

## TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES .....	iv
LISTE DES TABLEAUX .....	iv
LISTE DES PLANCHES .....	v
LISTE DES PHOTOS .....	v
LISTE DES ANNEXES .....	v
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES	
I- MATERIEL BIOLOGIQUE ETUDIE .....	3
I-1. Origine de la variété « Mailaka ».....	3
I-2. Position systématique .....	3
I-3. Description botanique de l' <i>Oryza sativa</i> .....	3
I-3.1. Caractéristiques des plantes .....	3
I-3.2. Aspect physiologique de la plante .....	6
II- ENGRAIS AZOTES ET PHOSPHATES .....	8
II-1. Urée .....	9
II-2. Super granule d'urée.....	9
II-3. Sulfate d'ammonium .....	10
II-4. Superphosphate triple .....	10
DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET METHODES	
I. MILIEU D'ETUDE .....	11
I-1. Situation géographique .....	11
I-2. Climat .....	11
I-3. Sol et zone d'occupation.....	12
II-MATERIELS.....	14
II-1. Matériel végétal .....	14
II-2. Matériels techniques.....	14
II-2.1. Matériels techniques sur terrain.....	14

II-2.2. Matériels d'analyses en laboratoire .....	15
III-METHODOLOGIE.....	16
III- 1. Réalisation de l'expérimentation sur terrain .....	16
III-1.1. Dispositif expérimental .....	16
III-1.2. Opérations culturales.....	17
III-1.3. Prélèvement des échantillons de sol et de plantes.....	21
III-2. Collecte des données.....	22
III-2.1. Collecte des données au cours du suivi de la croissance et du développement du riz ..	22
III-2.2. Analyses en laboratoire .....	24
III-2.3. Analyses agronomiques .....	27
III-3. Evaluation de l'efficience d'utilisation de l'azote.....	29
III-4. Méthodes de traitement des données.....	31
 TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS	
I.    CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE LA PLANTE SUIVANT LES TRAITEMENTS .	
.....	32
I-1. Evolution du développement des talles suivant le temps en fonction des traitements.....	32
I-2. Evolution de la hauteur maximale de la plante en fonction des traitements.....	34
I-3. Évolution de la couleur foliaire au cours de la croissance et développement de la variété « Mailaka » suivant les traitements .....	36
II.   RESULTATS DES ANALYSES DES PLANTES ET DU SOL.....	38
II-1. Teneur en éléments chimiques de la plante.....	38
II-2. Caractéristiques physique et physico-chimiques du sol .....	43
III.  ANALYSES AGRONOMIQUES.....	46
III-1. Évaluation du rendement réel en grains des différents traitements.....	46
III-2. Rendement réel en paille, rapport du rendement en grain/paille et indice de récolte .....	47
III-3. Composantes du rendement .....	48
III-4. Corrélation entre croissance, développement et rendement.....	49

IV.	EVALUATION DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'AZOTE .....	50
IV-1.	L'efficience de recouvrement de l'azote .....	50
IV-2.	L'efficience physiologique de l'engrais azoté .....	51
IV-3.	L'efficience agronomique de l'azote apporté .....	52
IV-4.	Facteur de productivité partielle de l'azote apporté.....	53
 QUATRIEME PARTIE : DISCUSSIONS		
I-	UTILISATION DE L'AZOTE PROVENANT DE L'UREE PERLEE, DU SUPER GRANULE D'UREE ET DE SULFATE D'AMMONIUM DANS LA NUTRITION DU RIZ .....	54
II-	EFFET DE L'UTILISATION DE DIFFERENTS TYPES D'ENGRAIS AZOTES SUR LE RENDEMENT .....	55
II-1.	Comparaison entre l'effet du SGU et celui de l'urée .....	56
II-2	Comparaison de l'effet du sulfate d'ammonium avec celui de l'urée .....	56
II-3	Comparaison de l'effet du SGU + urée avec celui du sulfate d'ammonium + urée .....	56
III-	COMPARAISON DE L'EUA ENTRE LES DIFFERENTS TYPES D'ENGRAIS AZOTES .....	57
III-1.	Sur l'efficience de recouvrement .....	57
II-2.	Sur l'efficience physiologique.....	57
II-3.	Sur l'efficience agronomique .....	58
II-4	Sur le facteur de productivité partielle de l'azote apporté.....	58
 CONCLUSION ET PERSPECTIVES		
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....		61
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES .....		63
 ANNEXES		

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : <i>Oryza sativa</i> L.....	4
Figure 2 : Différents stades de développement du plant de riz .....	8
Figure 3 : Courbe Ombrothermique de la zone d'Ivato Antananarivo, saison culturale (2012-2013).....	12
Figure 4 : Localisation du site d'expérimentation à Ampamaho .....	13
Figure 5 : Dispositif expérimental en bloc de Fisher et parcelle élémentaire .....	18
Figure 6 : Courbes correspondant à l'évolution du nombre de talles suivant le temps selon le type de traitement .....	34
Figure 7 : Courbes montrant l'évolution de la hauteur de la plante suivant les temps selon les traitements .....	35
Figure 8 : Courbes de l'évolution de la couleur foliaire en fonction du temps.....	37
Figure 9 : Teneur en azote de la paille du riz au stade tallage et à la maturation.....	39
Figure 10 : Teneur en azote exporté par plante suivant les traitements .....	40
Figure 11 : Corrélation entre l'intensité de la couleur foliaire et la teneur en azote dans la plante .....	41
Figure 12 : Rendement réel en grains à l'humidité 14% des différents traitements .....	46
Figure 13 : Rapport Grain/Paille et indice de récolte IR suivant les traitements .....	48
Figure 14 : Représentation graphique de la corrélation entre croissance, développement et rendement.....	50

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Teneur en azote des graines en maturation .....	39
Tableau 2 : Moyenne de la quantité d'azote total exporté par les plants du riz à maturité.....	41
Tableau 3 : Teneur en différents éléments dans les grains du riz .....	43
Tableau 4 : Caractéristiques chimiques du sol avant et après l'expérimentation.....	45
Tableau 5 : Moyenne du rendement réel en paille des différents traitements.....	47
Tableau 6 : Composantes du rendement .....	49
Tableau 7 : Taux de l'efficacité de recouvrement de l'azote aux différents traitements .....	51
Tableau 8 : Efficacité physiologique.....	51
Tableau 9 : Efficacité agronomique .....	52
Tableau 10 : Facteur de productivité partielle de l'azote apporté .....	53

## LISTE DES PLANCHES

Planche 1 : Matériels d'analyses en laboratoire .....	15
Planche 2 : Opérations post- récoltes .....	21
Planche 3 : Différents étapes des travaux au laboratoire.....	24

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Variété « Mailaka ».....	3
Photo 2 : Photo montrant la tige et la feuille de riz.....	4
Photo 3 : Epillet du riz.....	5
Photo 4 : Graines de la variété « Mailaka» .....	6
Photo 5 : Plaquette couleur foliaire .....	14
Photo 6 : Mesure de la couleur foliaire .....	23

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Données climatiques de la zone d'Ivato Antananarivo.....	i
Annexe 2 : Fiche technique de la variété « Mailaka ».....	i
Annexe 3 : Opérations culturales .....	iii
Annexe 4 : Chronologie des différents stades phénologiques.....	iv
Annexe 5 : Mesure de la couleur foliaire à l'aide de PCF.....	v
Annexe 6 : Protocole d'analyse des plantes .....	v
Annexe 7 : Concentration critiques des déficiences et toxicités en divers éléments chez le riz et teneur en éléments chimiques des plantes.....	x
Annexe 8 : Triangle des textures .....	xii
Annexe 9 : Protocole d'analyse du sol .....	xii
Annexe 10 : Normes d'interprétation des analyses chimiques du sol .....	xviii
Annexe 11 : Analyse statistique .....	xix

## LISTE DES ACRONYMES

<b>EUA</b>	Efficiencie d'Utilisation d'Azote
<b>Ea</b>	Efficiencie agronomique
<b>Ep</b>	Efficiencie physiologique
<b>Er</b>	Efficiencie de recouvrement
<b>ESSA:</b>	Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
<b>FOFIFA:</b>	FOibem-pirerenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra
<b>G/P:</b>	Rapport du rendement en grain avec le rendement en paille
<b>H:</b>	Humidité
<b>Ha:</b>	Hectare
<b>IR:</b>	Indice de Récolte
<b>IRD:</b>	Institut de Recherche pour le Développement
<b>IRRI:</b>	International Rice Research Institute
<b>JAR</b>	Jour Après Repiquage
<b>kg:</b>	Kilogramme
<b>m<sup>2</sup>:</b>	Mètre carré
<b>MS :</b>	Matière Sèche
<b>N exp :</b>	Azote exporté
<b>p :</b>	Probabilité
<b>P<sub>1000</sub>:</b>	Poids de mille grains pleins.
<b>P<sub>14</sub>:</b>	Poids grains de la parcelle utile à 14% d'humidité
<b>PCF:</b>	Plaquette Couleur Foliaire
<b>PU:</b>	Parcelle Utile
<b>R:</b>	Rendement
<b>SGU:</b>	Super Granule d'Urée
<b>SPT:</b>	Super Phosphate Triple
<b>T:</b>	Traitement
<b>t:</b>	Tonne
<b>Tf :</b>	Taux de fertilité des graines

**Rapport-Gratuit.com**

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le riz est l'élément fondamental de l'alimentation de nombreuses populations du monde, notamment en Asie et en Afrique (FAOSTAT, 2005). C'est la première céréale mondiale de l'alimentation humaine, la deuxième après le maïs pour le tonnage récolté (608 Mt en 2004) et après le blé en surface cultivée (153 Mha en 2004) (Courtois, 2007).

A Madagascar, le riz est à la fois social, politique et économique (Emeline, 2007). D'après les études effectuées par le QualiREG en 2009, Madagascar est le pays le plus producteur de riz dans l'océan Indien avec 4,5 millions de tonnes de riz paddy, et ayant la plus forte consommation par habitant au monde (100-120 kg/personne/an). Il constitue la base de l'alimentation des Malgaches. Même si la production augmente, il n'est pas certain qu'elle puisse répondre à la demande liée à la croissance démographique. Elle est freinée par une extension difficile des surfaces irrigables et une stagnation des rendements. Ceci entraîne une sous nutrition et une baisse du niveau de vie de la population malgache.

Les systèmes irrigués ont le potentiel de fournir les rendements les plus élevés (Arraudeau, 2002), mais la surface cultivée est très difficile à agrandir. Pour cela, les chercheurs se consacrent au niveau des techniques d'augmentation du rendement du riz par la sélection des variétés de riz cultivé, l'amélioration des semences et la fertilisation du sol. L'amélioration variétale est prometteuse en vue d'accroître le rendement (Arraudeau, 1970). Or, le seul moyen d'obtenir un rendement élevé consiste à utiliser des variétés ayant une réponse très forte à l'azote (Arraudeau, 1970). Le présent travail se concentre sur la fertilisation du sol en utilisant les engrais organiques (fumier de parc) et inorganiques (urée, sulfate d'ammonium et super phosphate triple) pour faire face à ces besoins. Les engrais sont apportés pour fournir les quantités suffisantes de un ou plusieurs éléments essentiels pour les plantes (Moughli, 2000). Pour parvenir à l'autosuffisance, la recherche propose les apports d'éléments fertilisants du sol dont les plus importants sont l'azote et le phosphore.

L'azote est un des éléments qui donne la meilleure réponse en riziculture. Son action se manifeste très rapidement par le verdissement et la croissance de la végétation (Dobelman, 1980). C'est un élément responsable de la photosynthèse, qui assure la croissance des organes végétatifs et la synthèse de protéines dans le grain.

En excès, il favorise le développement excessif des organes végétatifs, la sensibilité de la plante à la maladie pyriculariose et la multiplication des grains vides. D'après l'étude de Raharinivo (2010), l'apport d'azote effectué au stade tallage et au début de la floraison est très efficace en raison de l'augmentation du nombre des talles et de la fertilité des panicules. Il est absorbé au niveau des poils absorbants des racines à l'état d'ions.

Il peut être perdu par le phénomène de lixiviation ou par la réaction de dénitrification-nitrification (Moughli, 2000). Les travaux de Rakotoarisoa (2011) ont montré que l'apport d'azote par le super granule d'urée (SGU) peut se faire en une seule fois au début de la culture et peut diminuer la perte d'azote en le libérant progressivement. L'azote combiné avec le phosphore est particulièrement favorable à la culture et donne naissance à un effet d'interaction positive (Bouyer, 1968). D'après les recherches effectuées par Randriamalaza (2014), l'apport d'azote par SGU et de phosphate sous forme de super phosphate triple (SPT) par la méthode du trempage des racines accroît le rendement en grains de paddy. En complément de ces travaux, la source d'azote la plus absorbée par les plantes est très pertinente à étudier. Le déficit ou l'excès d'azote conduit au faible rendement.

C'est autour de cet ordre d'idée que nous nous sommes proposé d'étudier l'efficacité d'utilisation de l'azote provenant de différentes formes d'engrais azotés.

Globalement, cette étude a pour but de contribuer à l'amélioration de la production de riz irriguée sur les bas-fonds de Madagascar afin de répondre aux consommations de la population. Plus spécifiquement, les objectifs sont les suivants :

- évaluer l'effet de différents engrais azotés avec le trempage du super phosphate triple (SPT) sur le développement et la production du riz ;
- évaluer l'efficacité d'utilisation de l'azote provenant de l'urée (sous forme de perlurée et de super granule) et du sulfate d'ammonium sur la croissance, le développement et la production en paddy de la variété « Mailaka » en culture irriguée ;
- déterminer la dose d'azote optimale et les périodes idéales pour l'apport de l'azote en utilisant la plaquette couleur foliaire.

Les hypothèses suivantes sont à vérifier :

- l'apport d'azote sur la culture du riz irriguée accroît le rendement en grains de paddy ;
- l'engrais azoté sous forme de super granule d'urée est plus efficace que l'urée perlée ;
- le sulfate d'ammonium est plus efficace que l'urée perlée ;
- le super granule d'urée est plus efficace que le sulfate d'ammonium.

Quatre parties seront abordées dans cette étude : la première partie présentera l'étude bibliographique ; la deuxième partie décrira les matériels et les méthodes utilisés; ensuite la troisième partie présentera les résultats et interprétations et la quatrième partie discutera les résultats obtenus et enfin, la conclusion et les perspectives de recherche sont indispensables.

# **PREMIERE PARTIE : GENERALITES**

## I- MATERIEL BIOLOGIQUE ETUDIE

### I-1. Origine de la variété « Mailaka »

La variété X265 ou « Mailaka » a été utilisée dans cette étude. Cette variété a été introduite de l'IRRI, Philippines en 1987. Elle est diffusée par le FOFIFA en 1994. Sa zone de culture à Madagascar est dans les régions suivantes : Moyen-Est, Moyen-Ouest, Nord-Est, Sud-Est, et Hauts-Plateaux. Cette variété appartient à l'espèce *Oryza sativa* L..

### I-2. Position systématique

D'après Linné, l'espèce *Oryza sativa* L. appartient :

Règne :	PLANTAE
Embranchement :	MAGNOLIOPHYTA
Classe :	LILIOPSIDA
Sous-classe :	COMMELINIDAE
Ordre :	POALES
Famille :	POACEAE
Genre :	<i>Oryza</i>
Espèce :	<i>sativa</i> L.

La variété « Mailaka » est obtenue à partir de la sélection génétique de divers croisements de l'espèce *Oryza sativa* L. effectués par l'IRRI.

Variété : L.X265 ou « Mailaka »

Dénomination étrangère : IR 15579-24-2

Numéro d'introduction ou de collection : 3914 (X265)

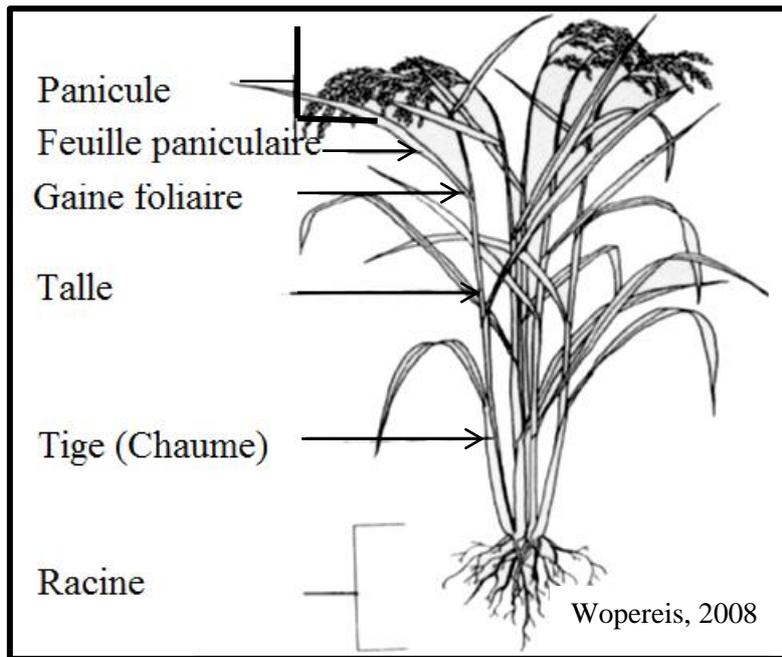


**Photo 1 :** Variété « Mailaka »

### I-3. Description botanique d'*Oryza sativa*

#### I-3.1. Caractéristiques de la plante

Le riz, *Oryza sativa* L., variété « Mailaka » est une plante herbacée annuelle. Cette variété est cultivée en irriguée pendant la saison pluvieuse et son cycle végétatif total varie entre 160-165 jours. La plante peut atteindre une hauteur de 90 cm (FOFIFA, 2000).



**Figure 1 :** *Oryza sativa* L.

### I-3.1. Appareil végétatif

- Racine

La racine d'*Oryza sativa* L. est fasciculée (Figure 1). Les variétés utilisées en riziculture irriguée présentent un enracinement plus développé par rapport à celles utilisées en rizicultures sèches (Dobelman, 1976).

- Tige

La tige du riz correspond à un chaume dressé tallant à la base. Son développement est avant la floraison (Dobelman, 1976).

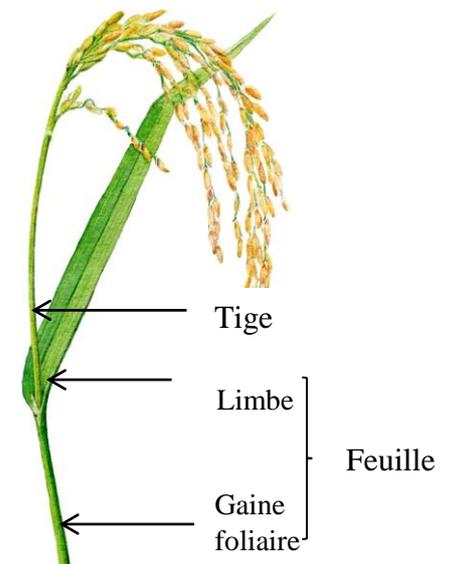
En coupe transversale l'entre-nœud présente une cavité médullaire vide (Yoshida, 1981).

La variété « Mailaka » a une aptitude forte au tallage.

- Feuille

La feuille du riz est simple, distique, et à nervure parallèle.

Elle a une forme linéaire, glabre, constituée par la gaine foliaire et le limbe.



**Photo 2 :** Photo montrant la tige et la feuille de riz

A l'articulation gaine-limbe se trouve une ligule membraneuse, munie de deux oreillettes basales ciliées appelées auricules. (Yoshida, 1981).

La longueur des feuilles de la variété étudiée atteint 15 cm.

### I-3.1. 2. Organes reproducteurs

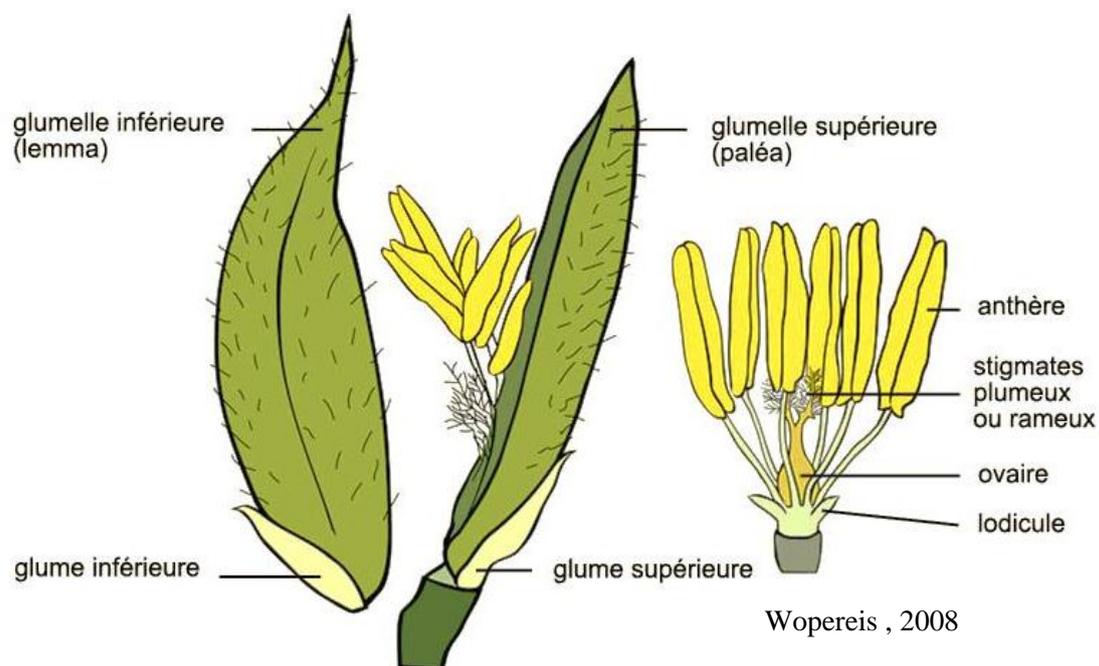
- Epillet :

L'épillet (Photo 3) du riz est composé de :

- deux glumes réduites en un simple bourrelet ;
- une rachéole : axe qui porte les fleurs ;
- trois fleurs dont une fertile en position terminale précédée de deux fleurs stériles. La fleur fertile comporte de l'extérieur vers l'intérieur :

- deux glumelles coriaces, le lemma et le palea. Pour la variété Mailaka, les glumelles sont colorées en jaune clair.
- deux lodicules de très petites tailles ;
- six étamines à filets libres et anthères développés ;
- un ovaire supère uniloculaire, uniovulé surmonté de deux styles à stigmate longuement plumeux.

Les pollens de riz sont hétéropolaires, monoporés (Bonnefille et *al.*, 1980).

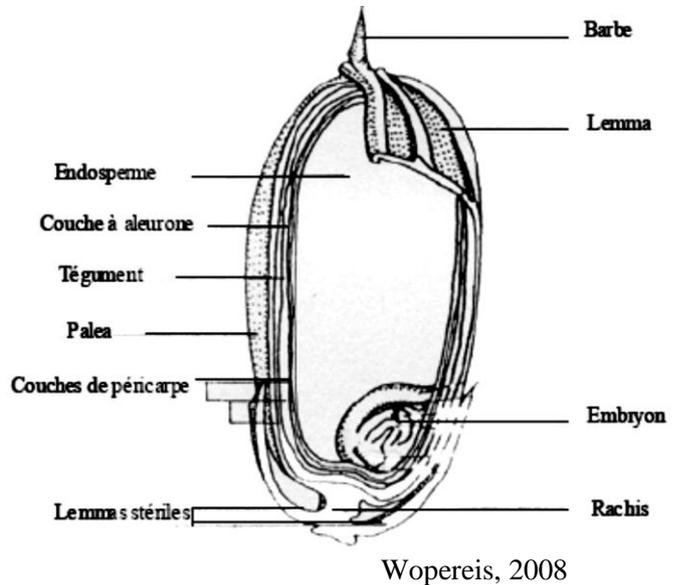


**Photo 3** : Epillet du riz

- Grain du riz

Le grain du riz est un caryopse de forme oblongue, inclus dans les deux glumelles (Lemma et Palea). Il est constitué par trois parties dont :

- le tégument ;
- l'albumen (endosperme) ;
- l'embryon



**Photo 4** : Graines de la variété « Mailaka»

Les compositions principales de l'endosperme sont de l'amidon, du sucre, de la protéine et du lipide. C'est la réserve de nourriture de l'embryon. (Vergara, 1984)

Chez la variété « Mailaka », le caryopse a une couleur blanche. La graine a une longueur de 8,3 mm et une largeur de 3,1 mm.

### **I-3.2. Aspect physiologique de la plante**

Entre le semis et la récolte, le cycle de végétation peut se diviser en trois phases (Figure 2) :

- phase végétative ;
- phase reproductive;
- phase de maturation.

#### **I-3.2. 1. Phase végétative**

La phase végétative comprend la germination, la levée et le tallage. Elle dure du semis jusqu'à la phase de différenciation paniculaire (initiation paniculaire) (Lacharme, 2001).

Selon la température, la germination dure de 5 à 20 jours (5 jours en condition chaude et 20 jours sous de basses températures). La levée va de l'émergence jusqu'au stade 4 feuilles et dure de 15 à 25 jours selon la température (de basses températures rallongent la durée de la levée).

Durant cette phase, le plant acquiert progressivement son indépendance vis à vis des réserves alimentaires de la graine. Le plant est totalement indépendant au stade 3 feuilles. La durée de la germination avec la levée est d'environ 21 jours pour les semis d'hivernage.

Le tallage commence à partir du stade 5 feuilles et a une durée variable qui dépend des conditions climatiques (température) et de la variété. C'est la longueur de cette phase qui différencie les variétés de cycle court, moyen et long. Les talles se multiplient jusqu'à l'achèvement du stade de l'initiation paniculaire (FAO, 1979).

La phase végétative est très sensible aux variations de la longueur du jour, de la température et de l'intensité lumineuse (FAO, 1979). Notons qu'une température basse ou un accroissement de la photopériode peut augmenter la durée de cette phase (Vergara, 1984).

#### I-3.2. 2. Phase reproductive

La phase reproductive du riz commence avec l'initiation paniculaire et s'achève à l'ouverture des épillets pendant laquelle se produit la fécondation. Elle dure de 19 à 25 jours (Niry, 2010). Cette phase comporte trois étapes consécutives:

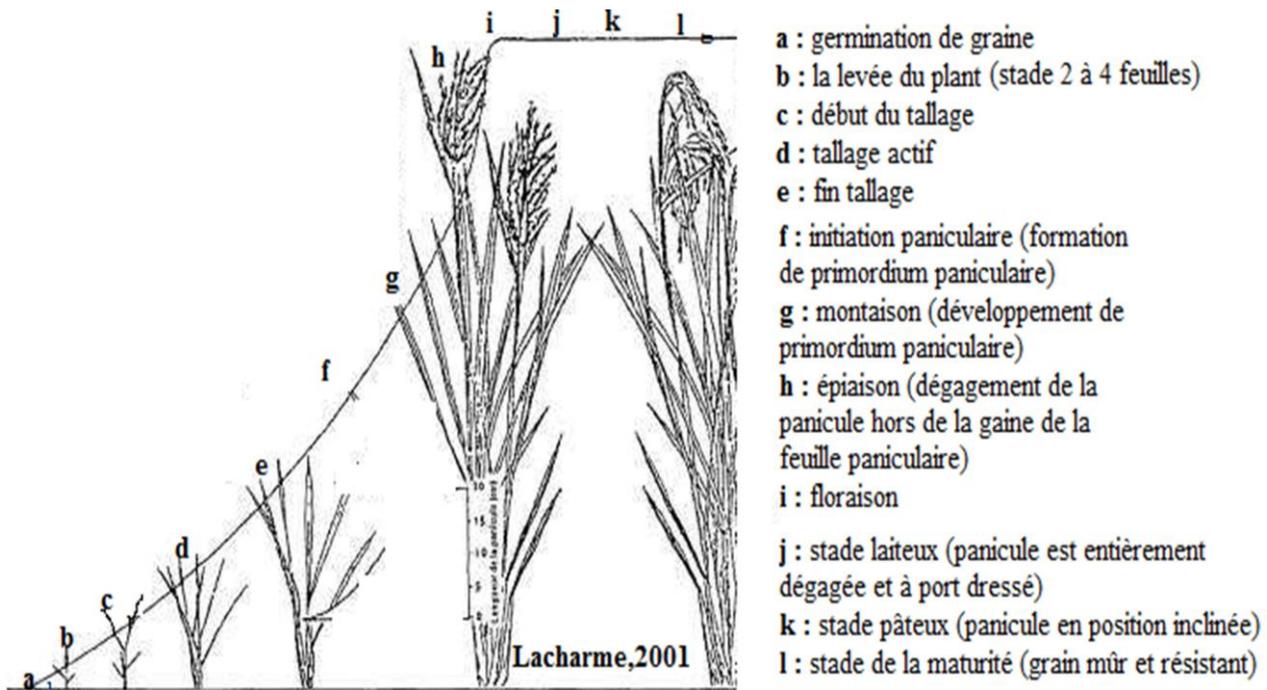
- La formation du primordium paniculaire (ébauche de la panicule) au nœud supérieur de la talle ou initiation paniculaire.
- La montaison, caractérisée par un renflement notable de la gaine foliaire à la suite du développement du primordium paniculaire.
- L'anthèse ou floraison qui se passe après l'épiaison (dégagement de la panicule hors de la gaine de la feuille paniculaire). Cette période d'ouverture des glumelles se passe favorablement au milieu de la journée et dure environ 2h (Yoshida, 1981).

Cette phase reproductive s'effectue sous la dépendance de divers facteurs du milieu (humidité, nutrition, température et durée du jour).

#### I-3.2. 3. Phase de maturation

La phase de maturation dure de 25 à 35 jours, selon les conditions de température et d'humidité du milieu (Niry, 2010). Elle s'effectue entre la fécondation et la pleine maturité des graines. Durant cette phase, on observe un remplissage des grains par le transfert des éléments nutritifs de la plante vers les grains. Cette phase comporte trois étapes :

- Stade laiteux : la matière aqueuse incolore des grains s'épaissit et prend une couleur laiteuse. La panicule est entièrement dégagée et à port dressé.
- Stade pâteux : la matière laiteuse se change en pâte molle puis durcit. La panicule prend une position inclinée par rapport à la verticale.
- Stade de la maturité : le grain est entièrement mûr et résistant.



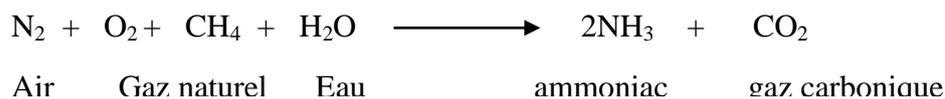
**Figure 2** : Différents stades de développement du plant de riz

## II- ENGRAIS AZOTES ET PHOSPHATES

L'azote joue un rôle essentiel dans la production de la chlorophylle, responsable de la photosynthèse ; il assure la croissance rapide des organes végétatifs et augmente le taux de protéines dans le grain.

Les engrais azotés utilisés (urée, super granule d'urée et sulfate d'ammonium) appartiennent aux engrais simples, ce sont des molécules chimiques bien définies ne contenant qu'un seul des trois éléments suivants: azote (N) ou phosphore (P) ou potassium (K).

D'après Moughli (2000), les engrais azotés sont des produits fabriqués par l'industrie des engrais. Le principe général de la fabrication est la fixation de l'azote atmosphérique pour former l'ammoniac selon la réaction suivante:



L'ammoniac est ensuite combiné avec d'autres produits pour donner naissance aux engrais azotés.

## II-1. Urée

L'urée est un engrais simple qui a des molécules chimiques bien définies  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  et ne contenant qu'un seul élément : azote (N). Elle est obtenue à partir de la combinaison de l'ammoniac et du gaz carbonique :



La teneur en azote dans l'urée est 46% N (Moughli, 2000). L'urée a une solubilité élevée. Elle peut entraîner un risque de perte de  $\text{NH}_3$  par volatilisation, par l'eau d'irrigation ou par la pluie.

L'urée, apportée au sol, et en présence d'une certaine humidité, subit la réaction suivante :



Les ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) peuvent être soit absorbés par les racines des plantes, soit transformés en nitrates par nitrification, soit fixés par les charges électriques négatives des colloïdes du sol. Sous certaines conditions, l'ammonium peut se transformer en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et se volatiliser.

## II-2. Super granule d'urée (SGU)

Le SGU est un engrais azoté sous forme de boule uniquement à base d'urée. Il est obtenu à partir de la poudre d'urée par granulation à l'aide d'une machine appelée briqueteuse.

Un SGU pèse 1,45 g à une dose 46% d'azote. La dose apportée est en fonction de la géométrie du repiquage, de la masse et du nombre de SGU utilisé. D'après Rakotoarisoa (2011), le calcul de la détermination de la dose d'azote apportée est le suivant :

$$D = \% N \times n \times p \times me$$

avec **D** : dose d'azote par hectare ( $\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$ )

**% N** : pourcentage d'azote dans l'engrais (en %)

**n** : nombre de SGU

**p** : poids du SGU (en kg)

**me** : nombre de maille élémentaire par ha

Dans cette expérimentation de la géométrie de repiquage 20 cm x 20 cm, 130 SGU par 20 m<sup>2</sup> ou 65000 SGU par hectare ont été apportés.

### II-3. Sulfate d'ammonium

Le sulfate d'ammonium est un engrais azoté appartenant aux engrais simple. Il a une molécule bien définie  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  résultant de la réaction de deux produits dont l'ammoniac et l'acide sulfurique :



La teneur en azote du sulfate d'ammonium est de 21% et celle du sulfate est de 24% (Moughli, 2000). Le sulfate d'ammonium a des avantages comme l'effet acidifiant désirable pour les sols basiques et l'apport du soufre.

En présence d'une certaine humidité du sol, le sulfate d'ammonium subit la réaction suivante :



### II-4. Superphosphate triple (SPT)

Le superphosphate triple est un engrais phosphaté, fabriqué à partir de roches phosphatées qui sont extraites de la terre. Le phosphore présent dans ces roches n'est pas disponible pour les plantes.

Pour rendre le phosphore soluble, ces roches sont attaquées avec l'acide phosphorique. Les processus de fabrication aboutissent au superphosphate triple (Moughli, 2000).



Le superphosphate triple a une formule chimique  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  et il est classé dans les engrais simples. La teneur des éléments nutritifs sont : 45 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  ; 3 à 14 %  $\text{CaO}$  et 1 %  $\text{S}$

Les engrais phosphatés apportés au sol libèrent le phosphore sous forme de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$  selon le pH du sol. Ces ions peuvent être absorbés par les racines ; ou réagissent avec des cations tels le calcium en sol basique, le fer et l'aluminium en sol acide pour former les minéraux qui sont moins disponibles pour les plantes.

**DEUXIEME PARTIE : MATERIELS ET  
METHODES**

## **I-. MILIEU D'ETUDE**

### **I-1. Situation géographique**

L'expérimentation a été effectuée dans la Commune Rurale Mahitsy, région Analamanga, dans la partie Nord-Ouest d'Antananarivo, à 30 km du centre-ville (Figure 4). Plus précisément, le site d'étude se situe à 2 km du village de Mahitsy, dans le hameau d'Ampamaho. Ses coordonnées géographiques étant de 18°45'24'' de latitude sud et de 47°20'43,9'' de longitude Est avec 1.268 m d'altitude.

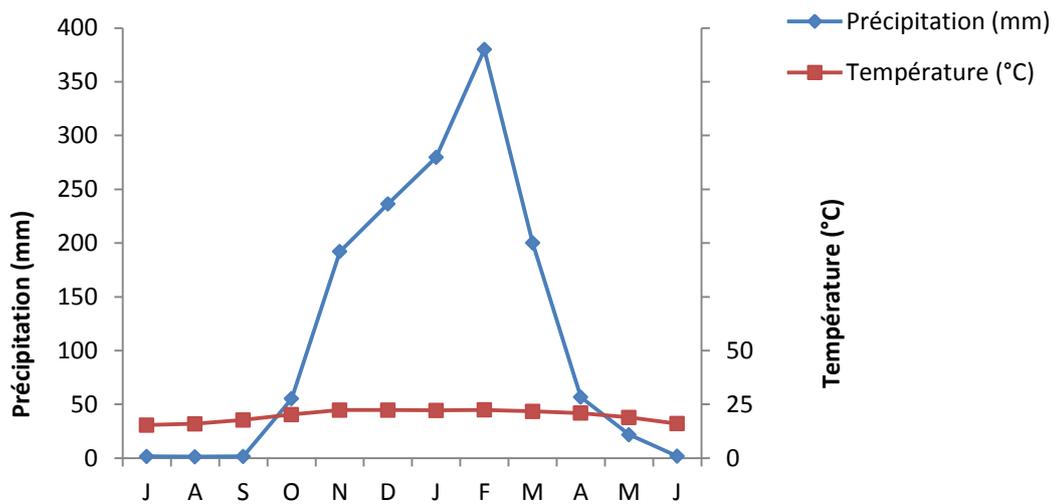
### **I-2. Climat**

Les données climatiques de la zone d'Ivato (*Annexe I*), la plus proche du milieu d'expérimentation ont été utilisées afin de déterminer le type du climat de la zone d'étude. Le diagramme ombrothermique (Figure 3) obtenu à partir de la méthode de Gausson (1955) avec un principe de l'échelle  $P=2T$ , présente les variations annuelles de la température (T) et de la précipitation (P) de la zone d'étude.

La zone d'étude est située sous un climat de type tropical d'altitude avec deux saisons bien marquées : une saison sèche et fraîche ( $P \leq 2T$ ) durant six mois allant du mois de mai au mois de septembre, une saison chaude et humide ( $P \geq 2T$ ) pendant six mois à partir du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril.

La précipitation moyenne maximale obtenue sur deux années consécutives (2012-2013) s'observe au mois de février, avec une valeur de 380,05 mm et la précipitation minimale, de 1,35 mm, apparaît au mois d'août. La précipitation totale de l'année 2012-2013 est de 1428,65 mm.

La température de la zone d'étude pendant la saison culturale varie de 15,36 °C (au mois de juillet) à 22,4 °C (au mois de février) avec une moyenne annuelle de 19,68 °C.

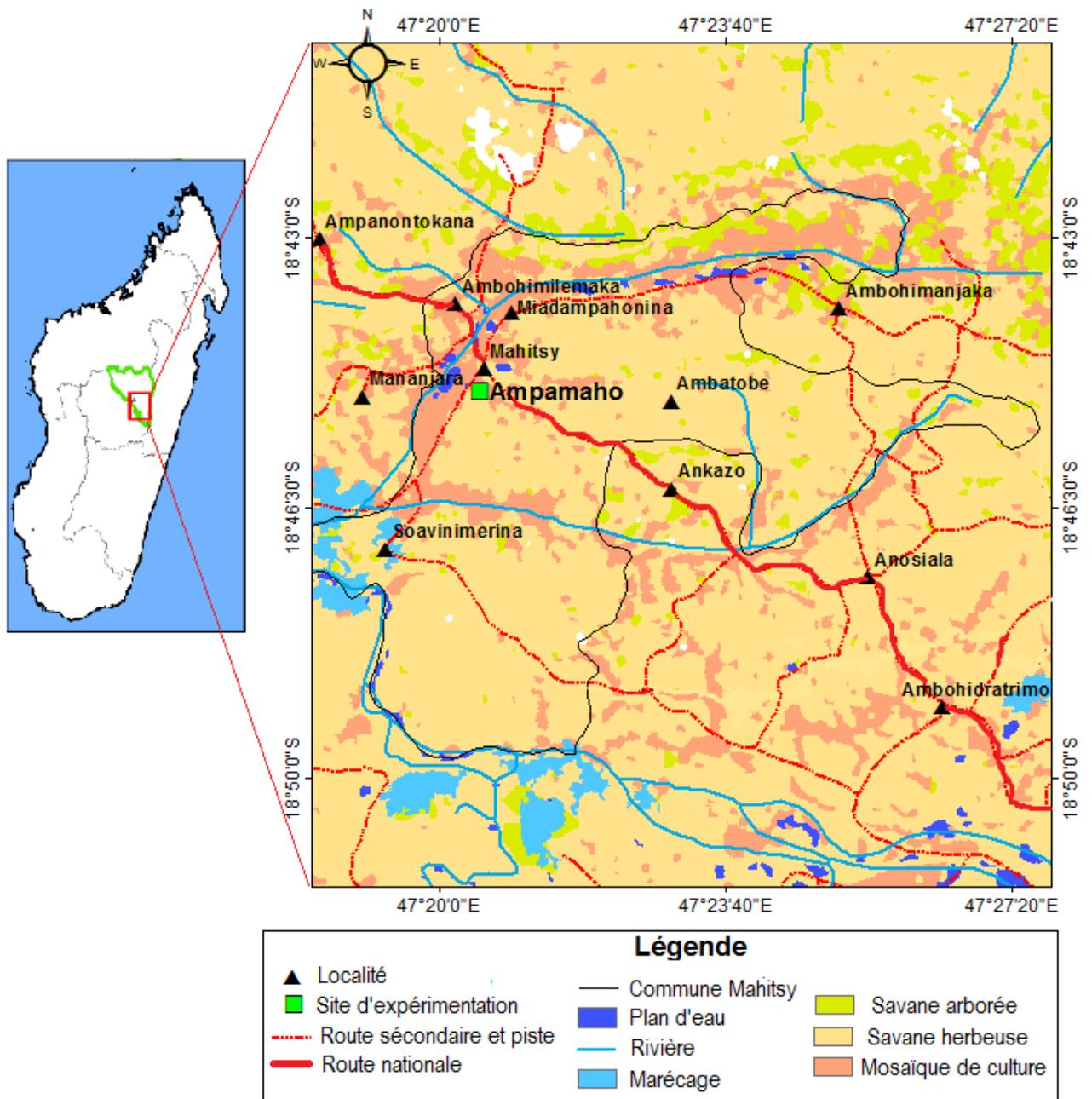


Echelle : P=2T

**Figure 3** : Courbe Ombrothermique de la zone d'Ivato Antananarivo, saison culturale 2012-2013

### I-3. Sol et zone d'occupation

La région Mahitsy présente des sols hydromorphes à gley et à pseudogley sur alluvions (plaines) et colluvions (vallées et bas-fonds). Concernant l'occupation du sol, la commune de Mahitsy est formée par 2144 ha de bas-fonds rizicultivés ainsi que de 2183 ha de formation herbeuse et de peuplements arborés épars. Les zones d'habitation s'étendent sur 3600 ha de terres. Mahitsy compte 7 km de route goudronnée et 23 km de piste praticable



**Figure 4** : Localisation du site d'expérimentation à Ampamaho

Source : BD 500 FTM

## II-MATERIELS

### II-1. Matériel végétal

La variété de riz X265 ou « Mailaka » a été utilisée dans cette expérimentation ; c'est une variété issue de divers croisements effectués par l'IRRI et elle est inscrite dans le catalogue national malagasy sous le numéro 3914 et son nom est IR 15579-24-2. (Fiche technique : *Annexe 2*).

### II-2. Matériels techniques

Les matériels techniques utilisés pendant l'expérience peuvent se classer en deux : les matériels utilisés sur terrain et ceux au laboratoire.

#### II-2.1. Matériels techniques sur terrain

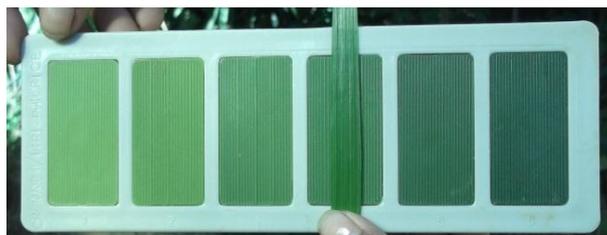
##### II-2.1.1. Engrais utilisés

Les engrais azotés (urée, super granule d'urée et sulfate d'ammonium), les engrais phosphatés (SPT) et les engrais organiques (fumier de parc) ont été utilisés dans cette expérience. Le suivi des effets de ces engrais sur la culture du riz a été réalisé à l'aide de la plaquette couleur foliaire, du comptage manuel et la règle graduée.

##### II-2.1.2. Plaquette couleur foliaire (PCF)

La feuille, par la présence des pigments chlorophylliens, est le siège des activités physiologiques intenses des métabolismes de la plante. La couleur verte des feuilles est proportionnelle à la teneur en azote assimilée par le plant du riz (Witt et *al.*, 2002).

La plaquette couleur foliaire (Photo 5) est un outil permettant de mesurer l'intensité de la couleur foliaire (Balasubramanian et *al.*, 1998), fabriquée à partir de la matière plastique. Elle comporte six plages de couleurs codées de 1 à 6, allant de la couleur verte jaunâtre à la couleur verte foncée. La couleur des feuilles est confrontée aux plages de couleurs de la plaquette. La valeur seuil de déficience de la nutrition azotée du riz est de 4 (Balasubramanian et *al.*, 2000). La PCF permet de déterminer le moment opportun pour épandre l'azote et d'évaluer l'effet d'utilisation de l'azote sur la culture du riz.



**Photo 5 :** Plaquette couleur foliaire (PCF) TAHINARIVONY M.

## II-2.2. Matériels d'analyses en laboratoire

Les matériels de laboratoire permettent d'effectuer toutes les analyses nécessaires pour la réalisation de cette étude. Ces matériels constituent des équipements de laboratoires et des réactifs chimiques.

Les appareils spéciaux (Planche 1) utilisés pour déterminer les éléments nécessaires à cette étude sont :

- appareil à distillation (a) : c'est un appareil utilisé pour faire l'extraction de l'azote et pour déterminer la capacité d'échange cationique (CEC) ;
- spectrophotomètre d'absorption atomique (b): sert à la détermination des cations comme le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) ;
- photomètre d'émission (c): appareil utilisé à la détermination du potassium (K) et du sodium (Na) ;
- spectromètre colorimètre (d) : appareil utilisé pour la lecture de la teneur en phosphore(P).

**Planche 1** : Matériels d'analyses en laboratoire



(a) Appareil à distillation



(b) Spectrophotomètre d'absorption atomique



(c) Photomètre d'émission



(d) Spectromètre colorimètre

### **III-METHODOLOGIE**

Pour atteindre les objectifs d'étude, divers types des travaux ont été effectués :

- conduite de l'expérimentation sur terrain
- collecte des données
- traitement des données

#### **III- 1. Réalisation de l'expérimentation sur terrain**

La réalisation de l'expérimentation sur terrain a pour objectif d'obtenir des données qui serviront dans la comparaison des traitements utilisés. Les traitements appliqués pendant l'expérimentation sont les suivants:

- T1: témoin sans azote ;
- T2: apport de super granule d'urée à la dose 43,4 N, enfoui à 10 cm, au moment du repiquage ;
- T3: épandage d'urée perlée à la dose totale de 86,8 N, à apporter en deux fractions égales, dont : la moitié au moment du repiquage et l'autre moitié par épandage unique en fonction de l'indication de la PCF (Plaquette Couleur Foliaire)
- T4: apport de super granule d'urée à la dose 43,4 N, enfoui à 10 cm, au moment du repiquage et épandage unique d'une dose de 43,4 N d'urée, en fonction de l'indication de la PCF ;
- T5: apport de sulfate d'ammonium à la dose de 43,4 N au repiquage et épandage unique d'une dose de 43,4 N d'urée, en fonction de l'indication de la PCF ;
- T6: apport de sulfate d'ammonium à la dose de 86,8 N au moment du repiquage.

Etant donné que le phosphore pourrait constituer un facteur limitant pour la croissance et le développement normal du riz, cet élément a été apporté dans toutes les parcelles à la dose de  $0,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$  par la méthode du trempage des racines.

##### **III-1.1. Dispositif expérimental**

Pour bien réaliser l'expérience sur le terrain, un dispositif expérimental a été mis en place avant de faire la culture.

Le dispositif en bloc de Fisher ou dispositif en bloc simple (Figure 5), a été utilisé dans cette étude. Les six traitements à étudier sont distribués d'une manière aléatoire dans six parcelles élémentaires de même dimension d'un bloc homogène. L'expérimentation comporte au total quatre blocs (quatre répétitions).

Chaque parcelle élémentaire a une superficie de 20 m<sup>2</sup> (4 m× 5 m) délimitée par une diguette comprenant un canal de drainage et d'irrigation. Chaque parcelle est subdivisée en trois zones différentes dont une zone de bordure qui sert à protéger les deux autres zones des bio-agresseurs, une surface d'échantillonnage réservée aux observations et aux prélèvements d'échantillons et la dernière zone, c'est la parcelle utile, qui sert à l'évaluation du rendement.

La zone de bordure est constituée par une ligne de touffes à partir du bord de la parcelle élémentaire. La surface d'échantillonnage se compose de deux lignes de touffes à partir de cette bordure. Le reste de la parcelle, qui est située au milieu de la parcelle élémentaire, représente la parcelle utile avec une superficie de 12 m<sup>2</sup>.

### **III-1.2. Opérations culturales**

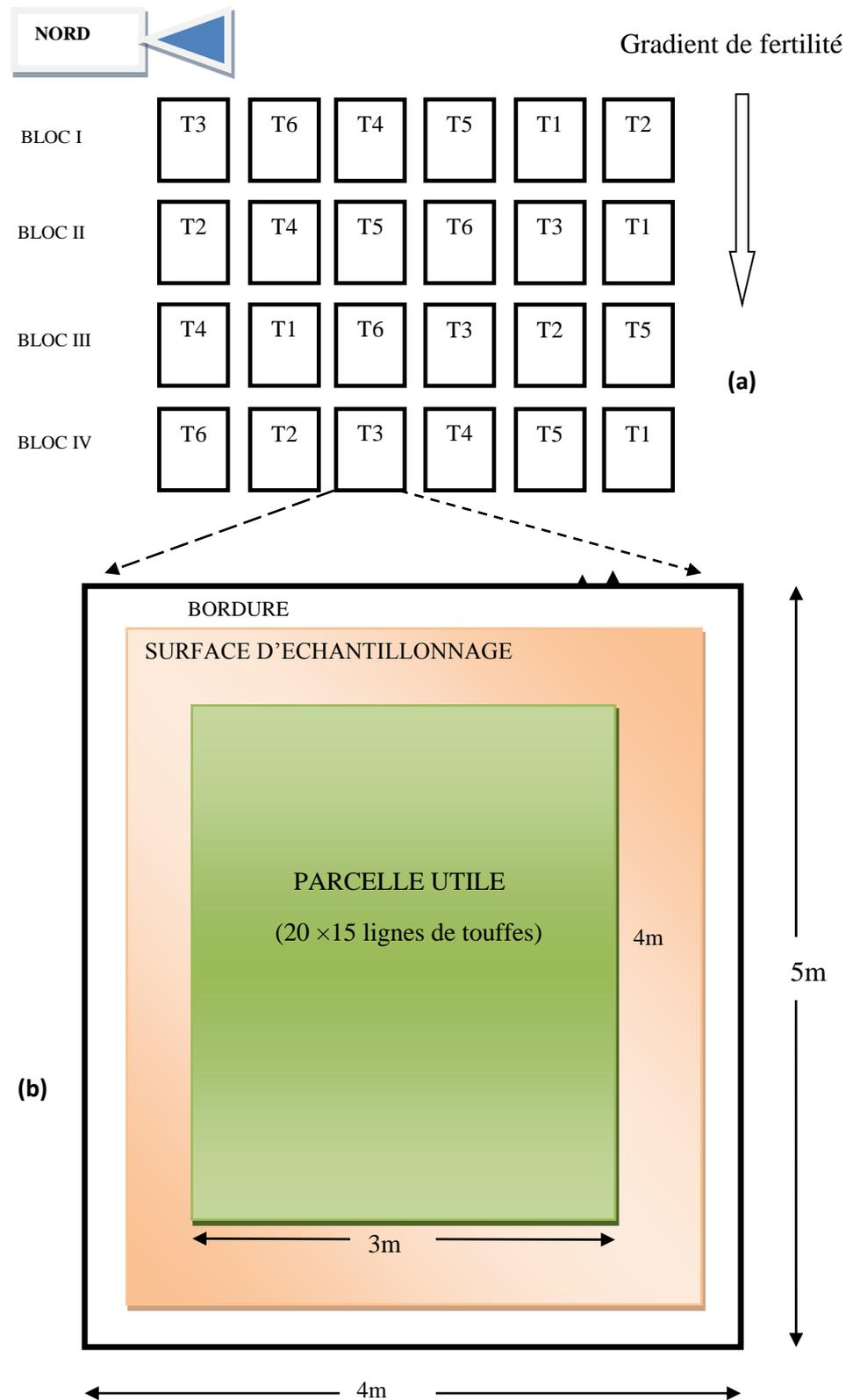
Les travaux au champ effectués durant la culture peuvent se subdiviser en quatre grandes étapes dont la préparation du terrain, le repiquage, l'entretien et la récolte. Ces travaux ont été effectués à différentes dates (*Annexe 3*).

#### **III-1.2.1. Préparation du champ d'expérimentation**

Les travaux de préparation du terrain de l'expérimentation consistent au renforcement des diguettes et des canaux d'irrigation, et au labour suivi de l'émottage et du planage.

Le champ d'expérimentation a été subdivisé en quatre blocs et vingt-quatre parcelles élémentaires. Pour bien minéraliser les matières organiques, l'épandage de fumier de parc a été fait un mois avant le repiquage. La quantité de fumier de parc utilisé est de 20 kg par parcelle soit 10 t.ha<sup>-1</sup>.

Juste avant le repiquage, le sol a été rendu à l'état vaseux (mise en boue) en réduisant le plus possible l'eau dans les parcelles afin de faciliter l'implantation des jeunes plants (repiquage).



**Figure 5** : Dispositif expérimental en bloc de Fisher (a) et parcelle élémentaire (b)

### III-1.2.2. Le repiquage

Les semences utilisées dans cette culture ont été fournies par la Station de Recherche Rizicole du FOFIFA d'Andranovaky, Mahitsy, afin d'éviter le risque de mélange de variétés. Après 15 jours de semis, les jeunes plants ont été repiqués sur le champ d'expérimentation bien préparé. Juste avant la réalisation du repiquage proprement dit, les racines des jeunes plants ont été trempées dans une solution de super phosphate triple.

#### ❖ Trempage des racines des jeunes plants avec le super phosphate triple (SPT)

La technique du trempage des racines avec le SPT consiste à faciliter l'assimilation du phosphore par les racines des jeunes plants du riz et à minimiser la fixation par les oxydes de fer et d'aluminium, du phosphore apporté par épandage classique des engrais phosphatés. Le trempage des racines a été fait dans une solution bien collante constituée d'eau, de boue et de 200 g de SPT par parcelle, durant cinq minutes juste avant le repiquage (*Annexe 3*). Le SPT doit d'abord être dissout dans l'eau au moins une heure. Cette technique a été faite au moment du repiquage.

#### ❖ Repiquage des jeunes plants et enfouissement du super granule d'urée (SGU)

Le repiquage des jeunes plants de 15 jours a été réalisé après le trempage de leurs racines dans du TSP. Il a été fait en ligne avec deux brins par touffe et un espacement de 20 cm×20 cm pour bien aérer les plantes et diminuer la concurrence en éléments nutritifs et aussi pour faciliter la mise en place du SGU et le sarclage. Le SGU a été enfoui au moment du repiquage.

La technique de l'enfouissement profond du SGU permet d'assurer une alimentation durable et équitable de chaque touffe du riz par libération lente mais continue du nutriment azoté.

Un super granule d'urée de 1,45 g a été enfoui à 10 cm de profondeur au milieu de chaque groupe de quatre touffes. Treize SGU ont été utilisés sur la ligne de cinq mètres et dix SGU sur la ligne de quatre mètres.

### III-1.2.3. Entretien

La conduite de l'irrigation et le sarclage font partie des travaux d'entretien. L'épandage de l'urée a été réalisé au moment de l'apport d'azote où les plantes ont besoins d'azote (*Annexe 3*).

Après la reprise des jeunes plants (24 heures), l'entrée d'eau sur toutes les parcelles a été faite en maintenant le niveau de l'eau à environ 5 cm. Puis, la hauteur du niveau de l'eau a été maintenue à 10-15 cm. Quelques jours (10-15 jours) avant la récolte, l'assèchement de la rizière a été effectué pour homogénéiser la maturation des graines.

Trois sarclages ont été effectués durant le cycle cultural. Les deux premiers ont été réalisés à l'aide d'une houe rotative et le dernier a été fait manuellement. Les deux premiers ont été effectués au cours de la phase végétative (20 et 40 jours après repiquage, respectivement) et le dernier à la phase reproductive (72 jours après repiquage).

#### III-1.2.4. Récolte

La récolte se fait manuellement à l'aide de faucilles. Les plantes ont été coupées au niveau de la base des tiges juste à la surface du sol. Le riz sur les trois lignes de bordure a été bien séparé de celle de la parcelle utile. Les plantes issues de la surface d'échantillonnage (trois lignes de bordure) ont été utilisées pour effectuer le comptage des panicules et des graines. Les plantes récoltées dans les parcelles utiles ont été utilisées pour évaluer les rendements en grain et en paille.

#### III-1.2.5. Opérations post- récoltes

Deux jours après la récolte, le battage a été réalisé. Le battage est une opération qui consiste à dépiquer les graines. Les graines obtenues après battage ont été séchées et vannées au vent afin de se séparer les graines pleines des graines vides et d'obtenir les graines prêtes à être conservées. Le taux d'humidité des graines a été par la suite, mesuré à l'aide d'un humidimètre Doyle afin de corriger l'erreur au niveau des poids des graines à taux d'humidité différents de chaque traitement.

Les graines ont été pesées après battage, séchage et vannage pour évaluer le rendement. La paille sèche a été pesée pour connaître le rapport graine/paille (Planche 2).

## Planche 2 : Opérations post- récoltes



(a) Battage



(b) Séchage



(c) Mesure d'humidité



(d) Pesage de pailles

### III-1.3. Prélèvement des échantillons de sol et de plantes

Pour mieux suivre l'effet de l'azote sur le développement du riz, deux séries de prélèvement ont été effectuées. Le prélèvement chez les plantes a été fait à la fin du tallage et à la récolte. Les échantillons ont été collectés dans la zone d'échantillonnage de toutes les parcelles élémentaires des quatre blocs. Ces échantillons ont été mis dans un sac plastique étiqueté et emmenés au laboratoire.

Avant l'expérimentation, le sol a été prélevé dans trois endroits différents à 10 et 30 cm de profondeur et après la récolte, dans toutes les parcelles utilisées par l'expérimentation. Avant l'analyse, les échantillons de sol ont été bien mélangés et séchés à l'air libre et à l'ombre, dans un endroit contrôlé non polluant.

Pour les plantes, quatre touffes ont été prélevées par parcelle. Les touffes prélevées ont été choisies au hasard mais sont différentes de celles utilisées pendant le suivi.

### **III-2. Collecte des données**

La collecte des données a été effectuée pour évaluer les effets des différents traitements sur le riz. Trois types de données ont été collectés : les données collectées durant l'expérimentation sur champ, les analyses faites aux laboratoires et les analyses agronomiques faites au niveau du rendement.

#### **III-2.1. Collecte des données au cours du suivi de la croissance et du développement du riz**

Au cours de l'expérimentation au champ, la collecte des données pendant le suivi a été effectuée afin d'évaluer les effets de différents traitements sur la croissance et le développement du riz. Plusieurs paramètres ont été étudiés dont :

- la couleur des feuilles ;
- le nombre de talles (tige secondaire qui pousse à la base d'une tige chez les graminées) ;
- la hauteur maximale des plantes.

Les mesures ont été effectuées sur dix touffes par parcelle élémentaire. Ces dix touffes ont été choisies au hasard au niveau de la surface d'échantillonnage, mais sont gardées jusqu'à la fin de l'observation pour éviter tout risque d'erreur. Elles ont été faites une fois par semaine. Pendant le suivi, le stade phénologique de la plante a été observé afin de connaître le cycle du développement.

##### **III-2.1.1. Suivi du nombre de talles : comptage**

Le tallage a été observé à partir du comptage du nombre de talles par touffe. Le comptage se fait manuellement. Il a été réalisé à partir de 27<sup>e</sup> jour jusqu'à 76<sup>e</sup> jour après le repiquage (JAR) (la fin du stade de montaison). Le comptage a été suspendu à partir de ce stade jusqu'à la phase de maturation pour éviter tout le risque de perte de rendement occasionné par la perturbation de la plante en période de reproduction. Il a été repris à la période juste avant la récolte afin d'observer les talles fertiles. Le nombre de panicules stériles et fertiles des échantillons prélevés ont été relevés pour évaluer la productivité du riz. Les panicules fertiles sont des panicules qui portent des graines pleines.

Les panicules sans inflorescence et les panicules porteuses des graines vides sont classées comme panicules stériles.

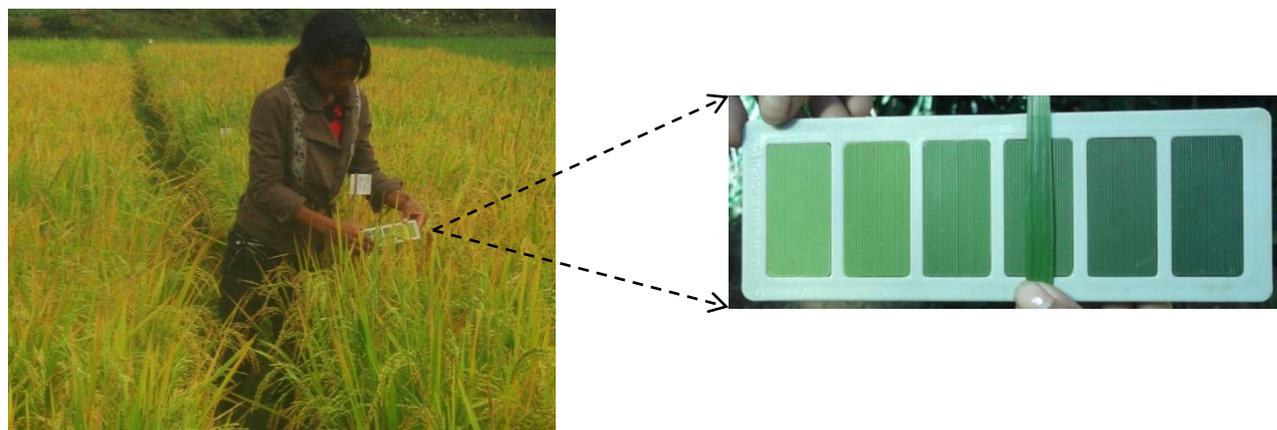
Afin d'évaluer le rendement, les graines pleines et vides ont été comptées. Les graines pleines ont été séchées à l'étuve avant de faire l'analyse des éléments constitutifs.

### III-2.1.2. Mesure de la hauteur maximale de la plante

La mesure de la hauteur maximale de la plante a été effectuée à l'aide d'une règle graduée de 100 cm. Elle se fait sur le même pied (10 touffes choisies au hasard par parcelle) en même temps que le comptage des talles. La hauteur mesurée est la distance allant du niveau du sol jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus longue.

### III-2.1.3. Mesure de la couleur foliaire

L'évolution de la couleur foliaire a été suivie à l'aide de la PCF (Photo 6 : Mesure de la couleur foliaire. Les mesures ont été effectuées du 27<sup>e</sup> JAR jusqu'à 14 jours avant la récolte (stade pâteux). Dans chaque parcelle, la mesure de la couleur foliaire a été faite sur dix touffes sur une feuille pleinement ouverte et saine prise au hasard dans chaque touffe. Elle s'effectue sur le même pied en même temps que le comptage du nombre de talles et la mesure de la hauteur de plante. La valeur critique de la couleur foliaire correspond à l'échelle de quatre sur la PCF (Balasubramanian, 2000). Si la couleur foliaire est inférieure à cette valeur, les plantes ont besoin d'azote, qui sera apporté sous forme d'engrais azotés.

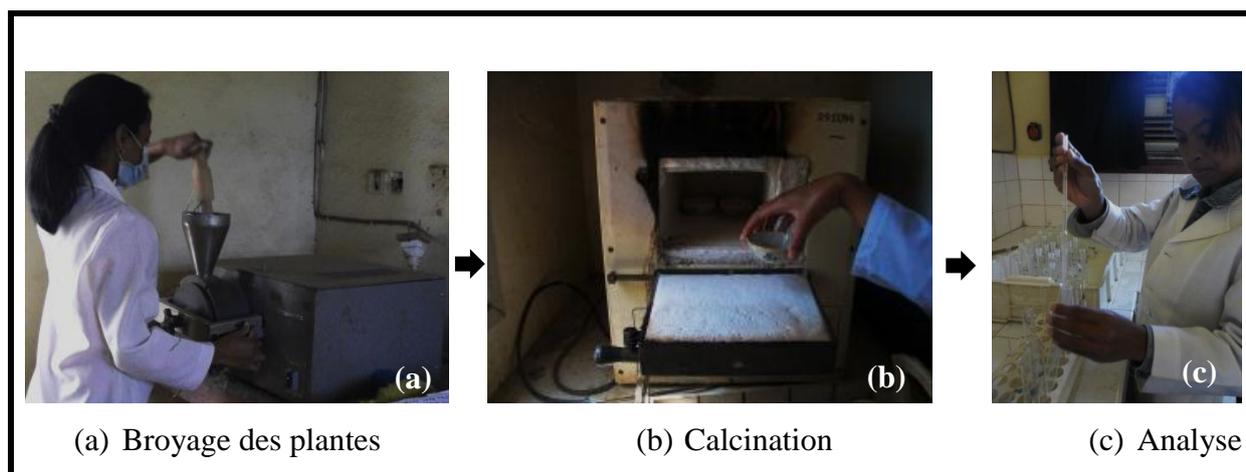


**Photo 6** : Mesure de la couleur foliaire

### III-2.2. Analyses en laboratoire

Les échantillons de plantes et du sol prélevés à partir de la surface d'échantillonnage à Ampamaho ont été analysés au laboratoire de pédologie du FOFIFA à Tsimbazaza (Planche 3). Les analyses consistent à déterminer les éléments nutritifs du riz, les effets des différents traitements appliqués au niveau des plantes et à étudier la relation entre le développement de la plante et le milieu de culture.

**Planche 3** : Différents étapes des travaux au laboratoire



#### III-2.3.1. Analyse des matières végétales

Les analyses des plantes consistent à déterminer les divers éléments minéraux dans la plante. Elles ont été effectuées au cours de la phase végétative et à la phase de maturation afin de mettre en évidence le besoin alimentaire de la plante au cours de sa croissance. Les parties de la plante à analyser sont les pailles et les graines. Avant d'extraire les éléments constitutifs, autres que les éléments volatiles comme l'azote et le carbone, les échantillons secs sont mis en poudre et doivent subir une calcination (Planche 3) (*Annexe 6*).

Les éléments minéraux déterminés sont l'azote(N), le carbone (C) et les autres éléments tels que le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le sodium (Na). Les résultats obtenus ont été interprétés selon la norme d'interprétation des analyses des plantes (Yoshida, 1981) (*Annexe 7*).

#### a) Azote (N)

La teneur en azote a été déterminée par la méthode de Kjeldhal aussi bien pour la plante que pour le sol. Le principe d'analyse comporte trois étapes dont la première consiste à détruire les matières organiques en présence d'acide sulfurique concentré et par chauffage élevé, puis à transformer l'azote organique contenu dans l'échantillon en azote minéral (sel d'ammonium  $\text{NH}_4^+$ ) : c'est la minéralisation. La deuxième étape est la distillation consistant à extraire l'azote à l'aide d'un « appareil à distillation » en convertissant le sel d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). La troisième étape est le titrage de l'ammoniac fixé par l'acide borique. Le dosage avec l'acide sulfurique permet de déterminer la quantité d'azote contenue dans l'échantillon étudié (*Annexe 6*). L'azote exporté par la plante peut être déterminé par :

$$\text{N exporté (g)} = \text{N \%} \times \text{rendement (paille ou graine)} / 100$$

#### b) Carbone (C)

La teneur en carbone a été déterminée par la méthode de Walkley et Black : les carbones organiques sont oxydés par un excès d'une solution de bichromate de potassium, en milieu acide. Les carbones oxydés ont été dosés par la solution de sulfate ferreux. (*Annexe 6*)

#### c) Phosphore, potassium, calcium, magnésium et sodium

La méthode d'analyse comporte trois étapes après la préparation des échantillons dont la calcination, l'extraction des éléments étudiés et la lecture avec un instrument spécifique. La calcination permet d'éliminer les éléments volatiles afin d'extraire les éléments étudiés.

Le phosphore (P) a été déterminé à l'aide d'un appareil spectromètre colorimètre ; le calcium (Ca) et le magnésium (Mg) ont été mesurés au spectrophotomètre d'absorption atomique, alors que ; le potassium (K) et le sodium (Na) ont été mesurés au « photomètre d'émission ». (*Annexe 6*).

### III-2.3.2. Analyse du sol

L'analyse du sol a pour but de mettre en évidence l'importance du milieu de culture sur la croissance et développement des plantes. Les paramètres étudiés sont les suivant :

- la caractéristique physique du sol dont la texture du sol ;
- la caractéristique chimique et les constituants du sol dont : le pH, la matière organique, l'azote total, le phosphore assimilable, les bases échangeables et la capacité d'échange cationique. Le principe d'analyse du carbone et de l'azote est le même que celui pour la plante (*Annexe 6*).

L'interprétation des résultats a été effectuée en se référant à la norme d'interprétation des analyses chimiques du sol établie par Riquier (1956) (*Annexe 10*). La profondeur du sol analysé se situe entre 0 à 20 cm.

#### a) Caractéristiques physiques du sol à Ampamaho

##### ❖ Texture

La texture du sol a été déterminée à partir de l'analyse granulométrique de l'échantillon (*Annexe 8*). La méthode d'analyse consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur, et à déterminer la proportion des fractions de sable, de limon et d'argile présentes dans le sol. L'analyse granulométrique a été effectuée à l'aide du densimètre de Bouyoucos. La nomenclature de la texture du sol a été déterminée à partir des résultats de cette analyse en utilisant le triangle des textures (*Annexe 8*)

#### b) Caractéristiques physico-chimiques et chimiques du sol

##### ❖ pH eau

La mesure du pH permet de déterminer le degré d'acidité ou d'alcalinité de la solution de sol. La mesure a été faite avec un pH mètre électronique. Le pH est donné par la relation suivante :  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ . (*Annexe 9*)

##### ❖ Matière organique

La matière organique a été déterminée à partir de la teneur en carbone organique présent dans l'échantillon. La teneur en carbone organique a été établie par la méthode de Walkley et Black (*Annexe 9*).

#### ❖ Phosphore assimilable

La teneur en phosphore assimilable du sol a été déterminée par la méthode de Bray II (Bray et Kurtz, 1954). Cette méthode a pour but d'extraire les phosphores assimilables dans le sol en utilisant la solution extractante Bray II. Les phosphores extraits ont été obtenus à partir de la réaction de phosphore avec le molybdate d'ammonium en présence de chlorure stanneux (obtention de solution colorée en bleu). Le taux des phosphores a été calculé à l'aide de la mesure de l'absorbance de la solution au spectrophotomètre colorimètre à la longueur d'onde de 660 nm. L'absorbance de la solution est proportionnelle au taux de phosphore dans le sol. (*Annexe 9*).

#### ❖ Bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) et Capacité d'échange cationique (CEC)

L'argile et l'humus peuvent se former en un complexe argilo-humique en présence des éléments colloïdaux.

Ce complexe porte des charges électronégatifs et susceptible de fixer les cations comme le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na) et le potassium (K). Ces cations sont dites échangeables car ils peuvent faire l'objet de substitution avec les cations de la solution du sol. La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol représente la charge négative totale produite par les colloïdes argilo-humiques et représente également la quantité maximum de cations fixées par le sol. Les cations basiques échangeables fixés par le complexe argilo-humique ont été extraits par la méthode de substitution à l'acétate d'ammonium. Cette méthode consiste à remplacer les bases échangeables par les sels d'ammonium  $\text{NH}_4^+$ . La quantité des cations extraits ont été déterminée à l'aide du spectromètre d'absorption atomique. Les ions  $\text{NH}_4^+$  adsorbants, après la substitution, ont été déplacés en milieu alcalin afin de faire le dosage de ces ions. La CEC a été déterminée à partir du dosage des  $\text{NH}_4^+$  fixés par le complexe argilo-humique. (*Annexe 9*).

### **III-2.3. Analyses agronomiques**

L'évaluation du rendement et des composantes du rendement sont les paramètres agronomiques étudiés pour connaître le niveau de la production des différents traitements. Ils ont été réalisés en post récolte.

### III-2.3.1. Rendement réel en grains

Le rendement réel en grains est obtenu à partir du poids des grains secs, bien nettoyés et récoltés dans la parcelle utile. L'humidité de ces graines a été prise en compte au moment de pesage pour faire la correction des poids des graines de tous les traitements à la même humidité. Le rendement en grains est exprimé en kilogramme par mètre carré ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) ou en tonne par hectare ( $\text{t.ha}^{-1}$ ) à 14 % d'humidité.

#### Détermination du poids des graines à l'humidité 14 % ( $P_{14}$ )

$$P_{14}(\text{kg}) = (100 - H) / (100 - 14) \times \text{Poids grains de PU à Humidité}$$

$P_{14}$  : Poids grains de la Parcelle Utile (PU) à 14 % d'Humidité

H: Humidité

$$R(\text{t/ha}) = P_{14} / 12 \text{ m}^2 \times 10000 \text{ m}^2 \times 1\text{t}/1000 \text{ kg}$$

12  $\text{m}^2$  : surface de la PU ; 10 000  $\text{m}^2 = 1 \text{ ha}$  ; 1 000  $\text{kg} = 1 \text{ t}$

### III-2.3.2. Rendement réel en paille, rapport du rendement grain/paille et indice de récolte

Le rendement réel en paille est obtenu à partir du poids des pailles de la partie parcelle utile après séchage. Il est exprimé en tonne par hectare ( $\text{t. ha}^{-1}$ ).

Pour apprécier l'importance du rendement en grains par rapport au rendement en paille, le rapport du rendement en grain avec le rendement en paille (G/P) et l'indice de récolte (IR), définis ci-après, ont été déterminés.

$$\mathbf{G/P} = \frac{\mathbf{Rendement\ en\ grains}}{\mathbf{Rendement\ en\ paille}}$$

$$\mathbf{IR} = \frac{\mathbf{Rendement\ en\ grains}}{\mathbf{Rendement\ en\ grains + Rendement\ en\ paille}}$$

G/P : rapport entre le rendement en grains et en paille

IR : Indice de Récolte

L'évaluation du rendement en paille et de l'indice de récolte a été effectuée d'après Yoshida (1981).

Le rapport G/P varie de 0,5 pour les variétés traditionnelles à paille haute, à 1 pour les variétés améliorées à paille courte. Une valeur élevée du rapport G/P signifie que le rendement en grain est élevé par rapport à celui de la paille.

- l'indice de récolte varie entre 0,3 et 0,5.
  - $IR \geq 0,5$  ;  $G/P \geq 1$  : développement de graine et réduction des matières sèches
  - $IR \leq 0,5$  ;  $G/P \leq 1$  : développement de la partie végétative par rapport à la formation des graines.

### III-2.3.3. Composantes du rendement

Les composantes du rendement étudiées sont à partir de la surface d'échantillonnage et sont constituées par : le nombre de grains par touffes, le taux de fertilité des graines (Tf) et le poids de mille grains pleins ( $P_{1000}$ ). (De Datta, 1981)

En plus du rendement réel en grain, le rapport entre le rendement en grains et le rendement en paille, l'indice de récolte (tableau 7) permettent d'évaluer le rendement en grain par rapport au rendement en paille.

- Taux de fertilité des graines (Tf)

C'est la proportion des graines pleines par rapport au nombre total des graines (graine pleine et vide) dans chaque touffe.

$$Tf (\%) = \frac{\text{nombre des grains pleins par touffe}}{\text{nombre total des grains par touffe}} \times 100$$

### III-3. Evaluation de l'efficience d'utilisation de l'azote

L'efficience d'utilisation de l'azote (EUA) par la plante est un indicateur agronomique pour évaluer l'efficience avec laquelle l'azote apporté à la culture est absorbé, avant d'être métabolisé puis remobilisé vers les grains (Anasthase et *al*, 2002). L'efficacité est définie comme étant la masse de grains produits par unité d'azote disponible dans le sol (Foulkes et *al.*, 2009). L'efficience d'utilisation d'azote apporté peut être étudiée à l'aide d'observation du rendement obtenu par unité d'azote appliqué sous des conditions édaphoclimatiques bien déterminées (De Datta, 1986).

L'EUA est la résultante de l'efficacité d'absorption (quantité d'azote absorbé par rapport à la quantité d'azote disponible) et l'efficacité d'utilisation (quantité d'azote utilisé pour produire du rendement par rapport à la quantité d'azote absorbé) (Bertrand et *al*, 2013). Dans ce travail, nous avons évalué uniquement l'efficience de l'azote apporté.

Les paramètres utilisés pour l'estimation de l'efficacité d'utilisation de l'azote sont :

- l'efficacité de recouvrement de l'azote
- l'efficacité physiologique
- l'efficacité agronomique
- le facteur de productivité partielle de l'azote apporté

❖ L'efficacité de recouvrement de l'azote ( $E_r$ )

L'efficacité de recouvrement de l'azote ( $E_r$ ) ou coefficient apparent d'utilisation est le rapport entre l'augmentation de l'azote dans la plante à maturité et la quantité d'azote apporté (WITT et *al.* 2002).

$$E_r = ((A - A_0) / A_{ap}) * 100 \text{ avec}$$

$E_r$  = efficacité de recouvrement en kg de N par kg de N apporté (%),

$A$  = quantité de N absorbé de la plante à maturité sur parcelles fertilisées (en kg. ha<sup>-1</sup>),

$A_0$  = quantité de N absorbé de la plante à maturité sur parcelles témoins (en kg. ha<sup>-1</sup>),

$A_{ap}$  = engrais azoté apporté : azote appliqué (en kg. ha<sup>-1</sup>).

Cette efficacité de recouvrement peut dépendre du lessivage, de la dénitrification, de l'immobilisation et de la volatilisation de NH<sub>3</sub>. Ces processus communs peuvent réduire l'utilisation des fertilisants azotés par la plante. Parmi ces processus, le lessivage et la dénitrification sont généralement considérés comme les plus importants (Leg et *al.*, 1982).

❖ L'efficacité physiologique de l'engrais azoté ( $E_p$ )

L'efficacité physiologique de l'engrais azoté ( $E_p$ ) représente la capacité de la plante à transformer une unité d'azote absorbé en une unité économique (riz paddy) (WITT et *al.*, 2002).

$$E_p = (R - R_0) / (A - A_0) \text{ avec}$$

$E_p$  = efficacité physiologique (kg grain. Kg<sup>-1</sup> N)

$R$  = rendement paddy obtenu avec application de N (en kg grain. ha<sup>-1</sup>),

$R_0$  = rendement paddy obtenu sans application de N (en kg grain. ha<sup>-1</sup>),

$A$  = azote absorbé de la plante à maturité sur les parcelles fertilisées avec N (en kg N. ha<sup>-1</sup>),

$A_0$  = quantité de N absorbé à maturité sur parcelles témoins (en kg N. ha<sup>-1</sup>).

❖ L'efficacité agronomique de l'azote apporté ( $E_a$ )

L'efficacité de l'accroissement de la production des grains par utilisation d'azote est appelée efficacité agronomique (Novoa et Loomis, 1981). C'est le produit de l'efficacité physiologique ( $E_p$ ) et de l'efficacité de recouvrement ( $E_r$ ) (Dobermann et Fairhurst, 2000).

$$E_a = E_p * E_r$$

En remplaçant  $E_p$  et  $E_r$  par leurs valeurs, on aura :  $E_a = (R - R_0) / A_{app}$  engrais azotés apporté.

$E_a$  : efficacité agronomique ( $\text{kg grain.kg}^{-1}\text{N}$ )

❖ Le facteur de productivité partielle de l'azote apporté ( $FPP\_N$ )

Le facteur de productivité partielle de l'azote apporté est le rapport entre le rendement paddy obtenu avec l'apport de l'engrais azoté ( $R$ ) par  $A_{ap}$  engrais apporté (Cassman et al., 2002).  $FPP\_N$  ( $\text{kg.kg}^{-1}\text{N}$ ) =  $R / A_{ap}$  engrais apporté. Il est un indicateur important de mesure de l'efficacité de l'azote en ce sens qu'il prend en compte à la fois la fertilité «naturelle» (capacité du sol à fournir l'azote) et la fertilité «potentielle» du sol (capacité du sol à fournir l'azote plus celle apportée par les engrais).

#### III-4. Méthodes de traitement des données

Les traitements des données sont basés sur une évaluation de dépendance (Test de  $\text{Khi}^2$ ), une analyse en composante principale (ACP) et une comparaison des traitements à partir de l'analyse de variance (ANOVA). Le logiciel XLSTAT pro752 a été utilisé pendant les travaux du traitement statistique des données.

Une analyse en composante principale a été effectuée afin de comprendre la corrélation entre la croissance, le développement et le rendement.

# **TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

L'influence de la source, de la dose différente et de la période d'apport d'azote a été étudiée pour mieux évaluer l'efficacité d'utilisation de l'azote provenant de différentes formes d'engrais azotés sur le plant du riz. Les résultats portent sur la croissance et développement de la plante au cours du temps suivant les traitements, les éléments nutritifs de la plante, les caractéristiques physiques chimiques du sol, le rendement et l'efficacité d'utilisation de l'azote.

## **I. CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT DE LA PLANTE SUIVANT LES TRAITEMENTS**

### **I-1. Evolution du développement des talles suivant le temps en fonction des traitements**

L'évolution du développement des talles a été observée à partir du comptage du nombre des talles par touffe au niveau des six traitements T1 à T6. Le comptage a été effectué après 27<sup>e</sup> JAR jusqu'au 76<sup>e</sup> JAR et au moment de la récolte en observant le taux de fertilité des talles. Le T1 a été utilisé comme un témoin absolu. Cette évolution est présentée par l'allure des courbes.

D'une façon générale, les courbes correspondantes aux six traitements ont la même allure du repiquage au 67<sup>e</sup> jour après repiquage. Pourtant, à partir de 76<sup>e</sup> JAR, une légère différence a été observée (Figure 6). La courbe représentante du T1 est très faible par rapport à celle des autres traitements.

- Dans la phase végétative, du 27<sup>e</sup> au 69<sup>e</sup> JAR, le nombre de talles de tous les traitements se croisent au maximum (16 talles pour le T4). Ceci signifie que le tallage a eu lieu au niveau de la phase végétative. L'évolution de l'accroissement du nombre de talles dans cette phase peut se subdiviser en trois :

- Du repiquage au 41<sup>e</sup> JAR : phase de latence, le nombre moyen de talles par touffe de riz croît jusqu'au 12 (T6). Le fort tallage a été obtenu au T6, puis aux T5, T4 et T3. Le plus faible a été observé sur le T2 après le témoin.
- Du 41<sup>e</sup> au 55<sup>e</sup> JAR : une croissance rapide en talle pour tous les traitements. Les talles se croisent rapidement jusqu'au nombre de 15 (T4 et T2). C'est une phase exponentielle du développement en talles.

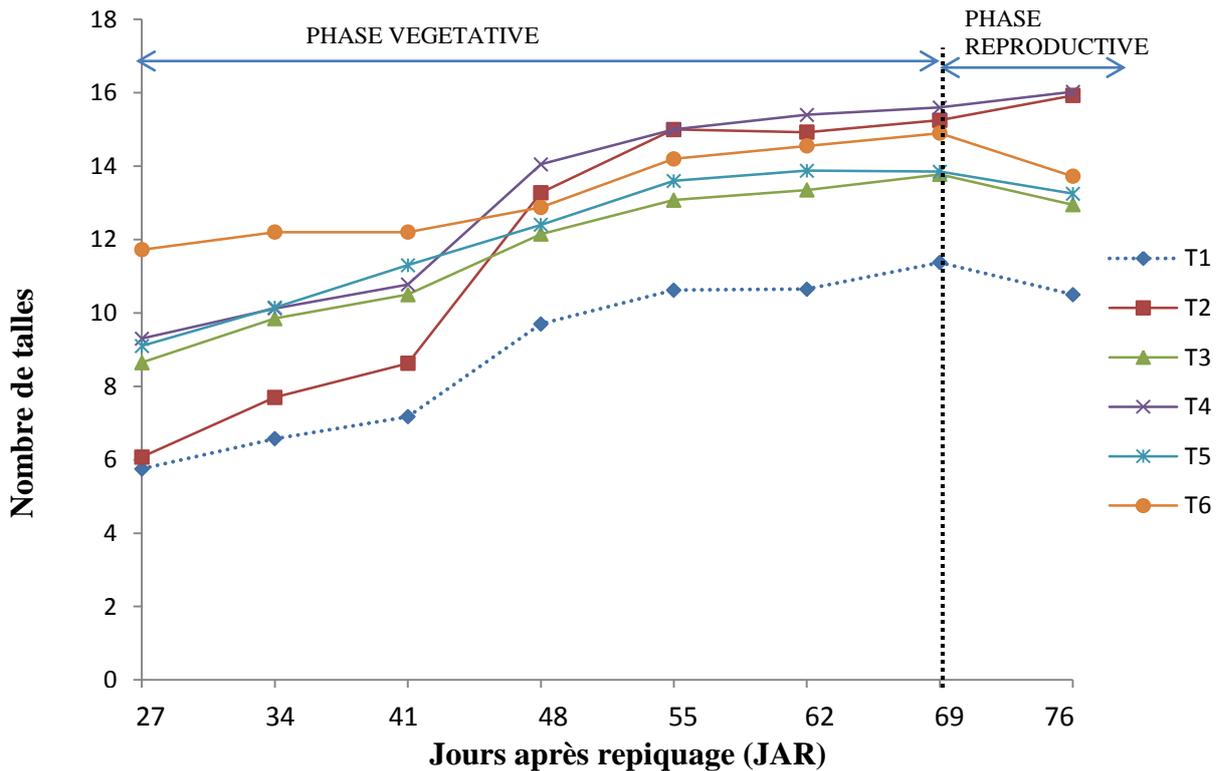
- Du 55<sup>e</sup> au 69<sup>e</sup> JAR : le nombre moyen de talles par touffe de riz atteint la valeur maximale (16 talles) plus ou moins stable. Celui des traitements T4 et T2 est le plus élevé. Le maximum de tallage est observé : c'est la phase optimale de la croissance en talles.
  
- Dans la phase reproductive, le nombre de talles est plus ou moins stable. Une légère diminution du nombre des talles sur les T1, T3, T5 et T6 a été observée au stade de la montaison (76 JAR).

D'après les observations, le développement de talles se déroule durant la phase végétative et les traitements appliqués ne modifient pas de cette phase. Le nombre de talles entre les traitements utilisés présente une différence significative avec la probabilité de Fisher 0,0001. Le test de Newman-Keuls a montré que les traitements peuvent se classer en trois groupes homogènes (*Annexe 11*) dont :

- 1<sup>er</sup> groupe (nombre moyen de talles =15) : T2, T4 et T6
- 2<sup>e</sup> groupe (nombre moyen de talles= 14): T3 et T5
- 3<sup>e</sup>groupe (nombre moyen de talles =11): T1

L'utilisation de SGU et d'une quantité élevée de sulfate d'ammonium a induit une production élevée de talles.

Le taux de fertilité des talles des traitements fertilisés varie de 92,03 % (T4) à 96,81 % (T6). La différence n'est pas significative entre les traitements T2 à T6 mais très élevée par rapport à celui de témoin. (*Annexe 11*)



**Figure 6** : Courbes correspondantes à l'évolution du nombre de talles suivant le temps selon le type de traitement

T1 : Témoin

T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)

T2 : SGU (43,4N)

T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)

T3 : Urée (86,8N)

T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)

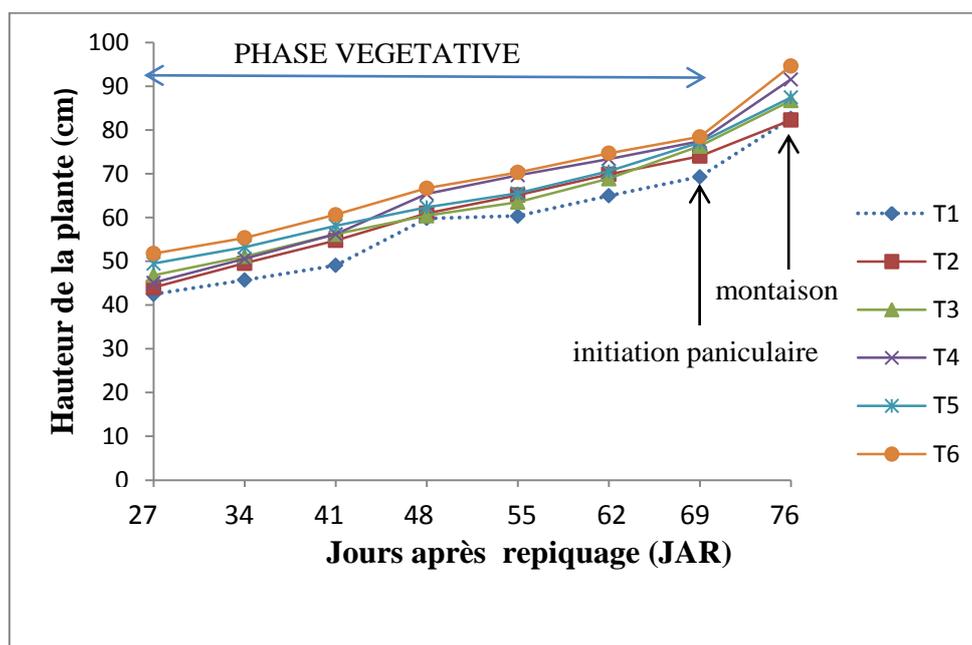
## I-2. Evolution de la hauteur maximale de la plante en fonction des traitements

La mesure de la hauteur de la plante a été effectuée pour observer les effets de l'azote sur l'élongation des appareils végétatifs aériens de la plante suivant les traitements. La hauteur maximale, la distance du niveau du sol jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus longue, a été mesurée. Le relevé a été effectué du 27<sup>e</sup> au 76<sup>e</sup> JAR qui correspond de la phase végétative à la montaison.

Les résultats du suivi de la croissance en hauteur sont présentés par des courbes (Figure 7). L'évolution de la hauteur des plantes correspondantes aux six traitements appliqués (T1 à T6) a une même allure. Ceci veut dire que l'évolution de la croissance de la plante est identique dans tous les traitements appliqués. La hauteur de la plante s'accroît durant la phase végétative (78 cm : T6) et elle devient plus accentuée au stade de la montaison (95 cm : T6). La courbe d'évolution en hauteur la plus élevée est observée chez les plants du traitement T6 et la plus faible chez le traitement T1.

L'étude statistique a montré une différence significative de la hauteur de la plante entre les traitements appliqués. D'après le test de Newman-Keuls, les traitements peuvent être regroupés en quatre groupes homogènes dont (*Annexe 11*):

- T6 (la hauteur maximale moyenne est 69,1 cm) ;
- T4 et T5 (la hauteur maximale moyenne est 66 cm) ;
- T2 et T3 (la hauteur maximale moyenne est 63 cm) ;
- T1 (témoin) (la hauteur maximale moyenne est 59,3 cm)



**Figure 7** : Courbes montrant l'évolution de la hauteur de la plante suivant le temps selon les traitements

T1 : Témoin

T2 : SGU (43,4N)

T3 : Urée (86,8N)

T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)

T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)

T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)

### **I-3. Évolution de la couleur foliaire au cours de la croissance et développement de la variété « Mailaka » suivant les traitements**

La PCF est un outil qui permet de mesurer l'intensité de couleur foliaire variant de 1 à 6. Les traitements à comparer sont les six traitements T1 à T6 selon la source d'azote et la dose utilisée dont le T1 a été utilisé comme un témoin absolu.

Le cycle cultural du riz est constitué par la phase végétative, la phase reproductive et la phase de maturation. L'évolution de la nutrition azotée du plant de riz pendant le suivi (27<sup>e</sup> au 111<sup>e</sup> JAR) est présentée par l'allure des courbes.

D'après l'observation de la couleur foliaire, les courbes obtenues des six traitements ont la même allure générale et le T1 n'a pas atteint le niveau de la valeur au seuil 4 de PCF en continuant de diminuer (Figure 8).

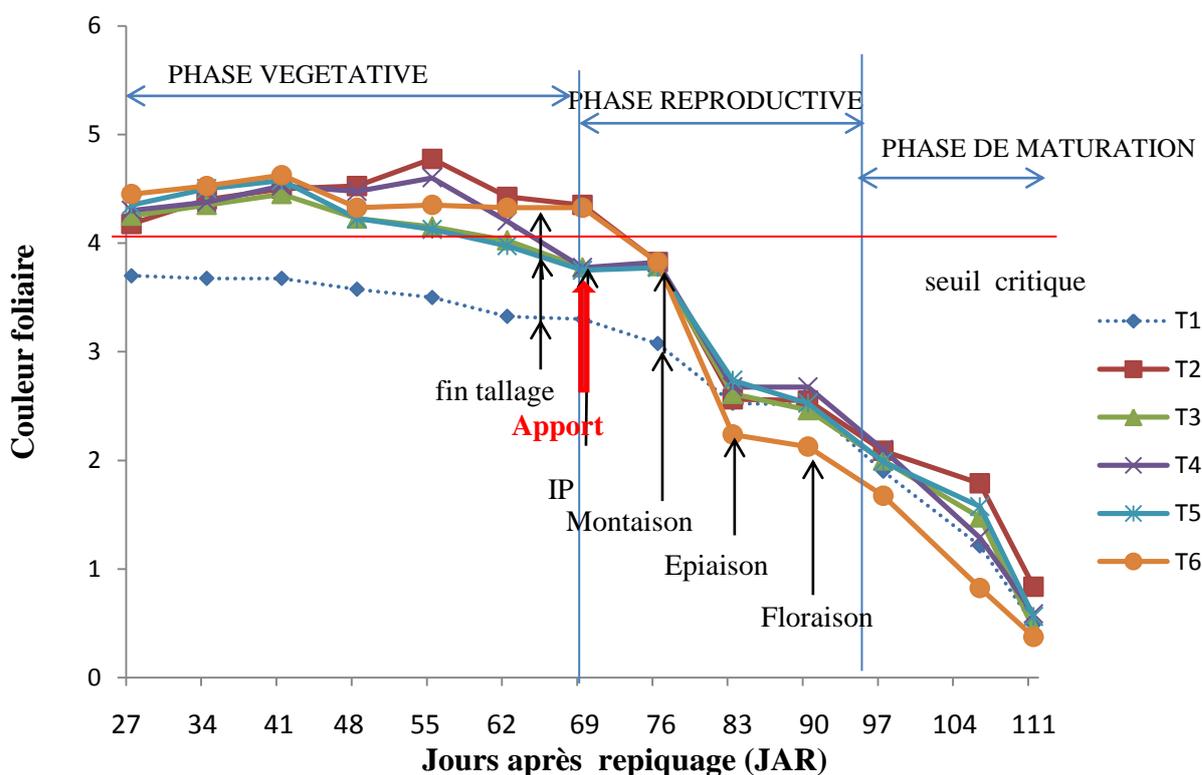
Dans la phase végétative, 27<sup>e</sup> à 69<sup>e</sup> JAR, l'intensité de la couleur des feuilles pour les cinq traitements (T2 à T6) est élevée par rapport au seuil. A la fin du stade tallage, après 62<sup>e</sup> JAR, les courbes des traitements T3, T4 et T5 ont diminuées au-dessous du seuil, ce qui conduit à l'apport d'azote. Par contre, cette diminution n'a pas été trouvée chez T2 et T6, l'intensité de couleur reste au-dessus du seuil, la quantité d'azote disponible dans le sol est encore suffisante.

Dans la phase reproductive, les courbes correspondent aux traitements varient selon les différents stades :

- à l'initiation paniculaire, après 69<sup>e</sup> JAR, les valeurs obtenues pour les T3, T4 et T5 sont inférieurs au seuil tandis que celles de T2 et T6 restent élevés. Ceci signifie qu'à ce stade, les plantes ont besoin d'une quantité importante d'azote.
- au stade de montaison, à 76<sup>e</sup> JAR, pour les T3, T4 et T5, une légère augmentation a été observée et celles des T2 et T6 ont été maintenues au seuil. Ceci indique que les nutriments azotés apportés influencent l'augmentation de l'intensité de la couleur foliaire.
- au stade de l'épiaison, à 83<sup>e</sup> JAR, une diminution importante de l'intensité (valeur proche de 3) a été observée pour tous les traitements (T1 à T6) mais elle est plus accentuée pour le T6. Ceci explique que l'azote dans les feuilles des plantes a été transféré vers les épis.
- à la floraison, 96<sup>e</sup> JAR, une faible diminution de l'intensité de la couleur foliaire a été observée. A ce stade, le T6 a une valeur plus faible (proche de 2) par rapport aux autres traitements et au témoin.

A la phase de maturation, du 96<sup>e</sup> à 111<sup>e</sup> JAR, les valeurs observées diminuent jusqu'à l'intensité minimale 1. Après 111<sup>e</sup> JAR jusqu'à la récolte, l'intensité de la couleur foliaire est inférieure à l'intensité minimale de PCF, elle n'est plus détectable. Durant cette phase, l'intensité de T6 est la plus faible.

Durant le cycle de végétation, d'après le test de  $\chi^2$ , l'hypothèse nulle de l'indépendance est rejetée (valeur observée : 642,471 > 31,410), la dépendance entre les traitements et l'intensité de couleur foliaire est significative avec la probabilité 0,0001 ( $P < 0,05$ ).



**Figure 8** : Courbes de l'évolution de la couleur foliaire suivant le temps selon les traitements

T1 : Témoin

T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)

T2 : SGU (43,4N)

T3 : Urée (86,8N)

T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)

T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)

## II. RESULTATS DES ANALYSES DES PLANTES ET DU SOL

### II-1. Teneur en éléments chimiques de la plante

L'analyse des éléments chimiques de la plante a été effectuée au niveau de la partie aérienne (tige, feuille et graine) au stade tallage et à la maturation. Les éléments observés sont l'azote, le phosphore, le carbone et les cations (Ca, Mg, Na et K). L'interprétation des résultats d'analyse a été effectuée par la comparaison de valeurs obtenues selon les taux de carence et/ou de toxicité définie par Yoshida (1981) (*Annexe 7*).

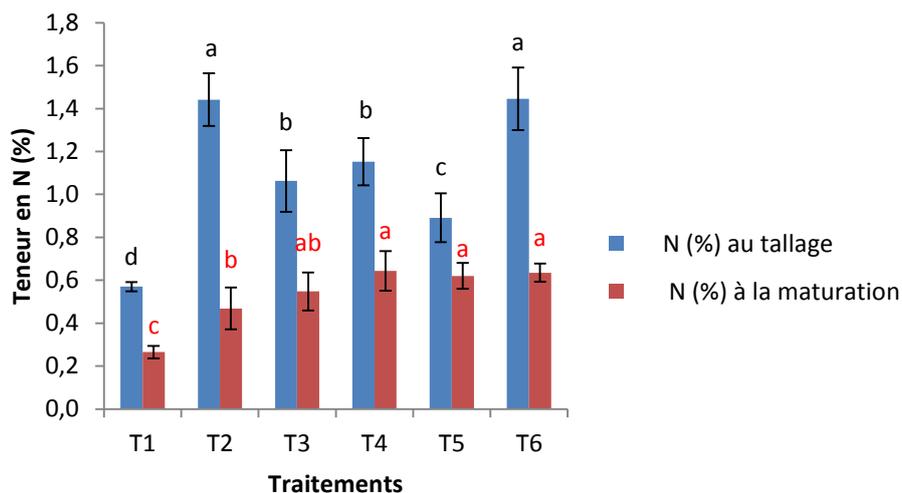
#### II-1.1. Teneur en azote dans la partie aérienne du riz et l'azote exporté au stade tallage et à la maturation

##### ❖ *Teneur en azote (%) au niveau de la paille*

Au stade tallage, la teneur en azote dans 100 g de matières sèches de la partie aérienne varie de 0,57 % (T1) à 1,45 % (T6) (*Annexe 10*). Selon la norme d'interprétation des analyses des plantes par Yoshida (1981), la teneur en azote est inférieure au seuil de déficience en azote de 2,5%.

L'analyse statistique montre que la différence entre les traitements est significative avec une probabilité de 0,0001. Ces traitements peuvent être groupés en quatre suivant la teneur en azote. La plante ayant une teneur en azote la plus élevée a été observée dans T6 et T2, puis T4 et T3 enfin T5. Celle du témoin est la plus faible (Figure 9).

Durant la maturation, la teneur en azote a diminué jusqu'aux environs de 0,3% à 1% et les T3, T4, T5 et T6 présentent une teneur en azote élevée par rapport à celle de T2.



**Figure 9** : Teneur en azote de la paille du riz au stade tallage et à la maturation

T1 : Témoin

T2 : SGU (43,4N) ;

T3 : Urée (86,8N)

T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)

T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N) ;

T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)

(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).

#### ❖ Teneur en azote dans les graines

La teneur en azote dans les graines en maturation varie entre 0,68% (T1) à 1,11% (T2) (Tableau 1). Pour les différents traitements fertilisés, ils ne sont pas statistiquement appréciables qu'au niveau T2 (1,11%) et T6 (0,80%). Les plantes exportent de 0,064g (T1) à 0,25 g (T2) d'azote.

**Tableau 1** : Teneur en azote des graines en maturation

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
N (%) ; p=0,0001	0,68c	1,11a	1,02ab	0,94ab	1,02ab	0,80bc
N exp (g) ; p=0,0001	0,064c	0,250a	0,239ab	0,216ab	0,221ab	0,162b

T1 : Témoin ;

T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N) ;

T2 : SGU (43,4N) ;

T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)

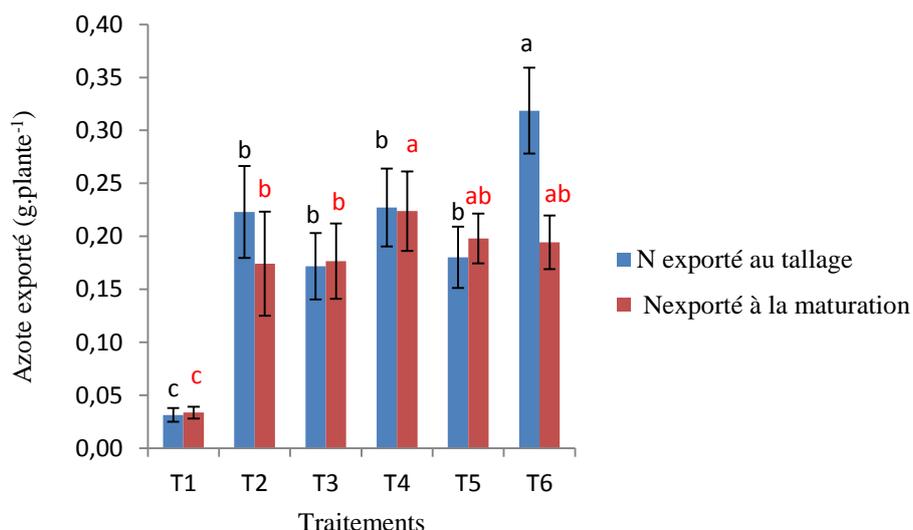
T3 : Urée (86,8N) ;

T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)

(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).

❖ *azote exporté dans la matière sèche (tiges et feuilles)*

La teneur en azote présente dans la plante donne l'azote exporté par celle-ci, il varie de 0,2 g (T1) à 0,32 g (T6) au stade tallage. A ce stade, la différence de l'azote exporté entre les traitements est significative ( $P=0,0001$ ). L'azote exporté est nettement élevé en T6 puis en T4, T2, T5 et T3 et elle est plus faible au témoin T1 (Figure 10). Il est un plus ou moins constant à la phase de maturation sauf au niveau de T6 qui présente une diminution plus accentuée jusqu'à 13%. Le T4 est la plus élevée en teneur en azote exporté lors de la maturation.



**Figure 10** : Teneur en azote exporté par plante suivant les traitements

T1 : Témoin

T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)

T2 : SGU (43,4N)

T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)

T3 : Urée (86,8N)

T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)

(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative entre l'azote exporté au tallage et à la maturation au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).

❖ *azote total exporté à maturité dans la matière sèche de la partie aérienne*

L'azote total exporté (Tableau 2) dans la matière sèche, déterminé d'après la teneur en azote des tiges-feuilles et graines, présente une supériorité au niveau de traitement T4 (120kgNha<sup>-1</sup>). Cependant, la différence de valeur de T4 avec les autres traitements fertilisés n'est pas statistiquement significative.

Au niveau des traitements fertilisés aux engrais azotés et du traitement non fertilisé, la différence de l'azote total exporté est hautement significative. Cela veut dire que les azotes apportés sont absorbés par les plantes (Tableau 2).

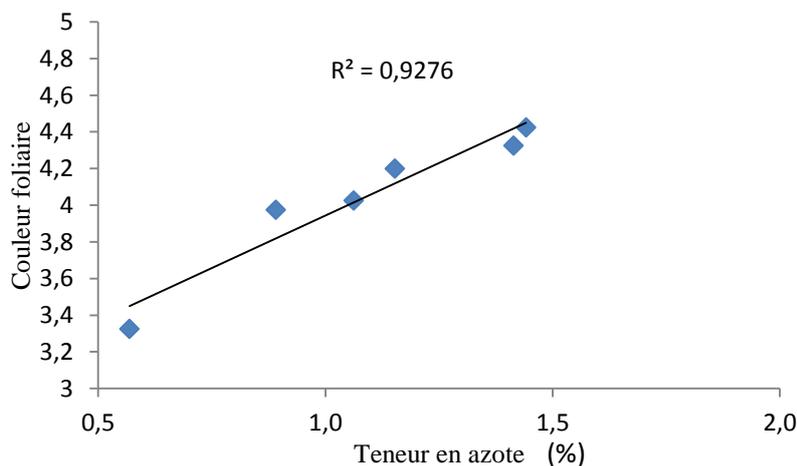
**Tableau 2** : Moyenne de la quantité d'azote total exporté par les plants du riz à maturité

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>Azote total exporté</b> <b>(kg N.ha<sup>-1</sup>); p=0,0001</b>	26,8b	116,2a	113,3a	120a	114,4a	97,4a
<i>T1 : Témoin</i>	<i>T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)</i>					
<i>T2 : SGU (43,4N)</i>	<i>T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)</i>					
<i>T3 : Urée (86,8N)</i>	<i>T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)</i>					

(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).

### II-1.2. Corrélation entre la couleur foliaire et la teneur en azote de la plante

D'après l'observation, la teneur en azote de la matière végétale et l'intensité de la couleur foliaire obtenue sont fortement corrélées avec un coefficient de détermination  $R^2 = 0,928$  et un coefficient de corrélation  $R = 0,963$  (Figure 11).



**Figure 11** : Corrélation entre l'intensité de la couleur foliaire et la teneur en azote dans la plante

### II-1.3. Teneurs en différents éléments autres que l'azote de la partie aérienne

(Tige et feuille) de la plante au tallage et à la maturation : (P, K, Ca, Mg, MO)

#### ❖ *Teneur en différents éléments au niveau de la tige et de la feuille*

- Au stade tallage, la teneur en phosphore est en général supérieure ou égale au seuil de carence (0,1%) et varie de 0,15% à 0,3%. La teneur la plus élevée a été vue en T6 (0,3%). Les teneurs de cet élément dans tous les traitements tendent à diminuer à la maturité et il n'y a pas de différence significative (Annexe 10).
- La teneur en potassium est plus élevée au stade tallage varie entre 1,6 % (T4, T5 et T6) et 2 % (T2). A la maturité, elle diminue à l'inférieure du seuil de carence 1,00 % vue dans tous les traitements et leurs valeurs sont semblables (Annexe 10).
- A propos de la teneur en calcium au stade tallage, elle n'est pas significativement différente entre les traitements appliqués mais le T1 montre la valeur la plus élevée 0,16 %. A maturité, les plantes du traitement T5 et T6 sont en état de déficit en calcium qui est inférieur à 0,15 %. Tandis que les autres traitements (T1=0,16 %, T2=0,15 %, T3=0,2 %) et T4=0,18 %), ont des valeurs supérieures au seuil de carence.
- La teneur en Magnésium est toujours supérieure au seuil critique 0,1 % aussi bien au stade tallage qu'à la maturation. A maturité, T6 (0,26 %) présente une teneur plus élevée qui est différent à T1 (0,20 %).
- T1, T2 et T3 présentent des teneurs en sodium les plus élevées par rapport à celles de T4, T5 et T6 au stade tallage mais elles tendent à diminuer et à être semblable à maturité.
- La teneur en matière organique de la tige et de la feuille entre les traitements aux différents stades n'est pas significativement différente. Cette teneur est de 74% (T2 ; T4) à 76% (T1, T3 et T6) (Annexe 11).

#### ❖ *Teneur en différents éléments autre que l'azote au niveau de la graine du riz*

Le résultat de l'analyse des graines est présenté par le tableau 3. Les teneurs en différents éléments chimiques autre que l'azote contenus dans les graines ne semblent pas être significativement différentes pour tous les traitements (T1 à T6). La teneur en Phosphore varie de 0,09% (T1) à 0,13% (T4) et celle du potassium varie de 0,008% (T5) à 0,01% (T2). La teneur en phosphore la plus élevée a été constatée en T4 et celle du potassium en T2.

**Tableau 3** : Teneur en différents éléments (P, K, Ca, Mg, Na et MO) dans les grains du riz

<b>Eléments</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
P (%) ; p=0,14	0,09a	0,10a	0,11a	0,13a	0,11a	0,12a
K (%) ; p=0,11	0,009ab	0,01a	0,009ab	0,009ab	0,008b	0,009ab
Ca (%) ; p=0,2	0,013a	0,012a	0,016a	0,014a	0,013a	0,014a
Mg (%) ; p= 0,57	0,078a	0,076a	0,070a	0,084a	0,093a	0,068a
Na (%) ; p=0,15	0,005a	0,004ab	0,004b	0,004ab	0,004ab	0,005a
MO (%) ; p=0,68	75,99a	75,66a	76,24a	76,31a	76,61a	77,5a

*T1 : Témoin*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

## **II-2. Caractéristiques physique et physico-chimiques du sol**

Les caractéristiques physiques et physico-chimiques du sol analysées sont représentées par : la texture, le pH eau, les teneurs en matière organique, carbone, azote, bases échangeables (calcium, magnésium, potassium, sodium), et la capacité d'échange cationique (CEC). L'analyse du sol a été réalisée après l'expérimentation.

### **II-2.1. Texture**

L'étude de la texture permet d'obtenir la proportion des fractions de sable, de limon et d'argile, classé par catégorie de grosseurs, présentes dans le sol. D'après l'analyse granulométrique, la texture du sol d'expérimentation à Ampamaho est de type limono-argilo-sableuse avec 63% de sable, 24% d'argiles et 13% de limon.

### **II-2.2. Caractéristiques chimiques et constituants du sol**

#### **❖ Caractéristiques chimiques du sol avant l'expérimentation (0-20 cm)**

Avant l'expérimentation, les éléments chimiques du sol du champ d'étude sont présentés dans le tableau 4.

La comparaison des résultats de l'analyse du sol avec la norme d'interprétation de Riquier (1956) montre que le sol de rizière de l'expérience a un pH fortement acide.

Il est riche en carbone, la teneur en azote est moyenne et le rapport C/N est satisfaisant. Le sol est très pauvre en phosphore assimilable. Concernant la teneur en bases échangeables, il est pauvre en Ca, K et Na, mais très riche en Mg. Sa capacité d'échange cationique (CEC) est moyenne.

#### ❖ **Caractéristique du sol après l'expérimentation**

Après l'analyse des résultats obtenus (tableau 4), les constituants chimiques du sol ne sont pas significativement différents entre les traitements. A propos de la capacité d'échange cationique, il présente une variation significative entre les traitements fertilisés et le témoin ( $p=0,020$ ) mais avec de capacité d'échange cationique moyenne selon Riquier.

En se référant à la norme d'interprétation de Riquier (1956) :

- Le pH varie de 5,3 (T3) à 5,6 (T2), il est fortement acide pour tous les traitements (T1, T3, T4, T6) sauf que pour le T2 est en moyennement acide.
- La teneur en azote total est moyenne de 0,12 à 0,14 et aucune différence significative n'a été observée entre les traitements.
- Le sol au niveau des traitements T1, T2, T3, T4 et T6 est très pauvre en phosphore assimilable et il est en valeur moyen au niveau de T5.
- Les teneurs moyennes des bases échangeables de l'échantillon du sol sont les suivants :
  - moyennes en Ca aux T1, T2, T5, T6 et pauvres au niveau des T3 et T4 ;
  - riches en Mg variant de 2,1 (T1) à 2,42 méq/100g (T3 et T5) ;
  - pauvres en K pour les T1, T2, T3 et très pauvres sur les traitements T4, T5, T6 ;
  - pauvres en sodium pour tous les échantillons étudiés.
- Pour tous les traitements, le sol est riche en carbone, sa teneur varie de 2,05 (T3) à 2,14% (T5).
- le rapport C/N est satisfaisant pour tous les traitements.

Cette expérimentation n'a pas mis en évidence l'acidification de sol après l'application de sulfate d'ammonium. La raison est probablement liée au faite que la submersion augmente le pH du sol. Cette première expérimentation n'a pas mise en évidence la variabilité entre les propriétés physico-chimiques du sol.

**Tableau 4** : Caractéristiques chimiques du sol avant et après l'expérimentation

Eléments chimiques	Avant l'expérimentation	Traitements						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	
pH	5,02	5,4	5,6	5,3	5,5	5,5	5,5	
Azote (%)	0,12	0,12	0,13	0,14	0,13	0,12	0,13	
Phosphore assimilable (ppm)	1,6	1,3	2,3	1,1	2,1	2,9	1,6	
Bases échangeables (méq/100g)	Ca	1,9	2,86	3,19	2,15	2,07	2,75	3,14
	Mg	2	2,10	2,21	2,42	2,38	2,42	2,31
	K	0,1	0,1	0,11	0,1	0,09	0,09	0,08
	Na	0,2	0,14	0,16	0,14	0,14	0,14	0,12
Somme des bases	4,2	5,2	5,67	4,81	4,68	5,4	5,65	
Matière organique (%)	3,97	3,58	3,65	3,53	3,64	3,68	3,67	
Carbone (%)	1,9	2,08	2,12	2,05	2,12	2,14	2,13	
C/N	19,38	17,77	16,18	14,62	16,14	17,45	16,71	
CEC (méq/100g)	14	11,88	12,68	12,65	15,38	13,1	13,9	

*T1 : Témoin*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

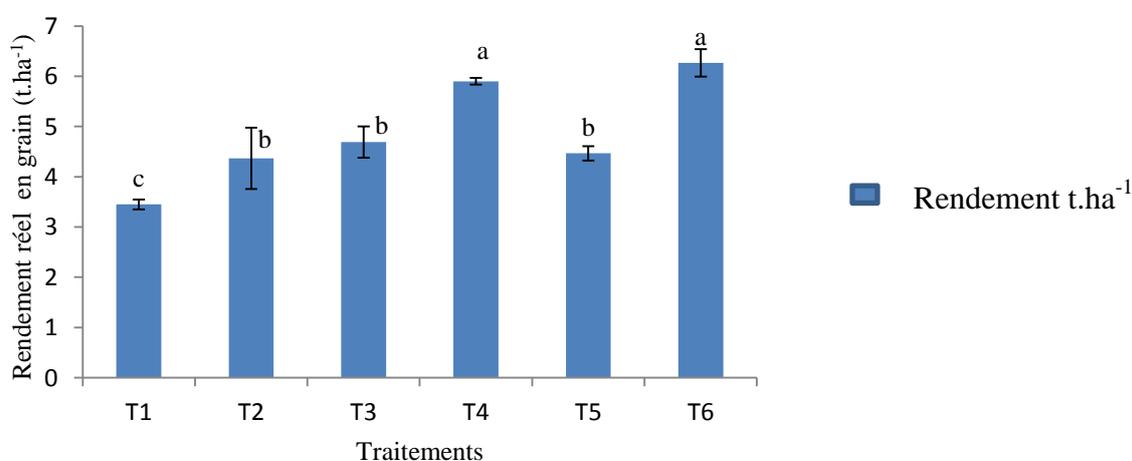
### III. ANALYSES AGRONOMIQUES

#### III-1. Évaluation du rendement réel en grains (paddy) des différents

##### traitements

Le rendement réel en grains est obtenu à partir de la masse des grains secs à l'humidité 14%, bien nettoyés et récoltés dans la parcelle utile. Le rendement en grains est exprimé en tonne par hectare ( $t.ha^{-1}$ ). La valeur moyenne du rendement réel en grains de paddy varie de 3,45  $t.ha^{-1}$  (T1) à 6,27  $t.ha^{-1}$  (T6) (Figure 12). D'après l'analyse statistique de la variabilité du rendement pour les six traitements T1 à T6 (Annexe 11), la différence est hautement significative avec une probabilité de 0,0001. Le test de Newman-Keuls a montré que trois groupes homogènes ont été identifiés dont :

- Premier groupe : T6 (traitement au sulfate d'ammonium à la dose 86,8N) et T4 (traitement au SGU à la demi-dose et urée à demi-dose) ;
- Deuxième groupe : T3 (traité avec l'urée à la dose 86,8N), T5 (sulfate d'ammonium à demi-dose et urée à demi-dose) et T2 (SGU à dose 43,4N)
- Troisième groupe : T1 (témoin : non traité)



**Figure 12** : Rendement réel en grains ( $t. ha^{-1}$ ) à l'humidité 14% des différents traitements

*T1 : Témoin*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

*(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).*

### III-2. Rendement réel en paille, rapport du rendement en grain/paille et indice de récolte

Rappelons que le rendement réel en paille est obtenu à partir du poids sec de la paille dans une parcelle utile. Il est exprimé en tonne par hectare ( $t. ha^{-1}$ ) varie de 8,47 (T1) à 11,24  $t. ha^{-1}$  (T6). D'après l'analyse de variance, une différence significative de la production en paille existe entre les différents traitements (tableau 5). T4 et T6 ont une production en paille élevée.

Tableau 5 : Moyenne du rendement réel en paille des différents traitements

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Moyenne ( $t. ha^{-1}$ )	8,47d	9,79c	10,28b	11,14a	10,53b	11,24a

*T1 : Témoin*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T2 : SGU (43,4N)*

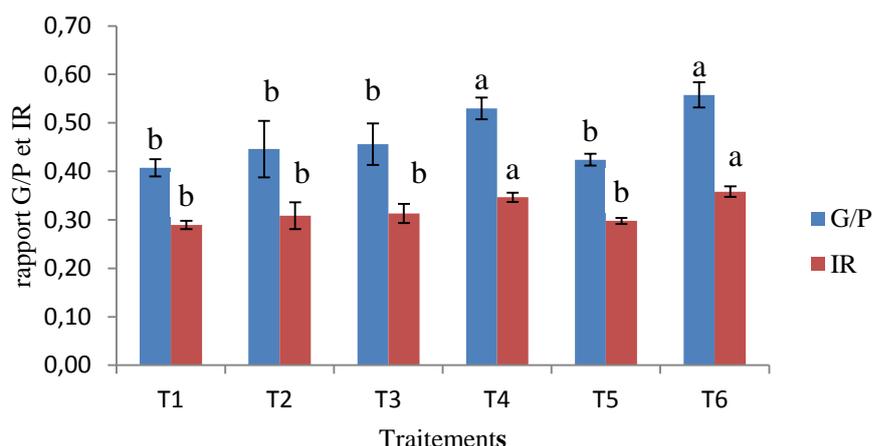
*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

*(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).*

Les coefficients de détermination de l'importance du rendement en grains par rapport au rendement en paille ont été obtenus à partir du rapport de rendement en grains avec le rendement en paille (G/P) et l'indice de récolte (IR). Le coefficient de G/P varie de 0,41(T1) à 0,56 (T6) et celle de l'IR varie entre 0,29 à 0,36 (Figure 13). Ceci signifie que le développement de la partie végétative dans tous les traitements est très important par rapport à la formation des graines  $IR \leq 0,5$  ;  $G/P \leq 1$ . D'après l'analyse statistique, la différence au niveau de l'importance du rendement entre les traitements est significative. Les T4 et T6 ont une production élevée par rapport aux autres.



**Figure 13** : Rapport Grain/Paille et indice de récolte IR suivant les traitements

*T1 : Témoin*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

*(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative sur rapport G/P et sur l'IR au seuil de 5% de test de Newman-Keuls)*

### III-3. Composantes du rendement

La différence entre les traitements au niveau du rendement peut être appréciée par l'évaluation des composantes du rendement. Les composantes du rendement sont constituées par le nombre de grains par touffes, le taux de fertilité des graines (Tf) et le poids de mille grains pleins ( $P_{1000}$ ). Le taux de fertilité est la proportion des graines pleines par rapport au nombre total des graines (graine pleine et vide) dans chaque touffe.

D'après l'analyse statistique, le nombre de graines par touffe varie de 511 (T1) à 1478 (T2), et il présente une différence significative entre les traitements fertilisés et le témoin avec  $p=0,0001$ .

Le taux de fertilité des graines varie de 62 % (T1) à 82 % (T3). D'après le test de Newman-Keuls, la variabilité du taux de fertilité est significative entre les traitements fertilisés et le témoin. Cette variabilité est très hautement différente.

Le poids de mille grains du riz varie entre 19,56 g (T1) à 21,27 g (T6). La différence entre les traitements fertilisés et le témoin est significativement différente avec une probabilité de 0,019. (Tableau 6)

**Tableau 6** : Composantes du rendement

Paramètres	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Nombre des graines par touffe	511b	1478a	1329a	1387a	1273a	1215a
Taux de fertilité (%) p=0,0001	62,37b	74,98a	82,3a	78,31a	80,47a	82,13a
Poids de mille grains (g)	19,56b	21,17a	21,27a	21,05a	20,83a	21,02a

*T1 : Témoin*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

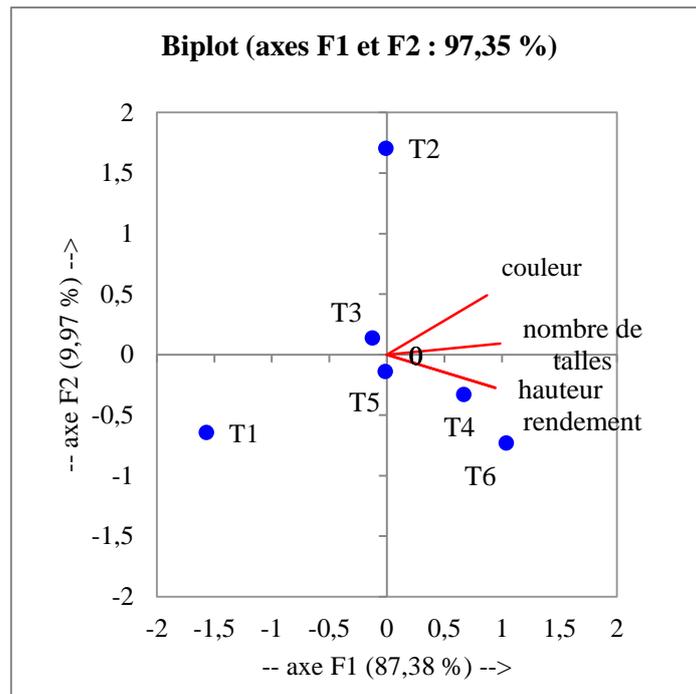
*(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative sur les composantes du rendement au seuil de 5% de test de Newman-Keuls)*

D'après l'analyse de variance, le nombre des graines par touffe, le taux de fertilité et le poids de mille grains ne sont pas significativement différents pour les cinq traitements T2 à T6.

#### **III-4. Corrélation entre croissance, développement et rendement**

D'après l'analyse en composante principale, la croissance, le développement et le rendement sont corrélés positivement avec probabilité 0,012.

Les T4 et T6 sont caractérisés par le rendement, la hauteur, le nombre de talles et la couleur foliaire, le T2 par la couleur foliaire et les T3 et T5 ont des caractères intermédiaires. Le T1 possède un rendement, une hauteur, un nombre de talles et une couleur foliaire faibles.



**Figure 14** : Représentation graphique de la corrélation entre croissance, développement et rendement

*F1 : représente le nombre de talles ; F2 représente la couleur foliaire*

*T1 : Témoin*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

#### IV. EVALUATION DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'AZOTE

##### IV-1. L'efficacité de recouvrement de l'azote (Er)

L'efficacité de recouvrement de l'azote (Er) est définie comme le rapport entre l'augmentation de l'azote dans la plante à maturité et la quantité d'azote apporté. Le taux de recouvrement de l'Er obtenu est très élevé, varie de 81 à 206 % (tableau 7). Il est statistiquement significatif entre les traitements T2 utilisant de SGU seulement à demi-dose d'azote et aux autres traitements à dose d'azote simple (T3, T4, T5, T6). L'Er sur les plantes fertilisées au SGU a été augmenté deux fois plus par rapport aux plantes fertilisées à l'urée et au sulfate d'ammonium. Ceci signifie que le risque de la perte d'azote de SGU n'a pas eu lieu.

**Tableau 7** : Taux de l'efficience de recouvrement de l'azote aux différents traitements

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Er (%)	0	206 a	99,7 b	107,4 b	100,9 b	81,3 b
P=0,0001						
<i>T1 : Témoin</i>			<i>T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)</i>			
<i>T2 : SGU (43,4N)</i>			<i>T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)</i>			
<i>T3 : Urée (86,8N)</i>			<i>T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)</i>			
<i>(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative sur l'efficience de recouvrement au seuil de 5% de test de Newman-Keuls)</i>						

#### IV-2. L'efficience physiologique de l'engrais azoté (Ep)

L'efficience physiologique de l'engrais azoté (Ep) représente la capacité de la plante à transformer l'azote exporté en grains. Elle varie de 10,33 kg grain.kg<sup>-1</sup>N à 43,38 kg grain.kg<sup>-1</sup>N en présentant une différence significative entre les traitements T6 et T4 et aussi aux trois autres traitements. Le T6 utilisant le sulfate d'ammonium à double dose montre une valeur plus grande en Ep de 43,38 kg de grains obtenus par utilisation de 1 kg d'azote, suivi par T4 utilisant le SGU avec l'urée puis les T3, T5 et T2 (tableau 8).

La quantité des grains obtenus (10,33 kg) par utilisation de 1 kg d'azote issu de SGU à simple dose n'a pas une différence à celle de l'urée à double dose (15,69 kg). A même dose d'azote, l'Ep du SGU (28,98 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N) est très élevée par rapport à l'Ep de sulfate d'ammonium (12,18 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N). L'Ep du sulfate d'ammonium est très hautement supérieure à celle de l'Ep de l'urée.

**Tableau 8** : Efficience physiologique

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ep (kg grain.kg <sup>-1</sup> N)	0	10,33 c	15,69 c	28,98 b	12,18 c	43,38 a
P=0,0001						
<i>T1 : Témoin</i>			<i>T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)</i>			
<i>T2 : SGU (43,4N)</i>			<i>T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)</i>			
<i>T3 : Urée (86,8N)</i>			<i>T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)</i>			
<i>(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative sur l'efficience physiologique au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).</i>						

### IV-3. L'efficacité agronomique de l'azote apporté (Ea)

L'efficacité agronomique c'est l'accroissement de la production des grains par utilisation d'azote. Le Tableau 9 présente l'Ea de cette expérimentation

**Tableau 9** : Efficacité agronomique

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Ea (kg grain.kg <sup>-1</sup> N)	0	21,1 ab	14,3 b	28,2 a	11,7 b	32,46a
P=0,003						

*T1 : Témoin*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

*(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative sur l'efficacité agronomique au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).*

D'après les résultats obtenus, l'analyse statistique montre une différence significative entre les traitements utilisés. Les traitements utilisant le SGU avec ou sans apport d'urée (T2 et T4) et le sulfate d'ammonium à dose élevée (T6) sont efficace au point de vue agronomique car 28,2 kg à 32,7 kg des grains sont obtenus par utilisation de 1 kg d'azote.

L'accroissement de la production des grains par utilisation de 1 kg d'azote issu de SGU (21,1 kg) à simple dose n'a pas une différence à celle de l'urée (14,3 kg) et de sulfate d'ammonium à double dose (32,46 kg). A même dose d'azote, l'Ea du SGU (28,2 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N) est très élevée par rapport à l'Ea de sulfate d'ammonium (11,7 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N). L'Ea du sulfate d'ammonium (32,46 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N) est très hautement supérieure à celle de l'Ea de l'urée (14,3 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N). Le SGU à dose simple est donc la meilleur pour obtenir une grande efficacité agronomique.

#### IV-4. Facteur de productivité partielle de l'azote apporté (FPP\_N)

Le facteur de productivité partielle de l'azote apporté est le rapport entre le rendement paddy obtenu avec l'apport d'azote. Le Tableau 10 montre l'Ea de cette expérimentation.

**Tableau 10** : Facteur de productivité partielle de l'azote apporté

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
FPP_N (kg grain. kg <sup>-1</sup> N)	0	100 a	54,03 c	67,98 b	51,44 c	72,2 b
P=0,0001						

*T1 : Témoin*

*T2 : SGU (43,4N)*

*T3 : Urée (86,8N)*

*T4 : SGU (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T5 : Sulfate d'ammonium (43,4N) + Urée (43,4N)*

*T6 : Sulfate d'ammonium (86,8N)*

*(Les petites lettres identiques indiquent les traitements n'ayant pas de différence significative sur le facteur de productivité au seuil de 5% de test de Newman-Keuls).*

D'après les résultats obtenus, la différence entre les traitements appliqués est statistiquement significative et varie de 51,44 kg.kg<sup>-1</sup>N à 100 kg.kg<sup>-1</sup>N (tableau 10). Le traitement T2 utilisant de SGU à dose 43,4 N ayant le FPP\_N élevé puis les T4 T6, et enfin les traitements T3 et T5.

Le FPP\_N de SGU à simple dose (100 kg grain.kg<sup>-1</sup>N) est très hautement élevé par rapport à celle de FPP\_N à double dose de l'urée (54 kg grain.kg<sup>-1</sup>N) et de sulfate d'ammonium (72,2 kg grain.kg<sup>-1</sup>N). Le FPP\_N de sulfate d'ammonium est élevé par rapport à celle de l'urée.

## **QUATRIEME PARTIE : DISCUSSIONS**

Rappelons que l'azote a été apporté pour accroître le rendement. L'engrais azoté sous forme de SGU a été utilisé pour assurer une alimentation durable des plantes. Plusieurs résultats ont été obtenus durant cette étude. A cet effet, quatre points méritent d'être discutés :

- l'utilisation de l'azote provenant de l'urée (urée perlée et SGU) et du sulfate d'ammonium, combinés avec le phosphore dans la nutrition du riz ;
- l'effet de l'utilisation de différents types d'engrais azotés sur le rendement ;
- la comparaison de l'efficacité d'utilisation d'azote entre les différents types d'engrais azotés.

### **I. UTILISATION DE L'AZOTE PROVENANT DE L'UREE PERLEE, DU SUPER GRANULE D'UREE ET DE SULFATE D'AMMONIUM DANS LA NUTRITION DU RIZ**

L'azote appliqué dans cette expérience se diffère par la source, par son épandage et par son dosage. Le nombre de talles, la hauteur de la plante et la couleur foliaire de la variété « Mailaka » sont statistiquement élevés avec l'application de l'engrais azoté par rapport au témoin fertilisé uniquement par des engrais organiques. Cela montre que pendant la phase végétative, les plantes ont besoin d'apport d'engrais azoté. Au cours de la phase végétative, du 27<sup>e</sup> au 69<sup>e</sup> JAR, l'intensité de la couleur foliaire, la hauteur de la plante et le nombre de talles sont très élevés par rapport au témoin (Fig.3, Fig.4, Fig.5). Randriamalaza (2014) avait trouvé que la concentration en azote dans la plante sur la même variété étudiée est corrélée avec le nombre de talles et la croissance maximale en nombre de talle exige une assimilation importante de l'azote. La teneur en azote est corrélée avec l'intensité de la couleur foliaire (Fig.10), l'azote est un élément responsable du verdissement de la feuille. Les résultats rapportés par Raharinivo (2010) avec la variété X915 étaient comparables à ceux que nous avons obtenus. L'azote est ainsi l'élément responsable de la croissance et du développement végétatif du riz. L'intensité de la couleur foliaire sur les traitements fertilisés avant l'épiaison est maintenue au seuil 4. Les plantes assimilent donc une quantité d'azote importante et emmagasinent cette dernière au niveau de leur feuille. A partir du 76 JAR, au stade de montaison, une diminution de l'intensité de la couleur foliaire a été constatée. Ceci peut être expliqué par une translocation de certaine quantité d'azote vers l'épi. Randriamalaza (2014) a dit aussi que la phase de maturation est marquée par une translocation de l'élément azoté vers les graines.

Le sol fertilisé par le sulfate d'ammonium de 86,8 N et celui fertilisé par le SGU de 43,4 N ont donné le nombre de talles, la hauteur des plantes et la couleur foliaire les plus élevés. L'engrais azoté à base de sulfate d'ammonium est sous-forme de poudre et apporté en surface. La fertilisation en sulfate d'ammonium avec une dose d'azote élevée a pu cependant aboutir à la production élevée de talles. Contrairement, en utilisant le SGU, la perte d'azote est évitée car le SGU placée en profondeur a la capacité de maintenir un taux élevé d'azote dans le sol, d'où une quantité faible est suffisante pour un bon développement de talles. Rakotoarisoa (2011) et Randriamalaza (2014) avaient aussi obtenu cette efficacité du SGU sur la production de talles.

Une légère diminution de la teneur en azote dans les feuilles a été constatée en fin tallage pour T3, T4 et T5, par conséquent un apport a été effectué au moment de l'initiation paniculaire. Une augmentation de la teneur en azote dans les plantes a été constatée au stade montaison alors que les plants du riz ont encore besoins d'azote. Selon Karrou (2001), l'apport en azote au début de la montaison est bien raisonné en se basant sur la teneur en azote dans le végétal car le tallage et la montaison sont les périodes de croissance critiques quant à la satisfaction des besoins en azote de la culture des céréales.

## **II. EFFET DE L'UTILISATION DE DIFFERENTS TYPES D'ENGRAIS AZOTES SUR LE RENDEMENT**

Tous les rendements obtenus dans cette étude sont inférieurs à ceux obtenus par Rakotoarisoa (2011). Ceci peut être expliqué par le fait qu'il a utilisé du potassium en plus de l'azote et du phosphore. Pour notre cas, une pénurie d'engrais potassique sur le marché ne nous a pas permis d'effectuer une fertilisation potassique. Le sol fertilisé en azote dans l'urée, le SGU et le sulfate d'ammonium ont augmenté le rendement jusqu'à 6 t.ha<sup>-1</sup> par rapport au témoin (3,45 t.ha<sup>-1</sup>) traité seulement avec des engrais organiques. Cette carence en potassium n'a pas pu être corrigée par l'apport de fumier de parc. Ceci démontre la complémentarité entre les engrais minéraux et les engrais organiques.

### **II-1. Comparaison entre l'effet du SGU (43,4N) et celui de l'urée (86,8N)**

Pour avoir le même rendement, il faut apporter une dose d'urée double de celle de SGU. L'urée perlée est épandue en surface, d'où le risque de perte d'azote par lessivage et par volatilisation est élevé. Par contre, le SGU à en placement profond a la capacité de maintenir un taux élevé d'azote dans le sol. Rakotoarisora (2011) et Randriamalaza (2014) avaient obtenu ce même résultat sur l'effet bénéfique de SGU par rapport à l'urée.

La dose d'azote dans le SGU (43,4N) apporté au repiquage a permis l'obtention d'une bonne croissance et d'un bon développement des appareils végétatifs aériens. Le deuxième apport d'azote sous-forme d'urée effectué à l'initiation paniculaire a favorisé la production des graines. L'azote apporté au stade de l'initiation paniculaire augmente donc le rendement (6 t.ha<sup>-1</sup>). Pour avoir un bon rendement en riziculture il est important d'apporter de l'azote en période critique.

En comparant nos résultats sur l'utilisation de SGU à la dose de 43,4 N avec ceux de Randriamalaza (2014), nous avons obtenu un rendement moins élevé. La différence résulte de l'absence de potassium dans notre fertilisation.

### **II-2 Comparaison de l'effet du sulfate d'ammonium (86,8N) avec celui de l'urée (86,8N)**

Le sulfate d'ammonium (T6) a donné un rendement plus élevé (6 t.ha<sup>-1</sup>) que l'urée (T3). Le sulfate d'ammonium libère directement l'ammonium tandis que l'urée devait subir une hydrolyse. De plus, le sulfate d'ammonium apporte à la plante du soufre.

### **II-3 Comparaison de l'effet du SGU (43,4N) + urée (43,4N) avec celui du sulfate d'ammonium (43,4N) + urée (43,4N)**

Le SGU (T4) a donné un rendement plus élevé que le sulfate d'ammonium (T5). Le risque de perte d'azote par lessivage pourrait être élevé pour le sulfate d'ammonium. De plus, la supériorité de SGU par rapport au sulfate d'ammonium pourrait résulter de la libération lente de l'azote.

### **III. COMPARAISON DE L'EUA ENTRE LES DIFFERENTS TYPES D'ENGRAIS AZOTES**

Rappelons que l'efficacité d'utilisation d'azote est définie comme étant le rapport entre le rendement grains et l'unité d'azote disponible dans le sol.

L'utilisation du super granule d'urée a donné des effets bénéfiques sur l'efficacité azotée du riz. En effet, les différents types d'efficacité calculée confirment la supériorité du super granule par rapport à l'urée et au sulfate d'ammonium.

#### **III-1. Sur l'efficacité de recouvrement (Er)**

Les résultats obtenus sur l'efficacité de recouvrement ont souligné une absorption d'azote significativement très élevée provenant du SGU. 206% d'azote apportés par le SGU sont absorbés par la plante contre 101% pour le sulfate d'ammonium et 99,7% pour l'urée.

La plante fertilisée au SGU absorbe plus du double de la quantité d'azote que celui fertilisée à l'urée et au sulfate d'ammonium. Rakotoarisoa (2011) avait obtenu les mêmes résultats sur l'effet bénéfique du SGU de l'efficacité de l'azote par rapport à l'urée.

L'Er du sulfate d'ammonium et celle de l'urée sont semblables. Le SGU est la plus efficace pour obtenir une bonne efficacité de recouvrement.

#### **II-2. Sur l'efficacité physiologique (Ep)**

Rappelons que l'efficacité physiologique correspond à l'efficacité de transformation de l'azote exporté en grain dans la plante.

L'efficacité physiologique du SGU à simple dose (10,3 kg grain.kg<sup>-1</sup>N) n'est pas significativement différente par rapport à l'efficacité physiologique de l'urée à double dose (15,7 kg grain.kg<sup>-1</sup>N). Pour atteindre la même efficacité physiologique au SGU, il doit apporter une double dose de l'urée. En comparant à celle du sulfate d'ammonium à même dose (12,18 kg grain.kg<sup>-1</sup>N), l'efficacité physiologique du SGU est très élevée (28,98 kg grain.kg<sup>-1</sup>N) et l'efficacité physiologique de l'urée est très faible (T6 comparé à celle de T3). Rakotoarisoa (2011) avait obtenu que l'efficacité physiologique de SGU et de l'urée n'a pas une différence significative, mais à nos résultats, le SGU a donné une Ep très élevée. Dans notre cas, l'Ep dépend directement de la valeur du rendement car l'azote exporté par la plante dans tous les traitements fertilisés n'a trouvé pas de différence significative. Le rendement obtenu au SGU est le plus élevé alors l'Ep du SGU est donc le plus élevé.

### **II-3. Sur l'efficience agronomique**

L'efficience agronomique présente l'accroissement de la production des graines par rapport au témoin et par utilisation d'azote.

L'efficience agronomique de la plante fertilisée au SGU à une simple dose (21,1 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N) est semblable à l'Ea de l'urée (14,3 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N) et du sulfate d'ammonium à double dose (11,7 kg grain. Kg<sup>-1</sup>). A même dose (dose doublée), l'Ea de sulfate d'ammonium (32,46 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N) est élevée par rapport à l'urée (14,3 kg grain. Kg<sup>-1</sup>N). La valeur élevée de l'efficience agronomique pour le sulfate d'ammonium résulterait probablement de la synergie entre l'azote et le soufre. L'utilisation de l'azote provenant de SGU est la plus efficace pour accroître la production des graines. Rakotoarisoa (2011) avait obtenu les mêmes résultats sur l'effet bénéfique du SGU pour accroître le rendement en grains par rapport à l'urée.

### **II-4 Sur le facteur de productivité partielle de l'azote apporté (FPP\_N)**

Rappelons que le facteur de productivité partielle de l'azote apporté est le rapport entre le rendement paddy obtenu avec l'apport d'azote. Le suivi dans le temps des variations de ce facteur permet de prédire la durabilité d'une exploitation agricole (Dua *et al*, 2007).

Le facteur de productivité partielle de l'azote apporté de la plante fertilisée au SGU est très élevée (100 kg.kg<sup>-1</sup>N) par rapport au sulfate d'ammonium (72,2 kg.kg<sup>-1</sup>N) et à l'urée. Il est élevé pour le sulfate d'ammonium que pour l'urée. De même qu'à simple dose, le FPP\_N de SGU est très hautement élevé (100 kg grain.kg<sup>-1</sup>N) comparé à celle de FPP\_N à double dose de l'urée (54 kg grain.kg<sup>-1</sup>N) et de sulfate d'ammonium (72,2 kg grain.kg<sup>-1</sup>N).

## **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

Au terme de ce travail, nous pouvons dire que l'objectif d'augmenter le rendement de la production des graines du riz est atteint. Ceci est le résultat de la fertilisation du sol par des engrais chimiques à base d'azote combinés avec des engrais organiques. Du fait du rôle critique de l'azote et de sa disponibilité limitée, la conduite de la fertilisation azotée est un aspect extrêmement important de la production des plantes et c'est pour cette raison que la fertilisation en azote a été menée. L'apport en azote a amélioré la croissance et le développement des appareils végétatifs aériens sur la hauteur de la plante, la production des talles et le verdissement des feuilles qui sont des caractères physiologiques importants liés à la production. Ainsi, le rendement a augmenté jusqu'à 82 % par rapport au rendement du témoin. La première hypothèse a été ainsi vérifiée.

Les différents traitements effectués n'ont pas donné tous les mêmes valeurs en termes de rendement et de l'efficacité d'utilisation de l'azote. Le riz traité avec du SGU (T4) a donné un rendement élevé de 6 t.ha<sup>-1</sup> par rapport à celui traité avec du sulfate d'ammonium (T5) et celui de l'urée (T3). Le traitement avec le sulfate d'ammonium a donné un rendement plus élevé que l'urée. La croissance, le développement et le rendement sont corrélés positivement. Le rendement dépend de la dose d'azote présente dans l'engrais et surtout de la forme d'engrais qui peut être soit sous forme de poudre, soit sous forme de super granule. Si la dose d'azote apporté au début du repiquage n'est pas suffisante pour la croissance et le développement de la plante jusqu'à la phase de maturation, il est indispensable d'apporter une certaine quantité d'engrais azoté au moment de l'initiation paniculaire. Le tallage et la montaison sont les phases critiques pour le riz quant à la demande d'azote par la plante.

Selon l'évaluation de l'efficacité d'utilisation d'azote (EUA) de tous les différents types d'engrais, celle du SGU est la plus élevée. L'utilisation du super granule d'urée a donné des effets plus bénéfiques sur l'efficacité azotée du riz. Sur l'efficacité de recouvrement (Er), 95% d'azote apportés par le SGU sont absorbés par la plante contre 46% pour l'urée et 17% pour le sulfate d'ammonium. Sur l'efficacité agronomique, le SGU a 28 kg grain ha<sup>-1</sup>/kg N ha<sup>-1</sup> contre 14,3 kg grain ha<sup>-1</sup>/kg N ha<sup>-1</sup> pour l'urée et 11,7 kg grain ha<sup>-1</sup>/kg N ha<sup>-1</sup> pour le sulfate d'ammonium. La deuxième et la troisième hypothèse sont ainsi vérifiées.

D'après la comparaison des résultats des différents types de traitements utilisés dans cette recherche, nous avons pu constater que l'utilisation de SGU est la plus rentable. Avec une même dose d'azote dans le SGU, le sulfate d'ammonium et l'urée, le SGU peut donner plus de rendement que les deux derniers types d'engrais.

Cette étude a donc pu montrer l'importance de l'azote sur la production du riz et l'importance du choix du type de traitement pour obtenir un bon rendement. Pour cela, l'utilisation de SGU est conseillée car elle paraît être la plus rentable. Les résultats obtenus par cette étude ne sont pas encore exhaustifs mais peuvent être utilisés pour une amélioration de la production.

On pourrait envisager l'utilisation du sulfate d'ammonium sous forme de super granule. Les résultats obtenus pourraient être comparés avec ceux obtenus par l'utilisation de SGU afin de savoir lequel de ces deux types d'engrais est le plus rentable. Ces différentes études devront être complétées par une étude économique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anasthase, H., David, S., Dario, F et Fabio, M., 2002. Performance et efficacité de l'azote des variétés de blé suisses du 20<sup>e</sup> siècle. *Recherche Agronomique Suisse* 3. pp. 44-51.
- Arraudeau, A., 1970. L'amélioration variétale du riz à l'Institut International de Recherches sur le Riz (IRRI). *L'agronomie tropicale* 25. pp 76 - 80.
- Balasubramanian, V., Ladha, J. K. et Denning, G. L., 1998. *Resource management in rice systems: Nutrients*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 360 p.
- Balasubramanian, V., Morales, A. C., Thiyagarajan, T. M., Nagarajan, R., Babu, M., Abdulrachman, S. et Hai, L. H., 2000. Adaptation of the chlorophyll meter technology for real time N management in rice: a review. *Int. Rice Res. Notes* 25.
- Bertrand, H. et André, G., 2013. Améliorer l'efficacité d'utilisation de l'azote chez les plantes cultivées. *Potentiels de la science pour l'avenir de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement* 1. pp 1 – 15.
- Bonnefille, R. et Riollet, G., 1980. *Pollens des savanes d'Afrique Orientale*. CNRS, Paris. 140 p.
- Bouyer, S., 1968. L'interaction azote et phosphore dans les recherches sur la fertilisation des sols tropicaux. In Colloque sur la fertilité des sols tropicaux. Tananarive (Madagascar). pp 397 – 410.
- Bray, R. H. et Kurtz, L.T., 1954. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59. pp 39-45.
- Cassman, K.G., Dobermann, A., Walters, D.T., 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio* 31. pp132–140.
- Courtois, B. 2007. *Une brève histoire de l'amélioration génétique du riz*. CIRAD. France. 13p.
- De Datta, S. K., 1981. *Principles and Practices of Rice Production*. International Rice Research Institute. 618 p.
- De Datta, S. K., 1986. Improving Nitrogen Fertilizer Efficiency in lowland rice in tropical Asia *Fert Res* 9. pp 171-186.
- Dobelman, J. P., 1976. *Riziculture pratique 1 : riz irrigué*. Conseil International de Langue Française. Paris. 226 p.
- Dobermann, A., Fairhurst, T. H., 2000. Rice: Nutritional disorders and nutrient management. International Rice Research Institute (IRRI) & Potash and Phosphate Institute (PPI), Singapore, 191 p.

- Dua, V. K., Govindakrishnan, S., Lal, S. et Paul Khurana, S. M., 2007. Partial Factor Productivity of Nitrogen in Potato. *Better crops* 91. pp 1 - 2.
- efficiency, and nitrogen management. *Ambio* 31. pp 132–140.
- Emeline, S., 2007. Etude de cas programme pays Madagascar. *Programme de Promotion des Revenus Ruraux (PPRR)*. pp 1 - 2.
- FAO, 1979. *Directive pour la lutte intégrée contre les ennemis du riz*. FAO. Rome. 117 p.
- FAOSTAT, 2005. *Organisation des Nations Unies pour l'alimentation de l'agriculture*. FAO. Rome, Italie. 15 p.
- Foulkes, M. J., Hawkesford, M. J., Barraclough, P. B., Holdsworth, M. J., Kerr, S., Kightley, S. et Shewry, P. R., 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: recent advances and future prospects. *Field Crops Research* 114. pp 329–342.
- Furoc, R. E. et Morris, R.A., 1989. Apparent recovery and physiological efficiency of nitrogen in *Sesbania* incorporated before rice. *Agronomy. J.* 81. pp 797-802.
- Lacharme, M., 2001. Le plant de riz : données morphologiques et cycle de la plante. *Mémento Technique de Riziculture. Fascicule 2*. pp 1 - 22.
- Leg, J. O. et Meisinger, J. 1982. Soil nitrogen budgets : nitrogen in agricultural soil. *Agronomy* 22. pp 50-55.
- MAEP, FAO et PSDR, Fiches techniques de base destinées aux techniciens agricoles systèmes de riziculture intensive (SRI) Graminées. *Culture vivrière*. pp 1 – 3.
- Moughli, L., 2000. Les engrais minéraux : caractéristiques et utilisations. *Transfert de technologie en agriculture* n°72. pp 1-4.
- Niry, F. S., 2010. *Détermination de la surface spécifique foliaire (SSF), relation avec le fonctionnement physiologique chez dix variétés de riz pluvial*. Mém DEA. Option Physiologie Végétale. Université d'Antananarivo. 57 p.
- Novoa, R. et Loomis, R. S., 1981. Nitrogen and plant production. *Plant soil* 58. pp 177-204.
- Raharinivo, V., 2010. *Utilisation de la plaquette couleur foliaire (PCF) pour la gestion de la nutrition azotée du riz (Oryza sativa) en culture irriguée*. Mém DEA. Option Physiologie Végétale. Université d'Antananarivo. 61 p.
- Rakotoarisoa, N. M., 2011. *Suivi des effets du super granule d'urée (SGU) sur la riziculture irriguée en comparaison avec l'urée perlée apportée par fractionnement, cas de la commune rurale de Mahitsy*. Mémoire de fin d'études, ESSA. Option Agriculture. Université d'Antananarivo. 80 p.

- Randriamalaza, T., 2014. *Effet du super granule d'urée et du super phosphate triple sur la riziculture irriguée, relation entre production pollinique et rendement*. Mém DEA. Option Palynologie Appliquée. Université d'Antananarivo. 45 p.
- Riquier, J., 1956. Normes d'interprétation de richesse d'un sol d'après les analyses chimiques. *Mémento de l'agronome 2*. pp 86-88.
- Unité de communication de FOFIFA, 2000. La variété de riz adaptée aux rizières sans maîtrise d'eau pour les Hautes Terres, le Moyen-Ouest et le Moyen-Est de Madagascar. *Fiche technique*. pp 1 – 6.
- Varley, J.A., 1966. Methods for the determination of nitrogen, phosphorus and potassium. *Analyst 91*. pp 119-126.
- Vergara, B., 1984. *Manuel Pratique de Riziculture*. IRRI. Philippines. 221 p.
- Vlek, P. L. G., Byrnes, B. H., 1986. The efficiency and loss of fertilizer nitrogen in lowlandrice. *Fert Res 9*. pp 131-147.
- Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. International rice research institute. Los Banos Phillipines. 279 p.
- Wopereis , 2008. Connaissance de la plante de riz. *Curriculum APRA – GIR 8*. pp 27- 35.
- Witt, C., Balasubramanian, V., Dobelman, A. et Buresh, R. J., 2002. Nutrient management of rice. A practical guide to nutrient management. International Rice Researche 26p

## **REFERENCES WEBOGRAPHIQUES**

*http : //ipni.net/ppiweb/*

*http : //www.irri.org/science/ricestat*

*http//faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/home/F*

*World Rice Statistics (2005) IRRI, Los Baños, Philippines, http:// www.irri.org/ science/ricestat/*

# **ANNEXES**

**Annexe 1** : Données climatiques de la zone d'Ivato Antananarivo (2012-2013)

Pluviométrie (en mm) ; Températures maximales (°C) Températures minimales (°C)

**Tableau** : précipitation moyenne et moyenne thermique d'Ivato : 2012-2013

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Précipitation (mm)	279,65	380,05	200,3	56,75	21,85	1,7
Température (°C)	22,15	22,4	21,725	20,95	18,95	16,025

Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	MOYENNE ANNUELLE
1,6	1,35	1,65	55,25	192,15	236,35	119,05
15,375	15,925	17,725	20,25	22,35	22,325	19,68

**DONNEES DU SERVICE METEOROLOGIQUE Ampandrianomby**

**Annexe 2** : Fiche technique de la variété « Mailaka »

N° dans le catalogue CIRAD-CA GERVEX :

9172

N° dans le catalogue FOFIFA : 3914X265

Synonymes : IR 15579-24-2

Origine géographique : Phillipines

Origine génétique : IRRI

Groupe morphologique : type semi-pluvial

**CARACTERES DE LA PLANTE**

- Longueur des feuilles : 15 cm
- Pilosité des feuilles : glabre
- Couleur de la gaine foliaire : vert clair
- Port de la feuille paniculaire : intermédiaire
- Hauteur de la plante : 90 cm
- Aptitude au tallage : fort
- Port de la plante : semi-ouvert
- Exertion paniculaire : bonne
- Cycle semis-floraison : 135 j (moyenne Antsirabe / 1600 m)
- Cycle semis maturité : 160 à 165 j (moyenne Antsirabe / 1600 m)

## CARACTERES DU GRAIN

- Aristation : mutique
- Couleur de l'apex : non coloré
- Couleur des glumelles : jaunes clair
- Pilosité des glumelles : bonne
- Poids de 100 grains : 27 g
- Longueur du grain vêtu : 8,3 mm
- Largeur du grain vêtu : 3,1 mm
- Taux d'amylose : 25% MS (élevé)
- Translucidité : moyenne

## CARACTERES AGRONOMIQUES

- · Vocation culturale : culture irriguée
- · Niveau d'intensification : échelle expérimentale
- · Aires de culture reconnues : sols hydromorphes tourbeux – hautes terres à Madagascar
- · Résistance à : la verse : faible (7/9)
- · Tolérance aux maladies : pyriculariose du cou : sensible (7/9)  
pourriture des gaines : moyennement sensible (5/9)
- · Autres tolérances ou résistances : engorgement temporaire ou permanent à l'eau
- · Caractères particuliers : panicule moyennement lâche, grain long et glabre.
- · Rendements obtenus en milieu contrôlé :  
Moyen : 5 t/ha  
Maximum : 9,5 t/ha

Points forts	Points faibles
Tolérance au stress hydrique	Certaine sensibilité à la pyriculariose
Sonne adaptation à la riziculture inondée	Très sensible à la verse
Fertilité	
Homogénéité	
Aspect sanitaire du grain	
Grain apprécié	

### **Annexe 3 : Opérations culturales**

#### **❖ Chronologie des différentes opérations culturales pendant la saison**

Dates	Opérations
16 Octobre 2012	Drainage
13, 14, 15 Novembre 2012	1 <sup>er</sup> labour
18, 19 Novembre 2012	1 <sup>er</sup> pulvérisage
17, 18 Décembre 2012	Rélabour
21 ,22 Janvier 2013	2 <sup>ème</sup> pulvérisage
22,23 Janvier 2013	Planage de la rizière
11 Janvier 2013	Semis sur pépinière
25 Janvier 2013	Mise en boue Epannage d'Urée perlée et sulfate d'Ammonium Trempage des racines avec le TSP Repiquage en ligne Enfouissement des SGU
14 Février 2013	Sarclage
06 Mars 2013	Sarclage
07 Avril 2013	Sarclage
30 Mai 2013	Récolte

#### **❖ Dates d'apport d'engrais azotés sur les parcelles**

Dates d'apport	Traitements	Dose et source d'N apporté	Stade
25 Janvier 2013	T2	43,4N du SGU 45%	Au moment du repiquage
	T3	43,4N d'Urée 46% (1/2)	
	T4	43,4N du SGU 46% (1/2)	
	T5	43,4N du NH <sub>4</sub> 21% (1/2)	
	T6	86,8N du NH <sub>4</sub> 21%	
04 Avril 2013	T3	43,4N d'Urée 46% (1/2)	69 jours après le repiquage
	T4		
	T5		

❖ **Technique de « Trempage des racines » des jeunes plants avec le TSP**

- 200 g du TSP a été utilisé dans chaque parcelle. Dissoudre le TSP dans de l'eau pendant une heure minimum.
- Verser le TSP dans une cuvette plastique, puis ajouter un peu d'eau et de la boue d'argile provenant de la même parcelle.
- Bien mélanger la solution afin d'obtenir une matière collante. La quantité de la boue dans ce mélange est beaucoup que celle de l'eau.
- Nettoyer les racines des jeunes plants et les plonger dans la cuvette. Assurer bien la collision du mélange sur les racines. Les jeunes plants peuvent être repiqués.

**Annexe 4** : Chronologie des différents stades phénologiques

<b>PHASE</b>	<b>Stade</b>	<b>Dates</b>	<b>Nombre des jours</b>
VEGETATIVE	Début tallage	14/02/13	20
	Max Tallage	04/04/13	49 69 (Jours Après Repiquage)
REPRODUCTIVE	IP	04/04/13	49 69 (JAR)
	Montaison	11/04/13	7 76(J A R)
	Epiaison	18/04/13	7 83 (J A R)
	Floraison	25/04/13	7 90 (J A R)
MATURATION	Laiteux	01/05/13	6 96 (J A R)
	Pâteux	11/05/13	10 106(J A R)
	Vitreux	18/05/13	7 113 (J A R)

Durée de la survie du riz de la variété X265:125 jours APR

Cycle végétatif total : 140 jours

## **Annexe 5** : Mesure de la couleur foliaire à l'aide de PCF

La plaquette couleur foliaire (Photo 5) est un outil permettant de mesurer l'intensité de la couleur foliaire (Balasubramanian et *al.*, 1998), fabriquée à partir de la matière plastique. Elle comporte six plages de couleurs codées de 1 à 6, allant de la couleur verte jaunâtre à la couleur verte foncée. La couleur des feuilles est confrontée aux plages de couleurs de la plaquette. La valeur seuil de déficience de la nutrition azotée du riz est de 4 (Balasubramanian et *al.*, 2000). La PCF permet de déterminer le moment opportun pour épandre l'azote et d'évaluer l'effet d'utilisation de l'azote sur la culture du riz.

Si la moyenne de la couleur foliaire des dix feuilles par parcelle est inférieure à 4, les plantes sont pauvres en azote et elles ont besoin d'épandre l'urée selon les traitements utilisés (T3, T4 et T5).

### **Mode opératoire de la mesure de la couleur foliaire**

Le comptage de talles, la mesure de la hauteur et la détermination de la couleur foliaire ont été faites sur même touffes en même temps. Chaque parcelle élémentaire a des dix touffes choisies au niveau de la surface d'échantillonnage afin d'obtenir le même résultat à la parcelle utile.

- La mesure de a été faite au matin pour éviter l'influence du rayonnement solaire à la lecture.
- Par chaque touffe, prendre une feuille saine et plus jeune mais pleinement ouverte
- Mettre la partie médiane de la feuille au-dessus de PCF et déterminer la couleur identique de cette feuille à celle de PCF.
- Calculer la moyenne des dix touffes
- Si la moyenne de dix touffes des T3, T4 et T5 est inférieure à 4, épandre l'urée à la dose prescrite (43,4 N). La référence est à l'échelle de 4

## **Annexe 6** : Protocole d'analyse des plantes

### **1) Préparation des échantillons et détermination du phosphore (P), du potassium (K), du calcium (Ca), du magnésium (Mg) et de sodium (Na)**

#### a) Préparation des échantillons

- Séchage à 70°C pendant 48heure (h)
- Broyage avec un tamis de 0,5 mm
- Séchage pendant 24 h à 70°C

- Refroidir dans un dessiccateur
  - b) Calcination et extraction
- Peser 1 g de plante broyée dans un creuset en porcelaine 25 ml
- Le mettre dans un four à moufle à 500°C pendant 5 h environ
- Ajouter quelques gouttes d'eau pour l'humidifier
- Ajouter 2 ml de HCl concentrée
- Evaporer sur une plaque chauffante pendant 1 h
- Ajouter 5ml de HNO<sub>3</sub>2N et bien mélanger à l'aide d'un policeman pour dissoudre les résidus
- Le filtrer à l'aide d'un papier filtre dans une fiole de 50ml en utilisant l'eau distillée chaude
- Après refroidissement, ajouter de l'eau distillée froide jusqu'au trait de jauge
- Faire une série de dilution à 1/10; 1/100;et 1/1000
- Déterminer au spectrophotomètre d'absorption atomique la teneur du Ca et Mg, au photomètre de flamme le Na et K. La teneur en phosphore a été déterminée au spectromètre colorimètre.
- Faire le calcul: Xppm= Lecture× dilution ×50

## 2) Azote Kjeldhal

### ✓ Principe

La méthode d'analyse consiste de trois étapes successives dont la minéralisation, la distillation et la titration.

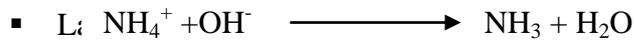
#### ▪ La minéralisation :

Détruire les matières organiques azotées en les chauffant à 430°C pendant 1h avec l'acide sulfurique concentré. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. L'azote se transforme en azote ammoniacal. L'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub>) est fixé par l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à l'état de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Le K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> permet d'élever la température d'ébullition de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>et le CuSO<sub>4</sub>sert au catalyseur de la réaction.



#### ▪ La distillation :

La distillation consiste à extraire l'azote ammoniacal à l'aide d'un « appareil à distillation ». Elle permet de transformer le sel d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) à l'état basique (soude  $\text{NaOH}$ ) et à l'état chauffage en vapeur d'eau. Le  $\text{NH}_3$  a été capturé par l'acide borique.



La titration permet de déterminer la teneur en azote dans les échantillons. L'ammoniac a été dosé par une solution titrée d'acide sulfurique.

#### ✓ Réactifs

- Acide sulfurique concentré ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Catalyseur de minéralisation Kjeldhal : mélange de 3,5 g de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  et 0,4 g de  $\text{CuSO}_4$
- Hydroxyde de sodium ( $\text{NaOH}$ ) 10 N
- Solution d'acide borique ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) à 2 % : 40 g  $\text{H}_3\text{BO}_3$  + 1000 ml  $\text{H}_2\text{O}$  + 40 ml
- Solution d'acide sulfurique 0,01 N

#### ✓ Mode opératoire

##### ▪ Minéralisation de l'azote organique

-Dans un tube de digestion, introduire successivement 0,1 g d'échantillon broyé pour la plante (1 g du sol broyé à tamis 0,5 mm pour le sol), 1 compris de catalyseur de minéralisation et 10 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentré.

-Placer le tout dans un bloc de digestion à  $430^\circ\text{C}$  et continuer la digestion pendant 1 heure.

-Après refroidissement, transférer le contenu dans une fiole de 50 ml et ajuster avec l'eau distillée jusqu'au trait de la jauge

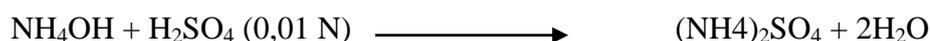
##### ▪ Distillation et titration

-Dans l'appareil à distillation, introduire 10 ml de la solution préparée et 10 ml de soude ( $\text{NaOH}$ ).

-Capturer la vapeur dégagée avec une solution d'acide borique et continuer pendant 10 minutes.

-Titration avec une solution 0,01 N d'acide sulfurique.

Réaction chimique pendant le dosage:



✓ calcul

$$\text{Plante: } N\% = 0,07 \times V/M$$

Constante = 0,07

V : volume de l'acide sulfurique pour doser la solution

M : masse de l'échantillon de la plante à analyser

$$\text{Sol: } N\% = 0,07 \times V$$

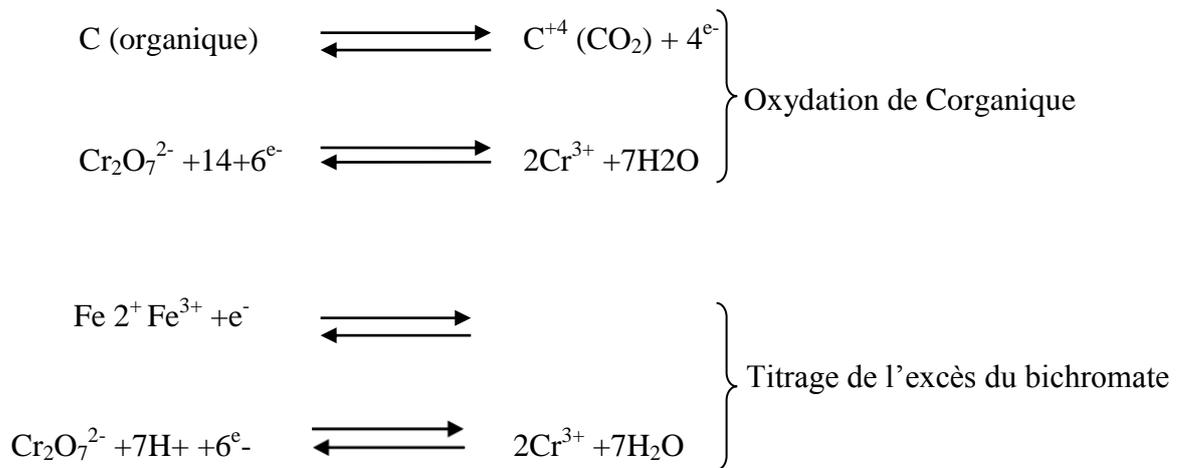
V : volume de l'acide sulfurique pour doser la solution

3) analyse du carbone organique

✓

**Principe**

Les carbones organiques sont oxydés par un excès d'une solution de bichromate de potassium, en milieu acide. L'excès a été dosé par une solution de sulfate ferreux. Les réactions sont les suivantes :



✓ Réactifs

- Bichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 1 N
- Acide sulfurique concentré ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- Sulfate ferreux ( $\text{FeSO}_4$ ) 0,5 N
- Complexe ferreux-ortho-phenantroline 0,025 N

✓ Mode opératoire

- Peser environ 0,1 g d'échantillon de plante (0,5 g pour le sol à 0,5 mm de diamètre) et noter leur poids exact.

- Mettre l'échantillon dans un erlenmeyer de 500 ml, et ajouter 10 ml de bichromate de potassium 1 N et tourner l'erlenmeyer pour que le sol soit immergé dans la solution de bichromate.
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique concentré puis tourner l'erlenmeyer et agiter pendant 1 mn.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Ajouter 200 ml d'eau distillée.
- Ajouter 4 à 6 gouttes d'indicateur coloré et titrer la solution avec sulfate ferreux (FeSO<sub>4</sub>) 0,5 N. Le dosage est achevé si la couleur vire du vert intense au rouge violacé.
- Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions

✓ **Calcul**

$$C \% = \frac{[(Nox.Vox) - (Nred.Vred)] \times 0,39}{m}$$

C% : pourcentage en carbone organique

N : normalité

V : volume

ox (Oxydant) : bichromate de potassium

red (réducteur) : sulfate ferreux

m : masse de l'échantillon

La teneur en matière organique a été déterminée par la formule suivante :

$$\text{Matière organique} = C\% \times 1,724$$

**Annexe 7 : Concentration critiques des déficiences et toxicités en divers éléments chez le riz (Yoshida, 1981) et teneur en éléments chimiques des plantes**

Eléments chimiques	Concentration critique (Yoshida)	Concentration obtenue selon les traitements (%)		stade	Interprétation
Azote (N)	2,5 % : D (strictement pour les feuilles)				
Phosphore (P)	0,10 % : D au tallage 1,00 % : T à la maturité	T1	0,15b	tallage	≥D
			0,09a	maturité	D
Phosphore (P)	0,10 % : D au tallage 1,00 % : T à la maturité	T2	0,15b	tallage	≥D
			0,08a	maturité	D
Phosphore (P)	0,10 % : D au tallage 1,00 % : T à la maturité	T3	0,17b	tallage	≥D
			0,07a	maturité	D
Phosphore (P)	0,10 % : D au tallage 1,00 % : T à la maturité	T4	0,17b	tallage	≥D
			0,08a	maturité	D
Phosphore (P)	0,10 % : D au tallage 1,00 % : T à la maturité	T5	0,15b	tallage	≥D
			0,08a	maturité	D
Phosphore (P)	0,10 % : D au tallage 1,00 % : T à la maturité	T6	0,3a	tallage	>D
			0,07a	maturité	D
Potassium (K)	1,00 % : D au tallage : 1,00 % : D à la maturité	T1	1,94ab	tallage	>D
			0,97a	maturité	D
Potassium (K)	1,00 % : D au tallage : 1,00 % : D à la maturité	T2	2,06a	tallage	>D
			0,84a	maturité	D
Potassium (K)	1,00 % : D au tallage : 1,00 % : D à la maturité	T3	1,81bc	tallage	>D
			0,9a	maturité	D
Potassium (K)	1,00 % : D au tallage : 1,00 % : D à la maturité	T4	1,65c	tallage	>D
			0,95a	maturité	D
Potassium (K)	1,00 % : D au tallage : 1,00 % : D à la maturité	T5	1,58c	tallage	>D
			0,87a	maturité	D
Potassium (K)	1,00 % : D au tallage : 1,00 % : D à la maturité	T6	1,6c	tallage	>D
			0,96a	maturité	D

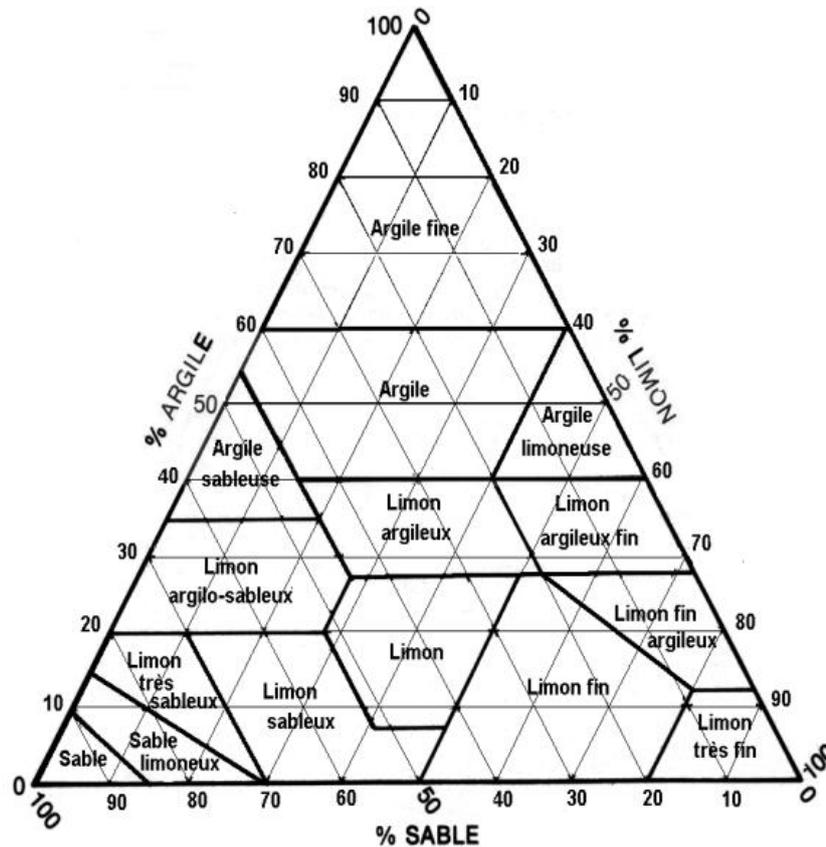
Eléments chimiques	Concentration critique (Yoshida)	Concentration obtenue selon les traitements (%)		Stade	Interprétation
		Traitement	Concentration (%)		
Calcium (Ca)	0,15 % : D à la maturité	T1	0,16a	tallage	
			0,16ab	maturité	>D
		T2	0,13a	tallage	
			0,15ab	maturité	D
		T3	0,12a	tallage	
			0,2a	maturité	>D
		T4	0,12a	tallage	
			0,18ab	maturité	>D
		T5	0,13a	tallage	
			0,12b	maturité	D
		T6	0,14a	tallage	
			0,14ab	maturité	D
Magnésium (Mg)	0,1 % : D à la maturité	T1	0,21a	tallage	
			0,2c	maturité	>D
		T2	0,23a	tallage	
			0,21bc	maturité	>D
		T3	0,21a	tallage	
			0,24ab	maturité	>D
		T4	0,21a	tallage	
			0,25ab	Maturité	>D
		T5	0,2a	Tallage	
			0,25ab	Maturité	>D
		T6	0,23a	Tallage	
			0,26a	Maturité	>D
Sodium (Na)		T1	1,63a	Tallage	
			0,35a	Maturité	
		T2	1,63a	Tallage	
			0,3a	Maturité	
		T3	1,33ab	Tallage	
			0,3a	Maturité	
		T4	1,14b	Tallage	
			0,35a	Maturité	
		T5	1,08b	Tallage	
			0,34a	Maturité	
		T6	1,18b	Tallage	
			0,34a	Maturité	

D : déficience

>D : supérieur à la déficience

T : toxicité

**Annexe 8** : Triangle des textures (Cours de Monsieur RAZAFINJARA Lala Aimée)



**Annexe 9** : Protocole d'analyse du sol

Avant de faire l'analyse du sol, les échantillons doivent être préalablement séchés à l'ombre et à l'air libre pour éviter les réactions des éléments du sol sur la chaleur ou les radiations solaires. Les échantillons secs (s'ils s'effritent entre les doigts sans coller) ont été broyés à l'aide d'un mortier et d'un pilon en porcelaine. Ensuite, ils ont été tamisés à travers un tamis de 2 mm d'ouverture environ 500 g d'échantillon et à travers un tamis 0,5 mm d'ouverture environ 10 g. L'échantillon du sol à 2 mm de diamètre est utilisé à l'analyse suivante : granulométrie, pH, phosphore et bases échangeables. L'analyse de carbone et azote ont été effectués sur l'échantillon à 0,5 mm de diamètre.

1) Analyse granulométrique

- ✓ Principe

L'analyse granulométrique consiste à classer les éléments du sol d'après leurs grosseurs et ensuite à déterminer le pourcentage en sable, limon et argile de l'échantillon. Elle a été effectuée à l'aide du densimètre de Bouyoucos. La nomenclature de la texture peut être déterminée par l'utilisation du triangle des textures.

✓ Matériels et réactifs

- Mixeur
- Cylindre jaugé de 1 l
- Densimètre de Bouyoucos gradué en g/l
- Thermomètre
- Hexamétaphosphate de Na 50 %
- Alcool amylique
- Chronomètre

✓ Mode opératoire

- Peser 50 g du sol (2 mm de diamètre) séché à l'abri dans un bécher de 600 ml
- Ajouter 50 ml d'hexamétaphosphate de Na et 100 ml d'eau distillée
- Bien mélanger et laisser se reposer pendant une nuit
- Agiter pendant 5 mn à l'aide d'un mixeur
- Transvaser dans un cylindre de 1 l et ajuster le volume jusqu'au trait. Laisser reposer quelques minutes jusqu'à obtenir l'équilibre thermique avec le milieu ambiant
- Boucher le cylindre et retourner vivement à plusieurs reprises pendant 1mn. Laisser se reposer et déboucher
- Après 40 s puis 2 h de repos, introduire le densimètre dans le liquide surnageant et faire la lecture après 10 s

Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions. S'il y a formation de mousse à la surface à la surface, ajouter quelques gouttes d'alcool amylique.

✓ Calcul

Soient :  $L_{b40}$  la lecture après 40 s de blanc

$L_{b2h}$  la lecture après 2 h du blanc

$L_{40}$  la lecture après 40 s de l'échantillon

$L_{2h}$  la lecture après 2 h de l'échantillon

$T^{\circ}_{40}$  la température après 40 s

$T^{\circ}_{2h}$  la température après 2 h

0,36 (T-20) correction en température °C (T° en °C)

$$\% \text{ Sable} = 100 - 2[L_{40} - L_{b40} + 0,36 (T^{\circ}_{40} - 20)]$$

$$\% \text{ Argile} = 2[L_{2h} - L_{b2h} + 0,36 (T^{\circ}_{2h} - 20)]$$

$$\% \text{ Limon} = 100 - (\% \text{ Sable} + \% \text{ Argile})$$

## 2) Mesure du pH eau

### ✓ Principe

La différence de potentiel, créée entre une électrode de verre et une électrode de référence plongées dans une solution à analyser, a une fonction linéaire du pH de l'échantillon.

### ✓ Matériel et réactifs

- pH mètre
- Bécher de 50 ml
- Solution tampon pH4 et pH7

### ✓ Mode opératoire

- Peser 10 g de sol de 2 mm de diamètre et placer dans un bécher de 50 ml
- Ajouter 25 ml d'eau distillée et agiter à l'aide d'une baguette de verre
- Laisser en contact pendant 30 mn
- Mesurer à l'aide de pH-mètre (introduire avec précaution l'électrode dans la suspension)
- Attendre que la valeur affichée sur le pH-mètre se stabilise. Il est important de ne pas agiter le bécher et l'électrode durant la mesure.

## 3) Phosphore assimilable

### ✓ Principe

La teneur en phosphore assimilable du sol a été déterminée par la méthode de Bray II (Bray et Kurtz, 1954). Cette méthode a pour but d'extraire les phosphores assimilables dans le sol en utilisant la solution extractante Bray II. La quantité des phosphores extraits a été évaluée par une mesure colorimétrique. En présence de molybdate d'ammonium, les phosphates donnent un complexe phosphomolybdique (incolore).

Après une réduction par une solution de chlorure stanneux, ce complexe présente une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.

✓ Réactifs

- Solution extractante : 15 ml de fluorure d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) 1N + 25 ml de HCl 2N + 460 ml d'eau distillée.
  - $\text{NH}_4\text{F}$  1 N utilisé provient de 37 g de  $\text{NH}_4\text{F}$  dissout dans 1 l d'eau distillée
  - HCl 2 N utilisé provient de 80,8 ml de HCl concentré dilué dans l'eau distillée afin d'obtenir le volume total 500 ml
- Molybdate d'ammonium : 15 g de paramolybdate d'ammonium dissout dans 350 ml d'eau distillée + 290 ml de HCl 12 N. Ajuster avec l'eau distillée le volume à 1 l.
- Chlorure stanneux ( $\text{SnCl}_2$ ) concentré : 10 g de  $\text{SnCl}_2$  dissout dans 25 ml de HCl concentré. Solution diluée de  $\text{SnCl}_2$  est utilisé dans cette manipulation : 3 gouttes de  $\text{SnCl}_2$  concentré dans 50 ml d'eau distillée ; cette solution est à renouveler toutes les 2 heures.

Stocker la solution dans une bouteille en verre sombre pendant 2 mois.

✓ Mode opératoire

- Peser 2 g de sol à 0,2 mm de diamètre dans une bouteille nalgène de 125 ml
- Ajouter 14 ml de la solution extractante, puis fermer et agiter pendant 1 mn
- Filtrer avec un papier filtre Watman et on obtient de filtrat
- Mettre successivement dans un tube à essai : 2 ml de filtrat, 5 ml d'eau distillée, 2 ml de la solution de molybdate d'ammonium et 1 ml de la solution de chlorure stanneux diluée
- Bien homogénéiser le contenu du tube à essai à l'aide d'un vortex
- Faire un essai à blanc.
- Effectuer les mesures au spectrophotomètre-colorimètre à la longueur d'onde de 660 nm.

✓ Expression des résultats

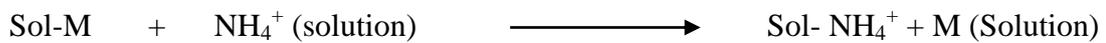
Avec un facteur multiplicatif de 3,5, l'appareil donne la teneur en P assimilable de l'échantillon du sol.

#### 4) Bases échangeables et capacité d'échange cationique (CEC)

##### ✓ Principe

##### - Extraction et détermination des bases échangeables

Le principe de la méthode d'extraction c'est de mettre en contact le sol avec la solution molaire et neutre d'acétate d'ammonium. Les cations basiques échangeables sont extraits dans la solution, tandis qu'une partie de  $\text{NH}_4^+$  est adsorbée par le sol, suivant l'équilibre ci-dessous :



M : cation basique échangeable

Les cations basiques ainsi extraits sont ensuite déterminés à l'aide du spectromètre d'absorption atomique.

##### - Détermination de la capacité d'échange cationique

Après l'extraction des bases échangeables, le sol est saturé de  $\text{NH}_4^+$ . On enlève les sels d'ammonium libre par un lavage à l'alcool, puis on procède l'extraction de  $\text{NH}_4^+$  adsorbé par une solution molaire de NaCl.

L'ammoniaque sera ensuite déplacée en milieu alcalin, puis entraîné par la vapeur d'eau. Le dosage volumétrique est effectué sur le distillat.

##### ✓ Réactifs

- Acétate d'ammonium  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$  1N : 77,08 g d'acétate d'ammonium dans 1 l d'eau distillée.
- Ethanol 60 %
- Solution de NaCl 1 M : 68,5 g de NaCl dissout dans 1 l d'eau distillée
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 10 N
- Solution d'acide sulfurique 0,01 N
- Solution d'acide borique ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) à 2 % : 40 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  dans 1800 ml d'eau distillée + 40 ml de l'indicateur mixte + eau distillée jusqu'à l'obtention du volume total 2 l

- Indicateur mixte : 0,0495 g de vert de bromocrésol +0,033 g de rouge de méthyle sont dissouts dans 50 ml d'éthanol.

✓ Procédure

#### Bases échangeables

- Mettre 10 g de sol de diamètre 2mm dans un erlenmeyer de 125 ml.
- Ajouter 40 ml d'acétate d'ammonium 1 M
- Tournoyer et laisser reposer pendant 1 heure ou plus
- Transférer le contenu de l'erlenmeyer dans un entonnoir garni d'un papier filtre
- Récupérer le filtrat dans une fiole jaugée de 100 ml
- Bien rincer plusieurs fois le contenu de l'erlenmeyer par 10 ml d'acétate d'ammonium 1 M et le transférer dans l'entonnoir jusqu'à l'obtention d'un volume de 100 ml
- Déterminer les concentrations en Ca, Mg, K et Na par le spectromètre d'absorption atomique

Le contenu de l'entonnoir sert à la détermination de la capacité d'échange cationique.

#### Capacité d'échange cationique

- Ajouter 50 ml d'éthanol 60 % dans l'entonnoir pour éliminer l'excès des ions ammonium
- Après le lessivage par la solution d'éthanol, ajouter la solution de NaCl dans l'entonnoir
- Récupérer le filtrat dans une fiole jaugée de 100 ml et continuer cette opération jusqu'à l'obtention d'un volume de 100 ml
- Dans l'appareil à distillation, introduire 10ml du filtrat et 5 ml de NaOH.
- Recueillir le distillat dans un erlenmeyer de 125 ml contenant 20 ml de la solution d'acide borique

Effectuer le dosage avec la solution d'acide sulfurique. Un témoin est préparé dans les mêmes conditions

Expression des résultats :

Soient :

versé pour l'échantillon

Va : volume de la solution d'acide sulfurique

N : sa normalité

versé pour le témoin

Vo : volume de la solution d'acide sulfurique

La quantité d'acide pour neutraliser la solution sera :  $V = V_a - V_o$

L'équivalence de  $\text{NH}_4^+$  ainsi dosé est égale à l'équivalence de la CEC de la prise d'essai, soit

$N \times V$

$$\text{CEC} = V \text{ méq/100 g}$$

Dans 100 ml de la solution à analyser, on a  $N \times V \times 100/10 = N \times V \times 10$

Pour 100 g de sol, l'équivalence de la CEC est donc :  $10 \times N \times V \times 100/10 = 100 \times N \times V$

Comme  $N = 0,01 \text{ N}$ , alors :

**Annexe 10** : Normes d'interprétation des analyses chimiques du sol (Riquier, 1956)

Eléments		Très pauvre	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
<b>Phosphore assimilable (ppm)</b>		0-2,5	2,5- 5	5- 10	10-25	> 25
<b>Azote kjeldhal (%)</b>		<0,05	0,05-0,1	0,1-0,15	0,15-0,25	>0,25
<b>Carbone organique (%)</b>		<0,3	0,3-0,6	0,6-1,7	1,7-3	>3
<b>Bases échangeables (méq/100g)</b>	<b>Ca</b>	<1	1-2,3	2,3-3,5	3,5-7	>7
	<b>Mg</b>	<0,4	0,4-1	1-1,5	1,5-3	>3
	<b>K</b>	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,4	0,4-0,8	>0,8
	<b>Na</b>	<0,1	0,1-0,3	0,3-0,7	0,7-2	>2
<b>CEC (méq/100g)</b>		<5	5-10	10-25	25-40	>40
<b>Taux de saturation V (%)</b>		<15	15-40	40-60	60-90	>90

**Rapport C total (%) sur N total (%)**

C/N < 10 : trop faible

C/N entre 10 à 20 : satisfaisant

C/N > 20 : trop for

**pH :**

Acide					Alcalin			
Extrême-ement	Très fortement	Fortement	moyen	faible	Légèrement	Modérément	Fortement	Très fortement
<4,5	4,5-5	5,1-5,5	5,6-6	6,1-6,5	7,4-7,6	7,8-8,4	8,5-9	>9,1

Neutre	6,6-7,3
--------	---------

Annexe 11 : Analyse statistique

**1) Analyse de variance (ANOVA)**

**a) *Nombre moyen des talles pendant le cycle de végétation***

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
9,0 c	12,1 b	11,8 b	13,3a	12,2 b	13,3 a

**Nombre moyen des talles fertiles**

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
6,2 b	15,9 a	13,9 a	15 a	14 a	13,7 a
86,3 b	92,8 a	94,3 a	92,0 a	95,5 a	96,8 a

**b) *Hauteur maximale moyenne de la plante pendant le suivi***

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
<b>59,3 d</b>	<b>62,6 c</b>	<b>63,7 bc</b>	<b>66,2 b</b>	<b>65,5 b</b>	<b>69,1a</b>

**Les matières organiques au niveau de la tige et feuille**

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6
MO au stade tallage (T+F)	75,54a	74,09a	74,55a	74,32a	75,94a	74,11a
MO à la maturité (paille)	75,92a	74,76a	75,24a	74,34a	74,84a	75,79a

**❖ Teneur en azote de la partie aérienne de la plante**

Éléments chimiques	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Stade tallage						
N (%) dans 100 g des MS (T+F)	0,57d	1,44a	1,062b	1,15b	0,89c	1,45a
N exporté (g) (tige + feuille)	0,032c	0,223b	0,172b	0,227b	0,18b	0,32a
Maturation						
N (%) dans 100 g des MS (T+F)	0,265c	0,469b	0,548ab	0,644a	0,621a	0,635a
N exporté (g) (Tige+Feuille)	0,034b	0,174a	0,177a	0,224a	0,198a	0,194a
N (%) des graines	0,68c	1,11a	1,02ab	0,94ab	1,02ab	0,80bc
N exporté (g)	0,064c	0,250a	0,239ab	0,216ab	0,221ab	0,162b

**❖ Rendement réel en grains**

Traitements	Mean	Groupings
T6	6,267	A
T4	5,901	A
T3	4,690	B
T5	4,465	B
T2	4,365	B
T1	3,449	C

**Université d'Antananarivo**

**Faculté des Sciences**

**Département de Biologie et Ecologie Végétales**

**Mémoire de DEA**

**Option : Physiologie Végétale**

Author : TAHINARIVONY Marie Perlette

Advisors : Pr RATSIMIALA RAMONTA Isabelle

Pr. RAZAFINJARA Aimé Lala

**COMPARATIVE STUDY OF NITROGEN USE EFFICIENCY FROM THREE  
FORMS OF NITROGEN FERTILIZER IN RICE LOWLAND**

**ABSTRACT**

Rice based cropping systems under irrigated condition have the potential to provide high productivity. In order to increase the yields of irrigated rice, a field experiment using "Mailaka" (X265) rice variety was conducted in Mahitsy. The effects of three sources of nitrogen, namely the urea super granule characterized by the slow release property of the nutrient, the prilled urea, and the ammonium sulphate, were compared. USG was applied by deep placement, while prilled urea and ammonium sulphate were broadcasted. Phosphorus fertilization of the crop was ensured by root dipping of seedlings prior to transplanting, in slurry containing phosphorus solution as triple superphosphate. After assessing the action of these types of fertilizers, the intensity of the leaf color indicating the status of nitrogen uptake by the plant was above the critical threshold of 4. Therefore, the fertilizers applied assured the nitrogen needs of the plant, especially during the critical phases. The results showed the superiority of urea supergranule (USG) at the rate of 43.4N, in combination with prilled urea (43.4N), and of ammonium sulphate at the rate of 86.8N, relatively to the growth, the development, and paddy yield ( $6.27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). After assessing the nitrogen use efficiency (NUE) of fertilizers, it appears that USG at half rate gave the more beneficial effects. The difference could be explained by the ability of USG to maintain the rate of soil nitrogen at adequate level during the phase of plant development, and by its property to be synergic with triple superphosphate. This experiment represents a pioneering study concerning the assessment of the nitrogen use efficiency of ammonium sulphate in irrigated rice. The use of ammonium sulphate in the form of supergranule is proposed to complete the present study.

Key words : Irrigated rice, prilled urea, urea supergranule, ammonium sulphate, triple superphosphate, leaf color chart (LCC), nitrogen use efficiency (NUE)

Auteur : TAHINARIVONY Marie Perlette  
Encadreur : Pr RATSIMALA RAMONTA Isabelle  
Pr. RAZAFINJARA Aimé Lala

**ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'AZOTE  
PROVENANT DE TROIS FORMES D'ENGRAIS AZOTES DANS LA  
RIZICULTURE DE BAS-FONDS**

RESUME

Les systèmes de culture en irrigué ont le potentiel de fournir des rendements élevés. En vue d'accroître les rendements en grains du riz irrigué, une expérimentation sur la variété « Mailaka » ou X265 a été réalisée à Mahitsy. Les effets de trois sources d'azote dont le super granule d'urée (SGU) qui a la capacité de libérer progressivement l'azote, l'urée perlée et le sulfate d'ammonium, ont été comparés. Le SGU a été appliqué en placement profond, tandis que l'urée perlée et le sulfate d'ammonium ont été apportés en épandage. La fertilisation phosphatée a été assurée par trempage des racines au moment du repiquage dans une pâte boueuse contenant une solution de super phosphate triple. Après évaluation de l'action de ces types d'engrais, l'intensité de la couleur foliaire indiquant la nutrition azotée du riz cultivé évaluée à l'aide de la plaquette couleur foliaire a atteint une valeur supérieure au seuil de 4. Ainsi, l'engrais azoté apporté a assuré le besoin en azote de la plante, surtout pendant les phases critiques. Les résultats obtenus ont montré la supériorité du super granule d'urée (SGU) à la dose de 43,4N en combinaison avec l'urée perlée (43,4N), et du sulfate d'ammonium à la dose de 86,8N, que ce soit au niveau de la croissance, du développement que du rendement en paddy (6,27 t.ha<sup>-1</sup>). Après évaluation de l'efficacité d'utilisation de l'azote de l'engrais, le SGU à demi-dose a donné des effets plus bénéfiques. Cette différence s'explique par l'action du SGU qui a la capacité de maintenir le taux d'azote du sol durant le développement de la plante, et la propriété d'être en synergie avec l'urée et le superphosphate triple. Cette expérimentation constitue une étude pionnière sur l'efficacité d'utilisation de l'azote provenant du sulfate d'ammonium en riziculture irriguée. L'utilisation du sulfate d'ammonium sous forme de super granule est proposée pour compléter cette étude.

Mots clés : Riziculture irriguée, urée perlée, super granule d'urée, sulfate d'ammonium, superphosphate triple, plaquette couleur foliaire (PCF), efficacité d'utilisation d'azote (EUA)