles de 9 mm.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 1495 mm et 1366 mm respectivement pour Antohobe et Behenjy. Les moyennes annuelles des températures avoisinent 19,1°C et 17,3°C respectivement pour Antohobe et Behenjy.

La variation des températures moyennes mensuelles (en °C) collectées par site durant l'expérimentation au champ est présentée dans la figure 3 (Cf. annexe 1).

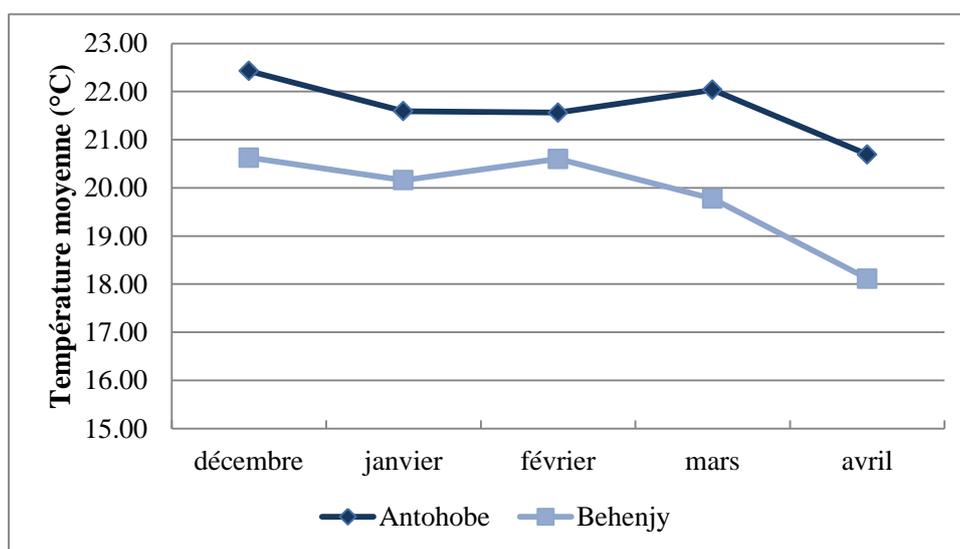


Figure 3 : Variation des températures moyennes mensuelles durant l'expérimentation (2017-2018)

Source : Stations météorologiques Antohobe et Behenjy

Les températures moyennes pour les deux sites durant l'expérimentation concernent le mois de décembre 2017 à avril 2018, car l'installation de la station météorologique à Antohobe a eu lieu en Décembre 2017. Toutefois, cette période correspond au stade des jeunes plants jusqu'au stade de maturité du riz. Ainsi, d'après la figure 3, Antohobe est plus chaud que Behenjy avec une différence de température de 1,8°C pendant la période considérée. Les températures mensuelles à Antohobe varient de 20,7°C à 22,5°C et celles de Behenjy oscillent entre 18,1°C et 20,6°C.

La variation des précipitations mensuelles (en mm) collectées par site durant l'expérimentation est présentée dans la figure 4.

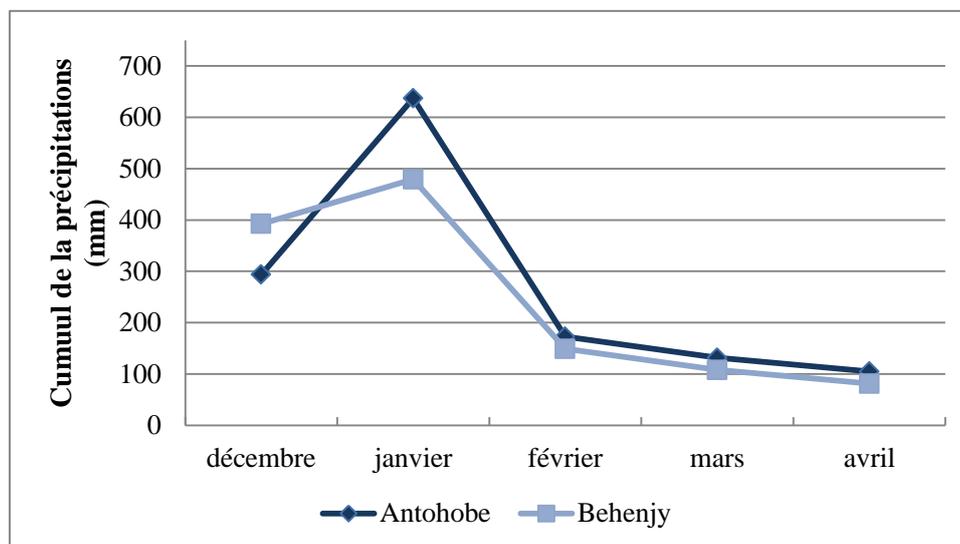


Figure 4: Variation des précipitations mensuelles durant l'expérimentation (2017-2018)

Source : Stations météorologiques Antohobe et Behenjy

Les précipitations mensuelles les plus abondantes ont eu lieu en Janvier avec 637 mm de pluies pour Antohobe et 479 mm de pluies pour Behenjy. C'était la période de passage du cyclone AVA engendrant l'inondation et l'ensablement de certaines rizières environnantes de la zone. Les précipitations mensuelles les plus faibles ont été enregistrées en Avril avec 105 mm de pluies et 81 mm de pluies respectivement pour Antohobe et Behenjy. Ce mois correspond à la période de récolte.

1.2. Matériel végétal

La variété de riz irrigué utilisée pour cette étude est le X265 ou « Mailaka ». C'est une variété introduite originaire de Philippines. Cette variété est parmi les plus utilisées par les paysans Malagasy car elle s'adapte dans les zones d'études. Le cycle cultural moyen est de 155 à 160 jours. Sa capacité de tallage est moyenne et sa taille moyenne est 110 cm. Elle se caractérise aussi par ses résistances à la verse et à la pyriculariose et sa tolérance à la toxicité ferreuse et à la déficience en P. Le rendement moyen est de 4-5 t/ha selon le catalogue national des espèces et variétés cultivées à Madagascar.

1.3. Dispositif expérimental

L'expérimentation est conduite au champ suivant un dispositif en split plot. Les traitements appliqués en pépinière et au champ principal sont différents.

Au niveau de la pépinière :

Faisant suite aux résultats obtenus par Rinasoa (2017), la dose de fertilisants utilisée est de 6 g de P.m² et cinq traitements ont été testés :

- **nP0** : témoin ;
- **nTSP**: Triple superphosphate ;
- **nVC**: Lombricompost;
- **nGN**: Guanomad ;
- **nNPK**: NPK 11-22-16 .

La pépinière est située près du champ principal. Elle est aménagée en plates-bandes surélevées avec cinq traitements de fertilisants:

Tableau 2: Teneur en N, P, K et dose d'engrais sur la pépinière

Traitements	Teneur en éléments (%)			Dose appliquée (g.m ⁻²)			Quantité d'engrais (g.m ⁻²)
	N	P	K	N	P	K	
nP0	0	0	0	0	0	0	0
nTSP	0	19,36	0	0	6	0	30,99
nVC	1,3	0,3	0,73	25,8	6	14,51	1980,2
nGN	0,74	6,15	0,35	0,72	6	0,34	97,62
nNPK	10	6,99	10	8,59	6	8,59	85,88

Les pépinières pour chaque traitement sont divisées en 2 petites surfaces de 1m² chacun pour faciliter la transplantation au champ principal.

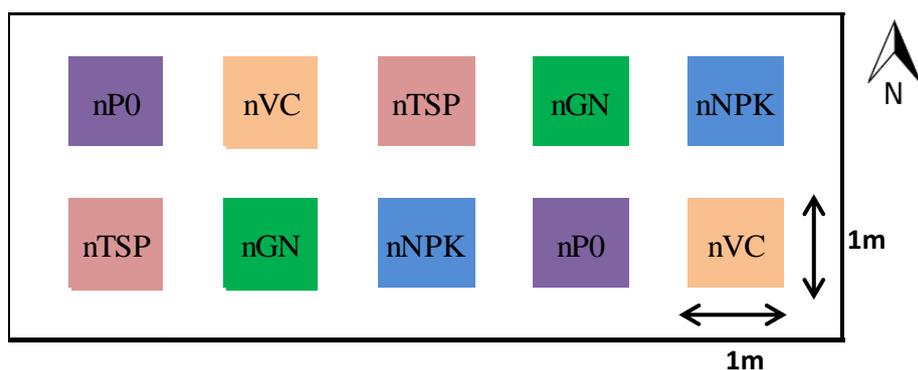


Figure 5: Schéma du dispositif expérimental en pépinière

Au niveau du champ principal :

Le champ principal comporte 4 blocs correspondant aux 4 répétitions des cinq traitements étudiés. Les traitements sont constitués d'un témoin (**P0**) sans apport de fertilisants, et de quatre traitements avec apport de fertilisants :

- **P** : avec un apport de P d'une dose de $25 \text{ kg de P.ha}^{-1}$ par le triple superphosphate ;
- **N** : avec un apport de N d'une dose de $100 \text{ kg de N.ha}^{-1}$ par l'urée ;
- **NP** : avec un apport de N et P d'une dose de $100 \text{ kg de N.ha}^{-1}$ par l'urée et $25 \text{ kg de P.ha}^{-1}$ par le superphosphate triple ;
- **NPK** : avec un apport de N, K et P d'une dose de $100 \text{ kg de N.ha}^{-1}$, $50 \text{ kg de K.ha}^{-1}$ et $25 \text{ kg de P.ha}^{-1}$ par le NPK 11-22-16, l'urée et le KCl.

Les cinq traitements sont repartis en randomisation totale au niveau de chaque bloc. Le dispositif expérimental comporte 20 parcelles (5 parcelles x 4 blocs) de 10 m^2 (2 m x 5 m). Chaque parcelle est divisée en cinq sous parcelles de 2 m^2 (2 m x 1 m) correspondant aux 5 traitements dans la pépinière. La combinaison des traitements au champ principal et en pépinière donne au total 25 différents traitements. Chaque parcelle élémentaire est délimitée par une diguette. Le dispositif total mesure donc 200 m^2 .

Tableau 3: Teneur en N, P, K et dose d'engrais sur champ principal

Traitements	Type d'engrais	teneur en élément (%)			dose appliquée (g.m ⁻²)			quantité d'engrais	
		N	P	K	N	P	K	g.2m ⁻²	kg.ha ⁻¹
au moment du repiquage									
P0		0	0	0	0	0	0	0	0
P	TSP	0	19,35	0	0	2,5	0	25,84	129,2
N	urée	46	0	0	5	0	0	21,74	108,7
NP	urée	46	0	0	5	0	0	21,74	108,7
	TSP	0	19,35	0	0	2,5	0	25,84	129,2
NPK	NPK	11	8,7	10	3,16	2,5	2,87	57,46	287,32
	urée	46	0	0	1,84	0	0	8	39,99
	KCl	0	0	41,67	0	0	0	0	0
au tallage maximal									
N	urée	46	0	0	5	0	0	21,74	108,7
NP	urée	46	0	0	5	0	0	21,74	108,7
	TSP	0	19,35	0	0	0	0	0	0
NPK	NPK	11	8,7	10	0	0	0	0	0
	urée	46	0	0	5	0	0	21,74	108,7
	KCl	0	0	41,67	0	0	2,13	10,21	51,04

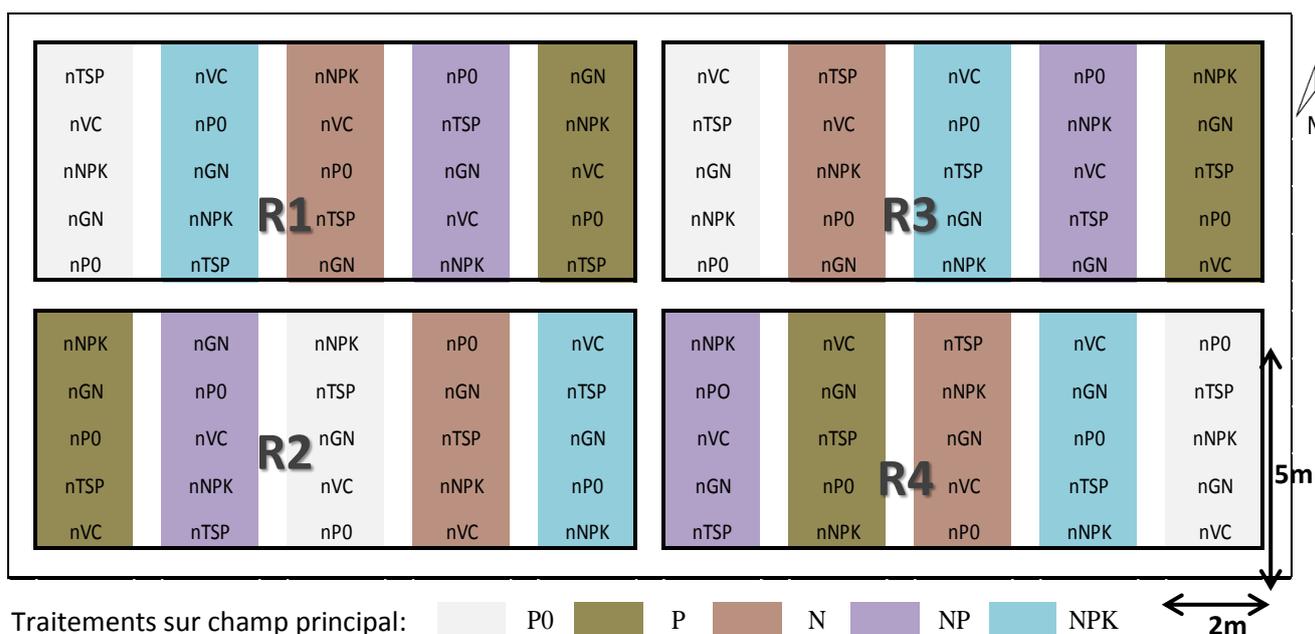


Figure 6 : Schéma du dispositif expérimental du champ principal

1.4. Conduite de l'expérimentation

La préparation du sol consiste au labour avant la mise en place du dispositif, au hersage et au planage du sol. La délimitation de chaque parcelle a été faite à l'aide d'un décamètre et des piquets.

La mise en place de la pépinière a été effectuée le 27 octobre 2017 et 08 novembre 2017 respectivement pour Behenjy et Antohobe. Les fertilisants ont été appliqués avant le semis. Pour ce faire, 1 kg de sol de la parcelle a été mélangé manuellement avec le fertilisant dans une cuvette. Puis le mélange a été reparti de façon homogène sur la parcelle. Un ratio de 0,05 a été utilisé c'est-à-dire 5 ares de pépinière pour 1 ha de rizière. La dose de semis est de 30 kg.ha⁻¹. Elle correspond à 60 g de semences par m². Les graines ont été protégées des oiseaux en couvrant toute la parcelle avec des pailles. Les parcelles ont été maintenues humides sans être submergées d'eau durant la période en pépinière. Les pailles ont été enlevées après 10 jours. De l'insecticide à base de cyperméthrine a été pulvérisé sur la pépinière dès qu'il y a apparition d'insectes.

Repiquage- apport d'engrais- entretiens culturaux

Les plantules issues de tous les traitements ont été transplantées 21 jours et 26 jours après le semis respectivement pour Antohobe et Behenjy.

Avant le repiquage, la rizière a été mise en boue avec une lame d'eau stagnante en surface. Les entrées d'eau pour chaque parcelle sont différentes afin d'éviter le mélange d'engrais après l'épandage. Il en est de même des sorties d'eau.

Le repiquage est à deux brins espacé de 20 cm x 20 cm. Une partie de plantules issues de chaque traitement a été arrachée délicatement pour subir les différentes mesures et analyses au laboratoire.

Le premier apport d'engrais, à des doses recommandées pour chaque traitement, a eu lieu au moment du repiquage. Le deuxième apport a été effectué deux jours après le deuxième sarclage.

Les travaux d'entretien consistent au sarclage et aux traitements phytosanitaires. Le sarclage est au nombre de deux soit 3 semaines et 7 semaines après repiquage.

1.5. Prélèvements et mesures sur terrain

1.5.1. Prélèvements d'échantillons du sol de départ

Les analyses physico-chimiques se font à partir d'échantillons de sol prélevés dans les 20 premiers centimètres de l'horizon supérieur du sol : un composite des cinq parcelles par répétition. Pour chaque site, 4 échantillons de sol ont été collectés, ramenés au laboratoire, séchés à l'air, broyés et tamisés avant les analyses physico-chimiques.

1.5.2. Prélèvements d'échantillons de plantes

Avant le repiquage, des échantillons des plantules représentatives de l'ensemble ont été collectés pour chaque traitement sur pépinière. L'arrachage des plants a été fait à l'aide d'un angady dont la profondeur d'enlèvement est de 20 cm. D'une part, ces échantillons ont été utilisés pour les différentes mesures à savoir le nombre de feuilles, le nombre de racines nodales¹, la hauteur des plantules et la longueur des racines. D'autre part, les plantes ont été séparées des racines, séchées à l'étuve 70°C pendant 48 heures, puis pesées pour avoir le poids sec de la biomasse aérienne et le poids sec des racines. Les biomasses aériennes ont été finement broyées aux fins d'analyse de la teneur en N et de la concentration en P.

1.5.3. Critères déterminants la vigueur des plantules

La vigueur des plantules est la capacité qui permet à la plantule de croître rapidement lors de la germination. Elle est liée à toutes les phases du développement des plantules, de la germination des graines à l'établissement des peuplements. C'est un facteur de qualité qui dénote une croissance rapide des plantules aux champs. Selon Vergara (1984), les plantules vigoureuses ont une taille uniforme, une croissance régulière, une gaine foliaire courte, un système racinaire long et plus touffu et elles ne doivent pas être attaquées par des parasites ou des maladies. En plus ce cela, la vigueur des plantules est aussi associée à la viabilité, à la hauteur, à l'épaisseur des tiges (Matsuo et Hoshikawa, 1993). En outre, Panda *et al.* (1991) ont évoqué que la vigueur des plantules peut être mesurée à partir des poids secs de la biomasse des jeunes plants et de sa concentration en N. Ros *et al.* (2003) ont affirmé qu'une vigueur accrue des plantules se traduit par une augmentation de la matière sèche, de la teneur et de la concentration en éléments nutritifs des plantules.

De ce fait, pour cette étude, les critères retenus pour déterminer la vigueur des plantules sont :

- le nombre de feuilles,
- la longueur des racines,
- le nombre de racines nodales,
- la hauteur des plantules,
- le poids sec de la biomasse aérienne,
- le poids sec des racines,
- la teneur en N de la biomasse aérienne
- la concentration en P de la biomasse aérienne.

1.5.4. Méthode d'observation et récolte

En cours de végétation, les observations concernent le nombre de talles et la hauteur des plantes. Quant à la récolte, elle a été faite de façon échelonnée suivant la maturité des grains. Toutes les

¹ Les racines nodales sont de deux sortes : les cinq premières, embryonnaires, émergent du nœud coléoptilaire; les autres, postembryonnaires qui forment un système racinaire fasciculé, émergent des nœuds de la tige principale et des ramifications aériennes.

biomasses aériennes de chaque sous-parcelle, hormis les bordures, ont été récoltées. Après battage, les grains ont été séchés à l'air et au soleil puis vannés et pesés afin de déterminer le rendement en grains.

1.5.5. Méthode de calcul de la rentabilité économique

La rentabilité de chaque traitement est évaluée à partir du coût de revient d'un kilogramme de paddy, du retour sur investissement (RSI) et du bénéfice net.

Le **coût de revient du paddy** est le prix minimum auquel on doit vendre le kg de paddy par rapport à la dépense effectuée. Un coût de revient bas est intéressant.

$$CR = 1000 * \frac{\text{Coût de production}}{\text{production en g}}$$

Le coût de production regroupe les charges relatives à l'exploitation (semences, engrais) et les dépenses en main-d'œuvre. Les besoins en main-d'œuvre par activité ont été obtenus à partir d'enquête auprès des paysans. Toutes les activités ont été comptabilisées en main-d'œuvre extérieure.

Quant au **retour sur investissement**, il sert à évaluer la rentabilité économique de chaque traitement. L'objectif du RSI est de savoir si un investissement est efficace et rentable. Il détermine le bénéfice rapporté par un Ariary investi dans la production.

$$RSI = (\text{Produit brut} - \text{Coût de production}) / (\text{Coût de production})$$

- RSI < 0 : il y a des pertes dans l'investissement : la technique n'est pas intéressante et coûteuse ;
- RSI > 0 : l'investissement rapporte un bénéfice : la technique est efficace et rentable. Le **bénéfice net** correspond à la différence entre la valeur de la production et le coût de production.

$$\text{Bénéfice net} = \text{valeur de la production} - \text{Coût de production}$$

1.6. Méthodes analytiques

1.6.1. Analyse chimique

1.6.1.1. Analyse du sol

Mesure pH CaCl₂ : le pH du sol a été mesuré dans une solution CaCl₂ 0.01 M avec un ratio sol : liquide 1:5. Après une agitation de 30 minutes, la lecture a été faite avec un pH-mètre

Mesure des teneurs en Carbone organique du sol : la méthode de Walkley-Black a été employée pour mesurer la teneur en carbone organique du sol. C'est une méthode chimique qui consiste à oxyder à chaud la matière organique du sol tamisé et préparé à 0,2 mm, avec du dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) en excès, en solution sulfurique. Le surplus de dichromate de potassium, inversement proportionnel à la quantité de matières organiques oxydées, est ensuite déterminé par titrage avec une solution de sulfate ferrosoammoniacale : sel de Mohr.

Mesure du P résine du sol : Cette méthode consiste à utiliser des bandes de résines échangeuses d'anions. Le P du sol est adsorbé au niveau de la résine après 16 heures d'agitation. Il est par la suite désorbé dans une solution de NaCl/HCl à 0,1 M. La lecture se fait ensuite par la méthode au vert de malachite au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 410 nm.

1.6.1.2. Analyse des plantes

Teneur en azote total des plantes : La teneur en N total de la biomasse aérienne sèche des plantes a été obtenue par minéralisation avec le mélange sulfo-salicylique concentré à chaud suivi de dosage colorimétrie automatique à l'autoanalyseur Skalar.

Analyse du phosphore total : La concentration en P des parties aériennes des jeunes plants a été obtenue par digestion à haute température avec l'acide nitrique. La méthode au bleu de molybdène de Murphy et Riley a été utilisée (Murphy et Riley, 1962).

1.6.2. Analyse statistique

Les résultats des expérimentations sont soumis à l'analyse de la variance à deux facteurs. La signification des différences entre les moyennes a été déterminée à l'aide des tests de comparaison multiple par la méthode Student-Newman-Keuls (SNK) au seuil de 5% avec le logiciel Rstudio.

II. RÉSULTATS

2.1. Effets d'une micro-dose de P en pépinière sur les caractères des plantules et leur vigueur au moment de la transplantation

Les résultats sont présentés en histogramme afin de pouvoir classifier les différents traitements sur la pépinière et au champ principal. Les barres d'erreurs sont les erreurs standards de la moyenne. Les barres d'erreurs indexées avec des lettres différentes sont significativement différentes.

2.1.1. Nombre de feuilles et nombre de racines nodales

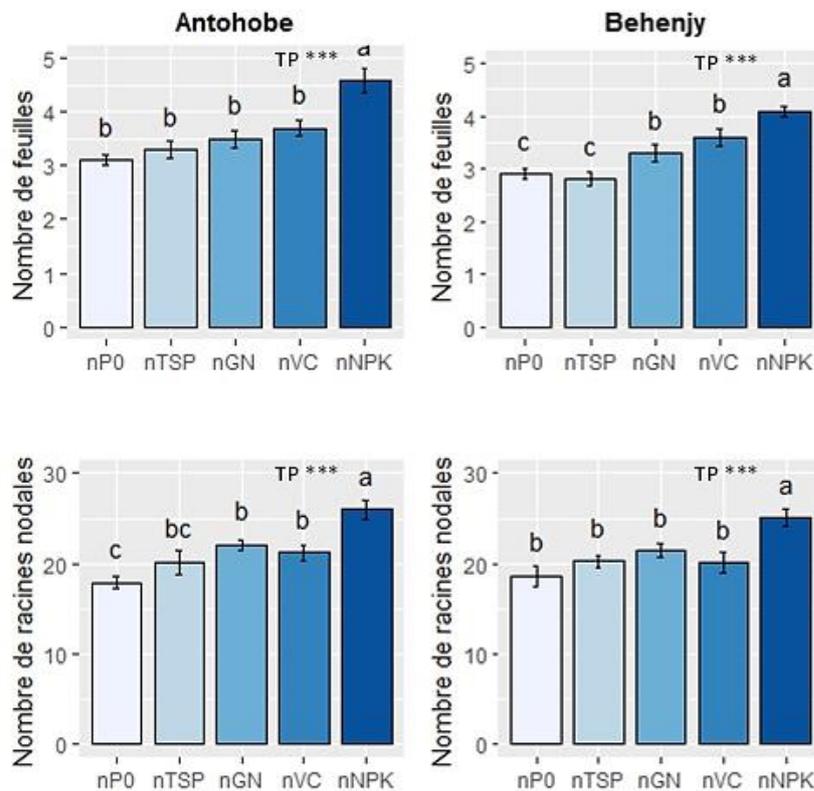


Figure 7: Nombre de feuilles et nombre de racines nodales des jeunes plants au moment de la transplantation.

- **Nombre de feuilles**

Pour les deux sites, l'ANOVA montre que les traitements sur pépinière ont des effets significatifs dans son ensemble sur le nombre de feuilles ($p < 0,001$).

Pour Antohobe, les jeunes plants issus du nNPK ont une différence significative par rapport au témoin nP0 avec une moyenne de 4 feuilles/plants.

Pour Behenjy, le traitement nNPK a le plus de feuilles suivi de nGN et nVC, qui n'ont pas de différence significative, et ce sont le nombre de feuilles des plantules issues nTSP et de nP0 qui sont les moindres.

- **Nombre de racines nodales**

Pour les deux sites l'ANOVA montre qu'il y a une différence significative sur le nombre de racines nodales entre les traitements sur pépinière ($p < 0,001$).

Pour Antohobe, le traitement nNPK a le plus d'effet sur le nombre de racines des plantules avec une augmentation du nombre de racines de 45% par rapport à nP0, suivi des traitements nGN, nVC et nTSP qui n'ont pas de différence significative entre eux et enfin du traitement nP0.

Pour Behenjy, le traitement nNPK a le plus de racines suivi de nGN, nVC, nTSP et nP0 qui n'ont pas de différence significative entre eux. Une augmentation de 34% du nombre de racines du nNPK est constatée par rapport à nP0.

2.1.2. Hauteur des plantules et longueur des racines

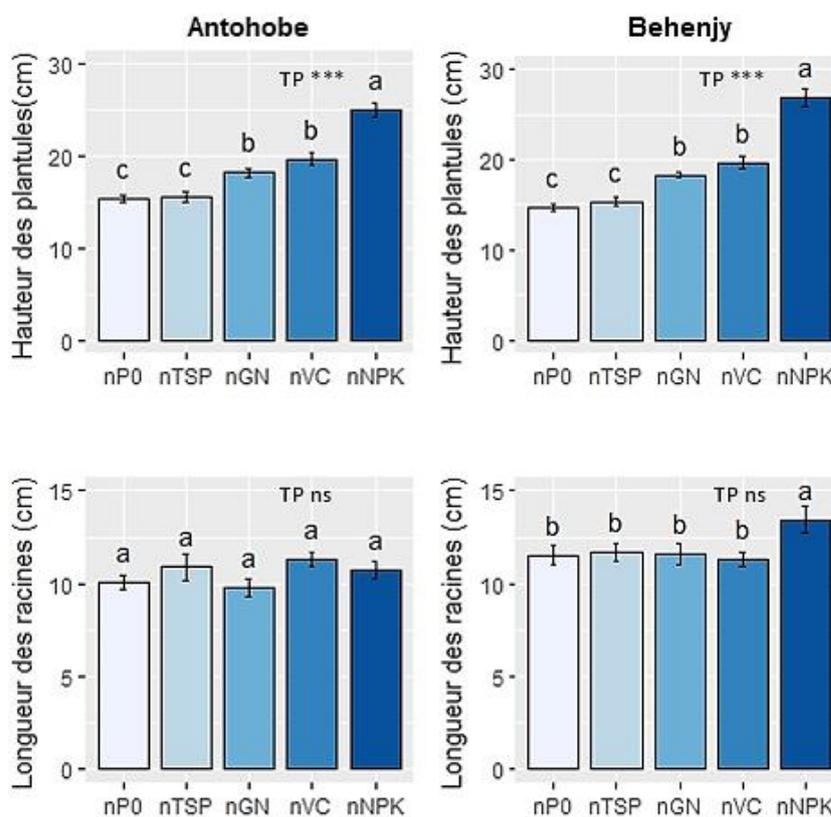


Figure 8: Hauteur des plantules et longueur des racines au moment de la transplantation

- **Hauteur des plantules**

Pour les deux sites, il y a une différence significative entre les effets des différents traitements ($p < 0,001$). Le nNPK donne les plantules les plus longues avec une augmentation de hauteur de 63% et 83% par rapport au témoin nP0, respectivement pour Antohobe et Behenjy. Il est suivi par nVC et nGN avec une augmentation de hauteur par rapport à nP0 de 28% et 34%

respectivement pour Antohobe et Behenjy. Enfin, la hauteur des plantules issues de nTSP n'est pas significativement différente de celle de nP0.

- **Longueur des racines**

Pour les deux sites, l'ANOVA montre qu'aucune différence significative n'est observée entre les effets des différents traitements avec $p=0,203$ pour Antohobe et $p=0,069$ pour Behenjy. Toutefois la longueur des racines varie de 9,8 cm à 11,35 cm pour Antohobe et de 11,3 cm à 13,45 cm pour Behenjy.

2.1.3. Poids secs de la biomasse aérienne et poids secs des racines

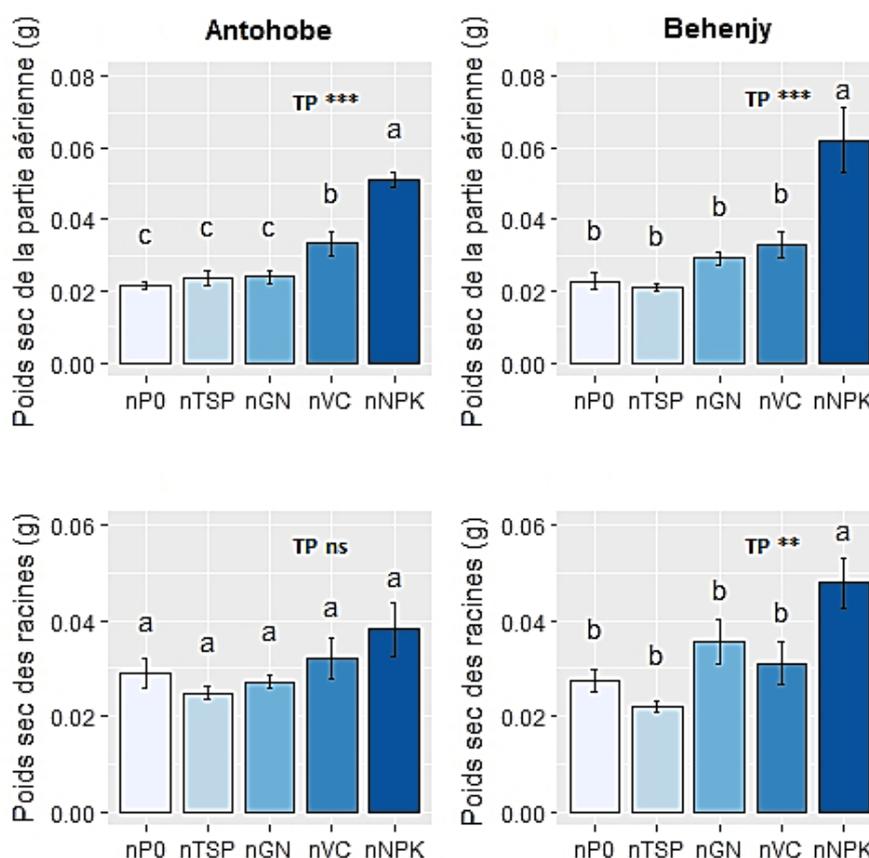


Figure 9: Poids secs de la biomasse aérienne et poids secs des racines au moment de la transplantation

- **Poids secs de la biomasse aérienne**

Les traitements sur pépinières ont des effets significatifs sur le poids sec de la biomasse aérienne pour les deux sites ($p<0,001$).

Pour Antohobe, le poids sec de la biomasse aérienne des plantules issues de nNPK est le plus élevé avec une hausse respective de 135% par rapport à celui du nP0 suivi de nVC avec 53% de hausse par rapport à celui de nP0. Le poids sec de la biomasse aérienne des plantules issues des

traitements nGN, nTSP et nP0 sont les moins élevés et il n'y a pas de différence significative entre eux.

Pour Behenjy, seul le traitement nNPK a une différence significative par rapport à nP0, avec une augmentation de poids sec de la biomasse aérienne de 196%. Aucune différence significative n'est pas observée entre les traitements nVC, nGN, nTSP et nP0.

- **Poids secs des racines**

Pour les deux sites, l'ANOVA donne deux résultats différents.

Pour Antohobe, les traitements sur pépinière n'ont pas d'effet significatif sur le poids sec des racines ($p=0,131$). Toutefois, son poids varie de 24,75 mg à 38,25 mg.

Pour Behenjy, il y a une différence significative entre les différents traitements sur pépinière sur le poids sec des racines ($p=0,003$). Le traitement avec nNPK diffère significativement des autres traitements nGN, nVC, nTSP et nP0. Une augmentation de poids secs de 118% par rapport à nP0 est observée.

2.1.4. Concentration en P et teneur en N de la biomasse aérienne

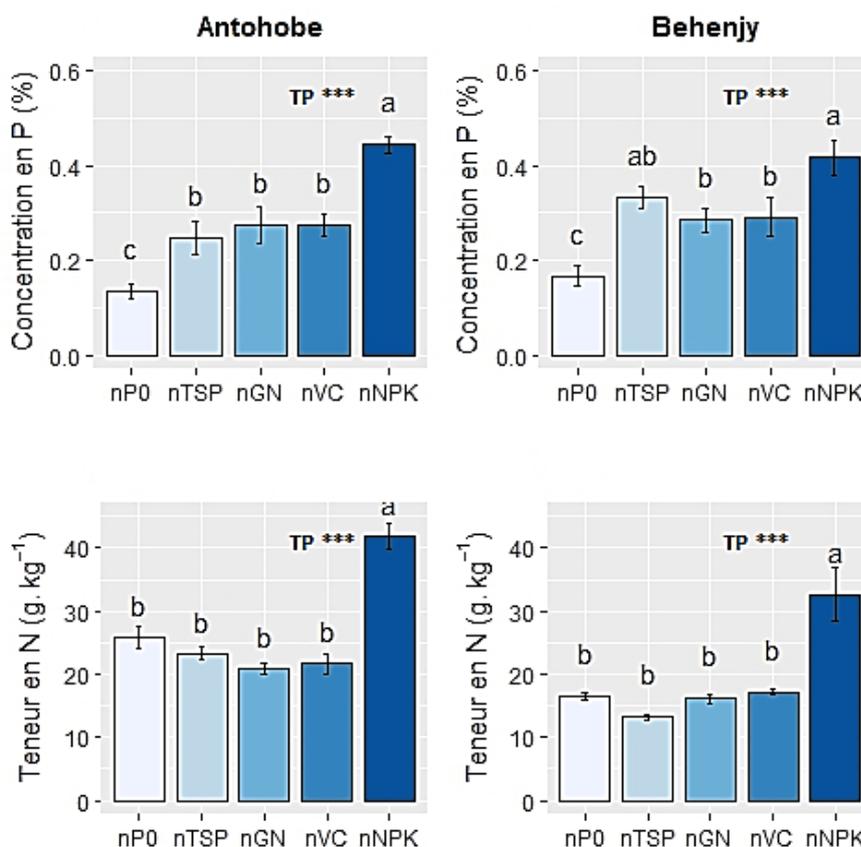


Figure 10: Concentration en P et teneur en N de la biomasse aérienne au moment de la transplantation

- **Concentration en P de la biomasse aérienne**

Pour les deux sites et d'après l'ANOVA, les différents types d'engrais sources de P appliqués en pépinière ont des effets significatifs sur la concentration en P des plantules ($p < 0,001$). Pour Antohobe, la pépinière avec nNPK a donné des plantules à concentration en P trois fois plus élevée que le témoin nP0. Elle est suivie par les pépinières avec nVC, nGN et nTSP, non significativement différentes entre elles, mais significativement différentes par rapport à nP0.

Pour Behenjy, le traitement nNPK a permis aux plantules d'avoir 2,5 fois plus de P par rapport à nP0, suivi par nTSP avec 2 fois plus de P et enfin par nGN et nVC avec 1,7 fois plus de P par rapport au témoin.

- **Teneur en N de la biomasse aérienne**

Pour les deux sites, l'ANOVA a montré que les traitements sur pépinière ont des effets significatifs dans son ensemble sur la teneur en N de la biomasse aérienne ($p < 0,001$).

Seuls les traitements nNPK montrent des résultats significatifs par rapport au témoin nP0 avec des teneurs en N de $41,89 \text{ g.kg}^{-1}$ et $32,63 \text{ g.kg}^{-1}$ soit 1,62 fois et 2 fois plus, respectivement pour Antohobe et Behenjy.

2.2.Effet de la fertilisation en pépinière combinée à celle au champ principal sur la croissance des plants et le rendement en grains du riz

2.2.1. De la croissance des plantes au tallage maximal

2.2.1.1.Hauteur des plantes

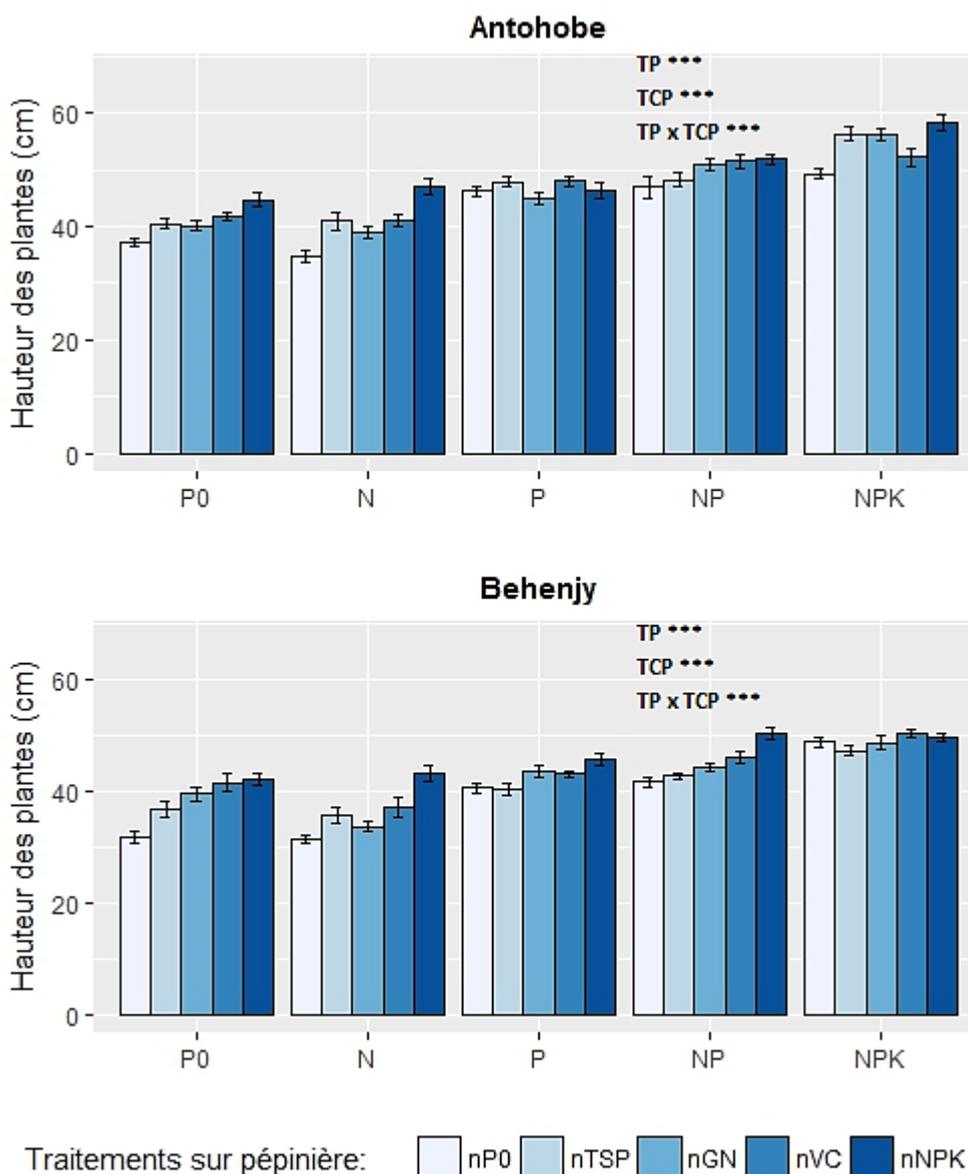


Figure 11 : Hauteur des plantes suite à l'effet combiné des traitements sur pépinière et traitements au champ principal.

Pour les deux sites, les traitements sur pépinière ont des effets significatifs sur la hauteur des plantes au moment du tallage maximal ($p < 0,001$). A Antohobe, la plante la plus longue est enregistrée avec le traitement nNPK, soit 49,65 cm contre 42,90 cm pour nP0. En outre, le traitement nVC (46,93 cm), statistiquement au même niveau que les traitements nGN (46,27 cm) et nTSP (46,75 cm), est significativement différent du traitement nP0 (42,9 cm). L'essai à Behenjy montre que tous les traitements sur pépinière sont significativement différents entre eux.

Du traitement donnant la hauteur la plus élevée vers la moins élevée, il y a le traitement nNPK (46,13 cm), nVC (43,60 cm), nGN (41,88 cm), nTSP (40,48 cm), nP0 (38,78 cm). Une augmentation de 7,35 cm par rapport à la hauteur du plant témoin nP0 est enregistrée pour le traitement nNPK.

Les traitements au champ principal ont également des effets significatifs sur la hauteur des plantes ($p < 0,001$). Le traitement NPK a donné la hauteur maximale avec une augmentation de 13,62 cm et 10,66 cm par rapport au témoin P0 respectivement pour Antohobe et Behenjoy, suivi des traitements NP et P. Le traitement N a un effet significatif sur la hauteur des plantes, donnant des plantes moins longues que celles du témoin pour Behenjoy, mais il ne l'est pas pour Antohobe.

L'interaction des deux échelles de traitements a induit un effet significatif sur la hauteur des plantes au tallage maximal ($p < 0,001$). Pour les champs principaux n'ayant pas reçu de fertilisants (P0), une augmentation de hauteur jusqu'à 7,5 cm et 10,33 cm par rapport à nP0 est observée chez les plantes issues du traitement P0/nNPK respectivement pour Antohobe et Behenjoy. Pour les champs avec le traitement N, la hauteur des plantes varie de 34,75 cm à 47 cm pour Antohobe et de 31 cm à 43 cm pour Behenjoy. Concernant le traitement P, pour Antohobe, une faible variation de la hauteur de plantes est observée dont la plus haute est celle du traitement nVC avec 48 cm et la moins haute est celle issue du traitement nGN avec 45 cm. Pour Behenjoy, le traitement P au champ a donné avec le traitement nTSP la plante la moins haute (40 cm) et avec nNPK celle la plus haute (45,5 cm). Quant au champ avec le traitement NP, une variation de la hauteur de 47 cm à 51,8 cm et de 41,6 cm à 50 cm respectivement pour Antohobe et Behenjoy est observée entre le traitement nP0 et nNPK. Enfin, pour le traitement NPK au champ, une augmentation de hauteur des plantes de 9 cm est enregistrée entre nP0 (49 cm) et nNPK (58 cm) à Antohobe. Pour Behenjoy, la hauteur des plants varie de 47 cm à 50,4 cm.

En général, les plants de riz à Antohobe sont plus longs que ceux à Behenjoy.

2.2.1.2. Nombre de talles

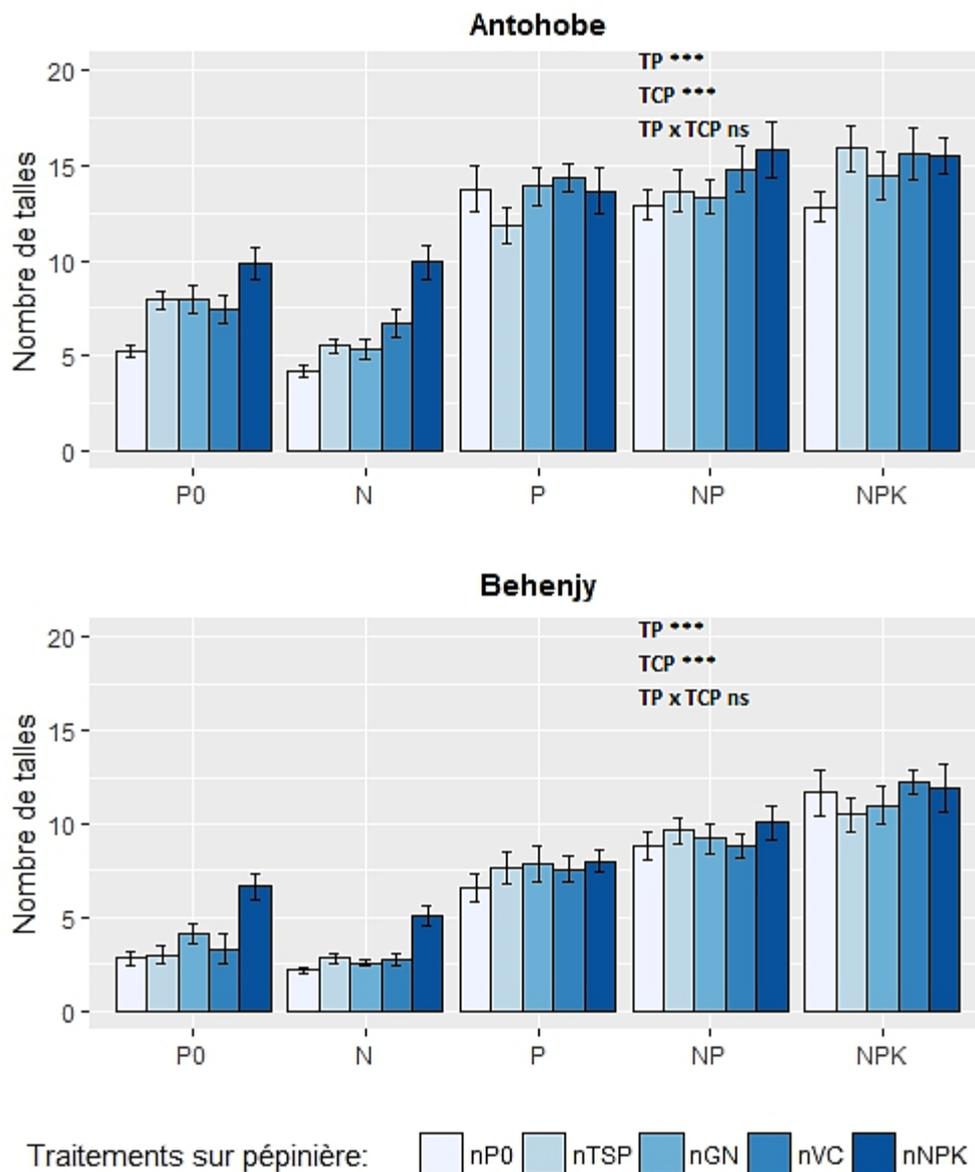


Figure 12: Nombre de talles suite à l'effet combiné des traitements sur pépinière et traitements au champ principal

Pour les deux sites, les traitements sur pépinière ont des effets significatifs sur le nombre de talles ($p < 0,001$). Pour Antohobe, le traitement nNPK offre le nombre de talles par pied le plus élevé avec une moyenne de 13 talles, suivi du traitement nVC avec 12 talles par pied. Ils sont tous significativement différents du témoin nP0 ayant 10 talles par pied. Pour Behenjy, seul le traitement nNPK est différent du traitement nP0 avec une moyenne de 8 talles par pied contre 6 talles par pied pour nP0.

Pour les deux sites, le nombre de talles est significativement affecté par les traitements au champ principal ($p < 0,001$). Le traitement ayant donné plus de talles à Antohobe est le NPK avec 15 talles/pied, statistiquement au même niveau que les traitements NP et P avec chacun

14 talles/pied. Ils sont significativement différents du témoin P0 avec 8 talles/pied. Les plantes issues du traitement N n'ont donné que 6 talles/pied, inférieur par rapport au témoin P0 (8 talles/pied). Pour Behenjy, les traitements NPK, NP et P ont donné respectivement 11, 9, 8 talles/pied. Ils sont significativement différents l'un de l'autre. Les traitements N et P0 sont statistiquement au même niveau avec respectivement 3 et 4 talles/pied.

L'effet de l'interaction des traitements sur pépinière et des traitements au champ principal n'est pas significativement différent avec $p=0,18$ pour Antohobe et $p=0,479$ pour Behenjy.

Toutefois, le nombre de talles issus du traitement nNPK sur pépinière est très élevé pour les traitements au champ P0 et N où les plantes issues du traitement P0/nNPK produisent 5 talles/pied de plus que P0/nP0 pour Antohobe et 4 talles/pied de plus pour Behenjy et ceux issues de N/nNPK fournissent 6 talles de plus que N/nP0 pour Antohobe et 3 talles/pied de plus pour Behenjy.

Par ailleurs, les plants de riz à Antohobe ont donné plus de talles par rapport à ceux à Behenjy.

2.2.2. Rendement en grains

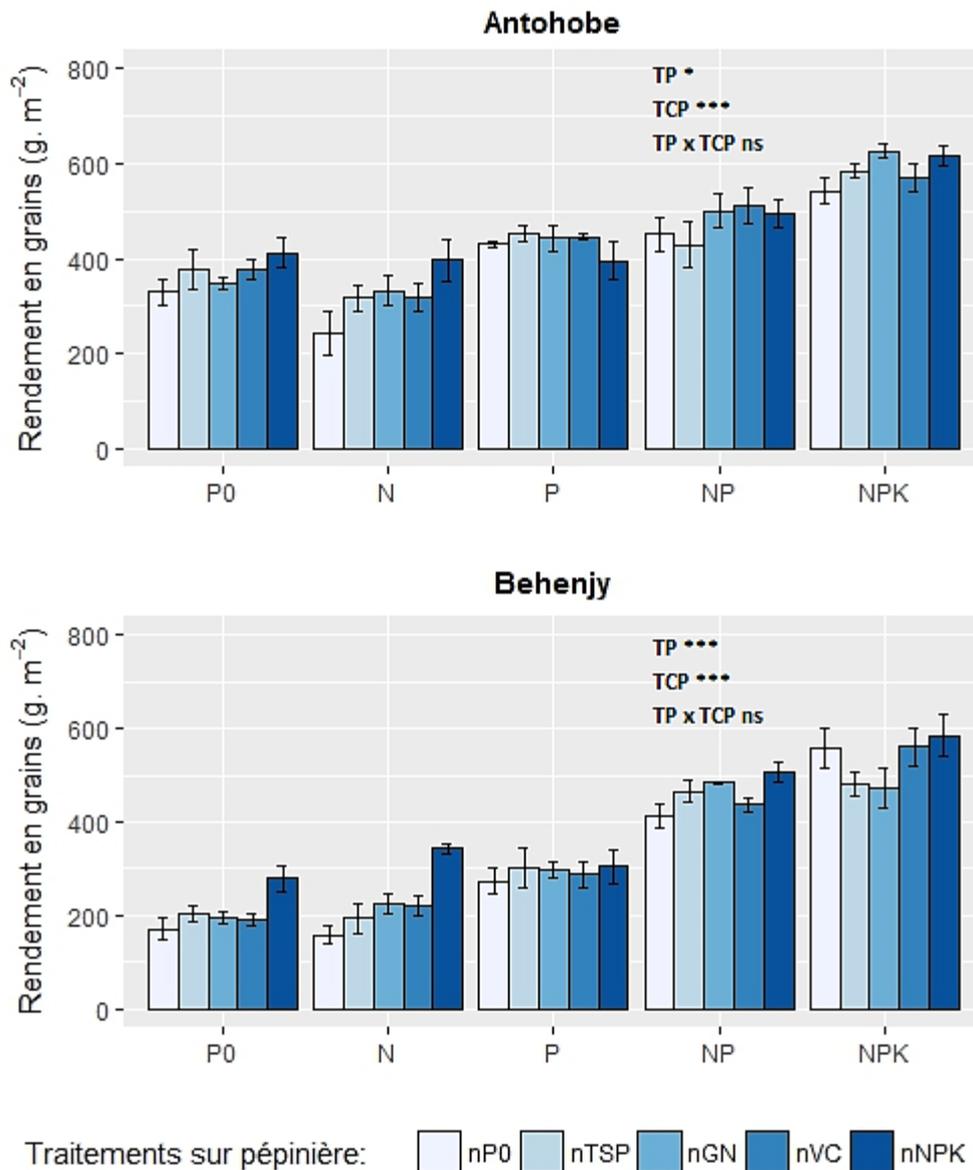


Figure 13 : Rendement en grains suite à l'effet combiné des traitements sur pépinière et traitements au champ principal

Pour les deux sites, les traitements sur pépinière affectent significativement le rendement en grains. L'effet à Behenjy ($p < 0,001$) est hautement significatif par rapport à celui d'Antohobe ($p = 0,017$).

Pour Antohobe, le rendement issu du traitement nNPK ($462,95 \text{ g.m}^{-2}$) et du traitement nGN ($449,75 \text{ g.m}^{-2}$) sont statistiquement au même niveau et sont les plus élevés. Ils sont significativement différents de celui du nP0 ($398,95 \text{ g.m}^{-2}$). Par ailleurs, à Behenjy, seul le traitement sur pépinière nNPK induit une différence significative comparativement du témoin avec un rendement moyen de $404,1 \text{ g.m}^{-2}$ contre $314,65 \text{ g.m}^{-2}$ pour nP0. Cependant, le rendement en grains du traitement NPK/nP0 à Behenjy est très élevé, sensiblement égale à celui

du NPK/nNPK. Cette donnée est considérée comme non fiable, car il se peut qu'il y ait eu une erreur lors de la transplantation des jeunes plants. Pour éviter une fausse interprétation, le résultat du rendement pour NPK/nP0 à Behenjy est considéré comme celui d'Antohobe.

Pour les deux sites l'effet des traitements sur champ principal est hautement significatif sur le rendement en grains ($p < 0,001$). Pour Antohobe, le meilleur rendement est obtenu avec le traitement NPK ($587,70 \text{ g.m}^{-2}$), suivi du traitement NP ($477,30 \text{ g.m}^{-2}$) puis du traitement P (433 g.m^{-2}). Ils sont significativement différents entre eux et au témoin P0 ($368,85 \text{ g.m}^{-2}$). Le rendement pour le traitement N ($321,55 \text{ g.m}^{-2}$) est inférieur à celui du témoin P0 ($368,85 \text{ g.m}^{-2}$). Ils sont aussi significativement différents. Pour Behenjy, les traitements NPK, NP puis P sur champ principal ont induit des différences significatives sur le rendement en grains par rapport au témoin avec des moyennes respectives de $531,75 \text{ g.m}^{-2}$, $461,40 \text{ g.m}^{-2}$ et $293,15 \text{ g.m}^{-2}$ contre $208,05 \text{ g.m}^{-2}$ pour P0.

Par ailleurs, l'interaction des traitements sur pépinière et traitements sur champ principal n'a pas d'effet significatif sur le rendement en grain pour Antohobe ($p=0,369$) et pour Behenjy ($p=0,104$). Toutefois, l'effet du traitement nNPK en pépinière est très remarquable pour les champs principaux P0 et N.

2.3. Rentabilité économique de la technique

La valeur de la production exprimée en Ariary est obtenue en multipliant la production par le prix commercial d'1kg de paddy qui s'élève à 900 Ar.

Tableau 4: Calcul économique pour 1 m² de champ pour l'essai à Antohobe

TCP	TP	Rendement (g.m ⁻²)	Valeur de la production (Ar)	Coût de production (Ar)	RSI	CR (Ar.kg ⁻¹)	Bénéfice net (Ar)
P0	nP0	329	296,10	136,25	1,17	414	159,85
	nTSP	378	340,20	140,81	1,42	373	199,39
	nGN	347,75	312,98	144,07	1,17	414	168,90
	nVC	377,5	339,75	255,56	0,33	677	84,19
	nNPK	412	370,80	144,48	1,57	351	226,32
N	nP0	242,5	218,25	180,38	0,21	744	37,87
	nTSP	317,25	285,53	184,94	0,54	583	100,58
	nGN	331	297,90	188,20	0,58	569	109,70
	nVC	320	288,00	299,69	-0,04	937	-11,69
	nNPK	397	357,30	188,61	0,89	475	168,69
P	nP0	430,25	387,23	172,60	1,24	401	214,62
	nTSP	452,75	407,48	177,16	1,30	391	230,32
	nGN	442,25	398,03	180,42	1,21	408	217,60
	nVC	444,75	400,28	291,91	0,37	656	108,36
	nNPK	395	355,50	180,83	0,97	458	174,67
NP	nP0	450,75	405,68	214,23	0,89	475	191,44
	nTSP	428,5	385,65	218,79	0,76	511	166,86
	nGN	500,75	450,68	222,05	1,03	443	228,62
	nVC	511,75	460,58	333,54	0,38	652	127,03
	nNPK	494,75	445,28	222,46	1,00	450	222,82
NPK	nP0	542,25	488,03	234,63	1,08	433	253,40
	nTSP	583,75	525,38	239,19	1,20	410	286,19
	nGN	627	564,30	242,45	1,33	387	321,85
	nVC	569,5	512,55	353,94	0,45	621	158,61
	nNPK	616	554,40	242,85	1,28	394	311,55

Les valeurs en **gras** sont celles les plus basses et les plus élevées pour chaque paramètre étudié.

Pour Antohobe, d'une part, les bénéfices nets les plus élevés sont obtenus avec les traitements NPK/nGN et NPK/nNPK qui ont donné des rendements en grains élevés avec des bénéfices nets respectifs de 321,85 Ar et 311,55 Ar et des CR de 387 Ar.kg⁻¹ et 394 Ar.kg⁻¹, et des RSI de 1,33 et 1,28. D'autre part, le traitement P0/nNPK présente un CR le plus bas avec 351 Ar.kg⁻¹, un RSI le plus élevé de 1,57 et un bénéfice net de 226,32 Ar. Le traitement N/nVC engendre une perte

de 11,69 Ar pour la production avec un RSI -0,04, un CR de 943 Ar.kg⁻¹. Les autres traitements ont donné des bénéfices pour la production.

Pour P0, entre les traitements sur pépinière nP0 et nNPK, un bénéfice net allant de 159,85 Ar à 226,32 Ar est obtenu soit 66,47 Ar de différence. La production issue du traitement N au champ donne moins de bénéfice net par rapport à celle du P0, soit une différence de 57,63Ar entre P0/nNPK et N/nNPK. Pour le champ P, le bénéfice net varie de 108,36 Ar à 230,32 Ar. Quant au champ NP, le bénéfice net varie entre 127,03 Ar et 222,82 Ar. Enfin pour le champ NPK, le bénéfice maximal est évalué à 321,85 Ar contre un minimal de 158,61 Ar.

Tableau 5: Calcul économique pour 1 m² de champ pour l'essai à Behenjy

TCP	TP	Rendement (g.m ⁻²)	Valeur de la production (Ar)	Coût de production (Ar)	RSI	CR (Ar.kg ⁻¹)	Bénéfice net (Ar)
P0	nP0	171,75	154,58	136,25	0,13	793	18,33
	nTSP	203	182,70	140,81	0,30	694	41,89
	nGN	195,25	175,73	144,07	0,22	738	31,65
	nVC	190,75	171,68	255,56	-0,33	1340	-83,89
	nNPK	279,5	251,55	144,48	0,74	517	107,07
N	nP0	158,5	142,65	180,38	-0,21	1138	-37,73
	nTSP	194	174,60	184,94	-0,06	953	-10,34
	nGN	226	203,40	188,20	0,08	833	15,20
	nVC	220	198,00	299,69	-0,34	1362	-101,69
	nNPK	343,5	309,15	188,61	0,64	549	120,54
P	nP0	273,5	246,15	172,60	0,43	631	73,55
	nTSP	301,5	271,35	177,16	0,53	588	94,19
	nGN	298,25	268,43	180,42	0,49	605	88,00
	nVC	288,25	259,43	291,91	-0,11	1013	-32,49
	nNPK	304,25	273,83	180,83	0,51	594	93,00
NP	nP0	411,75	370,58	214,23	0,73	520	156,34
	nTSP	466	419,40	218,79	0,92	470	200,61
	nGN	484,5	436,05	222,05	0,96	458	214,00
	nVC	436,5	392,85	333,54	0,18	764	59,31
	nNPK	508,25	457,43	222,46	1,06	438	234,97
NPK	nP0	557,75	501,98	234,63	1,14	421	267,35
	nTSP	482,5	434,25	239,19	0,82	496	195,06
	nGN	472,75	425,48	242,45	0,75	513	183,03
	nVC	560,75	504,68	353,94	0,43	631	150,74
	nNPK	585	526,50	242,85	1,17	415	283,65

Pour Behenjy, le tableau 5 montre que le traitement le plus rentable est celui du NPK/nNPK qui présente un RSI est 1,17, un CR de 415 Ar.kg⁻¹ et un bénéfice net de 283,65Ar. C'est d'ailleurs le traitement qui a donné le rendement le plus élevé avec 585 g.m⁻². Les traitements les plus déficitaires sont N/nVC et P0/nVC avec des RSI -0,34 et -0,33, des CR de 1362 Ar.kg⁻¹ et 1340 Ar.kg⁻¹ et des pertes de 101,69 Ar et 83,89 Ar. En plus de ces traitements, N/nP0, N/nTSP, P/nVC engendrent respectivement des pertes de 37,73 Ar, 10,34 Ar et 32,49 Ar. Les autres traitements ont tous donné des plus-values à la production.

Indépendamment du traitement au champ, les traitements nNPK sur pépinière ont produit le plus de grains, et donnent des bénéfices les plus élevés à l'exception du traitement nTSP au champ P qui offre un bénéfice net légèrement supérieur.

Les graphes suivants résument la variation du coût de revient, du retour sur investissement et du bénéfice net en fonction des traitements appliqués pour les deux sites.

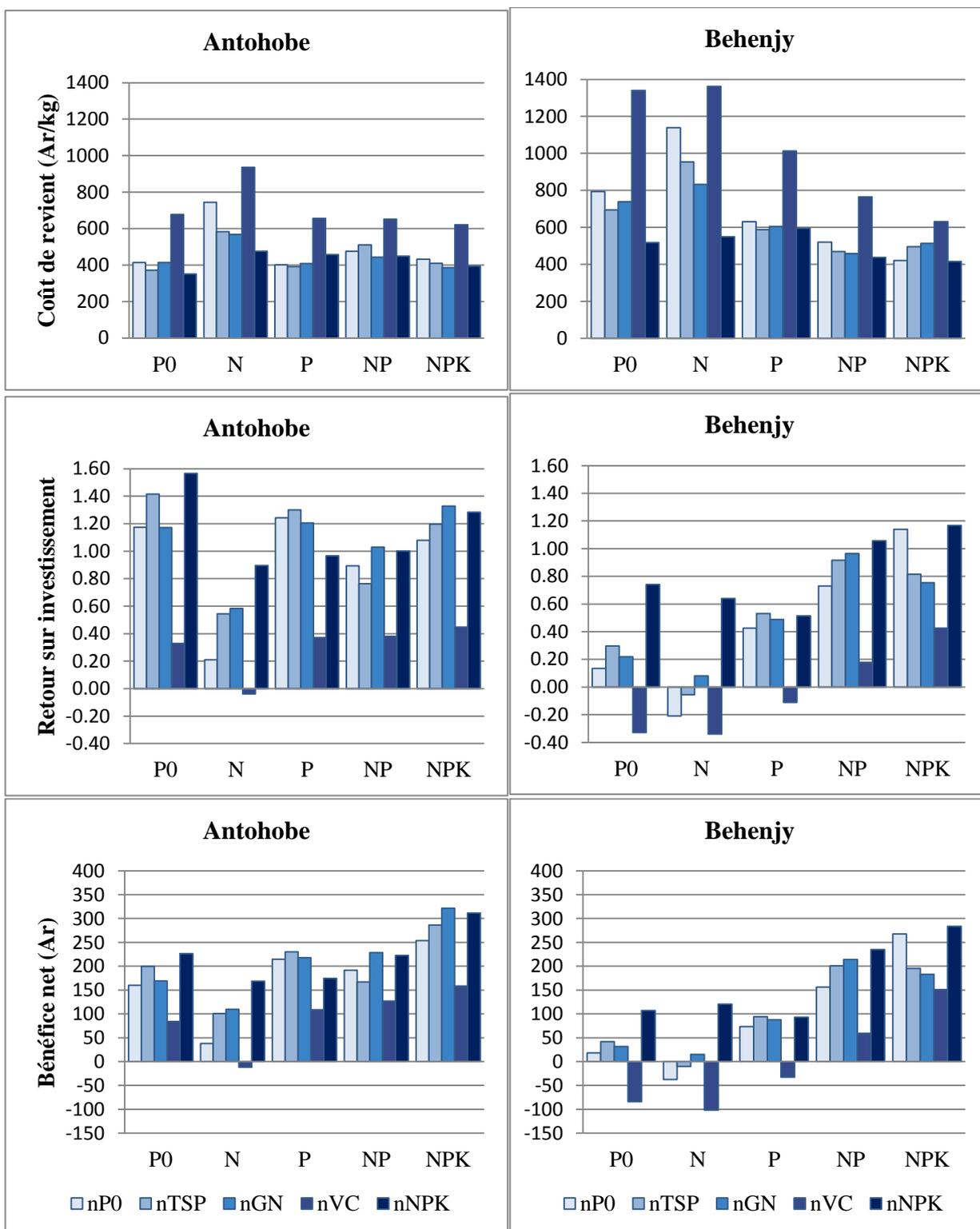


Figure 14 : Coût de revient d'1kg de paddy, Retour sur investissement et Bénéfice net pour chaque modalité de traitement

Pour les deux sites, la tendance générale des diagrammes (figure 14) montre que le CR du paddy issu du traitement nVC en pépinière est le plus élevé et ceux issus de nNPK et nGN sont les plus bas, quel que soit le traitement au champ principal. La tendance générale est inverse pour le RSI et le bénéfice net. Pour tous les champs principaux, le traitement NPK est le plus rentable, suivi du traitement NP.

Le traitement N/nVC à Antohobe et les traitements P0/nVC, N/nP0, N/nTSP, N/nGN et N/nVC à Behenjy donnent des CR supérieur à 900 Ar, des RSI et des bénéfices nets négatifs. L'application de ces traitements engendre des pertes pour l'exploitation.

III. DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

3.1. Effet de la fertilisation en pépinière sur la vigueur des plantules au moment du repiquage

Comme pour l'étude précédemment effectuée par Rinasoa (2017), la vigueur des plantules est déterminée par la hauteur des plantules, le nombre de feuilles, le nombre de racines, la longueur des racines, les poids secs de la biomasse aérienne et racinaire et la teneur en éléments de la partie aérienne, notamment en N et P.

Parmi les traitements appliqués, NPK a donné le plus de vigueur aux plantules par rapport au témoin avec plus de feuilles, une augmentation respective pour Antohobe et Behenjy de 45% et 34% du nombre de racines, de 63% et 83% de la hauteur des plantules, de 135% et 196% de matières sèches aériennes de 3 fois et 2,5 fois plus de teneur en P et de 1,6 fois et 2 fois plus de teneur en N. Une hausse de 118% de poids secs des racines par rapport au témoin à Behenjy est observée alors que pour Antohobe, les différents traitements sources de P n'ont pas d'effet significatif sur les poids secs des racines.

Ensuite, les plantules issues d'engrais organiques dont le guanomad et le lombricompost sont moyennement vigoureuses avec une augmentation respective pour Antohobe et Behenjy de 28% et 34% de hauteurs des plantes et 2 fois plus de concentration en P que celui du témoin. En effet la libération des éléments pour les engrais organiques est plus lente que celle des engrais minéraux. Or la période en pépinière des jeunes plants est courte (4 semaines). Ainsi, les plantules ne pourraient bénéficier qu'une partie des éléments disponibles dans l'engrais organique. Le superphosphate triple (TSP) n'a d'effet que sur la concentration en P de la biomasse aérienne par rapport au témoin nP0.

Ces résultats sont en conformité avec ceux de Rinasoa (2017) pour lesquels l'application en pépinière de NPK avec une dose de $6,88 \text{ g.m}^{-2}$ de N, 6 g.m^{-2} de P, $8,33 \text{ g.m}^{-2}$ de K a donné, par rapport aux témoins, plus de feuilles, une augmentation jusqu'à 50% du nombre de racines nodales, 2 fois plus grandes en hauteur, 3 fois plus de biomasses, et 2,5 fois plus lourdes pour le poids de la racine, avec 4 fois plus de teneur en P et 1,5 fois plus de teneur en N. Ros *et al.* (2003) ont rapporté aussi que les plantules ayant reçu de l'engrais avaient respectivement 50 à 100% de matière sèche et sont 9 cm plus longs que les plantules non fertilisées. L'effet considérable des engrais organiques est aussi confirmé par Ros *et al.* (2015) après l'application de fumier sur la pépinière la hauteur des plantules, le nombre de feuilles et la matière sèche des racines ont augmenté de 8%, 25% et 40% respectivement. Mishra et Salokhe (2008) ont signalé que l'épandage d'engrais dans les pépinières est un facteur crucial dans l'augmentation de la vigueur des plantules. Singh *et al.* (1991) et Enyi (1966) ont signalé que les applications de N et de P en pépinière augmentaient la hauteur des plantes, la production de matières sèches et les teneurs en N et P des plants âgés de 25 jours.

En outre, parmi les différents paramètres étudiés, les différents traitements n'ont pas influencé la longueur des racines. En effet lorsque les plants de riz sont arrachés au sol, une partie des racines du plant restent dans le sol. Ros *et al.* (1998) ont montré dans son étude sur la gestion des pépinières que 40 à 60% des racines restaient dans le sol au moment de l'arrachage des plantules lors du repiquage. De plus, la profondeur d'arrachage des jeunes plants a été la même pour tous les traitements. L'effet du nTSP sur les racines n'est pas visible avec un nombre de racines nodales plus élevé que le témoin, mais un poids sec des racines non significatif du témoin. En effet, Ros *et al.* (1997), ont affirmé que le poids de la racine n'augmente pas uniquement sous l'effet de P, mais aussi avec l'apport simultané de N et P sur la pépinière.

Quant à la teneur très variable de N et P dans la matière sèche des plantes, elle dépend de la dose appliquée et de la disponibilité des nutriments pour chaque source d'engrais. Elle est surtout liée à la densité racinaire des plantules. L'application du NPK a donné des racines nodales plus nombreuses et plus lourdes que les autres traitements, par conséquent, les racines affichent un plus grand contact avec le sol (Hinsinger *et al.*, 2005). Ce qui facilite l'acquisition par la plante des nutriments procurés par les engrais et le sol. Par rapport aux autres traitements, la biomasse aérienne des plantules issues de nNPK contient jusqu'à 2 fois la teneur en N à raison de 8,59 g.m⁻². Panda *et al.* (1991) ont signalé que l'application de 100 kg.ha⁻¹ d'engrais N soit 10 g.m⁻² en pépinière lors du semis a amélioré la vigueur des plantules mesurée en poids sec et en concentration d'azote dans le tissu végétal au moment du repiquage. En ce qui concerne la concentration en P dans les jeunes plants avec une dose fixe appliquée, les plantules du nNPK ont acquis respectivement jusqu'à 3 fois plus de P que le témoin et les plantules du nTSP à Behenjy ont bénéficié 2 fois plus de P que le témoin.

La durée en pépinière des plantules de riz à Behenjy est plus longue que celle d'Antohobe. En effet, le climat est différent entre les deux zones. Par rapport à Behenjy, Antohobe a enregistré une température plus élevée qui favorise le développement rapide des plantules.

Ainsi, l'application d'une fertilisation en pépinière ne peut augmenter la vigueur des plantules que lorsque les éléments N-P-K y sont présents, c'est le cas de l'engrais minéral NPK. Il en est de même pour les engrais organiques guanomad et lombricompost. Cependant, pour avoir plus de vigueur il est mieux de combiner l'engrais minéral avec de l'engrais organique. En effet, l'engrais organique associée à l'engrais minéral constitue une fertilisation pouvant assurer l'équilibre entre les apports et les besoins des plantes (Giller *et al.*, 2002). Ros *et al.* (2015) ont affirmé que l'ajout de fumier et d'engrais inorganique augmente encore la hauteur des plantes et le nombre de feuilles d'environ 28% et la matière sèche des racines et des biomasses aériennes respectivement de 60% et 13%. L'effet du TSP sur la vigueur des plantules n'est pas aussi visible que celui des autres traitements à cause d'une disponibilité limitée de N du sol qui a masqué l'effet du P. L'apport de P en pépinière doit être toujours accompagné d'un apport de N. Ros *et al.* (1997) ont affirmé que l'application de N et de P dans la pépinière de riz a produit

respectivement 50% et 100% de matière sèche en plus par rapport au traitement témoin. Panda *et al.* (1991) ont indiqué que les plants repiqués issus des pépinières fertilisées étaient plus performants que ceux repiqués avec des plants de pépinières non fertilisés et présentaient de meilleures caractéristiques avec un système racinaire dense, une plus grande vigueur des pousses, des plantules plus hautes.

Par conséquent, la première hypothèse qui stipule que « L'application d'une micro-dose de P en pépinière influe sur la vigueur des plantules au moment de la transplantation » n'est que partiellement vérifiée.

3.2.Effet de la fertilisation en pépinière combinée à celle au champ principal sur la croissance des plants et le rendement en grains du riz

D'après les résultats, les traitements sur pépinière affectent de manière significative la croissance des plants après le repiquage. Au moment du tallage maximal, la hauteur des plantes issues des plantules vigoureuses est nettement significative par rapport aux plants sans fertilisation en pépinière, un accroissement de la hauteur des plantes de 16% et 18% est identifié. En ce qui concerne le nombre de talles, les plants issus du nNPK produisent 30% et 25% plus de talles respectivement pour Antohobe et Behenjy par rapport à celle issue de nP0. Singh *et al.* (2005) ont signalé que la hauteur des plantules et la croissance du riz ont augmenté de manière significative avec l'augmentation du niveau de NPK dans les pépinières allant jusqu'à 200-100-50 kg.ha⁻¹ soit 20-10-5 g.m⁻². Quant au rendement en grains, la fertilisation en pépinière affecte de manière significative les rendements. Le traitement nNPK, donnant des plantules les plus vigoureuses, produit beaucoup plus de grains que les autres traitements et un accroissement jusqu'à 16% et 28% a été constaté respectivement pour Antohobe et Behenjy. La vigueur des plantules contribue de manière importante à la croissance du riz au champ principal, à la qualité ultérieure du tallage et au rendement du riz (Tekrony et Egli, 1991 ; Raju *et al.*, 2001). Palada et Vegara (1972) ont observé que des rizières transplantées avec des plants sains et vigoureux issus de pépinières fertilisées avec N et P étaient performants et ont produit des rendements en grains 2 à 5 fois plus élevés que ceux des plants issus des pépinières non fertilisées.

Par ailleurs, le traitement NPK sur champ principal a été le plus performant. Par rapport au champ principal sans fertilisation P0, il a généré une hausse de hauteur des plantes de 37% et 29% et a produit jusqu'à 2 fois et 3 fois plus de talles respectivement pour Antohobe et Behenjy. Cette affirmation est confirmée par le rendement en grains à la récolte où une augmentation de 60% est observée entre NPK et P0. En effet ce résultat est tout à fait logique, car un meilleur rendement ne pourrait être obtenu qu'avec une application complète et équilibrée de nutriments à base de NPK. Une meilleure productivité des cultures est obtenue lorsque les nutriments sont appliqués à la dose optimale requise par les plantes cultivées (Zaman *et al.*, 2007). Ceci est confirmé par le résultat obtenu par Yousaf *et al.* (2016) indiquant que la fertilisation sous NPK pour le riz était statistiquement meilleure que les autres traitements avec NP, NK ou PK. Ainsi,

les rendements maximaux sont obtenus avec la combinaison des traitements en pépinière nNPK et nGN avec le traitement NPK au champ principal. Une bonne nutrition minérale du riz ne peut être réalisée qu'avec un équilibre des différents éléments minéraux du sol (Flisch *et al.*, 2008).

Les résultats obtenus au cours des présents essais sont similaires à ceux obtenus par Rinasoa (2017) pour lesquels, des augmentations du nombre de talles, de la hauteur des plantes et du rendement en grains respectivement de 75%, 30% et 55% ont été observées avec des plantules issues de l'engrais NPK 11-22-16 en pépinière par rapport aux plants de riz sans fertilisation en pépinière. Farooq *et al.* (2007) ont également constaté une tendance croissante de la hauteur des plantes après la transplantation de plantules vigoureuses en pépinière. Ros *et al.* (1997), Ros *et al.* (1998) ont aussi signalé que la fertilisation de la pépinière avec N et P a fait augmenter la taille des plantules pour la transplantation (10%) et aussi le rendement en grains (15%). Cette augmentation est plus élevée sur champ n'ayant pas reçu de fertilisants au champ P0 ou n'ayant pas reçu de P. Cependant, l'application de la micro-dose de P en pépinière ne peut en aucun cas remplacer la fertilisation au champ principal, ce n'est qu'un atout pour améliorer la croissance des plants après le choc de la transplantation. Les résultats montrent ainsi que l'effet des traitements sur pépinière est beaucoup plus important dans des conditions de stress, dont le stress nutritionnel (Adhikari *et al.*, 2013). Effectivement pendant la transplantation, les plantes subissent un choc et les plantules vigoureuses caractérisées par des plantes plus hautes avec des biomasses aérienne et racinaire plus élevées et des teneurs en N et P considérablement élevés ont récupéré plus rapidement après le choc de la transplantation. Comme après la transplantation, les jeunes plants vont faire face à la submersion, ceux les plus hauts ne sont pas totalement submergés, car la submersion totale diminue l'activité photosynthétique des plants et bloque le transport d'oxygène vers les racines et par conséquent le transport des nutriments. Ce processus retarde ainsi la croissance des plants de riz. D'après Ros *et al.* (2015), l'épandage d'engrais en pépinière engendre des plantules plus vigoureuses qui peuvent survivre à la submersion et se développer avec ou sans stress nutritionnel après le repiquage, et par conséquent, entraîne une augmentation de rendement en riz. L'effet bénéfique de l'engrais en pépinière s'ajoute à celui obtenu avec l'engrais appliqué au champ principal. De plus, les racines des jeunes plants plus nombreuses et plus denses facilitent l'enracinement précoce au champ après la transplantation et aide à l'acquisition rapide des nutriments au champ.

Particulièrement, le traitement N au champ principal a donné des plants de riz moins longs qui fournissent moins de talles et produisent moins de grains par rapport au témoin P0. Ce résultat s'explique par un fort déséquilibre azote-phosphore du sol. Le sol est déjà déficient en P alors l'apport de N sans P peut accentuer la carence en P. Grist (1975) a montré que l'alimentation en N des plantes était fonction de la teneur en P. Sircar et Sen (1941) ont trouvé que la déficience en P est à l'origine de la réduction progressive de la taille et du tallage du riz. Traoré (1974) a conclu que la réponse à l'azote ne peut être obtenue qu'une fois que la déficience en P a été corrigée. Le P est nettement un facteur limitant dans ces sols: il est efficace même en l'absence

de N alors que le N n'est pas efficace en l'absence de P. L'efficacité du P est plus accentuée en présence de N. Ainsi, le N permet une meilleure utilisation du P. Ainsi, la micro-dose de P en pépinière aide les plants de riz à utiliser mieux le N au champ principal. Cette affirmation est prouvée par le nombre de talles et le rendement en grains issus du traitement N/nNPK où N/nNPK produit 6 talles de plus et 1,6 fois plus de grains que N/nP0 pour Antohobe et 3 talles/pied de plus et 1,9 fois plus de grains pour Behenjoy. En outre, les plants de riz déficients en P sont rabougris, possèdent peu de talles et la maturation est retardée (Chaudhary *et al.*, 2003). En effet les parcelles traitées avec N seul étaient les dernières à être récoltées à cause d'une maturité tardive des grains.

En ce qui concerne l'effet du traitement P sur champ principal, les plants produisent 2 fois plus de talles, un accroissement de hauteur de 15% et un gain de rendement de 15% pour Antohobe et 40% pour Behenjoy par rapport à P0. L'effet du traitement P0/nNPK et du traitement P, quels que soient les traitements sur pépinière, sur la hauteur, le nombre de talles et les rendements en grains ont été similaires alors que les doses appliquées ont été très différentes 25 kg de P.ha⁻¹ contre 3 kg de P.ha⁻¹.

Toutefois, la présence simultanée de N et P au champ avec une dose équilibrée a induit une interaction positive qui se traduit par une augmentation de la hauteur des plantes au tallage maximal de 7% et du rendement en grains du riz de 10% et 60% respectivement pour Antohobe et Behenjoy par rapport au traitement P. On peut en déduire que la fertilisation à base de N et P est importante dans la production rizicole.

Entre les deux sites et pour tous les traitements, Antohobe a donné des plants plus hauts, des talles plus nombreuses et des rendements en grains plus élevés par rapport à Behenjoy. Cette différence peut s'expliquer par le climat assez chaud à Antohobe avec une différence de température de 1,8°C durant l'expérimentation et par les sols assez riches en P assimilable et en carbone organique.

Ainsi, la deuxième hypothèse qui suggère que « La fertilisation sur la pépinière améliore la croissance et le développement des plants au champ et augmente les rendements en grains » est confirmée.

3.3. Analyse économique de la technique

La technique économiquement viable et intéressante est celle qui donne un coût de revient bas avec un retour sur investissement positif et élevé et un bénéfice élevé. Pour cette étude, un CR supérieur à 900Ar et un RSI négatif indiquent une perte.

D'après nos résultats, pour Behenjoy, la production issue de la modalité de traitement NPK/nNPK est la plus rentable avec un RSI de 117%, un CR est de 415 Ar.kg⁻¹ et un bénéfice net de 283,65 Ar. Cette modalité de traitement a donné le rendement la plus élevé. Cela justifie l'importance d'une fertilisation complète et équilibrée tant en pépinière qu'au champ principal pour obtenir un

meilleur rendement et par la suite engendrant un bénéfice net élevé. Le coût de production suffisamment élevé par rapport à ceux des autres traitements est compensé par la valeur de la production très élevée due aux dépenses en engrais élevés. Pour Antohobe, les traitements qui ont produit des bénéfices nets élevés ne correspondent pas à celui qui a donné un RSI élevé et un CR bas. En effet, la production issue des traitements NPK/nNPK et NPK/nGN ont été les plus élevés, générant des bénéfices nets très élevés. Cependant, leur coût de production est aussi élevé. Par conséquent, le RSI par 1Ar investi dans la production demeure faible et le CR par kg de paddy est assez élevé par rapport à ceux du traitement P0/nNPK dont le coût de production est suffisamment faible. Ainsi, un faible investissement génère une faible production (Razafimahefa, 2003), mais peut donner plus de bénéfice par Ar investi, et plus d'investissement génère plus de bénéfice. Toutefois, pour Antohobe, le traitement P0/nNPK produit plus de bénéfice par Ar investi, mais les paysans ne peuvent pas vendre qu'une petite partie de leur production qui est avant tout destinée à l'autoconsommation.

Les résultats pour Antohobe et Behenjy sont différents en ce qui concerne les modalités des traitements efficaces et rentables. Effectivement, pour Antohobe, les sols assez riches et le climat assez chaud donnent une production moyennement élevée même sans fertilisation au champ, c'est le cas avec le traitement P0/nNPK. Alors que pour Behenjy, le traitement P0 au champ engendre une production moindre qui arrive seulement à couvrir les dépenses de production. Par contre, le traitement NPK au champ a généré un revenu suffisamment important pour les deux sites, suivi du traitement NP. Concernant le champ N, un très faible bénéfice net est obtenu avec un coût de revient élevé à cause d'une production faible alors que le coût de production est élevé.

Le traitement nVC est le moins rentable parce que son coût de production est deux fois plus élevé par rapport à nP0 sans fertilisation au champ. Même si la production est moyennement élevée pour chaque traitement au champ, la valeur de la production ne permet pas de couvrir son coût de production très élevé qui est dû à la quantité élevée de lombricompost nécessaire en pépinière pour obtenir la dose de 6 g de P.m⁻².

Dans cette analyse économique, seuls les grains sont valorisés en produit commercialisable. Cependant, au niveau d'une exploitation agricole, les pailles de riz ont une valeur assez importante et doivent être aussi incluses dans le calcul économique. En considérant ce paramètre, le RSI et le revenu sera supérieur à ceux présentés dans cette étude. Comme l'étude économique effectuée par Sudha Rani (2012) sur la technique de gestion des éléments nutritifs en pépinière en utilisant plusieurs variations de dose de nutriments, le résultat a montré que le RSI varie de 2,66 à 3,5.

Effectivement, les traitements les plus rentables économiquement sont ceux qui ont donné les plantules plus vigoureuses en pépinière et offrant des rendements en grains élevés avec des dépenses moindres en fertilisation. Ainsi, la troisième hypothèse qui stipule que : « L'application d'une micro-dose de P en pépinière améliore la rentabilité économique de la production » est

partiellement confirmée puisque le traitement nVC en pépinière n'a pas amélioré la rentabilité économique de la production.

3.4.Recommandations

Cette étude est basée sur la fertilisation en pépinière par l'apport d'une micro-dose de P en riziculture irriguée. D'après les résultats obtenus par cette étude et ceux par de nombreux auteurs, une production rizicole élevée est obtenue par une fertilisation en pépinière combinée à une fertilisation au champ principal avec les nutriments nécessaires pour la culture et les doses optimales recommandées.

Comme il s'agit de la deuxième année d'expérimentation, des améliorations ont été déjà effectuées par rapport à la première année. Toutefois, pour la suite de la recherche, quelques recommandations méritent d'être émises :

- Réaliser des répétitions de l'expérimentation pendant quelques années dans le temps et dans l'espace pour confirmation des résultats obtenus ;
- Réduire l'effet de la déficience en N et K du sol au même titre que P par l'apport de micro-doses de N, P et K appliqués sur pépinière ;
- Respecter l'équilibre des éléments nutritifs dans les fertilisants à apporter, tant en pépinière que sur rizière, tout en évitant les interactions négatives entre eux, particulièrement entre N et P.

CONCLUSION

L'expérimentation a été menée dans le but de tester l'effet d'une micro-dose de P sur la pépinière de la riziculture irriguée dans deux Communes de la Région Vakinankaratra afin de diminuer l'effet de la déficience en P du sol et améliorer le rendement. Cette étude fait suite à celle effectuée par Rinasoa (2017). Spécifiquement, elle vise à déterminer les caractéristiques morphologiques des jeunes plants ainsi que leur vigueur au moment de la transplantation pour chaque traitement sur pépinière, étudier l'impact de la fertilisation sur pépinière combinée avec la fertilisation au champ principal sur la croissance et le développement des plants de riz et leurs rendements en grains et évaluer enfin la rentabilité économique de la technique pour chaque modalité de traitement.

Les résultats ont montré que les traitements sur pépinière nNPK procurent plus de vigueur aux jeunes plants avec des plantules plus hautes, produisant plus de biomasses aérienne et racinaire et ayant acquis des teneurs suffisamment élevés en N et P. Grâce à ces caractéristiques, les jeunes plants ont facilement la capacité de se rétablir après le choc de la transplantation par rapport aux autres plantules moins vigoureuses. Toutefois, il a été démontré que la fertilisation sur pépinière ne peut pas substituer la fertilisation au champ principal, ce n'est qu'un avantage pour les plants dont ils ont besoin pour leur croissance et développement. Les résultats ont mis en exergue l'importance d'un équilibre des nutriments au champ pour assurer un meilleur développement des plantes notamment un équilibre entre N, P et K. Un déséquilibre entre ces éléments entraîne des rendements faibles avec une rentabilité non satisfaisante comme le cas du traitement N au champ. Les traitements nNPK et nGN en pépinière combinés avec le traitement NPK au champ principal ont donné des rendements élevés et sont économiquement plus rentables avec un coût de production élevé couvert par un bénéfice satisfaisant : coût de revient bas, RSI et bénéfice net élevés. Le traitement sur pépinière nVC n'est pas économiquement viable parce qu'elle a besoin d'une quantité élevée en lombricompost.

Au terme de cette étude, il faut dire que l'application d'une micro-dose de P en pépinière contribue effectivement à diminuer l'effet de la déficience en P du sol par un meilleur prélèvement en P par les plantes s'il est associé avec N et K et par conséquent à améliorer le rendement et la production du riz. La micro-dose de P influe sur la vigueur des plantules, améliorent la croissance et le développement du riz tout en augmentant effectivement les rendements et la production. La rentabilité économique de la production est améliorée mais dépend de quelques facteurs dont la disponibilité, la quantité nécessaire et le prix des fertilisants.

BIBLIOGRAPHIES

- Adhikari B. B., Mehera B., Haefele S., 2013. Impact of Rice Nursery Nutrient Management, Seeding Density and Seedling Age on Yield and Yield Attributes. *American Journal Plant Sciences*, 4, 146-155
- Chaudhary R.C., Nanda J.S., Tran D.V., 2003. Guide d'identification des contraintes de terrain à la production de riz. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Rome. 79p.
- Dobermann A., Fairhurst T., 2000. Rice: Nutrient Disorders & Nutrient Management. Handbook Series, Potash & Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute. 191 p.
- Dobermann A., Cassman K.G., Mamaril C.P., Sheehy J.E., 1998. Management of phosphorus, potassium, and sulfur in intensive, irrigated lowland rice. *Field Crop Res* 56, 113–138.
- Enyi C.A., 1966. The effect of nursery and field fertilization on the growth and yield of rice variety bg79. *Ghana journal of Science*. 6 (1-2): 41-51.
- Farooq M., Basra S. M. A., Ahmad N., 2007. Improving the Performance of Transplanted Rice by Seed Priming, *Plant Growth Regulation*, Vol. 51, No. 2, pp. 129-137.
- Flisch R., Hausherr R.M., Brack E., 2008. Effets d'une fertilisation sub-optimale en grandes cultures. *Revue Suisse Agric.* 40 (1). pp 11- 16.
- Giller K.E., Cadisch G., Palm C., 2002. The North-South divide: Organic wastes or resources of nutrient management. *Agronomy* 22: 703-709.
- Grant C.A., Flaten D.N., Tomaszewicz D.J., Sheppard S.C., 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Can. J. Plant Sci.* 81, 211–224.
- Grist D.H., 1975. Rice. Longman, London. 601.
- Hinsinger P., Gobran G., Gregory P., Wenzel I. W., 2005. Rhizosphere geometry and heterogeneity arising from root-mediated physical and chemical processes. *New Phytol* 168, 293-300
- Lacharme M., 2001. La fertilisation minérale du riz. « Mémento Technique de Riziculture » Fascicule 6. Coopération Française. 19pp.
- Matsuo T. and Hoshikawa K., 1993. Science of the rice plant, morphology. Food and Agricultural Policy Research Center, Tokyo, Japan. 1: 686.

- Mishra A. and Salokhe V.M. 2008. Seedling characteristics and the early growth of transplanted rice under different water regimes. *Experimental Agriculture*. 44: 1-19.
- Murphy J., Riley J.P., 1962. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 26 ; pp 31 - 36.
- Palada M.C and Vegara B.S., 1972. Environmental effects on the resistance of seedlings to complete submergence. *Crop Science*. 12: 209-212.
- Panda M.M., Reddy M.D, Sharma A.R., 1991. Yield performance of rainfed lowland rice as affected by nursery fertilizer under conditions of intermediate deep water (15-50 cm) and flash floods. *Plant and Soil*. 132: 65-71.
- Rabeharisoa L., 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Naturelles. Faculté des Sciences- Université d'Antananarivo, Madagascar. 202 pp
- Rabeharisoa L., Razanakoto O.R., Razafimanantsoa M.P., Rakotoson T., Amery F., Smolders E., 2012. Larger bioavailability of soil phosphorus for irrigated rice compared with rainfed rice in Madagascar: results from a soil and plant survey. *Soil Use Manage*. 28, 448–456.
- Raju R.A., Reddy M.N, Gangwar, B. 2001. Nursery fertilization of rice (*Oryza sativa*) with native weed vegetation. *Indian Journal of Agronomy*. 46 (1): 94-100.
- Rakotoson T, Six L., Razafimanantsoa M. P., Rabeharisoa L., Smolders E., 2015. Effects of organic matter addition on phosphorus availability to flooded and nonflooded rice in a P-deficient tropical soil: a greenhouse study . *Soil Use and Management*. 31 : 10–18.
- Razafimahefa H. T., 2003. Etude agronomique en vue de comparer les systèmes de riziculture adoptés par typologie de producteurs dans la Région Bongatsara, Mémoire d'ingénieur. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo Madagascar, 72pages.
- Rinasoa S., 2017. Application de micro-dose de phosphore sur la pépinière de la riziculture irriguée (*Oryza sativa L.*). Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme d'ingénieur agronome au grade de Master II, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo Madagascar.31p.
- Ros C., Bell R.W, White P.F., 1997. Nursery applications of N and P increase rice (*Oryza sativa L.*) yield. *Kasetsart Journal of Natural Science*. 31: 96-105.
- Ros C., White P.F, Bell R.W., 1998. Field survey on nursery and main field fertilizer management. *Cambodian Journal of Agriculture*. 1: 22-23.

- Ros C., White P.F., Bell R.W., 2003. Seedling vigour and the early growth of transplanted rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil*. 252: 325-337.
- Ros C., White R., Bell P., 2015. Nursery fertilizer application increases rice growth and yield in rainfed lowlands with or without post-transplanting crop stress. *Scientific Research Publishing Inc . American Journal of Plant Sciences*, 6, 2878-2892.
- Singh S. K., Pande N. C., Shukla S. N., 1991. Response of rice varieties to nitrogen levels under intermediate deep water condition (15–50 cm). *Oryza*, 28, 115–116.
- Singh K.N., Badrul Hasan., Kanday B.A, Bhat A.K. 2005. Effect of nursery fertilization on seedling growth and yield of rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agronomy*. 50 (3): 187-189.
- Sircar S.M., Sen N.K., 1941. Studies in physiology of rice. Effect of phosphorus deficiency on growth and nitrogen metabolism of rice leaves. *Indian J.Agric. Sci*, 193-204.
- Sudha Rani A., 2012. Rice yield as affected by seedling vigour through nutrient management techniques in nursery. To obtain the degree of Master of Science in Agriculture. Department of Agronomy. Acharya n. G. Ranga Agricultural University. 62p.
- Tandon H.L.S., 1987. Phosphorus Research and Agricultural Production In india. FDCO, New Delhi. 50-120.
- Tekrony D.M, Egli D.B. 1991. Relationship of seed vigour to crop yield: a review. *Crop Science*. 31, 816-822.
- Traoré M.F., 1974. Etude de la fumure minérale intensive des céréales et du rôle spécifique de la matière organique dans la fertilité des sols du Mali. *Agronomie Tropicale*. 29: 567-586.
- Vandamme E., Wissuwa M., Rose T., Ahouaton K., Saito K., 2016. Strategic phosphorus (P) application to the nursery bed increases seedling growth and yield of transplanted rice at low P supply. *Field Crops Research*. 186: 10–17.
- Vergara B.S., 1984. Manuel pratique de riziculture traduit par Chantal Roger. International Rice Research Institute. Los Banos, Philippines. 215p.
- Yoshida S., 1981. Mineral Nutrient of Rice: In *Fundamentals of Rice Crop Science*. IRRI, Los Banos. pp. 111- 146
- Yousaf M, Li X, Zhang Z, Ren T, Cong R, Ata-Ul-Karim ST, Fahad S, Shah AN, Lu J. 2016. Nitrogen fertilizer management for enhancing crop productivity and nitrogen use efficiency in a rice-oilseed rape rotation system in China. *Frontiers in Plant Science*.;7:1496.

Zaman SM, Amin MR, Choudhury DA, Choudhury RU, Hossain MI. 2007. Yield response of boro and T. aman rice to NPK fertilizers in high Ganges Floodplain soil. Intl J Sustain Crop Prod 2:18-22.

ANNEXES

Liste des annexes

Annexe 1 : Données climatiques à Behenjy et Antohobe durant l'expérimentation.....	II
Annexe 2 : Coûts totaux des intrants	II
Annexe 3 : Prix des intrants.....	III
Annexe 4 : Charges totales en travaux	III
Annexe 5 : Calcul économique pour 1 m ² de champ pour chaque modalité de traitements	IV
Annexe 6 : Réalisation des activités durant l'expérimentation	V
Annexe 7 : Résultats des analyses ANOVA.....	VI

Annexe 1 : Données climatiques à Behenjy et Antohobe durant l'expérimentation

MOIS	Température (°C)		Précipitations (mm)	
	Antohobe	Behenjy	Antohobe	Behenjy
décembre	22,43	20,63	294	393
janvier	21,59	20,16	637	479
février	21,56	20,60	173	149
mars	22,04	19,78	132	108
avril	20,69	18,11	105	81

Source : Stations météorologiques à Behenjy et à Antohobe

Annexe 2 : Coûts totaux des intrants

TCP	TP	coûts des engrais (Ar/m ²)	coûts des semences (Ar/m ²)	coûts totaux des intrants
P0	nP0	0,00	4,5	4,50
	nTSP	4,06	4,5	8,56
	nNPK	7,73	4,5	12,23
	nGN	7,32	4,5	11,82
	nVC	118,81	4,5	123,31
N	nP0	39,13	4,5	43,63
	nTSP	43,19	4,5	47,69
	nNPK	46,86	4,5	51,36
	nGN	46,45	4,5	50,95
	nVC	157,94	4,5	162,44
P	nP0	33,85	4,5	38,35
	nTSP	37,91	4,5	42,41
	nNPK	41,58	4,5	46,08
	nGN	41,17	4,5	45,67
	nVC	152,66	4,5	157,16
NP	nP0	72,98	4,5	77,48
	nTSP	77,04	4,5	81,54
	nNPK	80,71	4,5	85,21
	nGN	80,30	4,5	84,80
	nVC	191,79	4,5	196,29
NPK	nP0	93,38	4,5	97,88
	nTSP	97,44	4,5	101,94
	nNPK	101,10	4,5	105,60
	nGN	100,70	4,5	105,20
	nVC	212,19	4,5	216,69

Annexe 3 : Prix des intrants

Intrants	Semences	Guanomad	Vermicompost	NPK	Urea	TSP	KCl
Coûts (Ar/kg)	1500	1500	1200	1800	1800	2620	3000

Annexe 4 : Charges totales en travaux

	Activités	Besoins en MO (HJ/ha)	Besoins en MO (HJ/m²)
Pépinière de 5 ares pour 1 ha de champ principal	– labour	5	0,0005
	– mise en place des diguettes	1	0,0001
	– émottage- planage et finition	5	0,0005
	– épandage engrais	1	0,0001
	– semis	0,5	0,00005
	– irrigation-entretiens	5	0,0005
	– arrachage et transports des jeunes plants	12	0,0012
Champ principal	– labour	50	0,005
	– hersage	25	0,0025
	– entretiens canaux et raffermisssement des diguettes	10	0,001
	– planage et finition	10	0,001
	– 1^{er} épandage engrais	5	0,0005
	– 2^e épandage engrais	5	0,0005
	– repiquage	30	0,003
	– 1 ^{er} sarclage	20	0,002
	– 2 ^e sarclage	15	0,0015
	– irrigation et entretiens	10	0,001
	– récolte	20	0,002
	– transport	15	0,0015
	– battage-séchage-vannage	30	0,003
	Total (HJ)	274,5	0,02745
	Prix MO/jour(Ar)	5 000	5 000
	Somme des charges en travaux (Ar)	1 372 500	137,25

Les activités présentées en **gras** dépendent du type de traitements appliqués.

Annexe 5 : Calcul économique pour 1 m² de champ pour chaque modalité de traitements

site	TCP	TP	Rendement (g/m ²)	Valeur de la production (Ar)	Coûts des engrais (Ar/m ²)	Coûts semences (Ar/m ²)	Dépense en travaux (Ar)	Coût de production (Ar)	RSI	CR (Ar/kg)
Anth	P0	nP0	329	296,10	0,00	4,5	131,75	136,25	1,17	414
Anth		nTSP	378	340,20	4,06	4,5	132,25	140,81	1,42	373
Anth		nGN	347,75	312,98	7,32	4,5	132,25	144,07	1,17	414
Anth		nVC	377,5	339,75	118,81	4,5	132,25	255,56	0,33	677
Anth		nNPK	412	370,80	7,73	4,5	132,25	144,48	1,57	351
Anth	N	nP0	242,5	218,25	39,13	4,5	136,75	180,38	0,21	744
Anth		nTSP	317,25	285,53	43,19	4,5	137,25	184,94	0,54	583
Anth		nGN	331	297,90	46,45	4,5	137,25	188,20	0,58	569
Anth		nVC	320	288,00	157,94	4,5	137,25	299,69	-0,04	937
Anth		nNPK	397	357,30	46,86	4,5	137,25	188,61	0,89	475
Anth	P	nP0	430,25	387,23	33,85	4,5	134,25	172,60	1,24	401
Anth		nTSP	452,75	407,48	37,91	4,5	134,75	177,16	1,30	391
Anth		nGN	442,25	398,03	41,17	4,5	134,75	180,42	1,21	408
Anth		nVC	444,75	400,28	152,66	4,5	134,75	291,91	0,37	656
Anth		nNPK	395	355,50	41,58	4,5	134,75	180,83	0,97	458
Anth	NP	nP0	450,75	405,68	72,98	4,5	136,75	214,23	0,89	475
Anth		nTSP	428,5	385,65	77,04	4,5	137,25	218,79	0,76	511
Anth		nGN	500,75	450,68	80,30	4,5	137,25	222,05	1,03	443
Anth		nVC	511,75	460,58	191,79	4,5	137,25	333,54	0,38	652
Anth		nNPK	494,75	445,28	80,71	4,5	137,25	222,46	1,00	450
Anth	NPK	nP0	542,25	488,03	93,38	4,5	136,75	234,63	1,08	433
Anth		nTSP	583,75	525,38	97,44	4,5	137,25	239,19	1,20	410
Anth		nGN	627	564,30	100,70	4,5	137,25	242,45	1,33	387
Anth		nVC	569,5	512,55	212,19	4,5	137,25	353,94	0,45	621
Anth		nNPK	616	554,40	101,10	4,5	137,25	242,85	1,28	394
Beh	P0	nP0	171,75	154,58	0,00	4,5	131,75	136,25	0,13	793
Beh		nTSP	203	182,70	4,06	4,5	132,25	140,81	0,30	694
Beh		nGN	195,25	175,73	7,32	4,5	132,25	144,07	0,22	738
Beh		nVC	190,75	171,68	118,81	4,5	132,25	255,56	-0,33	1340
Beh		nNPK	279,5	251,55	7,73	4,5	132,25	144,48	0,74	517
Beh	N	nP0	158,5	142,65	39,13	4,5	136,75	180,38	-0,21	1138
Beh		nTSP	194	174,60	43,19	4,5	137,25	184,94	-0,06	953
Beh		nGN	226	203,40	46,45	4,5	137,25	188,20	0,08	833
Beh		nVC	220	198,00	157,94	4,5	137,25	299,69	-0,34	1362
Beh		nNPK	343,5	309,15	46,86	4,5	137,25	188,61	0,64	549
Beh	P	nP0	273,5	246,15	33,85	4,5	134,25	172,60	0,43	631
Beh		nTSP	301,5	271,35	37,91	4,5	134,75	177,16	0,53	588
Beh		nGN	298,25	268,43	41,17	4,5	134,75	180,42	0,49	605
Beh		nVC	288,25	259,43	152,66	4,5	134,75	291,91	-0,11	1013

Beh		nNPK	304,25	273,83	41,58	4,5	134,75	180,83	0,51	594
Beh	NP	nP0	411,75	370,58	72,98	4,5	136,75	214,23	0,73	520
Beh		nTSP	466	419,40	77,04	4,5	137,25	218,79	0,92	470
Beh		nGN	484,5	436,05	80,30	4,5	137,25	222,05	0,96	458
Beh		nVC	436,5	392,85	191,79	4,5	137,25	333,54	0,18	764
Beh		nNPK	508,25	457,43	80,71	4,5	137,25	222,46	1,06	438
Beh		NPK	nP0	557,75	501,98	93,38	4,5	136,75	234,63	1,14
Beh	nTSP		482,5	434,25	97,44	4,5	137,25	239,19	0,82	496
Beh	nGN		472,75	425,48	100,70	4,5	137,25	242,45	0,75	513
Beh	nVC		560,75	504,68	212,19	4,5	137,25	353,94	0,43	631
Beh	nNPK		585	526,50	101,10	4,5	137,25	242,85	1,17	415

Annexe 6 : Réalisation des activités durant l'expérimentation

Activités	Antohobe	Behenjoy
Mise en place de la pépinière et semis	8 novembre 2017	27 octobre 2017
Repiquage et 1^{ère} épandage engrais	30 novembre 2017	22 novembre 2017
1^{ère} sarclage	18 décembre 2017	19 décembre 2017
2^{ème} sarclage	15 janvier 2018	16 janvier 2018
2^{ème} épandage engrais	17 janvier 2018	18 janvier 2018
Récolte échelonnée suivant la maturité des grains du riz	4 avril 2018	5 avril 2018
	18 avril 2018	19 avril 2018
		27 avril 2018

Annexe 7 : Résultats des analyses ANOVA

Au moment du repiquage

Nombre de feuilles Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	13,52	3,380	12,68	5,47e-07 ***
Residuals	45	12,00	0,267		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Nombre de feuilles Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	11,32	2,8300	16,12	2,92e-08 ***
Residuals	45	7,90	0,1756		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Nombre de racines nodales Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	353,5	88,37	10,07	6,6e-06 ***
Residuals	45	395,0	8,78		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Nombre de racines nodales Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	235,5	58,88	6,331	0,000395 ***
Residuals	45	418,5	9,30		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Hauteur des plantules Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	613,8	153,44	42,29	1,07e-14 ***
Residuals	45	163,3	3,63		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Hauteur des plantules Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	952,7	238,18	65,66	<2e-16 ***
Residuals	45	163,2	3,63		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Longueur des racines Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	16,13	4,033	1,553	0,203
Residuals	45	116,88	2,597		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Longueur des racines Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	30,13	7,533	2,345	0,0689 ,
Residuals	45	144,55	3,212		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Poids sec de la biomasse aérienne Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	0,002408	0,0006021	30,82	4,47e-07 ***
Residuals	15	0,000293	0,0000195		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Poids sec de la biomasse aérienne Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	0,004466	0,0011166	13,91	6,2e-05 ***
Residuals	15	0,001204	0,0000803		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Poids sec des racines Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	0,0004315	1,079e-04	2,101	0,131
Residuals	15	0,0007703	5,135e-05		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Poids sec des racines Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	0,001545	0,0003863	6,424	0,00322 **
Residuals	15	0,000902	0,0000601		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Concentration en P de la biomasse aérienne Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	0,19815	0,04954	15,96	2,79e-05***
Residuals	15	0,04657	0,00310		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Concentration en P de la biomasse aérienne Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	0,13052	0,03263	8,54	0,000845 ***
Residuals	15	0,05732	0,00382		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Teneur en N de la biomasse aérienne Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	1208,6	302,15	34,88	1,97e-07 ***
Residuals	15	129,9	8,66		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Teneur en N de la biomasse aérienne Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	951,9	237,96	15,34	3,51e-05 ***
Residuals	15	232,6	15,51		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Au tallage maximal

Hauteur des plantes Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	1391	347,8	21,420	2,14e-15 ***
TCP	4	8507	2126,8	130,980	< 2e-16 ***
TP : TCP	16	835	52,2	3,215	4,21e-05 ***
Residuals	275	4465	16,2		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Hauteur des plantes Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	1929	482,2	34,88	< 2e-16 ***
TCP	4	6322	1580,4	114,30	< 2e-16 ***
TP : TCP	16	737	46,0	3,33	2,37e-05***
Residuals	275	3802	13,8		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Nombre de talles Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	326	81,6	7,770	6,04e-06 ***
TCP	4	3812	952,9	90,714	< 2e-16 ***
TP : TCP	16	223	13,9	1,327	0,18
Residuals	275	2889	10,5		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Nombre de talles Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	131,9	33,0	4,958	0,000711 ***
TCP	4	3000,0	750,0	112,737	< 2e-16 ***
TP : TCP	16	104,3	6,5	0,979	0,479452
Residuals	275	1829,5	6,7		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Au moment de la récolte

Rendements en grains Antohobe

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	47305	11826	3,210	0,0173 *
TCP	4	846428	211607	57,432	< 2e-16 ***
TP : TCP	16	64920	4057	1,101	0,3696
Residuals	75	276337	3684		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					

Rendements en grains Behenjy

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TP	4	95649	23912	7,762	2,73e-05***
TCP	4	1669256	417314	135,466	< 2e-16 ***
TP : TCP	16	76463	4779	1,551	0,104
Residuals	75	231044	3081		
Signif codes: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1					