

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
DE MASTER II

Mention : AGRONOMIE

Parcours : AGRO ECOLOGIE



**DIVERSITÉ DES PRATIQUES DE FERTILISATION
ORGANIQUE DU RIZ PLUVIAL DANS LE MOV –
EFFETS SUR LES PERFORMANCES DU RIZ PLUVIAL**

Présenté par :

RAKOTONDRAZAFY Nantenaina Patrick

Devant le jury composé de

Président : Mr. RAFIDIMLALA Miandritiana, Ingénieur Agronome
Examineur : Mme HANITRARIMALAL Salohy Elysa F. Ingénieur Agronome
Encadreur Pédagogique : Mr. Rivoarison RANDRIANASOLO, Docteur Es Science
Encadreur Professionnel : Mr. Patrice AUTFRAY, Docteur Chercheur CIRAD

Soutenu le 03 Aout 2018

La majorité des agriculteurs utilisent des fumures organiques à base de fèces de bovins (16 cas sur 20) et peu de à base de porcs (2), de lombri-composts (2) ou de compost (1). Les quantités estimées au champ par enquête, prélèvement et pesée ont montré une certaine variabilité (entre 1.6 et 9.8 t ha⁻¹ MS) avec une moyenne se situant autour de 4.4 t ha⁻¹, pas très éloignée de celle obtenue dans d'autres études de dans la même région.

La variabilité de la qualité de ces apports organiques est également très forte et pour l'N le meilleur indice est le taux en matières minérales, lui-même un estimateur de la contamination par le sol. La qualité de la fumure organique dépend donc principalement du taux de sol mélangé au fèces et résidus de récolte, mais aussi au mode de production exprimée en % N en relation avec la quantité de sol présente et la qualité des matériaux rajoutés. La stratégie de la majorité des agriculteurs semble être de diluer la production de fumier en le mélangeant avec le sol avant épandage, pour obtenir une quantité suffisante de manière à ce qu'elle soit appliquée partout. Seuls 3 agriculteurs pratiquent du fumier dit amélioré et semblent être les plus performants en matière de production de riz. Deux pratiquent du lombri-compost mais sa qualité reste limitée en raison d'une contamination avec le sol et dépendant d'apports de fumier à base de bovins. Le compost est seulement pratiqué par un agriculteur. Les teneurs moyennes en N P K Ca Mg des apports exprimées en %, sont 1,14, 0,25, 1,39, 0,69, 0,27, qui mettent en évidence la pauvreté relative en P dans les FO. K, N et Ca sont donc les principaux éléments apportés par les FO.

Malgré une diversité des quantités et des qualités des fumures organiques appliquées, aucune relation directe n'a pu être établie, entre les quantités d'N apporté par la fumure organique sur l'année et le rendement en riz. Le test de 2 fumures minérales, 30 et 60 N, de complément montre des réponses significatives sur le rendement, confirment que l'N est déficient sur toutes les situations. Mais la relative faible réponse à cet élément exprimée en kg de grain produit par unité d'N engrais apporté, qui augmente par ailleurs avec l'index environnemental (niveau de fertilité) suggère d'autre interaction possible avec un autre élément majeur, dont le P.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie DIEU TOUT PUISSANT de m'avoir donnée la force et la santé pour achever le présent travail.

Arrivée au terme du présent mémoire, je tiens à présenter mes reconnaissances envers les personnes physiques et/ou morales qui ont contribué à la réalisation de ce travail en l'occurrence :

- ✚ Monsieur RAFIDIMLALA Miandritiana, Ingénieur Agronome, pour l'honneur qu'il nous a fait pour présider le jury de cette soutenance de mémoire malgré ses lourdes responsabilités
- ✚ Madame HANITRARIMALAL Salohy Elysa F., Ingénieur Agronome, d'avoir accepté d'être l'examineur de ce travail
- ✚ Monsieur Rivoarison RANDRIANASOLO, Docteur Es Science, Enseignant chercheur à la faculté de science, mon encadreur pédagogique, d'avoir suivi de près l'étude du début jusqu'à la fin et qui n'a pas ménagé ses efforts dans la réalisation du présent document
- ✚ Monsieur Patrice AUTFRAY, Docteur chercheur CIRAD Antsirabe, de m'avoir proposé ce thème intéressant et d'avoir consacré une grande partie de son temps à suivre de près cette étude malgré ses nombreuses occupations.

Je tiens également à présenter mes vifs remerciements à :

- ✚ Tous les enseignants et tout le personnel administratif et technique à la GATE UNIVERSITY AMBOHIDRATRIMO
- ✚ Madame Volaniaina RAMAROSON et monsieur Manitraririna HENINTSOA pour leur précieuse volonté dans la réalisation des analyses en laboratoire à Montpellier
- ✚ L'équipe du FOFIFA et du CIRAD Antsirabe, en particulier monsieur RAKOTOFIRINGA Hery Zo Nantenaina et monsieur Narcisse MOUSSA, pour leur collaboration dans la réalisation des prélèvements des échantillons de sols dans le Moyen-ouest

Mes plus profondes gratitude s'adressent à :

- ✚ Toute ma famille, surtout ma mère, mon frère et mes quatre sœurs, pour leur encouragement et leur aide durant mes années d'étude. Je suis particulièrement reconnaissante envers Sandrine Mikkelsen RANDRIANANTENAINA.

Sans oublier tous les paysans d'Ankazomiriotra, d'Inanantonana et de Vinany qui ont accepté de collaborer pour les prélèvements des échantillons de sol dans leurs parcelles et tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation du présent ouvrage.

RÉSUMÉ	
REMERCIEMENT	
LISTE DES ABRÉVIATIONS	
LISTE DES ANNEXES	
LISTE DES ILLUSTRATIONS	
GLOSSAIRE	
INTRODUCTION.....	1
PREMIÈRE PARTIE : GENERALITE	
PRÉSENTATION GÉNÉRALE	3
1. Présentation du MOV dans la Région du Vakinankaratra	3
2. Les systèmes d'exploitation dans le MOV	5
3. Le riz pluvial dans le MOV	6
4. La fertilisation (organique et minérale).....	7
CADRE D'ETUDE	10
5. Présentation DP SPAD	10
6. Projet SECURE	11
7. Objectifs	12
DEUXIÈME PARTIE : Matériels et Méthodes	
MATÉRIELS ET METHODES	13
8. Sols	13
9. Pratiques	13
10. Fumiers	14
11. Riz.....	14
TROISIEME PARTIE: Résultats et Discussions	
RESULTATS	16
12. Sols	16
13. Cultures Pratiquées	20
14. Fumiers	22
15. Riz.....	25
DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS	32
16. Modalités et qualité des apports organiques.....	32
17. N total des apports organiques et performances du riz.....	33
18. Effet des fertilisations N.....	35
CONCLUSION	
CONCLUSION	37

19.	Résultats nouveaux obtenus.....	37
20.	Perspectives	37

AFD : Agence française du développement

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

Da: Densité apparente

GPS: *Global positioning system*

GSDM: Groupement semis direct de Madagascar

MO : Matière organique

ONG : Organisation non gouvernementale

RN : Route nationale

SC : Système conventionnel

SCV : Système de culture sous couverture végétale

SIG : Système d'information géographique

SPAD : Système de Production d'Altitude et Durabilité

UMR : Unité mixte de recherche

UNITES ET SYMBOLES CHIMIQUES

C : Carbone, / **Ca** : Calcium, / **Cm** : Centimètre, / **Cm³** : Centimètre cube, / **G** : Gramme

Gt : Giga tonne, / **Ha** : Hectare, / **K** : Potassium, / **Kg** : Kilogramme

Mg : Méga gramme, / **M** : Mètre, / **Mg** : Magnésium, / **N** : Azote

P : Phosphore, / **T** : Tonne.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Typologie des exploitations Classe des exploitations 6

Tableau II: Quantité de fumure organique disponible chez les exploitations 21

Tableau III: quantité d'engrais disponible 21

Tableau V: Moyenne de rendement en t/ha des autres variétés de riz pluvial 25

Tableau VI: rendement paille t/ha de la variété FOFIFA 182..... 28

Tableau VII: rendement grains t/ha du FOFIFA 182 30

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude 4

Figure 2: Points de prélèvement de pH sur la parcelle 13

Figure 3: sols avec les noms vernaculaires et leurs descriptions suivant différents types de variables. 17

Figure 4: pH du sol suivant la toposéquence suivant les 78 parcelles des 20 fermes de référence 18

Figure 5: pH du sol suivant du village..... 19

Figure 6: utilisations des parcelles suivant le type de culture 20

Figure 7: Toposéquence des champs de culture des paysans 21

Figure 8: Quantité des apports apportés /Ha pour les riz pluvial 22

Figure 9: Type d'apports différents suivant leur qualité 23

Figure 10: moyenne de rendement grains t/ha de chaque variété..... 26

Figure 11: MS floraison, index environnemental (IE) 27

Figure 12: NIRS floraison, index environnemental 28

Figure 13: rendement paille t/ha du FOFIFA 182 29

Figure 14: MS Paille récolte, index environnemental 30

Figure 15: rendement grains t/ha du FOFIFA 182 30

Figure 16: Rendement grains récolte et index environnemental. 31

Figure 17: N total Riz FOFIFA 182 32

GLOSSAIRE

Aliquote : Qualifie la fraction d'un tout qui est contenue un nombre exact de fois dans ce tout.

Biomasse : masse totale des êtres vivants subsistant en équilibre sur une surface.


Humus : ensemble des matières organiques décomposées (organique = contenant du carbone, souvent issu d'organismes vivants) se trouve essentiellement près de la surface du sol.

Jachère : parcelle ou champ de culture resté inexploité, être sous-utilisé, improductif.

Labour : Retournement de la terre à l'aide de la bêche, de la houe, de l'araire ou de la charrue, pour l'ameublir, enfouir ce qu'elle porte en surface, et préparer ainsi son futur ensemencement.

Mulch: désigne de manière générique une couche formée par un ou plusieurs éléments disposé(s) à la surface du sol lorsqu'une culture de couverture est cultivée et/ou fauchée.

Résidus : déchet, débris , en quantité infime, laissé par une réaction, une transformation, une accumulation de matière ayant permis sa formation.



INTRODUCTION

INTRODUCTION

À Madagascar, l'étude de la matière organique dans les écosystèmes terrestres a fait l'objet d'un réel essor ces dernières années. Compte tenu des rôles importants dans l'amélioration des propriétés physico-chimiques et biologiques que joue la matière organique du sol, la diminution de sa teneur est devenue un sujet de préoccupation pour la recherche et la production agricole en générale. La matière organique, de par sa relation étroite avec la fertilité des sols, est un des facteurs importants pour la maîtrise d'une productivité végétale durable (Razafimbelo *et al.*, 2006). Pour la production agricole, la présence de matière organique contribue à une bonne nutrition des espèces cultivées, ce qui se traduit par l'augmentation des rendements et l'amélioration de la production. Ainsi, l'azote est un facteur limitant dans la culture végétale.

Ainsi, Le riz pluvial est une culture exigeante en azote et lorsqu'il est cultivé sur les sols pauvres en éléments minéraux (Compaoré et al., 2001; Traoré et al., 2001), cela conduit à de faibles rendements actuellement constatés. L'une des solutions est l'utilisation des engrais minéraux. Cependant, leur coût élevé ne permet pas d'être accessibles aux producteurs à faibles revenus. Selon NEPAD (2013), les doses d'engrais utilisés à Madagascar pour les terres cultivées sont évaluées à 9 kg/ha. Le défi actuel réside dans le développement d'options de fertilisation peu onéreuses et accessibles à la majorité des producteurs. Il est connu que l'azote est un élément indispensable pour une bonne production de riz (Fageria et Baligar, 2001 ; Dicko, 2005 ; Bandaogo, 2010 ; Haefele et al. 2013). Cependant, les sols du Moyenne Ouest du Vakinankaratra sont pauvres en éléments nutritifs (Compaoré et al, 2001). Dans ces conditions, les rendements des cultures ne peuvent qu'être globalement faibles. Des travaux ont démontré l'efficacité de différentes dose d'azote l'azote pour la culture de riz pluviale ce qui pourrait affecter la nutrition azoté de la culture. Ainsi, la présente étude se focalise dans **« DIVERSITÉ DES PRATIQUES DE FERTILISATION DU RIZ PLUVIAL DANS LE MOV – EFFETS SUR LES PERFORMANCES DE LA CULTURE »** dans le Moyen Ouest du Vakinankaratra.

Dans ce contexte, les questions suivantes méritent d'être posées : *« quel type de fumure et engrais que les paysans ont utilisés sur leur parcelle ? L'apport de quelques unités d'azote peut-il améliorer la productivité dans la riziculture pluviale ? Les bons rendements se trouvent ils avec quelles unités d'azote apporté ? »*.

Objectifs de travail

Cette étude a pour principal objectif d'étudier et de valoriser l'azote dans la culture pluviale de riz avec le FOFIFA 182.

Pour ce faire le rapport comporte 03 parties : (1) Généralité, (2) les matériels et méthodes, (3) les résultats et interprétations.

PREMIÈRE PARTIE :

GENERALITE

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1. Présentation du MOV dans la Région du Vakinankaratra

La zone d'étude se trouve dans la région du Vakinankaratra, sur les Hautes-terres centrales malgaches. La région de Vakinankaratra est située entre 18° 59' et 20° 03' de latitude Sud et 46° 17' et 47° 19' de longitude Est. Elle est composée de six districts : Ambatolampy, Antanifotsy, Antsirabe I, Antsirabe II, Betafo et Faratsiho dont la capitale administrative est Antsirabe, située à 168 km au sud d'Antananarivo sur la RN7. Elle s'étend sur une superficie de 19.205 km².

L'étude a été effectuée dans le moyen ouest de la région de Vakinankaratra, dans le district de Mandoto limité au Nord par les districts de Tsiroanomandidy, de Soavinandriana et de Faratsiho, à l'Est par les districts de Betafo, d'Antsirabe I et d'Antsirabe II, au Sud par les districts d'Ambositra et d'Ambatofinandrahana et à l'Ouest par le district de Miandrivazo. Il comprend dix-huit communes dont trois d'entre elles constituent les zones d'étude : la commune rurale d'Ankazomiriotra, située entre 19° 39' Sud et 46° 30' Est, aux bords de la RN 34 ; la commune rurale de Vinany, située entre 19° 30' Sud de latitude et 46° 28' Est de longitude ; la commune rurale d'Inanantonana située entre 19°38' Sud de latitude et 46° 37' Est de longitude

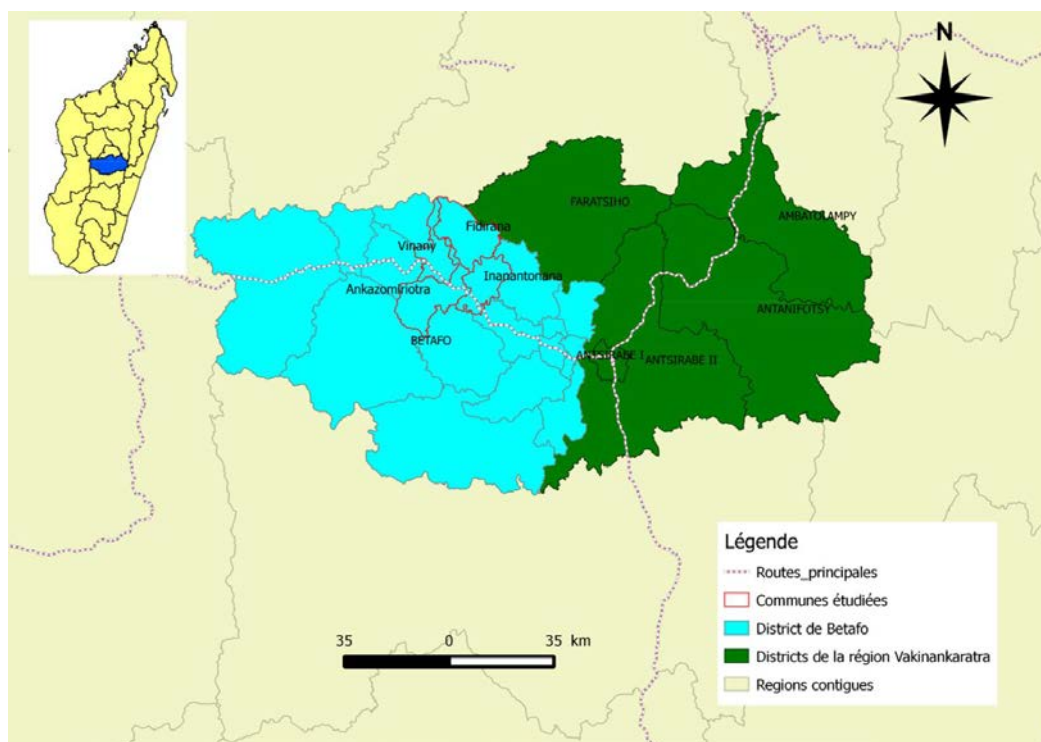


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

La région est caractérisée par un climat de type tropical d'altitude. Le climat est marqué par deux saisons contrastées :

- une saison sèche et fraîche, de mai à septembre, avec une précipitation faible de l'ordre de 90mm et une température moyenne mensuelle de 11-12°C.

- une saison chaude et humide, d'octobre à avril, marquée par des précipitations abondantes.

La pluviométrie moyenne pendant l'été est d'environ 1.300 mm et les températures moyennes mensuelles varient entre 19 et 20°C. La température maximale peut atteindre 32°C.

La température moyenne annuelle est de 16°C avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1400 mm.

L'altitude du district est en moyenne de 1 250 m. La partie orientale est caractérisée par de nombreux cônes volcaniques et des collines et une altitude plus élevée (plus de 1200m). La partie occidentale a une topographie généralement accidentée avec l'alternance de plateaux caractéristiques du Moyen ouest à une altitude moyenne de 940 m et des massifs granitiques ou quartziques culminant à plus de 1000m. Le relief accidenté et les feux de brousse répétés favorisent la formation de « *lavaka* » dans beaucoup d'endroits.

Les feux de brousse répétés ont fait disparaître les forêts. Les couvertures forestières sont alors réduites à des forêts galeries et des forêts intramontagnardes, ainsi que de la végétation arborée près des lieux habités. Partout ailleurs, la végétation se présente sous forme d'une savane herbeuse basse dominée essentiellement par *Acteropogon casturtus* (danga) ou *Hyparrhenia ruffa* (vero) et autres graminées et herbacés tels que *Pennisetum pseudotriticoides*, *Trachypogon spicatus* ou *Aristida rufescens* sans grand intérêt fourrager (Zebrowski et Ratsimbazafy, 1979). Cette savane herbeuse est communément appelée « *bozaka* ».

Les cultures les plus répandues sont, jusqu'à une altitude de 1800-1900m, le riz, le manioc et le maïs, l'arachide et le pois de terre. En culture traditionnelle, le maïs est souvent associé soit avec le riz, le manioc ou l'arachide.

D'après Zebrowski et Ratsimbazafy (1979), les sols de la région peuvent être classés en quatre types selon l'ancienne classification française des sols (CPCS, 1967) :

Sols minéraux bruts : d'origine non climatique d'érosion. Ces sols sont composés de lithosols sur socle cristallin, sur roche volcanique et sur cuirasse ferrugineuse ;

Sols peu évolués : tronqués par l'érosion. Ces sols possèdent un profil A-C, et même si les horizons C présentent souvent une altération de type ferralitique, l'absence d'un horizon B, ne permettait pas de classer ces sols parmi les sols ferralitiques. Suivant la teneur en matière organique de l'horizon A, on distingue les sols peu évolués humifères et les sols peu évolués non climatiques ;

Andosols : riches en produits amorphes silico-alumineux. Ces sols sont observés dans les régions volcaniques sur des matériaux pyroclastiques basiques datant des émissions les plus récentes du volcanisme de l'Ankaratra. On peut distinguer, dans la région, des andosols peu différenciés et des andosols différenciés ;

Sols ferralitiques : caractérisés par un profil A-B-C, l'horizon B de ces sols ne dépasse pas les 150 cm d'épaisseur, alors que l'horizon d'altération C peut atteindre quelques mètres d'épaisseur. Ces sols ont été différenciés en groupes et sous-groupes suivant l'intervention de processus physico-chimiques ou mécaniques (accumulation humifère, allitisation, rajeunissement, remaniement et l'hydromorphie) accompagnant le processus de ferralitisation. On peut distinguer alors dans la région, les sols ferralitiques moyennement et fortement désaturés, avec des sous-groupes : humifères, ferralitiques, rajeunis ou hydromorphes.

2. Les systèmes d'exploitation dans le MOV

Afin de caractériser les exploitations du Moyen Ouest, une enquête a été faite par Queinneck en 2013. Il a pu établir une typologie d'exploitants de la zone sous deux critères de discrimination :

- Par le revenu de l'activité extérieure non agricole (*off-farm*)
- Par la diversification de revenu agricole en relation avec les activités d'élevage

Tableau I: Typologie des exploitations Classe des exploitations

	Revenu non agricole	Marge nette issue de l'atelier de l'élevage
Classe 1A	Exploitations qui ont une activité extra-agricole nulle ou négligeable : représentant moins de 10% du revenu total.	Exploitation n'ayant pas d'atelier d'élevage ou représentant moins de 10% du revenu total.
Classe 1B	Exploitation ayant un atelier d'élevage ou représentant plus de 10% du revenu total.	
Classe 2A	Exploitations qui ont une activité extra-agricole représentant 10 à 40% du revenu total.	Exploitation n'ayant pas d'atelier d'élevage ou représentant moins de 10% du revenu total.
Classe 2B	Exploitation ayant un atelier d'élevage ou représentant plus de 10% du revenu total.	
Classe 3	Exploitations qui ont une activité extra-agricole représentant plus de 40% du revenu total.	Exploitation n'ayant pas d'atelier d'élevage ou représentant moins de 10% du revenu total.

3. Le riz pluvial dans le MOV

Le riz pluvial dans le MOV

La Région Vakinankaratra est limitée par les coordonnées géographiques suivantes :

Entre 18°59' et 20°03' de latitude Sud

Entre 46°17' et 47°19' de longitude Est

Elle se situe à 170 km de la capitale nationale vers le Sud longeant la Route Nationale numéro

7. (PRD Vakinankaratra, 2005)

Elle fait partie de la région des Hautes Terres malgaches, et tient la première place en matière de production rizicole, avec 36% de la production nationale et 22% de la superficie rizicole nationale exploitée par 29% de l'ensemble des agriculteurs. La région des Hauts Plateaux malgache est encore en tête en commercialisation du riz par les producteurs qui est de 30% du volume national de riz local commercialisé (Touzard, 2003).

4. La fertilisation (organique et minérale)

La fertilisation est une opération qui consiste à incorporer des engrais organiques et inorganiques dans le sol pour améliorer sa productivité et obtenir une croissance et un rendement meilleurs des cultures.

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les éléments nutritifs des plantes sont répartis en trois groupes :

- Éléments nutritifs majeurs ou principaux ;
- éléments nutritifs secondaires ;
- micronutriments ou oligo-éléments.

Principaux éléments nutritifs. Les végétaux ont besoin de certains éléments nutritifs en plus grande quantité que d'autres: ce sont l'*azote*, le *phosphore* et le *potassium*.

Éléments nutritifs secondaires. Les éléments nutritifs secondaires incluent le *calcium*, le *magnésium* et le *soufre* qui sont également les composants habituels des engrais et des fumures. S'ils sont d'une importance secondaire en ce qui concerne la fabrication, ils sont tout aussi importants que les principaux éléments nutritifs pour la croissance végétale.

En culture pluviale stricte, les sols sont pauvres en azote et en phosphore disponible. L'utilisation d'engrais pour le riz pluvial est limitée en raison de la quantité réduite d'eau apportée par les pluies, de la mauvaise capacité de rétention hydrique du sol et de la faible réponse des variétés cultivées aux apports d'engrais. De plus, dans la culture itinérante, qui prédomine en Afrique, en Indonésie, au Viet Nam, dans les régions de collines au Nord-Est de l'Inde, etc., l'agriculteur de subsistance applique rarement des engrais.

Presque tous les sols cultivés pour le riz pluvial ont une faible teneur en azote disponible. Les engrais azotés favorisent une croissance vigoureuse des plants de riz ainsi que la production

de feuilles vertes et d'un grand nombre de talles et panicules. L'application d'azote s'est révélée très importante pour améliorer les rendements du riz.

Pour les variétés améliorées de riz pluvial, on recommande en général environ 60 kg N/ha, avec des ajustements marginaux en fonction de la fertilité initiale du sol, des cultures successives précédentes, de l'humidité du sol et des conditions saisonnières. L'application fractionnée d'azote améliore le rendement en grain.

En apportant l'azote en deux applications fractionnées à des époques correspondant aux stades de forte croissance de la plante, qui utilise alors de grandes quantités d'azote, on obtient une meilleure efficacité d'utilisation qu'avec une seule application, car l'N est mobile et est généralement lessivé lors des pluies..

Il faut appliquer la première dose d'azote après ou pendant le premier sarclage, en général deux ou trois semaines après la germination. On observe également que la croissance des adventices est réduite lorsque l'azote est appliqué après la levée des plantules plutôt qu'au moment des semis, ce qui permet d'augmenter l'humidité et les éléments nutritifs disponibles ainsi que le rendement du riz.

La seconde dose d'azote doit être appliquée à l'initiation paniculaire (ou 60 à 65 jours avant maturation). L'azote appliqué à ce stade augmente le nombre d'épillets remplis par panicule.

Les engrais azotés, à savoir le sulfate d'ammonium, le nitrate d'ammonium, les nitrates de calcium et d'ammonium, et l'urée se sont révélés également efficaces dans les conditions de culture pluviale stricte.

L'azote apporté en quantité adéquate permet d'obtenir des rendements optimaux. La quantité adéquate d'engrais dépend des variétés, du sol, des précipitations et de l'ensoleillement. Les bénéfices de l'azote dépendent de l'incidence de la sécheresse et des maladies.

On peut accroître l'efficacité de l'engrais azoté en utilisant des variétés améliorées plutôt que des variétés traditionnelles. Également la quantité apportée d'engrais sera ajustée en fonction de :

- la fertilité du sol ;

- le rendement potentiel de la variété ;

- le prix des engrais ;
- les dates et méthodes d'application.

Il faudra différer l'apport d'engrais N lorsque le sol est sec, ou qu'on prévoit de fortes pluies. L'engrais risque d'être emporté hors du champ ou perdu par percolation profonde. Egalement il faudra préalablement éliminer les adventices du champ avant d'appliquer l'azote.

La fumure organique peut être utilisée en substitution de l'engrais ou en complément. Les sols de culture pluviale stricte manquent souvent d'apport de matière organique. L'incorporation de compost, d'engrais vert, de déchets végétaux et de fumier de ferme dans le sol est toujours bénéfique pour le sol ; pour les cultures il faut que les matières apportées aient aussi une bonne qualité notamment pour éviter le phénomène de « faim en azote » lié à des apports trop limités en cet élément.

En général la fumure organique :

- Augmente la capacité de rétention hydrique du sol;
- Augmente sa capacité d'échange cationique;
- Améliore sa structure;
- Améliore le taux d'infiltration de l'eau;
- Apporte des éléments nutritifs aux plantes;
- Abaisse la densité apparente et augmente le carbone organique qui bénéficie au riz pluvial et aux cultures successives.

Ainsi l'apport de compost et de fumier augmente la productivité du sol.

Enrichir le fumier de ferme et le compost avec des engrais non organiques est une bonne pratique.

Les résidus végétaux sont souvent consommés par les animaux au champ, associés aux fèces de bovins ou enfouis dans le sol. La diversité et la qualité des résidus végétaux est grande : pailles de riz, feuilles d'arbre, bozaka (aristida). Les feuilles d'arbre et les résidus des engrais vert ou de légumineuses sont les meilleurs.

CADRE D'ETUDE

5. Présentation DP SPAD

Le dispositif SPAD ou Systèmes de production d'altitude et durabilité Historique :

Créé en fin 2001, le Pôle de compétence en partenariat (PCP) sur les « Systèmes de Culture et Rizicultures Durables » (SCRiD), devenu URP (Unité de Recherche en Partenariat) en 2004, associe le FOFIFA, Centre national de la recherche appliquée au développement rural, l'Université d'Antananarivo et le CIRAD. L'unité est née de la volonté de ces 3 institutions de renforcer leur coopération d'une part, pour assurer l'accompagnement agronomique et économique du développement de la riziculture pluviale sur les collines, et d'autre part, de promouvoir à la fois une recherche de qualité répondant aux besoins du développement, et la formation sous tous ses aspects (Nivotiana, 2010).

Le DP SPAD ou Systèmes de Production d'Altitude et Durabilité est un Dispositif de Recherche et d'Enseignement en Partenariat (DP) à Madagascar dont le programme SCRiD était le plus ancien programme de recherche du DP.

L'objectif général du DP SPAD est d'identifier des options techniques et des processus d'innovation liés pour renforcer la durabilité des systèmes de production.

On compte 6 Institutions membres qui collaborent pour répondre à ces objectifs :

FOFIFA;

L'Université d'Antananarivo, avec le Laboratoire de Radio-isotopes (LRI) et l'ESSA;

FIFAMANOR sur la partie Élevage ;

IRD avec l'Unité Mixte de Recherche Écologie et Sol ;

CIRAD

Africa Rice

Les activités scientifiques du DP SPAD se structurent en cinq grands programmes pluri-institutionnels en interaction et à trois thématiques transversales, qui s'adressent chacun à un objet et une problématique particuliers et disposent d'une programmation et organisation propres :

Systèmes de Culture et Riziculture Durables (SCRiD)

Interaction Agriculture-Élevage (IAE)

Innovation au sein des exploitations agricoles/organisations paysannes (EA/OP)

Riziculture de bas-fonds (RBF) :

Ingénierie des systèmes de culture (ISC)

Gestion intégrée de la fertilité (GIF)

Gestion intégrée des bio-agresseurs (GIB)

Gestion des Données et Analyse Spatiale (GDAS)

6. Projet SECURE

Ce stage a été financé par le projet SECURE du DP SPAD (*Soil ECological function REstoration to enhance agrosystem services in rainfed rice cropping systems in agroecological transition*) démarré en septembre 2017 et se terminant en décembre 2019, sur 2 régions la partie Hautes-Terres de l'Itasy et donc le Moyen-Ouest du Vakinankaratra. Il y a 5 work-packages dans ce projet centré sur la restauration biologique des sols des terres pluviales sur les systèmes de culture à base de riz pluvial, et ce travail a été réalisé sur le WP1, centré sur les pratiques paysannes, avec une partie enquête sur un large nombre d'exploitation, et une partie de suivi de fermes de référence. C'est le suivi des performances des pratiques paysannes sur les fermes de référence qui fait l'objet du présent mémoire.

Dans le contexte actuel du changement climatique, de l'insécurité alimentaire, de la croissance démographique, de l'impact négatif sur l'environnement les ressources naturelles, l'agriculture se caractérise par une évolution rapide. Une attention particulière est actuellement donnée aux processus écologiques opérant au sein des agrosystèmes, dans ce qu'on nomme l'agroécologie. Généralement, les pratiques agroécologiques sont basées sur la manipulation de la biodiversité aérienne, sur la gestion des matières organiques comme principales sources de nutriments et sur la réduction du travail du sol. Peu d'attention est donnée aux processus écologiques du sol (i.e. les fonctions du sol) et à la biodiversité souterraine en dépit de leur potentiel reconnu comme important pour accroître les services écosystémiques et promouvoir des fonctions écosystémiques multiples simultanément. La restauration des fonctions du sol est particulièrement importante pour les petits exploitants des zones tropicales qui développent leurs cultures sur des sols fragiles et pauvres, avec peu d'intrants chimiques disponibles et sous contrainte du changement climatique.

Le projet a pour objectif de fournir des pratiques de restauration biologique des sols basées à la fois sur la connaissance locale et sur la connaissance scientifique de façon à augmenter les performances des systèmes agroécologiques. Il se concentre sur les systèmes rizicoles pluviaux des plateaux d'altitude de Madagascar. Notre approche qui combine des

connaissances locales et scientifiques, est pertinente pour assurer la dissémination de restauration biologique des sols. La mesure des performances socio-économiques, agronomiques et écologiques est également originale et nous permettra de proposer les ‘meilleures’ pratiques. Le projet est basé sur un consortium multidisciplinaire localisé à Madagascar.

7. Objectifs

Cette étude a comme principal objectif de tester l’hypothèse que l’N est le principal facteur limitant sur la production en riz pluvial en milieu paysan et que les quantités et la qualité des fumures organiques avait un impact sur cette offre en N. Il s’agit d’une activité de diagnostic préalable avec l’utilisation de différents outils en s’appuyant sur le réseau de fermes de référence du Moyen-Ouest du Vakinankaratra mis en place par le DP SPAD.

DEUXIÈME PARTIE :

Matériels et Méthodes

MATÉRIELS ET METHODES

8. Sols

Une enquête à dire d'acteurs a été effectuée auprès de 4 agriculteurs sur les communes de Vinany et d'Ankazomiriotra, faisant partis de nos 20 fermes de référence avec comme objectif de distinguer tous les types de sol rencontrés par les agriculteurs de la région avec d'abord une première étape qui a consisté à déterminer leur nom vernaculaire. Puis un certain nombre de descripteurs de chaque type de sol ont été donnés par les agriculteurs, au moyen d'une grille d'analyse préalablement testée dans une autre région de Madagascar.

Le pH du sol a été mesuré directement sur le terrain avec le même pH mètre électronique que précédemment et une cathode enveloppée de verre. Le pH eau correspond à la concentration en hydrogène $[H^+]$ de la solution du sol. Il correspond à l'acidité active ou acidité réelle du sol. La plupart des sols ont un pH compris entre 4 et 9. D'une manière générale, un sol calcaire va être basique. Un sol très riche en humus et/ou sableux va probablement être acide.

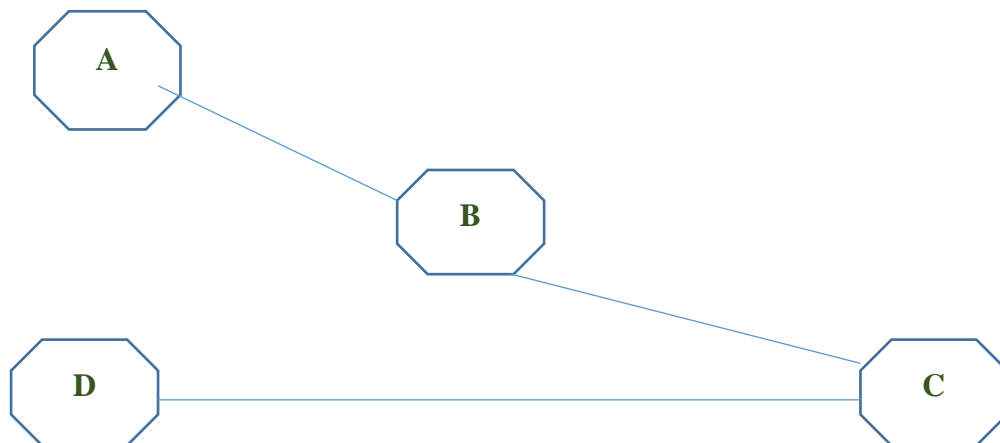


Figure 2: Points de prélèvement de pH sur la parcelle

Afin d'avoir toutes les valeurs adéquates ou approximative l'un des autres pour chaque parcelle élémentaire, nous avons utilisé deux pH mètre et prélevé au minimum trois points différentes sur la diagonale (figure 2) et si les valeurs ne sont pas proches ou trop différentes entre ces trois points, nous avons réalisé une quatrième mesure pour avoir des valeurs proches.

9. Pratiques

Une caractérisation des pratiques de fertilisation et des assemblages utilisés sur le riz a été effectuée pour chaque ferme de référence et chaque assemblage différent. Le questionnaire est

mis en annexe. En même sur l'ensemble des parcelles de l'exploitation a été relevé la nature de la culture pratiquée sur l'année.

10. Fumiers

Le fumier de ferme utilisé est un mélange de paille de riz, de « bozaka » utilisés comme litière dans l'étable et des excréments de bœufs et sont stockés dans l'étable avant utilisation. A ce stade, le fumier de ferme est sous forme d'un mélange de poudrettes avec des débris de végétaux à l'état de décomposition bien avancé, de couleur très sombre, et d'odeur caractéristique. Des échantillons de ce fumier de ferme ont été d'abord été prélevés avant épandage au champ.

La qualité du fumier a été estimée par 3 outils :

- Au laboratoire après séchage à l'air, puis à l'étuve, par une estimation de la densité apparente pour estimer la quantité de sol présente ;
- Au laboratoire, le pH eau du fumier pour estimer sa richesse en éléments minéraux ;
- Au laboratoire d'analyse, avec un dosage des éléments totaux majeurs, et du taux en matières minérales, qui est aussi une façon d'estimer la contamination avec le sol.

La densité apparente du fumier est obtenue par le rapport entre le poids sec de l'échantillon et son volume, exprimée en g cm⁻³.

Le pH du fumier a été mesuré au laboratoire avec un pH mètre électronique et une cathode enveloppée de verre.; nous avons préparé environ 300 g de fumier tamisé à 2 mm et rajouté 25 ml d'eau distillée avant de faire la lecture sur des échantillons préalablement séchés à l'air.

11. Riz

Une expérimentation a été mise en place chez les 20 fermes de référence pour tester l'hypothèse que l'azote était un facteur limitant la croissance du riz pluvial, notamment dans la cadre d'une fertilisation basée sur la fumure organique.

Pour cela sur une parcelle choisie par l'agriculteur nous avons mis la même variété de riz FOFIFA 182 semée sur l'ensemble de la parcelle et puis disposé sur celle-ci 9 carrés de 3*3 m², avec 3 traitements répétés 3 fois, soit 0N (sans azote avec donc l'apport simple de fumure organique), 30N (avec un apport d'urée apporté environ 30 jours, puis 60N (avec un apport d'urée supplémentaire apporté à environ 50 jours après semis.

A la floraison du riz soit à partir de 80 jours après semis des prélèvements d'échantillons ont été effectués au moment où le riz atteint 75 % de floraison, en prenant au hasard 3 poquets. La biomasse fraîche a été pesée et puis sur un échantillon on a déterminé à l'étuve la MS par un séchage de la biomasse pendant 72h à 60°C.

A la récolte du riz le rendement grain et pailles ont été déterminés sur l'ensemble des carrés et certaines de ces composantes ont été déterminés.

Sur les échantillons de pailles à la floraison, et les échantillons de pailles et de grains à la récolte.

Les données ont été représentées en fonction d'un index environnemental calculé pour chaque parcelle par la moyenne des différents traitements en abscisse (axe X) et pour chacun des 3 traitements, 0N, 30N et 60N, la valeur du rendement obtenu en ordonnée (axe Y). Cette représentation graphique a pour objectif de tester si l'effet de la fertilisation de 30N ou 60N est le même pour différents niveaux de fertilité, représentés par chaque parcelle.

Un index environnemental synthétique supposé représenter la variabilité de la fertilité du sol liée à l'histoire ancienne et la fertilisation organique de l'année variable en quantité et en qualité a été utilisée, et appliqué à l'effet de la fertilisation azotée sur le riz pluvial avec la variété FOFIFA 182.

Pour chaque exploitation nous reportons sur l'axe X le rendement moyen des rendements obtenus avec les 3 doses d'N appliquées, et sur l'axe Y, le rendement avec chaque dose d'apport. La relation d'ensemble permet de voir si l'effet de la dose apportée dépend du niveau de fertilité du sol en moyenne au niveau de la parcelle de l'exploitation.

Les données collectées ont été saisies sur Excel et les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2017. Les moyennes ont été séparées par la méthode de Newman-Keuhls au seuil de confiance de 95%.

TROISIEME PARTIE :

Résultats et Discussions

RESULTATS

12. Sols

Carte des sols

La carte des sols effectuée par une enquête de terrain auprès de 4 agriculteurs de nos fermes de référence est représentée dans la figure suivante (figure 3).

Enquête à dire d'acteurs sur Vinany et Ankazomiriotra		SOLS MOYEN-OUEST VAKINANKARATRA - DISTRICT DE MANDOTO 1300 - 900 m altitude															
		Dynamique sédimentaire générale négative								Dynamique sédimentaire générale positive							
Dénomination locale toposéquence		Tany marina					Ila ila				Kidona				Tani-mbary		
		plateaux					pentes				bas de pente				bas-fonds		
Dénomination locale des sols		Tany masaka, mainty	Tany mena	Tany mavo	Tany fasika, fotsy	Tany misy vato, bevato, vatoina	Tany mena	Tany mavo	Tany fasika, fotsy	Tany misy vato, bevato, vatoina	Tany mena	Tany mavo mena	Tany mavo	Tany atsanga	Tany masaka	Tany mavo	
Sol code enquête		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Signe particulier		noir, fertile	rouge	jaune	blanc	cailloux	rouge	jaune	blanc	cailloux	rouge	jaune rouge	jaune	jaune non cultivé	noir, gris	jaune	
Variable de description	couleur, cailloux	noir, fertile	rouge	jaune	blanc	cailloux	rouge	jaune	blanc	cailloux	rouge	jaune rouge	jaune	jaune non cultivé	noir, gris	jaune	
	végétation naturelle (espèce, densité)	Verobe Angamay Tsipipihana (forte densité)	Bozaka, Danga (forte densité)	Bozaka, Danga (faible densité)	Fandrotrarana (densité moyenne)	Bozaka, Danga (faible densité)	Bozaka, Danga (moyenne densité)	Bozaka, Danga (moyenne densité)	Bozaka, Danga (faible densité)	Bozaka, Danga (très faible densité)	Tsipipihana Angamay (forte densité)	Angamay (forte densité)	Angamay (moyenne densité)	Aucune végétation	Vilo tsiriry Fandrotrarana (forte densité)	Vilo tsiriry Fandrotrarana (Moyen densité)	
	structure (tassement)	Faible	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Fort	Moyen	Fort	Moyen	Moyen	Moyen	Faible	Faible	Faible	
	texture (sables, argiles)	sable faible	sable moyen	sable faible	sable fort	sable fort	sable fort	sable fort	sable fort	sable fort	sable fort	sable moyen	sable faible	sable fort	sable fort	argile fort	argile fort
	vocation culturale	riz, maïs, soja	manioc, pois de terre, arachide	manioc	pois de terre, arachide	manioc, pois de terre	riz, manioc	manioc	manioc, pois de terre	manioc, pois de terre	riz, maïs, soja	riz, maïs, soja, manioc, pois de terre, arachide	pois de terre, manioc	pas de culture	riz	riz	
Variable de fonction	besoin en fumures	moyen	fort	fort	fort	fort	fort	fort	fort	fort	moyen	moyen	moyen	aucun	aucun	aucun	
	effet des fumures (production)	fort	moyen	faible	faible	faible	moyen	faible	faible	faible	fort	fort	fort	aucun	aucun	aucun	
	flexibilité du travail (labour)	facile	facile	facile	facile	difficile	moyen	moyen	difficile	moyen	moyen	moyen	moyen	aucun	difficile	moyen	
	réaction vis-à-vis de l'eau (infiltration)	forte	moyenne	faible	faible	faible	faible	faible	faible	faible	forte	forte	forte	forte	forte	forte	
Variable de risques	pluie insuffisante (sécheresse)	faible	moyenne	forte	forte	forte	forte	forte	forte	forte	faible	faible	faible	faible	faible	faible	
	pluie sur-abondante (érosion)	faible	faible	moyenne	moyenne	moyenne	forte	forte	forte	forte	faible	faible	faible	faible	faible	faible	

Figure 3: sols avec les noms vernaculaires et leurs descriptions suivant différents types de variables.

Le premier élément de différenciation a été la place dans la toposéquence, avec quatre situations, donc deux avec une dynamique sédimentaire négative, plateaux et pentes, et deux avec une dynamique sédimentaire positive, les bas de pente et les bas-fonds.

15 types de sol ont été distingués et décrits par des variables de description (couleur, pierrosité, végétation, structure, texture), des variables de fonction (cultures, fumures, travail, dynamique de l'eau) et des variables de risques (sécheresse, érosion).

Les mesures de Ph effectuées sur le terrain sont reportées sur la figure suivante.

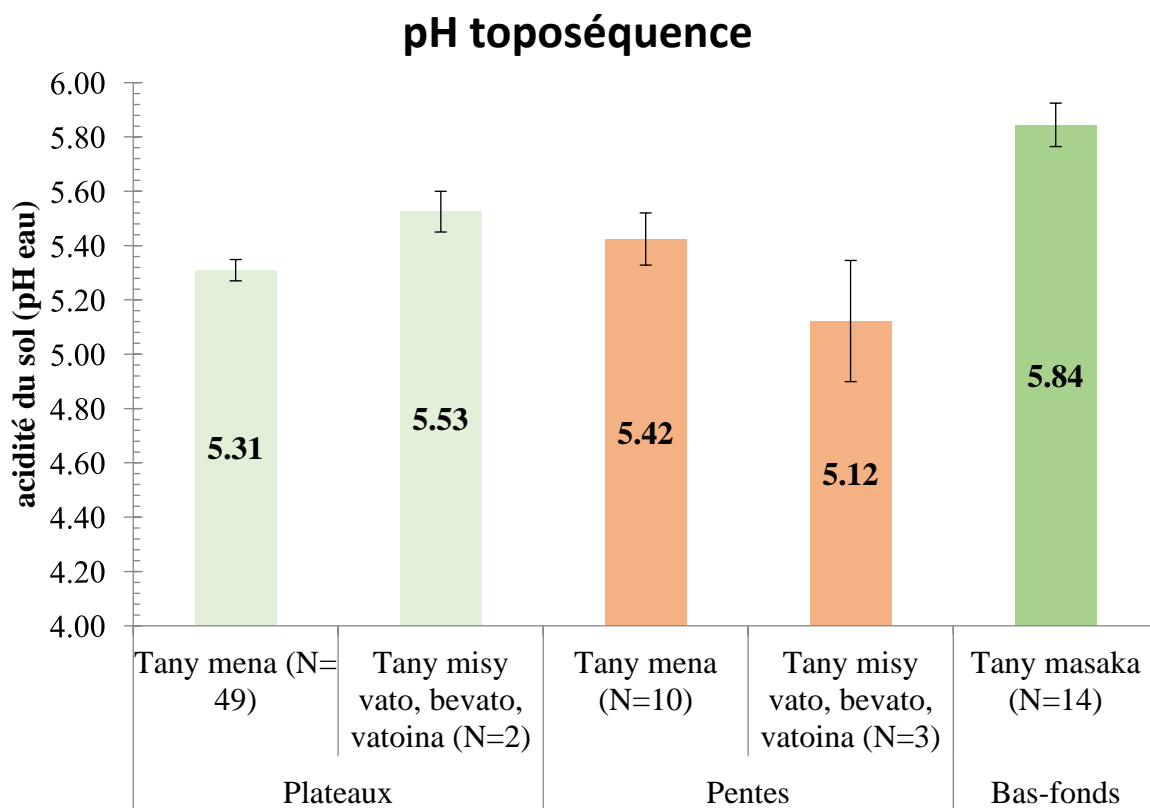


Figure 4: pH du sol suivant la toposéquence suivant les 78 parcelles des 20 fermes de référence

Des mesures de pH du sol ont été effectuées sur 78 parcelles des 20 exploitations. Sur les 64 parcelles des *tanety*, ce sont les sols rouges *tany mena* qui sont les plus représentés (49 parcelles). Le pH moyen des sols est relativement homogène pour les différents types de sol (entre 5.31 et 5.53), sauf pour les sols de pente avec cailloux où les pH sont plus faibles

(5.12). Sur les 14 parcelles de bas-fonds le pH moyen des sols est plus élevé, avec une moyenne de 5.84.

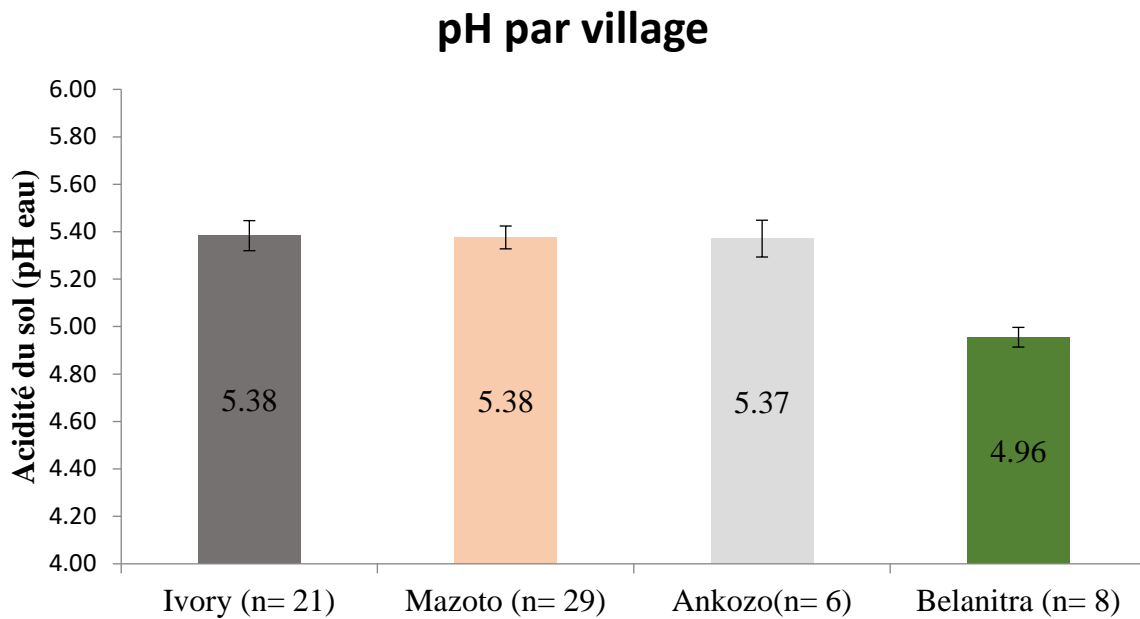


Figure 5: pH du sol suivant du village.

L'effet de la localisation des parcelles sur le pH du sol montre une homogénéité sur les villages d'Ivory, Mazoto et Ankazomiriotra, avec des valeurs en moyenne comprises entre 5.37 et 5.38. Seul le village de Belanitra se distingue avec des valeurs de pH autour de 4.96, soit au-dessous du seuil de 5, qui détermine un risque d'acidité plus fort.

13. Cultures Pratiquées

Sur la figure suivante la diversité des cultures à l'échelle de l'exploitation agricole est représentée en fonction de leur proportion de présence (%).

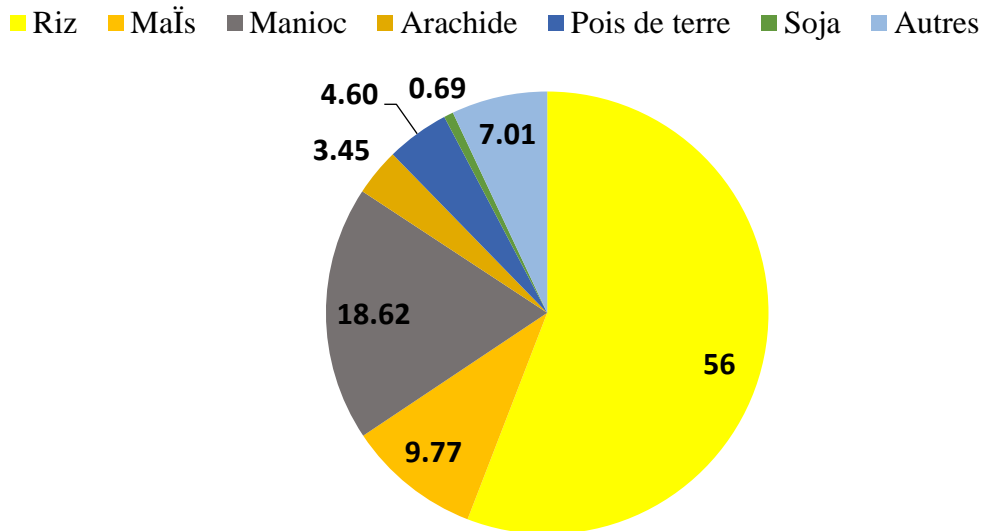


Figure 6: utilisations des parcelles suivant le type de culture

D'après cette figure 6, en majorité les paysans ont utilisé leurs parcelles pour la culture de riz pluviale qui occupe 56% de leurs champs après la culture de manioc puis le maïs dont l'occupation est donnée respectivement 18.62% et 9.77% et les restes par d'autre culture comme l'arachide, soja et pois de terre.

La localisation des parcelles cultivées sur la toposéquence est représentée sur la figure suivante.

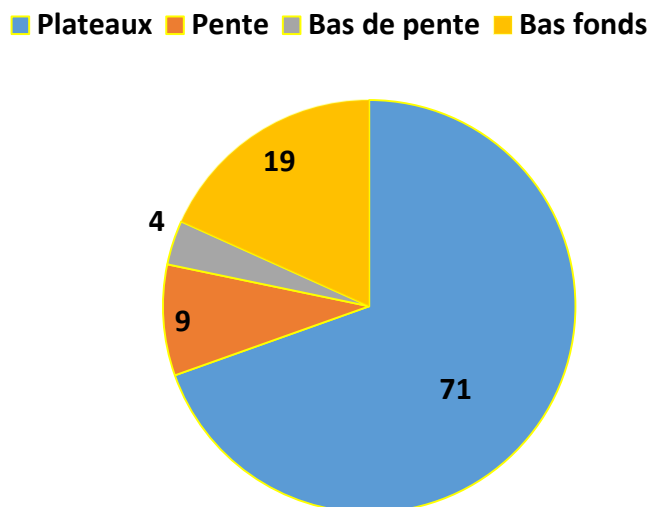


Figure 7: Toposéquence des champs de culture des paysans

Cette figure 7 nous montre que les champs de culture exploités par nos paysans dans les fermes de référence sont à 71% en termes de superficie des plateaux du domaine pluvial et 19% pour les bas-fonds. Le reste concerne 8% pour les zones en pente et 3% pour le bas de pente.

La fumure organique disponible à l'échelle de l'exploitation est représentée dans le tableau suivant.

Tableau II: Quantité de fumure organique disponible chez les exploitations

Fumiers	Nombre	Produit	Achete	Quantité Disponible Frais (t/ha)	Nature		
					Zébus	Porc	Volaille
	20	16	6	14.5	19	2	0
Lombricomposts, compost	Nombre	Produit	Achete	Quantité Disponible Frais (t/ha)	Bozaka	Paille Riz	Légumineuses
					3	3	0

Sur les 20 exploitations c'est le fumier à base de fèces de zébus qui est la principale fumure organique. 16 en produisent eux-mêmes ; 6 en achètent. La quantité moyenne estimée en matière fraîche disponible est d'environ 14.5 tonnes/ha. 4 Autrement 2 seulement ont recours au fumier de porc, 2 au lombricompost et 1 au compost.

Tableau III: quantité d'engrais disponible

Type d'Engrais	Nombre	Quantité disponible (kg/ha)
Complexe 11-22-16	17	27
Urée (46%N)	5	29

Pour les engrais, les paysans achètent environ 27 kg Ha⁻¹ pour le complexe 11-22-16 et 29 kg Ha⁻¹ pour l'urée à 46%.

14. Fumiers

La qualité et la quantité de fumure organique épandue sur la parcelle FOFIFA 182 a été mentionnée dans la figure suivante.

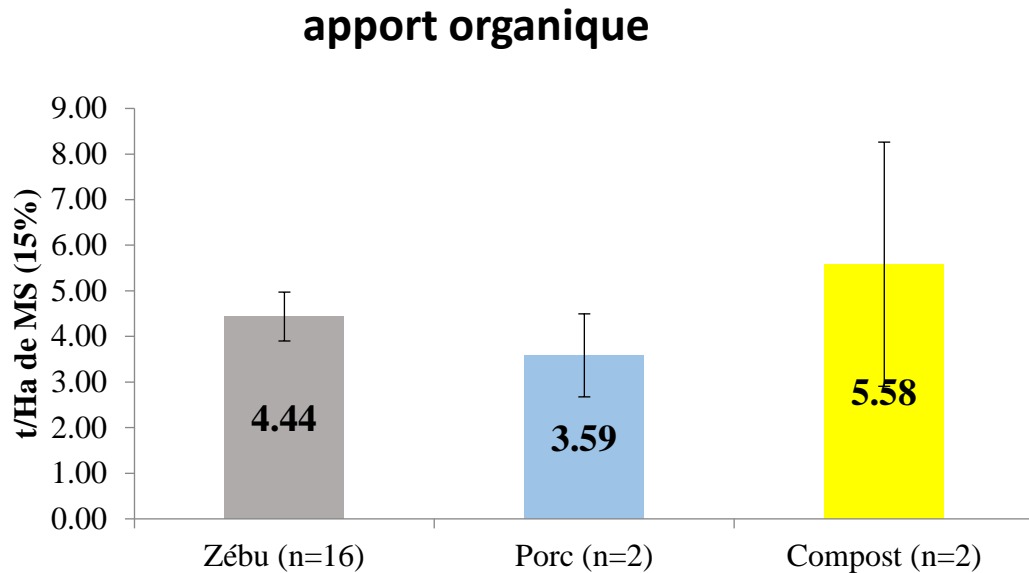


Figure 8: Quantité des apports apportés /Ha pour les riz pluvial

Parmi les 20 apports effectués au niveau du riz, les mesures des quantités ont été estimées avec une méthode basée sur la mesure du poids moyen par poquet effectuée sur 10 échantillons et exprimées en MS après un passage à l'étuve chez les 20 agriculteurs. Chez chaque agriculteur un seul apport dominant a été relevé, avec en majorité des apports à base de fèces de bovins issus des parcs de nuit principalement dans 16 cas, avec une moyenne apportée de 4.44 t /Ha. Deux autres agriculteurs ont apporté des fumures organiques à base de porc avec une moyenne autour de 3.59 t/ha et deux autres du compost ou lombricompost avec pour le premier environ 8.3 et le deuxième 2.9 t/Ha.

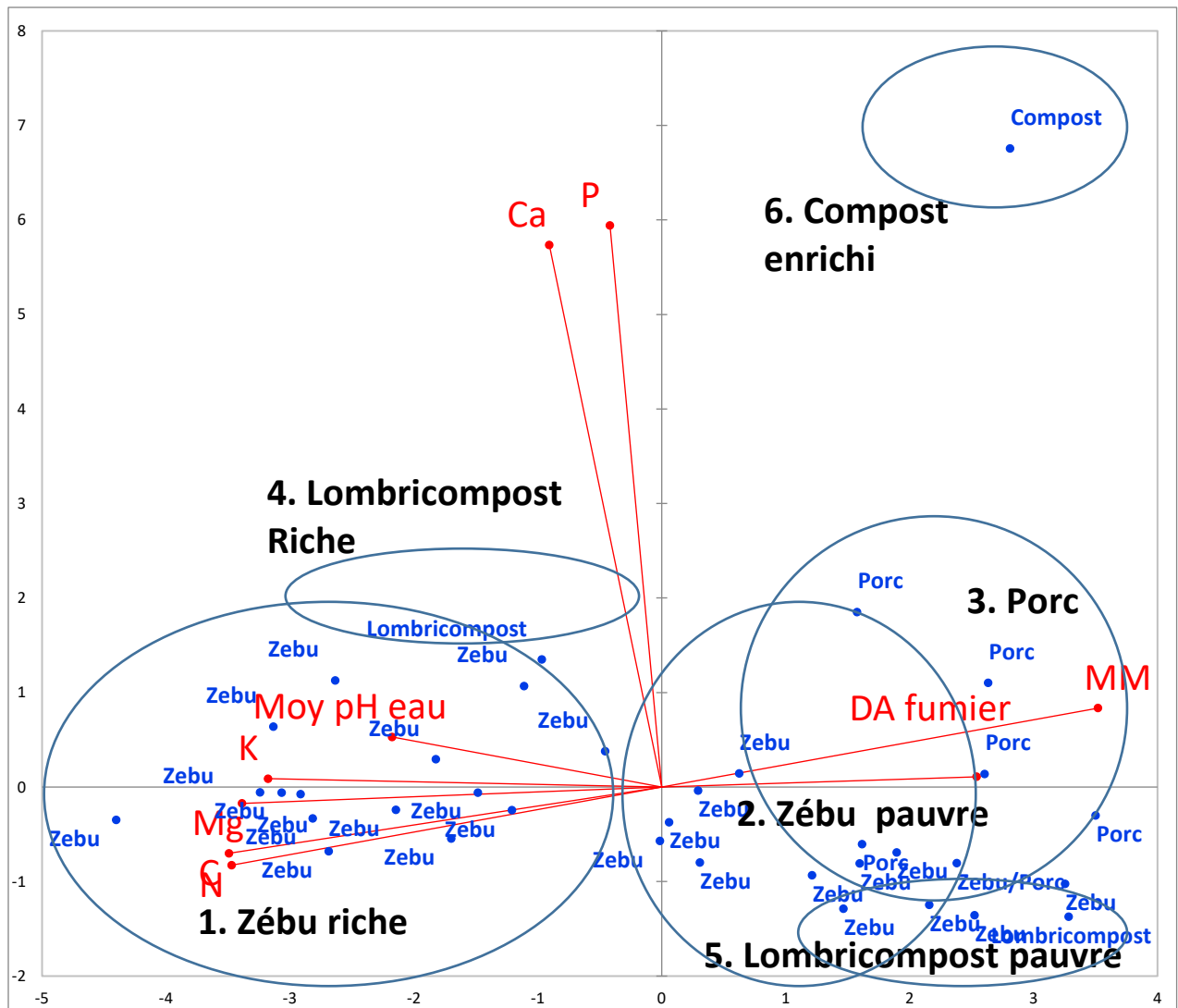


Figure 4: Type d'apports différents suivant leur qualité

Au niveau de la qualité des apports, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) sur 9 variables, incluant 2 variables mesurées par nous même, la densité apparente (DA) et le pH eau, et 7 variables déterminées au laboratoire d'analyse, avec les matières minérales (estimation de la contamination par le sol), le C, N, P, Ca, K et Mg totaux. De manière à avoir plus d'éléments à analyser nous avons rajouté des analyses effectuées en 2015 sur les mêmes exploitations, avec un nombre d'échantillons limité à 13, soit un total avec les nôtres de 36 échantillons.

L'analyse en composantes principales montre des corrélations entre les différentes variables avec :

Une bonne relation entre les matières minérales (MM) et la densité apparente du fumier (DA fumier), reflétant logiquement la contamination par le sol, et donc la possibilité d'estimer soit même par cette méthode un premier niveau de qualité de la fumure organique ;

A l'opposé une relation inverse entre cette contamination par le sol et les quantités totales des matières fertilisantes principales C, N, K, Mg, et Ph eau ;

Un axe spécifique portant la richesse en Ca et P, lié à la richesse de l'hyperfos lié à la richesse en ces éléments pour un seul assemblage de intitulé compost et enrichi en

L'analyse en composantes principales reportée sur la figure 9 montre 6 types d'apports différents suivant leur qualité :

- 1 : Groupe Zébu riche (16 cas)
- 2 : Groupe de Zébu pauvre (12 cas)
- 3 : Groupe de Porc proche de Zébu pauvre (4 cas)
- 4 : Lombricompost Riche (1 seul cas)
- 5 : Lombricompost pauvre (1 seul cas)
- 6 : Compost enrichi (1 seul cas)

La teneur moyenne des analyses des 6 types d'apports est représentée dans le tableau suivant.

Tableau IV. Analyse de 36 différents assemblages comprenant les 23 de 2018 et 13 de 2015.

Type d'apports	Densité Apparente	pH eau	Matières Minérales	N	C	P	K	Ca	Mg
Groupe Zébu riche	0.70	8.69	55.4	1.40	19.7	0.24	1.76	0.72	0.33
Groupe de Zébu pauvre	0.82	8.35	71.8	0.89	11.6	0.18	0.91	0.49	0.19
Groupe de Porc	0.88	8.21	78.7	0.59	9.21	0.24	0.93	0.68	0.17
Lombricompost	0.87	7.51	63.3	1.41	15.0	0.35	1.79	0.93	0.40

Riche									
Lombricompost pauvre	1.03	7.44	77.3	0.82	8.78	0.12	0.66	0.39	0.16
Compost enrichi	0.88	8.51	84.1	0.47	5.96	0.69	0.47	1.75	0.08

15. Riz

Les rendements moyens de l'ensemble des 56 parcelles de riz sont représentés dans le tableau et la figure suivant en fonction de chaque variété.

Nous remarquons que globalement en moyenne les rendements ne varient pas énormément entre les variétés entre 1.05 et 1.37 t ha⁻¹ de grain. Hormis FOFIFA 182, ce sont les variétés NERICA 4 et 10 qui ont été les plus cultivées.

Tableau IV: Moyenne de rendement en t/ha des autres variétés de riz pluvial

	Fofifa 182	Fofifa 185	Nerica 10	Nerica 4	Scrid 91	Sebota 410	Tsipala tanety	Variété Local
Nombre	20	4	7	10	6	4	2	3
Moyenne	1,37	1,37	1,05	1,37	1,24	1,12	1,34	1,37
ETM	0,07	0,16	0,16	0,13	0,12	0,10	0,29	0,09
CV	24,05%	20,58%	40,12%	9,36%	24,62%	18,78%	30,96%	11,01%

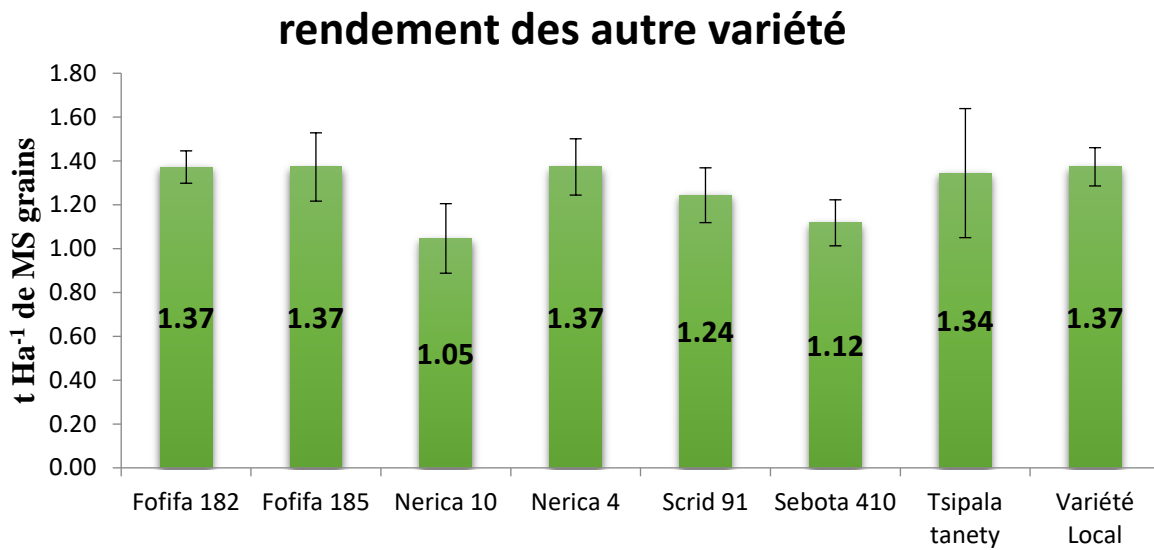


Figure 50: moyenne de rendement grains t/ha de chaque variété

Pour les 20 parcelles cultivées en FOFIFA 182 qui ont fait l'objet d'une expérimentation sur 3 doses d'N, 0N, 30N et 60N, les données de biomasse à la floraison et les données de l'N total mobilisé à la floraison (produit de cette biomasse total par la concentration en N) sont mentionnées respectivement dans les figures 11 et 12.

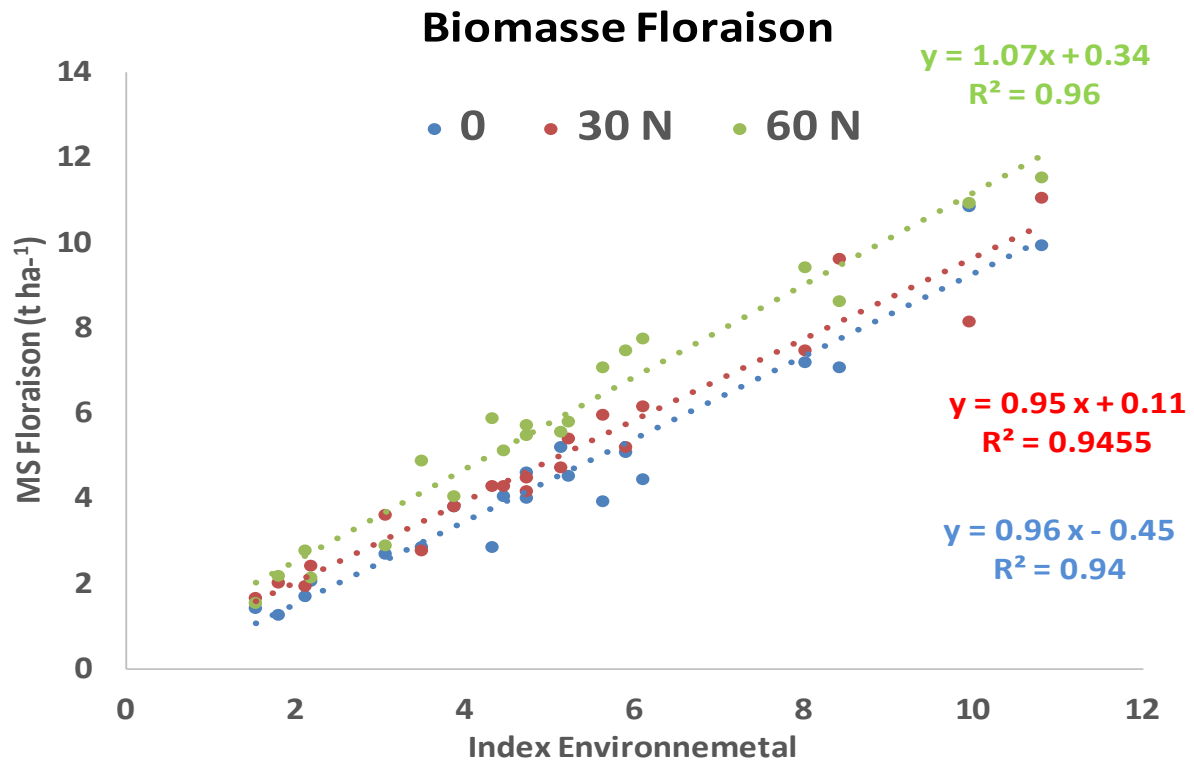


Figure 61: MS floraison, index environnemental (IE)

Sur la figure 11, est représenté l'effet de la fertilisation N sur la biomasse à la floraison en fonction de l'index environnemental. Cet IE représente le niveau de fertilité de la parcelle (moyenne des trois traitements comparés, 0N, 30N et 60N). On remarque un très léger effet de l'apport de 30N et un effet plus important de 60N qui s'accroît avec le niveau de fertilité des parcelles. Les biomasses respectives sont pour 0, 30 et 60N, 4.47 t/Ha, 4.95 t/Ha et 5.83 t/Ha. La différence entre 0 et 30 N n'est pas significative, et elle l'est entre 30 et 60N.

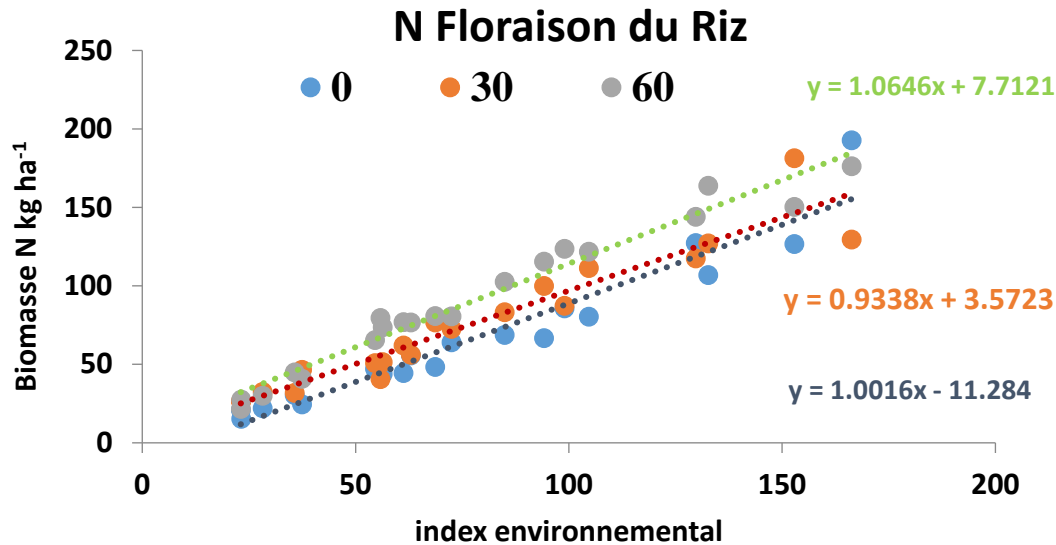


Figure 72: NIRS floraison, index environnemental

La figure 12 nous montre la quantité d’N totale à la floraison (75 %) de FOFIFA 182 en fonction de l’index environnemental. Comme pour la biomasse à la floraison on remarque un très léger effet de l’apport de 30N et un effet plus important de 60N qui s’accroît avec le niveau de fertilité des parcelles. Les quantités de N total respectives sont pour 0, 30 et 60N, respectivement de 66, 76 et 90 kg N ha⁻¹. Les différences entre 0 et 30 N, et entre 30 N et 60 N sont significatives.

À la récolte, la MS de la paille obtenue est donnée dans le tableau IV et figure 13.

Tableau VI: rendement paille t/ha de la variété FOFIFA 182

	0 N	30 N	60 N
MOYENNE	1,89	2,18	2,16
ETM	0,07	0,11	0,11
CV	17,65%	23,06%	22,44%

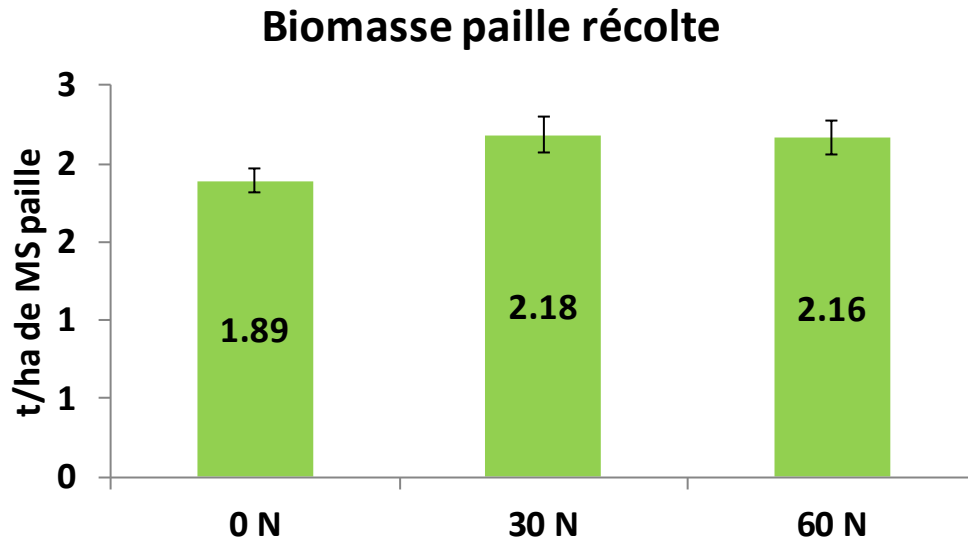


Figure 83: rendement paille t/ha du FOFIFA 182

D'après ce tableau V et figure 13, la biomasse de paille à la récolte pour 0, 30 et 60 N est respectivement de 1.89, 2.18 et 2.16 t ha de MS ; la différence est significative entre 0 et 30 N.

Sur la figure 14 le rendement paille t/ha est exprimé sur l'axe X avec l'Index environnemental et sur l'axe Y le rendement moyen de chaque traitement. On remarque que l'effet des fertilisations 30 et 60 N est bien plus marqué par rapport à 0 N (sans apport d'N) quand l'index environnemental est plus fort, c'est-à-dire, quand la fertilité de la parcelle est plus élevée.

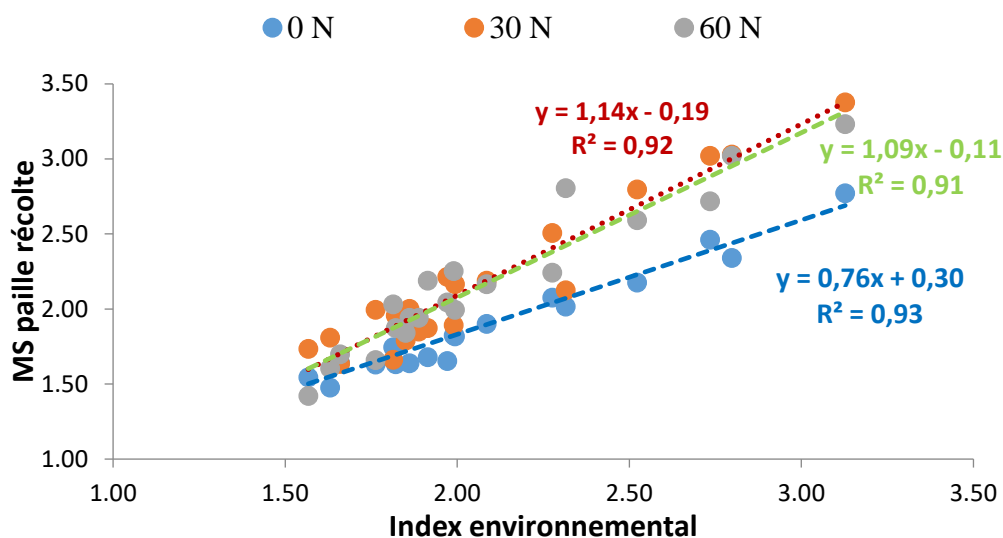
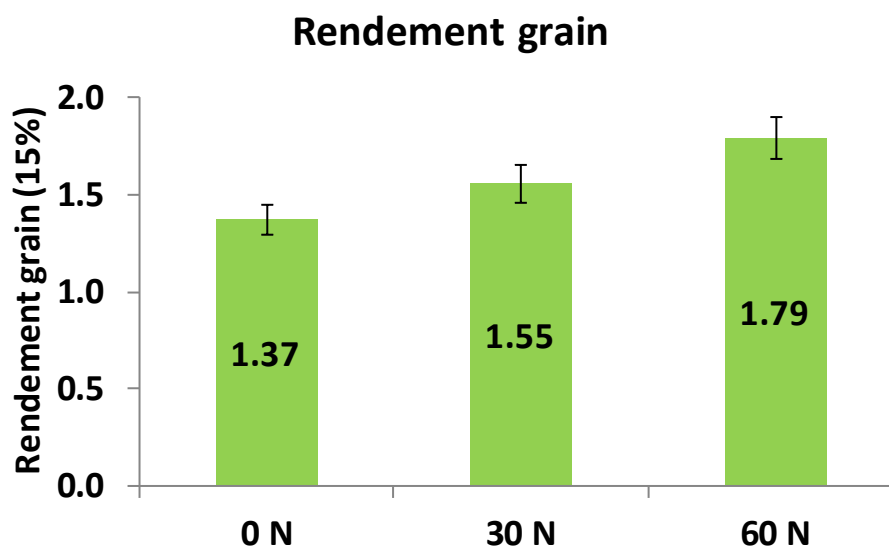


Figure 94: MS Paille récolte, index environnemental

Pour les grains, les rendements obtenus avec la variété FOFIFA 182 pour les 3 niveaux de fertilité sont donnés dans le tableau VI et la figure 15 suivant.

Tableau VII: rendement grains t/ha du FOFIFA 182

	F0	F30	F60
MOYENNE	1,37	1,55	1,79
ETM	0,07	0,10	0,11
CV	24,05%	28,61%	26,37%

**Figure 105: rendement grains t/ha du FOFIFA 182**

Un effet de la fertilisation à 30 N et 60 N apparaît, avec un gain de rendement de 180 kg entre 0N et 30N, et de 240 kg entre 30 et 60N. Les différences entre traitements sont significatives. L'analyse des différences entre les exploitations indiquent 3 groupes d'exploitation :

- Un groupe de 3 exploitations avec une moyenne autour de 2.4 t ha⁻¹ grain ;

- Un groupe de 2 exploitations avec une moyenne à 1.8 t ha⁻¹ grain .
- Un groupe de 15 exploitations avec une moyenne autour de 1.3 t ha⁻¹ grain.

Index environnemental de grain récolte

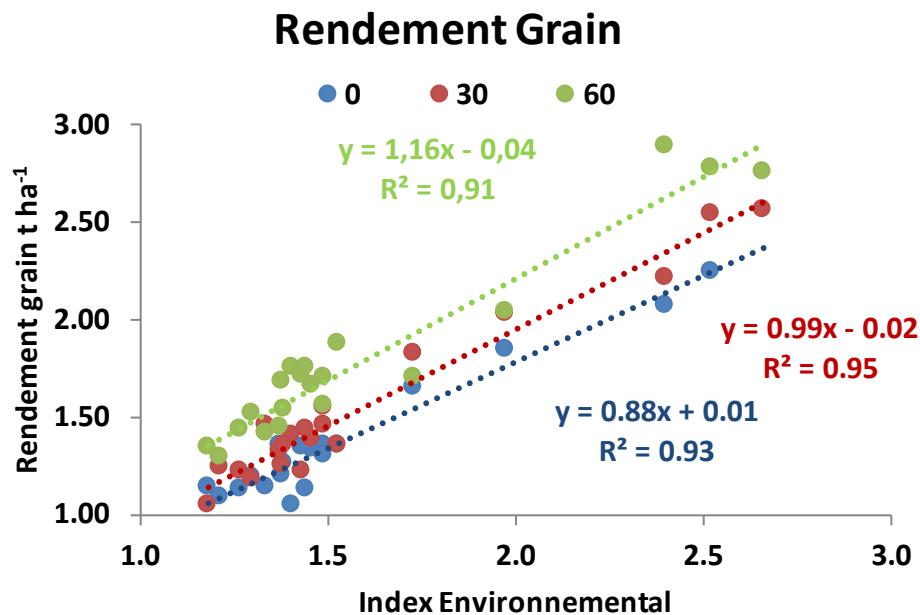


Figure 116: Rendement grains récolte et index environnemental.

La figure 16 nous montre le rendement de grain de riz récolté (15% d'humidité) avec tous les différents traitements d'apport en azote. Nous avons une parcelle avec 0 N chez un de nos agriculteurs car elle était infestée de mauvaises herbes. Il apparait également que l'effet de la fertilisation est plus important selon l'accroissement de la valeur de l'index environnemental. On retrouve très nettement les 3 groupes d'exploitation.

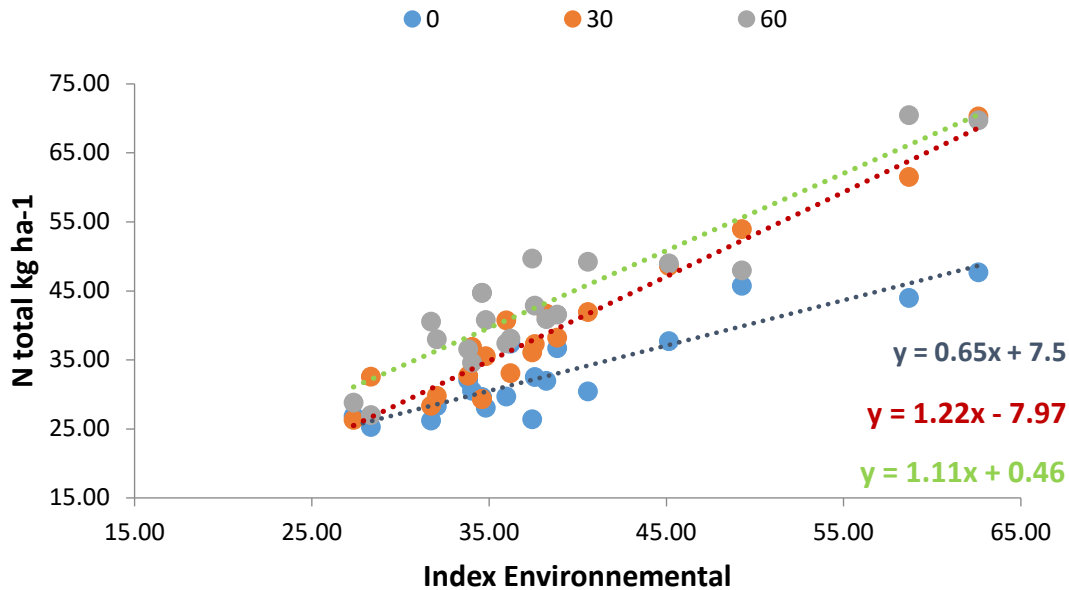


Figure 127: N total Riz FOFIFA 182 (paille et grain récolte) relation avec l'index environnemental pour les doses d'N testées (0, 30 et 60 N)

La figure 17 nous montre l'azote total mobilisé dans le grain et les pailles récoltés avec une relation sur l'axe X de l'index environnemental en fonction sur l'axe Y des 3 niveaux d'N testés dans les parcelles de FOFIFA 182. L'effet des doses pour à la fois 30 et 60 N semble augmenter avec le niveau de fertilité.

DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

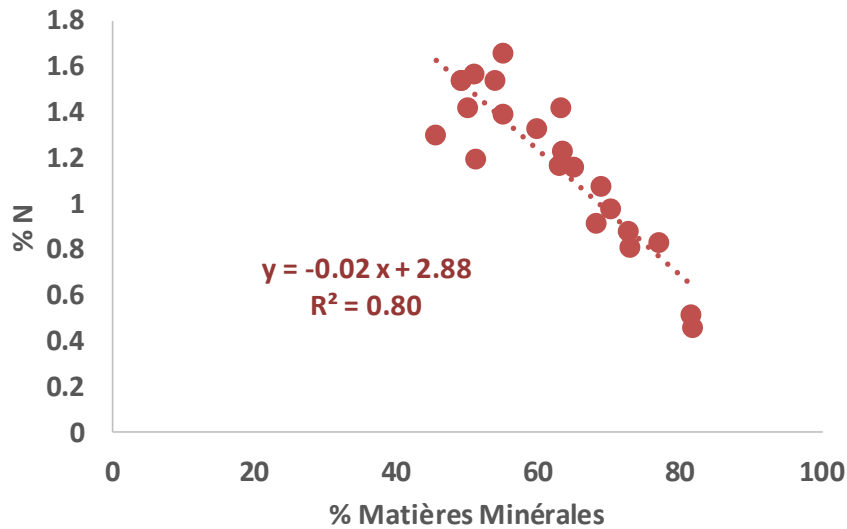
Cette étude avait comme principal objectif de tester l'hypothèse que l'N est le principal facteur limitant sur la production en riz pluvial en milieu paysan et que les quantités et la qualité des fumures organiques avait un impact sur cette offre en N.

16. Modalités et qualité des apports organiques

La majorité des agriculteurs utilisent des fumures organiques à base de fèces de bovins (16 cas sur 20) et peu de à base de porcs (2), de lombricomposts (2) ou de compost (1). Les quantités estimées au champ par enquête, prélèvement et pesée ont montré une certaine variabilité (entre 1.6 et 9.8 t ha MS) avec une moyenne se situant autour de 4.4 t ha⁻¹, pas très éloignée de celle obtenue dans d'autres études de dans la même région.

La variabilité de la qualité de ces apports organiques est également très forte et pour l'N le meilleur indice est le taux en matières minérales, lui-même un estimateur de la contamination par le sol (figure ci-dessous). Donc même si les agriculteurs rajoutent des résidus de récolte

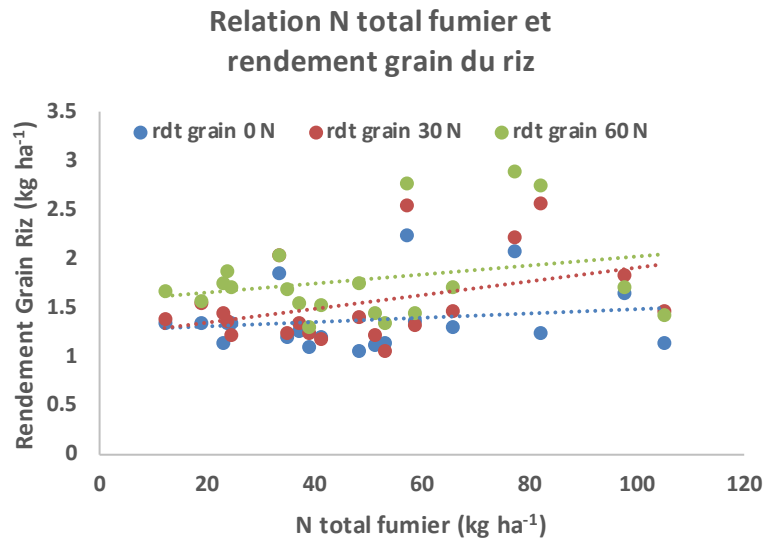
ou des pailles d'herbe naturelle, une contamination avec le sol existe et c'est le degré de cette contamination qui est le principal de qualité. Si le taux de cendres se détermine au laboratoire d'analyse, une première estimation peut être faite en broyant simplement l'échantillon pour un passage au tamis à 2 mm, puis en le séchant et en estimant sa densité apparente par un rapport poids sur volume au moyen d'une balance et d'une éprouvette graduée.



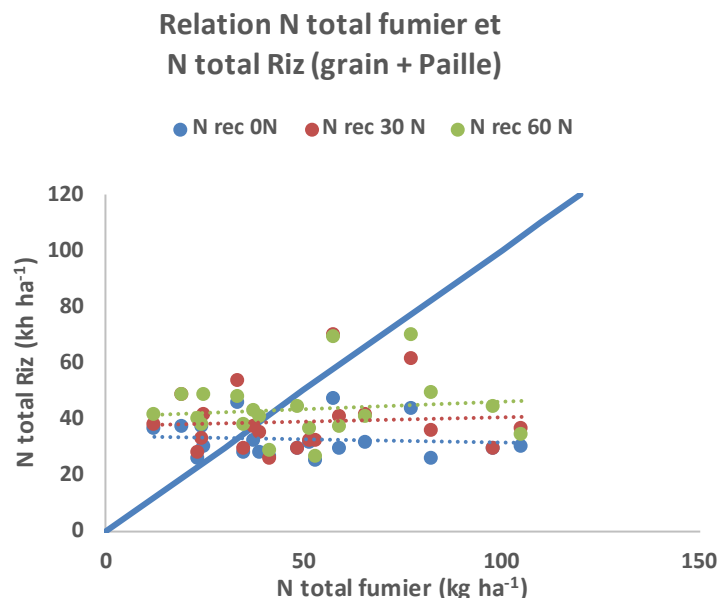
La qualité de la fumure organique dépend donc principalement du taux de sol mélangé au fèces et résidus de récolte, mais aussi au mode de production exprimée en % N en relation avec la quantité de sol présente et la qualité des matériaux rajoutés.

17. N total des apports organiques et performances du riz

La relation entre l'N total apporté par le fumier et le rendement grain est mentionnée sur la figure suivante pour les 3 niveaux d'N apportés. Aucune relation n'est mise en évidence.



La relation entre l’N total apporté par le fumier et l’N total mobilisé par la culture dans le grain et les pailles est mentionnée sur la figure suivante. Aucune relation n’est mise en évidence. Le report d’une droite sur le graphique réunissant les mêmes valeurs pour N total du fumier et N total du riz indique que dans la majorité des situations l’N apporté par le fumier est supérieur à l’N mobilisé par la culture.



Nous validons d’autres études qui montraient également que l’N total du fumier n’est pas forcément disponible sur le court terme et doit impacter sur d’autres aspects. Malgré également que la qualité en N de la fumure est corrélée avec d’autres éléments majeurs

comme P, Ca, Mg, K nous remarquons également que cela a un faible impact à court terme. L'effet du fumier et de la fumure organique serait donc à évaluer sur le plus long terme.

18. Effet des fertilisations N

En complément des apports organiques 2 niveaux d'N supplémentaires ont été testés. Une synthèse des résultats a été réalisée lorsque nous avons utilisé la méthode de l'index environnemental. Nous avons reporté dans le tableau suivant les valeurs des pentes pour tester l'hypothèse que si la pente a une valeur supérieure pour un indicateur donné, c'est qu'il existe une interaction entre la technique et le niveau de fertilité du sol : plus la valeur de la pente est forte et plus l'effet d'un traitement augmente avec le niveau de fertilité.

Indicateur Croissance	Pentes (voir figures 11,12, 14, 16, 17).		
	0 N	30 N	60 N
Biomasse Floraison	0.94	0.94	0.96
N Floraison	1.00	0.81	1.11
Rendement Grain	0.88	0.99	1.16
Rendement Paille	0.76	1.09	1.14
N total Grain et Paille	0.65	1.22	1.11

Nous remarquons est de manière très intéressante que cette hypothèse d'amélioration de l'effet de la fertilisation s'améliorant avec le niveau de fertilité en général se confirme pour :

- La fertilisation 30 N sur toutes les données à la récolte ;
- La fertilisation 60 N sur la valeur N Floraison et sur toutes les données à la récolte.

Le fait que chaque fertilisation N impacte mieux quand le niveau de fertilité augmente suggère l'effet d'un autre facteur minéral qui impacte sur la valorisation de l'N. Nous suggérons dans notre cas étant donné l'état de nos connaissances, que c'est le P qui interagit fortement. Par exemple en examinant la figure 16 nous remarquons sur le plus faible index

environnemental environ seulement 300 kg de gain de riz pour 60 N apporté, qui double à fort niveau (environ 600 kg).

La différence de rendement entre le plus faible niveau et le plus fort index environnemental, sans fertilisation (0 N), est bien plus élevée, environ de 1.3 t ha⁻¹ sans que l'on puisse attribuer à quel effet cette différence de comportement du riz entre exploitation peut être imputé. De nombreux facteurs peuvent intervenir, le précédent cultural, la date de semis, la maîtrise de l'enherbement, hormis le niveau en P.



C
ONCLUSION

CONCLUSION

19. Résultats nouveaux obtenus

Le projet SECURE pour lequel ce stage a été effectué est centré sur la restauration des fonctions biologiques du sol avec différents services rendus pour la culture de riz pluvial.

Nous avons dans cette étude sur notre réseau de fermes de référence du Moyen-Ouest du Vakinankaratra fait l'hypothèse que la diversité des apports organiques pouvait influencer à court terme la productivité du riz pluvial.

Malgré une diversité des quantités et des qualités des fumures organiques appliquées, aucune relation directe n'a pu être établie, entre les quantités d'N apporté par la fumure organique sur l'année et le rendement en riz. Le test de 2 fumures minérales de complément montre des réponses significatives sur le rendement qui confirment que l'N est déficient sur toutes les situations, Mais la relative faible réponse à cet élément exprimée en kg de grain produit par unité d'N engrais apporté qui augmente par ailleurs avec l'index environnemental, suggère d'autre interaction possible avec un autre élément majeur, dont le P.

L'utilisation de l'index environnemental comme outil d'étude d'interaction entre la fertilité du milieu (même si d'autres facteurs peuvent intervenir) et une technique donnée s'est montrée pertinente et riche d'enseignement.

20. Perspectives

Il est prévu l'année prochaine de se focaliser sur la fertilité biologique du sol en lien avec les pratiques. Il sera essentiel au vu des résultats de cette année d'avoir une caractérisation pluriannuelle des parcelles en matière des flux de biomasse et de fumier.

N° Labo	Code Echantillon	Identifiant 2	(01) Mesure	(02) Mesure	(04) Taux de	(05) Dosage	(06) Dosage	(07) Dosage	(08) Dosage
			du Carbone total par combustion sèche (Dumas)	de l'Azote total par combustion sèche (Dumas)					
			(1) C %	(1) N %	(1) MM %	(1) P %	(1) K %	(1) Ca %	(1) Mg %
US1803-00032	1	ERNEST	11,66	0,97	70,52	0,275	1,355	0,549	0,249
US1803-00033	2	ERNEST 2	15,08	1,41	63,32	0,355	1,793	0,936	0,406
US1803-00034	3	JEAN SYLVIN	19,26	1,53	54,13	0,262	2,068	0,673	0,406
US1803-00035	4	RAMAJATO	13,46	1,07	69,04	0,163	1,133	0,505	0,241
US1803-00036	5	RAMAJATO	10,2	0,8	73,23	0,204	0,873	0,363	0,163
US1803-00037	6	VONJY	8,78	0,82	77,3	0,121	0,668	0,39	0,16
US1803-00038	7	JEAN-H(Papa50b)	5,96	0,47	84,16	0,698	0,475	1,751	0,085
US1803-00039	8	JEAN AIME	14,26	1,16	63,18	0,201	1,916	0,615	0,324
US1803-00040	9	FIDELYS	22,23	1,53	49,34	0,222	1,549	0,699	0,322
US1803-00041	10	GUY	19,95	1,65	55,23	0,321	2,322	0,944	0,364
US1803-00042	11	JEAN DE DIEU	12,84	0,91	68,29	0,145	0,801	0,393	0,152
US1803-00043	12	FARASOU	6,58	0,45	81,87	0,199	0,849	0,49	0,112
US1803-00044	13	AUGUSTIN	10,8	0,87	72,81	0,193	0,63	0,47	0,191
US1803-00045	14	RFRANCOIS DE CHILES	19,49	1,38	55,3	0,227	1,647	0,672	0,327
US1803-00046	15	JEAN EMILLE	19,68	1,41	50,2	0,238	2,019	0,722	0,377
US1803-00047	16	JEAN BAPTISTE	17,87	1,32	59,97	0,206	1,995	0,577	0,308
US1803-00048	17	SOLOFO	23,82	1,29	45,64	0,209	1,622	0,592	0,302
US1803-00049	18	TIAHA	6,65	0,51	81,66	0,222	0,913	0,548	0,121
US1803-00050	19	BERTHINE	18,09	1,22	63,64	0,269	1,318	0,988	0,28
US1803-00051	20	GEORGETTE	17,4	1,15	65,28	0,23	1,004	0,809	0,211
US1803-00052	21	MONGIS 21	20,44	1,56	51,2	0,254	2,326	0,689	0,395

US1803-00053	22	MONGIS 22	19,85	1,19	51,48	0,262	0,945	0,624	0,261
US1803-00054	23	SANDY	22,16	1,53	49,36	0,261	1,783	0,984	0,39
		min	5,96	0,45	45,64	0,121	0,475	0,363	0,085
		max	23,82	1,65	84,16	0,698	2,326	1,751	0,406
		moyenne	15,50	1,14	63,31	0,25	1,39	0,69	0,27
		nb	23	23	23	23	23	23	23
		ETM	1,14	0,08	2,43	0,02	0,12	0,06	0,02
		CV %	35,27%	31,65%	18,44%	44,42%	41,10%	42,53%	38,13%