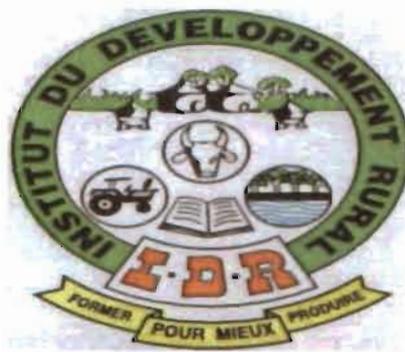


BURKINA FASO  
UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION  
(MESRSI)

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : Agronomie

**THEME :**

*Evaluation du gain de rendement de nouvelles variétés de riz en  
condition de toxicité ferreuse au Burkina Faso : cas du périmètre irrigué  
de la Vallée du Kou*

**Présenté par : TRAORE Boubacar**

**Maître de stage : Louis P.YAMEOGO**

**Directeur de mémoire : Dr Sheick Khalil SANGARE**

N° : -2016/ AGRO

JUIN 2016

**A mes deux parents ;**

**A mes frères et sœurs ;**

**A ma bien aimée épouse ;**

**Pour cet amour,  
Cette confiance,  
Que vous avez porté en ma  
personne**

**A toute la famille TRAORE,**

*Pour tout le soutien que vous m'avez accordé depuis ma tendre  
enfance ;*

*Que le seigneur vous comble toujours de Sa Miséricorde*

## Table des matières

Remerciements .....	iv
Sigles et Abréviations.....	v
Liste des tableaux .....	vi
Liste des figures .....	vi
Liste des planches.....	vi
Résumé .....	vii
Abstract .....	viii
Introduction .....	1
Chapitre I: Revue bibliographique .....	4
1. Connaissances générales sur le riz .....	4
1.1. Origine et systématique .....	4
1.2 Ecologie du riz .....	5
1.2.1 Exigences édaphiques .....	5
1.2.2 Exigences hydriques.....	6
1.2.3 Exigences climatiques .....	6
2. La fertilisation .....	7
2.1 Définition et importance de la fertilisation.....	7
2.2 Rôle des éléments majeurs sur la plante de riz.....	8
3. Toxicité ferreuse.....	9
3.1 Absorption et importance du fer pour la plante de riz.....	9
3.2 Causes de la toxicité ferreuse .....	10
3.3 Manifestations de la toxicité ferreuse.....	12
3.3.1 Manifestations de la toxicité ferreuse au sol .....	12
3.3.2 Manifestations de la toxicité ferreuse sur la plante .....	13
3.3.3 Période critique de la toxicité ferreuse .....	14
3.4 Répartition de la toxicité ferreuse en Afrique subsaharienne .....	14
3.5 Conséquences de la toxicité ferreuse.....	15
3.6 Méthodes de lutte contre la toxicité ferreuse .....	16
3.6.1 La lutte génétique .....	16
3.6.2 Pratiques culturale et lutte contre la toxicité ferreuse .....	16

3.6.3 Lutte chimique.....	17
Chapitre II: Matériel et méthode .....	18
1 Matériel .....	18
1.1 Présentation du site d'étude.....	18
1.2 Matériel végétal.....	19
2 Méthodes .....	20
2.1 Dispositif expérimental .....	20
2.2 Fertilisation, entretien et récolte.....	21
2.3 Observations sur les caractères agro-morpho-physiologiques.....	22
3 Analyses statistiques .....	23
Chapitre III Résultats et discussion .....	24
1. Résultats .....	24
1.1 Effets des traitements sur le tallage, le nombre de panicule et la hauteur.....	24
1.2 Effets des traitements sur le cycle .....	28
1.3 Effets des traitements sur le poids de mille grains et le rendement paddy.....	30
2. Discussion .....	34
2.1 Effets de la fumure sur les paramètres agronomiques et physiologiques .....	34
2.2 Réactions des cultivars à la toxicité ferreuse et à la fumure .....	36
Conclusion et recommandations .....	39
Bibliographies .....	41
Annexes .....	ix

## Remerciements

Le présent mémoire a vu le jour grâce à la contribution de plusieurs personnes et structures. Nous leur témoignons notre sincère reconnaissance. Nos remerciements s'adressent particulièrement à :

- **Dr Jacob SANOU**, Chef du Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles pour nous avoir accepté en qualité de stagiaire à la station de Farako-bâ ;

-**Dr Ibrahim OUEDRAOGO**, chef du programme riz et riziculture pour nous avoir autorisé à travailler dans le programme ;

-notre maitre de stage **M. Louis P. YAMEOGO, Doctorant en Agro-pédologie/Nutrition des plantes (University of Bonn, Germany)** pour sa disponibilité, sa rigueur dans le travail, son encadrement exemplaire ainsi que ses conseils scientifiques ;

- **Dr Bernard BACYE**, Directeur de l'Institut du Développement Rural (IDR) ainsi que tout le corps professoral de l'Institut du Développement Rural pour nous avoir formés ;

-**Dr Sheick Khalil SANGARE** notre directeur de mémoire pour ses conseils et observations en vue de l'amélioration de la qualité scientifique du document ;

-**Dr Noufou OUEDRAOGO** pour les cours de rappels d'analyses de données ;

-**Messieurs Adama BAGAYOGO, Aristide BAKO et Ali KONE**, pour leur encouragements et soutient multiformes dans l'amélioration de la qualité du document ;

-**M. Pierre SAYAOGO** technicien aux Programme Riz et Riziculture pour son aide dans la mise en place, le suivi et la collectes des données;

-**M. Bernard DAKUO** pour nous avoir fourni les données pluviométriques de la station ;

-L'ensemble du personnel du programme riz et riziculture particulièrement **M. Alexis TRAORE et Siaka BAGAYOGO** pour leur attention et leur conseil à mon égard ;

J'exprime ma profonde gratitude à toute ma famille en l'occurrence mes frères **Diakalia TRAORE** et **Malamine OUATTARA** ainsi que ma tante **Arahama TRAORE** et son ami **Adèle OUEDRAOGO** pour toutes les encouragements et soutien multiformes particulièrement depuis mes premier jour à l'université ;

Je suis également très reconnaissant envers mes camarades de classe à l'IDR pour la solidarité et l'ambiance fraternelle durant ces trois années. Que Dieu fasse que ce temps passé à l'université ne soit pas vain.

## Sigles et Abréviations

<b>ADRAO</b>	: Association pour le <b>D</b> éveloppement de la <b>R</b> iziculture en <b>A</b> frique de l' <b>O</b> uest devenu Centre du <b>R</b> iz pour l' <b>A</b> frique
<b>CIRAD</b>	: Centre <b>I</b> nternational de <b>C</b> oopération en <b>R</b> echerche <b>A</b> gronomique pour le <b>D</b> éveloppement
<b>FAO</b>	: <b>F</b> ood and <b>A</b> gricultural <b>O</b> rganisation (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)
<b>FKR</b>	: <b>F</b> arako- <b>B</b> â <b>R</b> iz
<b>INERA</b>	: <b>I</b> nstitut de l' <b>E</b> nvironnement et de <b>R</b> echerches <b>A</b> gricoles
<b>IRRI</b>	: <b>I</b> nternational <b>R</b> ice <b>R</b> esearch <b>I</b> nstitute (Institut International de Recherches sur le Riz)
<b>JAR</b>	: <b>J</b> ours <b>A</b> près <b>R</b> epiquage
<b>MAHRH</b>	: <b>M</b> inistère de l' <b>A</b> griculture de l' <b>H</b> ydraulique et des <b>R</b> essources <b>H</b> alieu <b>H</b> iques
<b>NERICA</b>	: <b>N</b> ew <b>R</b> ice for <b>A</b> frica (Nouveau Riz pour l'Afrique)
<b>PVS</b>	: <b>S</b> élection <b>V</b> ariétale <b>P</b> articipative (Participatory Varietal selection)
<b>RYMV</b>	: <b>R</b> ice <b>Y</b> ellow <b>M</b> ottle <b>V</b> irus (Panachure Jaune du Riz)
<b>VDK</b>	: <b>V</b> allée <b>D</b> u <b>K</b> ou
<b>WARDA</b>	: <b>W</b> est <b>A</b> frican <b>R</b> ice <b>D</b> evelopment <b>A</b> ssociation (Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest)

## Liste des tableaux

Tableau I: principales caractéristiques comparatives de <i>O. glaberrima</i> Steud et <i>O. Sativa</i> L. (Boeken,1971) .....	5
Tableau II: liste des variétés utilisées.....	20
Tableau IV: Effets des traitements sur le tallage et la hauteur .....	24
Tableau V: Effets des traitements sur le cycle de variétés .....	28
Tableau VI : Poids de mille grains (PMG) et le rendement paddy (Rendt) en fonction des traitements .....	31

## Liste des figures

Figure I: Evolution de la pluviométrie et de la température de Janvier à Décembre 2015 dans la plaine de la Vallée du Kou .....	19
Figure II : Variabilité du tallage des variétés en fonction de la fumure .....	26
Figure III : Variabilité du cycle des variétés en fonction de la fumure.....	30
Figure IV : Variabilité du rendement paddy .....	33

## Liste des planches

Planche 1 : Concentration de fer dû à l'écoulement de subsurface. <b>Source : (ADRAO (2002)</b> .....	12
Planche 2: Manifestation de la toxicité ferreuse sur feuilles de riz (Guiré, 2010 VDK) .....	13

## Résumé

La toxicité ferreuse est un trouble nutritionnel due à de fortes concentrations de fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dans la solution du sol. L'absorption de ces ions en abondance par la plante de riz, entraîne une décoloration des limbes, une réduction du tallage et de la hauteur des plantes de riz. Cela se traduit par une baisse significative voir l'annulation du rendement. L'utilisation des variétés tolérantes avec un bon niveau d'intrant serait un moyen efficace pour lutter contre cette contrainte abiotique sévissant dans les bas-fonds Ouest africain. Des essais en station ont été installés à la Vallée du Kou au Burkina Faso en vue d'évaluer le gain de rendement des nouvelles variétés tolérant l'excès du fer, obtenues lors des essais de sélection variétale participative (PVS en anglais) par rapport aux variétés sensibles. Les performances agromorphologiques de 14 variétés regroupées en trois familles (sativa sensibles, sativa tolérantes et NERICA) ont été comparées suivant deux niveaux de fumure (une forte dose et une faible dose) sur deux écologies irriguées parmi lesquelles une avec une forte concentration de toxicité ferreuse.

Le dispositif expérimental est du type blocs randomisés dans un Alpha Lattice avec 2 facteurs à étudier en trois répétitions. Le premier facteur est constitué par les variétés et le second facteur renvoie à la combinaison écologie\*fumures : forte dose en milieu saine (F1), dose recommandée en milieu saine (F2), dose recommandée en milieu toxique (F3), forte dose en milieu toxique (F4). Les traitements de fumure sont les suivant : i) NPK (15-15-15) à la dose de 250kg/ha + urée 46% N à la dose de 200kg/ha appelé forte dose, ii) NPK (15-15-15) à la dose de 200kg/ha + urée 46% N à la dose de 150kg/ha appelé dose recommandée.

Les résultats ont montré que tous les paramètres agro morphologiques ont subi une baisse occasionnée par la toxicité ferreuse. Les deux modes de fertilisations n'ont pas eu d'effet différent sur le rendement des variétés en milieu faiblement concentré en fer contrairement au milieu de forte toxicité ferreuse où les meilleurs rendements ont été obtenus avec la forte dose de fumure. Une amélioration du nombre de panicule de 91 à 118, du cycle de maturité de 137 à 131 jours, du rendement de 1 à 1,2 tonne/ha a été notée avec la fumure. Ces traits agronomiques ont été meilleurs avec les NERICA suite à l'application de la forte dose de fumure. Par contre, le rendement maximal des Sativas tolérantes et sensibles n'a pas été différent avec cette fumure.

Mots clés: Toxicité ferreuse, gain de rendement, variétés de riz, Vallée du Kou, Fumure.

## Abstract

Iron toxicity is a nutritional disorder due to high iron concentrations ( $\text{Fe}^{2+}$ ) in the soils solution. The absorption of these ions in abundance by rice plant, leads to discoloration of limbs, tillering and height reductions of rice plant resulting in significantly yield decrease.

The use of tolerant varieties with an adequate level of input is an effective way to fight this biotic constraint that prevail in West African's lowland. On-station tests were carried out in the irrigated rice scheme of the Kou Valley in Burkina Faso to assess the yield gain of new released iron toxicity tolerant varieties obtained during Participatory Varietal selection tests (PVS) compared to sensible varieties. Rice agronomic performances of 14 varieties grouped in 3 families (sensible sativa, tolerant sativa, NERICA) have been compare following two levels of fertilization (high level and low level) in two irrigated ecologies among them one highly affected by iron toxicity. The experimental design is a randomized blocks in a Lattice with two factors in three uplication. The first factor is composed of fourteen (14) rice varieties divided in three groups including NERICA, tolerant and sensible Sativas. The second factor refers to the level of manures used: high dose in soils without iron toxicity (F1), recommended dose in soils without iron toxicity (F2), recommended dose in toxic areas (F3), and high dose in toxic areas (F4). Manures treatments are the following: i) NPK (15-15-15) dose of 250kg/ha + urea 46% N dose of 200kg/ha called high dose; ii) NPK (15-15-15) dose of 200kg/ha + urea 46% N dose of 150kg/ha called recommended dose.

The results showed that all the agro morphologic parameters were significantly reduced by iron toxicity. Both modes of fertilization does not have an effect on the output of varieties in soils without constraint contrarily to the affected soils by iron toxicity, where the best yield were obtained with the high dose. This manure increased all the agronomic characteristics.

We note an increase of panicle number to 91 for 118, maturation periode to 137 for 131 days and yield to 1 for 1.2t/ha. These agronomic characteristics were better with the NERICA, due to the use of the high dose of manure. Whereas, the maximum yield of tolerant and sensible Sativas was not different from that of manure.

Keywords: Iron toxicity, Rice Lowland, Vallée Du Kou, PVS, Manure

## **Introduction**

Le riz occupe une place de choix dans la production vivrière mondiale. Selon la FAO (2014), la production mondiale de 2014 est estimée à 751 millions de tonnes (500 millions de tonnes, riz usiné). Elle précise aussi que les pays asiatiques à eux seuls ont une production estimée à 678,8 millions de tonnes soit plus de 90% de la production mondiale. Ces quantités du riz font qu'il est la 3<sup>ème</sup> céréale la plus produite dans le monde après respectivement le maïs et le sorgho (FAO, 2014).

Au Burkina Faso, le riz occupe une place importante tant du point de vue de la consommation, que de la production et de la commercialisation. Il occupe la quatrième place parmi les céréales cultivées après le sorgho, le mil, et le maïs tant du point de vue des superficies que de la production (MAHRH, 2009).

Parmi les trois systèmes de riziculture pratiqués au Burkina Faso à savoir la riziculture de bas-fonds, la riziculture pluviale stricte et la riziculture irriguée c'est la première qui est la plus pratiquée. La riziculture de bas-fond occupe 67% des superficies et contribue pour 42% à la production nationale ; la riziculture pluviale stricte occupe 10% des superficies emblavées et participe de 5% à la production nationale ; la riziculture irriguée pour sa part, occupe 22% des superficies et assure 53% de la production nationale (EUREKA, 2005). Selon Kaboré et al. (2011), la production 2008-2010 de riz a été estimée à 226 448 tonnes riz paddy et cela couvrirait à peine 40% des besoins nationaux estimés à 300 000 tonnes/an de riz décortiqué.

Cependant, le Burkina Faso dispose d'un fort potentiel non encore exploité dans le domaine de la riziculture : environ 500 000 ha de bas-fonds aménageables dont moins de 10% sont aujourd'hui aménagés et plus de 233 500 ha irrigables dont moins de 5% sont actuellement mis en valeur (Kaboré et al., 2011).

La production nationale étant largement en deçà de la demande, le pays a recours aux importations chaque année pour un montant de plus de 30 milliards de francs CFA/an pour couvrir les besoins de sa population ce qui joue négativement sur son économie (MAHRH, 2009).

Au regard de la situation préoccupante, le Burkina Faso s'est doté d'une stratégie nationale de développement de la riziculture (SNDR) dans le but de rehausser la quantité de la production nationale de riz. La recherche occupe une place importante dans cette stratégie à travers la création de multiple variété adaptée à l'évolution des conditions de production. Selon Koné (2010), la recherche agronomique a créé une soixantaine de variétés améliorées de riz ayant

de bons rendements et adaptées aux conditions locales de culture. Malgré ces quelques avancés, il faut noter que la riziculture burkinabé est confrontée à d'énormes contraintes d'ordre biotiques et abiotiques constituant un handicap pour une meilleure production.

Par ailleurs, ces dernières années, les manifestations du phénomène de la toxicité ferreuse retiennent l'attention des riziculteurs (Koné, 2010). La toxicité ferreuse est un désordre nutritionnel associé à une forte concentration d'ions ferreux ( $Fe^{2+}$ ) dans la solution du sol (Wopereis *et al*, 2008). Cette toxicité affecte considérablement la productivité du riz voir même l'annulation des rendements.

Plusieurs alternatives parmi lesquelles la sélection de variétés tolérantes ont été mises en place pour le contrôle de cette contrainte. De nombreuses variétés de riz tolérantes à la toxicité ferreuse ont été mises en place par l'Institut de l'Environnement et de la Recherche Agricole (INERA) et ses partenaires à travers la sélection variétale participative (PVS). Bien que ces variétés soient supposées tolérer les conditions de toxicité ferreuses dans leur milieu de développement, le gain génétique de rendement de ces nouvelles variétés par rapports aux variétés sensibles reste inconnu. C'est dans le but de lever cette insuffisance que s'inscrit notre étude intitulée « **Evaluation du gain de rendement de nouvelles variétés de riz en condition de toxicité ferreuse au Burkina : cas du périmètre irrigué de la Vallée du Kou** »

L'objectif global de cette étude a été d'évaluer le gain de rendement de nouvelles variétés tolérantes l'excès de fer avec deux doses de fertilisation minéral.

Il s'agit spécifiquement :

- ✓ de comparer les caractères agro morphologiques des différentes variétés sensibles et tolérantes;
- ✓ d'évaluer le comportement des variétés tolérantes et sensibles aux fortes doses de fertilisation minérale ;

Les hypothèses suivantes ont été formulées :

- ✓ les meilleures performances agronomiques sont observées avec les variétés tolérantes à la toxicité ferreuse ;
- ✓ l'augmentation des doses de fertilisants minéraux renforce la tolérance des variétés en conditions de toxicité ferreuse ;

Le présent mémoire comprend trois chapitres. Le premier chapitre présente les généralités sur le riz et la fertilisation minérale, ainsi que la thématique du fer et plus particulièrement la problématique de la toxicité ferreuse. Le second présente le matériel et les méthodes utilisées. Le troisième chapitre aborde les résultats obtenus et les éléments de

discussion qui découlent de nos analyses et interprétations. Nous terminerons notre étude par une conclusion avec des recommandations.

## Chapitre I: Revue bibliographique

### 1. Connaissances générales sur le riz

#### 1.1. Origine et systématique

Le riz est une graminée annuelle d'origine tropicale appartenant à la famille des graminées et au genre *Oryzae*. *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud sont les deux espèces cultivées parmi la vingtaine appartenant à ce genre (Wopereis *et al.*, 2008). Deux tiers de ces espèces sont diploïdes ( $2n = 24$ ) et 1/3 allotétraploïdes ( $2n = 48$ ) (Segda, 2006).

***Oryza sativa***, originaire d'Asie, comprend deux types principaux : indica et japonica (Wopereis *et al.*, 2008).

**Le type indica**, originaire de l'Asie tropicale est caractérisé généralement par des feuilles vert-clair, longues, larges à étroites, un tallage important, des grains généralement longs et fins, et beaucoup de ramifications secondaires (petites branches au niveau de la panicule).

**Le type japonica**, originaire de la zone tempérée et subtropicale de l'Asie, présente des feuilles vert-foncé, étroites, un tallage moyen, une taille courte à intermédiaire, et des grains souvent courts et ronds.

***Oryza glaberrima***, le riz africain est originaire du delta central du Niger. Les caractères suivants permettent de le reconnaître : un excellent développement végétatif, des feuilles et glumes glabres (lisses, dépourvues de poils), des ligules petites et arrondies, une faible densité de ramifications. peu ou pas de ramifications secondaires, un caryopse rouge (grain dont le péricarpe est rouge) et la longue dormance (Wopereis *et al.*, 2008).

Le tableau I présente les principales caractéristiques comparatives entre *O. sativa* et *O. glaberrima* (Boeken, 1971 Cité par Bakayogo 2015)

## 1.2 Ecologie du riz

Le riz est une plante extraordinaire qui accepte de larges conditions climatiques, pédologiques et hydrologiques. Ces exigences varient selon que la variété soit du type pluvial ou du type irrigué. Nous passerons en revue ces exigences dans les lignes qui suivent, particulièrement les exigences liées à l'eau, à la lumière, à la température et au sol.

**Tableau I: principales caractéristiques comparatives de *O. glaberrima* Steud et *O. Sativa* L. (Boeken,1971)**

Caractères	<i>Oryza Sativa</i>	<i>O. glaberrima</i> Steud
Comportement :	Annuelle	Annuelle
Différence variétale :	Grande	Limitée
Chaume :	souple	rigide
Panicule :	Penchée	Dressée
Pédicelle épillets :	Longues	Courtes
Glumes :	courtes	Longues ou courtes
Glumelles :	Hispides	Glabres, hispides ou aristées
Caryopse :	Blanc	Rouge, grisâtre ou blanc
Cassure :	Cornée ou semi-cornée	Semi-farineuse ou cornée
Cycle cultural :	Précoce, semi-précoce ou tardif	Précoce et très précoce
Dormance de la semence :	Faible	Elevée
Epillets :	Non caducs à maturité	Caducs à maturité

### 1.2.1 Exigences édaphiques

Le riz est une plante extrêmement accommodante pouvant pousser à peu presque sur toutes les terres de culture. Au point de vue physique, deux catégories de terres conviennent particulièrement : les sols argileux ou argilo-limoneux à sous-sol argileux ou argilo-limoneux donc imperméables (Lacharme, 2001) et les sols limoneux à sous-sol plus ou moins perméables (Angladette, 1974). Au Burkina Faso, la nature du sol est la principale contrainte édaphique de la riziculture irriguée. Il s'en suit que 30 à 60% des périmètres irrigués sont inaptes à la riziculture, car les sols sont filtrants, ce qui ne permet pas le maintien d'une

lame d'eau (EUREKA, 2005). C'est le cas des périmètres irrigués de la Vallée du Sourou, de Karfiguéla et de la plaine de Douna (Yaméogo, 2012).

Du point de vue chimique, le riz s'accommode à des conditions très diverses. Toutefois, le riz préfère les sols argileux, où le total (argile + limons) est de l'ordre de 70% et relativement riche en matières organiques, avec un pH compris entre 6 et 7 (Arraudeau, 1998). Pour d'autres auteurs (Dobelman, 1976 ; Lacharme, 2001), le riz possède une bonne tolérance à l'acidité avec un pH optimal de 5,5 à 6.

### **1.2.2 Exigences hydriques**

Le riz est une plante qui consomme beaucoup d'eau. L'eau est utilisée pour l'alimentation, le transport des éléments nutritifs et comme régulateur thermique par le biais de la transpiration. Par ailleurs, elle constitue plus de 80 % du poids du plant de riz qui n'en est pas pour autant une plante aquatique.

Le riz est une plante semi-aquatique. Il peut pousser et croître dans les milieux asphyxiants parce qu'il a la capacité d'utiliser l'oxygène de l'atmosphère. Les besoins en eau du riz sont fonction du stade phénologique et des conditions édaphiques et se situent entre 800 et 1000 mm d'eau en riziculture sur sols limoneux ou argilo-limoneux (Anonyme, 2006 cité par Koné 2010). Selon INERA (2011), de façon générale le riz a besoin de peu d'eau durant la phase végétative (de la germination à l'initiation paniculaire), de beaucoup d'eau durant la phase reproductive et la première moitié de la phase de maturation (de l'initiation paniculaire au stade grain pâteux). Le riz n'a plus besoin d'eau durant la dernière moitié de la phase de maturation (du stade grain pâteux à la maturité).

Par ailleurs, une lame d'eau dans la parcelle de riz revêt d'un grand avantage. Les travaux de Mayer et Bonnefond (1973), cités par Traoré (2009), ont montré que la lame d'eau en plus de lutter contre les adventices, très nuisibles pour le riz, elle contribue également à améliorer l'alimentation du riz : par présence de cyanophycées fixatrices de l'azote atmosphérique, la disponibilité en éléments nutritifs tels que P, Fe et Si et la photosynthèse dans les feuilles inférieures, grâce à la lumière réfléchiée par l'eau. Cependant dans un bas-fond affecté par la toxicité ferreuse, l'inondation permanente contribue à accentuer l'effet de ce phénomène.

### **1.2.3 Exigences climatiques**

#### **a) La température**

Le facteur climatique qui influence beaucoup sur la productivité du riz est la température notamment les extrêmes. En effet, les études menées à Bagré par Segda *et al.* (2005), ont

maintenir et à améliorer le stock de matières organiques du sol. Les bon rendements obtenu dans la riziculture à travers la combinaison de différentes techniques ne sauraient être maintenu qu'à la double condition de relever le niveau de fertilité des sols pauvres et de compenser les exportations d'éléments minéraux consommés par la récolte du grain et de la paille (Dobelmann, 1976), d'où l'importance de la fumure. Ainsi, les carences de nutriment doivent être corrigés à travers les apports de fertilisant minérale ou organique.

Comme appliquée sur toute culture, la fumure en riziculture à plusieurs objectifs (Angladette, 1966) :

- pallier les carences ou les déficiences des sols de rizière en certains éléments majeurs ou mineurs
- accroître le potentiel global de fertilité du sol ;
- compenser les exportations d'éléments par les récoltes ;
- éventuellement modifier la composition chimique et par voie de conséquence, la valeur nutritive du grain.

Les apports de matière organique peuvent se faire sous forme de résidus de culture, de compost, d'engrais vers. La fertilisation minérale, est la fourniture directe des éléments minéraux à la plante. Les engrais fournissent alors ces éléments. Elles sont généralement sous formes azotés (NPK, urée, le sulfate d'ammonium), phosphatés (le TSP, les phosphates naturels,), potassiques (chlorure de potassium, sulfate de potassium), et aussi la chaux magnésienne. En effet, l'alimentation des plantes est majoritairement minérale.

Pour se développer, le plant de riz a besoin de trois (03) catégories d'éléments nutritifs (Arraudeau, 1998) à savoir :

- les éléments majeurs ou macroéléments dont les principaux sont le carbone (C), l'hydrogène (H), l'oxygène (O) fournis par l'atmosphère et les éléments nutritifs qui sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) ;
- les éléments mineurs ou secondaires (Mg, Ca, S) ;
- les oligo-éléments (Si, Fe, Zn, Al, Cu, Mn, Mo, Co, etc.).

## **2.2 Rôle des éléments majeurs sur la plante de riz**

L'azote est "*le moteur de la croissance végétale*", (FAO, 2003) ; à cet effet, il permet :

- l'augmentation du nombre de talles et de la croissance en hauteur Epstein, (1972) cité par (Bado, et Ouattara 2002). Selon Tapsoba, (1997), la hauteur des plantes augmente corrélativement avec l'accroissement de la dose d'azote ;

- la formation d'épillets fertiles par panicule et la teneur des grains en protéine. (ADRAO, 1995). Segda, (2006) a montré une relation linéaire entre le rendement paddy et l'azote absorbé à maturité.

Cependant, un excès relatif d'azote peut entraîner la prolongation du cycle végétatif et une sensibilité aux maladies surtout en cas de manque de potassium et de phosphore (Marshall, 1992).

Chez le riz, le phosphore stimule le développement des racines, favorise la maturation précoce et la floraison, assure une croissance rapide des talles et une bonne régénération en cas de perturbations, stimule le bon développement des grains et en garantit une bonne valeur alimentaire (Karamage, 2001).

Pour ce qui est du potassium, d'après l'ADRAO (1995), il favorise le tallage et augmente la taille et le poids des grains ; augmente la réponse au phosphore ; joue un rôle dans l'ouverture, la fermeture des stomates et la tolérance aux conditions climatiques défavorables.

Le phosphore comme le potassium ne sont pas lessivés et peuvent de ce fait être appliqués en fumure de fond. Ce qui n'est pas le cas pour l'azote

### **3. Toxicité ferreuse**

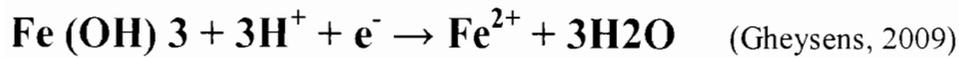
#### **3.1 Absorption et importance du fer pour la plante de riz**

La nutrition de la plante va au-delà du simple apport d'azote, de phosphore ou autre engrais. En effet, en plus de ces éléments majeurs, il y a aussi les oligo-éléments comme le zinc, le manganèse et le fer. Pour ce qui est du fer, le sol en est généralement bien pourvu. Il est le quatrième élément le plus abondant et représente 5% en masse de la croûte terrestre (Crichton et Pierre, 2001).

Le fer est un élément qui est très impliqué dans le métabolisme des végétaux. Il est nécessaire à la synthèse et au maintien de la chlorophylle, pour un développement normal de la plante. Aussi, il a des interactions avec tous les principaux enzymes et protéines qui constituent la biochimie de la plante (Audebert et Sahrawat, 2001). Il est impliqué dans le transport, le stockage et l'activation de l'oxygène moléculaire, dans la photosynthèse, la réduction de l'azote, la respiration et dans le transfert des électrons via divers transporteurs (Crichton et Pierre, 2001) et la synthèse de l'ADN par l'action de la ribonucléotidyl transférase (Reichard, 1993).

Toutefois, la biodisponibilité du fer pour la plante est fonction du pH, de la réduction du fer lui-même et de l'intervention des activités des micro-organismes etc. (Ouattara, 1995). En

effet, en condition d'inondation avec un pH acide, le fer présent dans le sol peut passer de l'état de fer ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) à l'état de fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) selon l'équation ci-dessous.



Ainsi l'assimilation du fer doit se faire sous forme réduite ( $\text{Fe}^{2+}$ ) puisque c'est la forme physiologiquement active du fer dans la cellule (Audebert *et al.*, 2006).

Les études de Gheysens, 2009 ont permis de comprendre le processus d'absorption du fer par la plante. En effet, en condition non limitante en fer, une réductase standard, présente sur la membrane plasmique des cellules racinaires, favorise la réduction des ions  $\text{Fe}^{3+}$  en ions  $\text{Fe}^{2+}$ , assimilables par les plantes. Cette réduction est rendue possible grâce au transfert d'électrons à travers la membrane plasmique depuis le NADPH, cellulaire et s'accompagne d'une excrétion de proton ( $\text{H}^+/\text{e}^-$ ). Les ions  $\text{Fe}^{2+}$  sont ensuite acheminés à l'intérieur des cellules de la racine par le biais de transporteurs localisés au niveau des membranes plasmiques des cellules de l'épiderme. Le même auteur a montré également que dans le cas de sols riches en fer ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ), le fer est directement transféré à l'intérieur des cellules de la racine via les transporteurs. Toutes fois, une importation massive de  $\text{Fe}^{2+}$  peut induire le problème de toxicité ferreuse.

### 3.2 Causes de la toxicité ferreuse

Plusieurs facteurs participent à l'expression de la toxicité ferreuse. En effet, l'engorgement complet du bas-fond au cours de la saison provoqué par le mauvais contrôle de l'eau, engendre les conditions favorables pour l'expression de la toxicité ferreuse. Aussi, de fortes concentrations de fer dans le bas-fond sont d'une part inhérentes au sol en place et d'autre part découlent d'un apport massif du fer des sols situés en amont par la circulation de surface et subsurface (Wopereis *et al.*, 2008). Cela est illustré par la Planche 1. Dans la zone de résurgence de la nappe phréatique, on observe cette forte teneur en fer avec la présence de taches de couleur jaunâtre à jaune rougeâtre due à l'émergence du fer dissous dont une partie est oxydée au contact de l'air (ADRAO, 2006).

Selon Vizier (1988), dans les sols bien drainés, aérés, les quantités de fer inorganiques ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ ) sont très inférieurs aux besoins de la plante. L'absorption du fer se traduit alors par la réduction du  $\text{Fe}^{3+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$ . Pourtant dans les sols inondés, saturés d'eau, les teneurs en fer sont supérieures aux besoins de la plante. De l'oxygène, transféré des parties aériennes de la plante aux racines par les aérochymes, est libéré dans le sol et oxyde le fer

ferreux au contact de la racine, limitant ainsi son absorption Van der Vom *et al.*, (1979) cité par Vizier (1988). Lorsque cette régulation n'est pas effective pour diverses raisons on assiste à une toxicité ferreuse traduisant une absorption excédentaire de fer. La submersion est donc une condition favorisant pour l'expression de la toxicité ferreuse. En somme, lorsque les champs ne sont pas adéquatement drainés à l'eau douce, le fer des bas-fonds est soumis à un environnement pauvre en oxygène, et tend à se convertir en fer ferreux  $Fe^{2+}$  (Prade *et al.*; 1990). Cette réduction est induite par plusieurs causes comprenant la libération du fer (à travers les matériaux de base et la solution du sol), un faible pH, un faible potentiel redox, une faible capacité d'échange cationique (CEC), ainsi qu'une bonne accumulation des acides organiques, des sulfures d'hydrogène (Dufey, 2012 cité par Bagayogo 2015) et par une forte activité de respiration des microorganismes anaérobiques (Ouattara, 1995).

En outre, les sols à toxicité ferreuse sont signalés comme étant des sols hydromorphes à hydromorphie permanente donc mal drainés. La toxicité est cependant aggravée non seulement par la présence des sols ferralitiques rouges ou non lors des aménagements mais aussi par la présence des remontées capillaires riches en fer ferreux, facilement assimilable par les plants de riz (Audebert *et al.* 2006). Diverses études (ADRAO 2002, Vizier ; 1988) ont montré que la toxicité ferreuse est associée à un désordre nutritionnel. En effet pour Vizier (1988), la toxicité ferreuse apparaît le plus souvent sur des sols présentant des déficiences en P, K, Ca, Mg. Il semble ainsi, qu'une absorption excédentaire de fer, toxique pour la plante, soit autant liée à un déséquilibre nutritionnel dû à une faible disponibilité en P, K, Ca, Mg dans le sol, qu'à une forte concentration en fer réduit soluble. Par ailleurs, des sulfures ou du méthane produits par la microflore associée au système racinaire du riz (Prade *et al.*, 1990) ainsi que la nature de la fraction argileuse des sols (kaolinite, smectite) peuvent contribuer à ce désordre nutritionnel. En fait, les sols argileux (60%) sont très lourds et très asphyxiants, et ils sont alors plus favorables au développement des microflores réductrices. Il faut également noter que les rizières propices à la manifestation de la toxicité ferreuse sont caractérisées par une capacité d'échange faible (Bongoua, 2009).

Une autre source de la toxicité ferreuse est l'application de la matière organique fraîche ou des déchets industriels et urbains riches en fer.

La planche 1 représente le gros plan de la zone de résurgence de la nappe souterraine à la lisière du bas-fond, là où l'eau stationnaire et l'eau de la pente se rencontre. A la surface du sol, la couleur rougeâtre du fer ferrique devenant plus pâle sous le processus de réduction (Hodomihou 2009).



Planche 1 : Concentration de fer dû à l'écoulement de subsurface.

Source : (ADRAO (2002))

### 3.3 Manifestations de la toxicité ferreuse

#### 3.3.1 Manifestations de la toxicité ferreuse au sol

Des taches qui ressemblent aux taches de pétrole à la surface de l'eau d'irrigation et des taches rougeâtres dans le sol (Planche 1 et 2) indiquent que le sol est riche en fer (Wopereis *et al.*, 2008). La présence d'écume à la surface de l'eau stagnante est aussi indicateur de l'excès de fer dans le sol (ADRAO, 2002). Aussi, la vue de l'eau huileuse rougeâtre qui suinte du sol lorsqu'il est inondé pendant longtemps est un symptôme de la toxicité ferreuse (Audebert *et al.*; 2006, Konaté, 2012). Cette contrainte peut se mettre en place sur un large éventail de types de sol, toutefois les caractéristiques générales de ces sols toxiques en fer sont des valeurs élevés en Fe réduit, des pH acides, de faibles valeurs en CEC, et en Potassium échangeable (Ottow *et al.* 1982). La manifestation de la toxicité ferreuse est visible surtout

lorsque la dose de fer dans le sol atteint la dose de 550 ppm (Tandano, 1974 cité par Vizier 1988),

### 3.3.2 *Manifestations de la toxicité ferreuse sur la plante*

L'expression des symptômes de toxicité de fer sur le riz exige l'absorption excessive d'ions ferreux ( $Fe^{2+}$ ) par les racines et leur translocation acropète par le flux de xylème vers les organes aériens. A l'intérieur de la feuille, ces quantités importantes de fer entraînent une production élevée des radicaux qui peuvent endommager irréversiblement les composants structuraux des cellules, Thompson et Ledge, (1987) cité Audebert (2006)

Le fer en solution est absorbé par le plant de riz et s'accumule dans ses tissus (Audebert, 2006). Cependant, les teneurs en fer sont variables suivant les variétés d'une part, et les quantités de fer dans les plants affectés par une toxicité ferreuse ne sont pas égales dans toutes les parties de la plante d'autre part. En effet, les plus fortes concentrations sont notées au niveau des racines (dans les racines et sur leurs surfaces), les plus faibles, dans les jeunes feuilles. Cette accumulation provoque un déséquilibre dans la physiologie de la plante et se manifeste par différents symptômes (Vizier, 1988). Pour le même auteur, l'apparition des symptômes attribués à une toxicité ferreuse est généralement admise pour des concentrations en fer dans les feuilles supérieures au seuil de 300 ppm.

Malgré la difficulté d'identifier les symptômes, certaines manifestations observées au niveau des feuilles, sont généralement attribués à la toxicité ferreuse. Deux principaux types de manifestation sont décrits dans la littérature :

**-Le bronzage (bronzing disease) :** apparition de taches éparses de couleur brun-rouge sur les feuilles les plus basses (Planche 2). Avec l'extension de ces taches, les feuilles deviennent brunes puis de couleur gris-foncé et meurent (ADRAO, 2002).

**-Le jaunissement (oranging disease) :** un jaunissement apparaît sur les feuilles les plus basses, partant de la pointe des feuilles et progresse vers leurs bases. Ce jaunissement vire parfois à des couleurs plus vives, jaune foncé, orange et des stries brunes peuvent être discernables. Les feuilles sont peu à peu affectées par le jaunissement, tandis que les plus basses meurent (ADRAO, 2002).



**Planche 2: Manifestation de la toxicité ferreuse sur feuilles de riz (Guiré, 2010 VDK)**

Les deux types de symptômes foliaires cités haut pourraient correspondre, pour Gheysens (2009), à des mécanismes d'absorption impliquant différemment le fer ferreux. Pour l'auteur, le "jaunissement" correspond à une "toxicité ferreuse indirecte", due à un déséquilibre nutritionnel des plantes, sur des milieux ayant des concentrations élevées de fer ferreux en solution. Ces fortes teneurs en fer réduit, inhibent la formation de nouvelles racines, tandis que la précipitation de fer oxydé au contact des plus anciennes, limitent l'absorption de nutriments et particulièrement le P et Mg. Quant au "bronzage", il correspond à une toxicité ferreuse directe" due à une forte absorption de fer par des plantes en milieu présentant des concentrations élevées de cet élément en solution.

### **3.3.3 Période critique de la toxicité ferreuse**

La sévérité de la toxicité ferreuse est liée au stade de croissance de la plante. En effet, cette sensibilité est plus forte en début de croissance, lors de la période de végétation, en fin de croissance et lors de la période de maturation. Le riz serait moins sensible aux fortes concentrations en fer ferreux de la solution du sol pendant la période intermédiaire de floraison et d'épiaison, sauf si celles-ci sont exceptionnellement élevées (Vizier, 1988).

Prade *et al.*: (1990) ont déterminés deux phases de toxicité en fonction de la formation et l'absorption du  $Fe^{2+}$ . Une première phase survenue au cours de la première semaine après le repiquage (toxicité ferreuse primaire) et la seconde, entre l'épiaison et la floraison (toxicité ferreuse secondaire).

Pour les mêmes auteurs la toxicité ferreuse primaire s'explique par une sensibilité apparente des plantules de riz fraîchement repiquées aux quantités élevées de  $Fe^{2+}$  accumulés immédiatement après l'inondation. La toxicité ferreuse secondaire, peut être attribuée à l'absorption excessive du  $Fe^{2+}$  provoquée par une plus grande perméabilité des racines (déficiência en K) et une augmentation de la réduction microbiennes du fer dans la rhizosphère (intense exudation) pendant la phase de grande activité physiologique qui se situe entre l'épiaison et la floraison.

### **3.4 Répartition de la toxicité ferreuse en Afrique subsaharienne**

Dans les pays de l'Afrique subsaharienne, la toxicité chimique des sols de bas-fonds constitue une contrainte réelle à la durabilité de la mise en valeur des bas-fonds (Hodomihou *et al.*, 2011). Les résultats d'enquête menés par Cherif *et al.*,(2006) en Afrique de l'Ouest ont

montré que 50% des plaines étudiées et environ 60% des parcelles de riz cultivées ont été affectées par la toxicité ferreuse. En outre, selon les mêmes auteurs, 10% des champs de cultures de plaine ont été abandonnés à cause de la forte toxicité de fer. Aussi, les résultats préliminaires du système d'information (SIG) du Centre du Riz pour l'Afrique (Africarice) ont montré une grande variabilité dans la distribution spatiale et la gravité de la toxicité ferreuse, à la fois au niveau inter et intra- pays (cas du Burkina Faso). Les résultats du SIG montrent que les sites de point chaud (niveaux élevés de la concentration en  $Fe^{2+}$ ) se trouvent seulement au Ghana et en Guinée, alors que la toxicité modérée se retrouve dans les autres pays du projet STRASA (Le riz tolérant au stress pour les paysans pauvres d'Afrique et d'Asie du Sud-Est) pour sa composante africaine (Bénin, Burkina Faso, Gambie, Ghana, Guinée, Mali, le Nigeria et Sénégal) (SIE et al., 2010 cité par Bagayogo 2015).

### **3.5 Conséquences de la toxicité ferreuse**

Selon une étude menée par l'ADRAO en 2002, 60 % des terres de bas-fonds en Afrique de l'Ouest et du centre peuvent être affectées par la toxicité ferreuse. D'importantes superficies aptent à la riziculture sont ainsi abandonnées, à défaut la production reste très faible. Au niveau de la plante, la concentration excessive du fer ferreux ( $Fe^{2+}$ ) dans les feuilles entraîne une décoloration des limbes, une réduction du tallage et provoque une baisse importante de rendement (planche 3). Selon ADRAO (2006), les auteurs Masajo *et al.*, (1986), Abafarin (1988 et 1989) ont montré que la toxicité ferreuse se traduit également par une réduction de la croissance du riz (hauteur et tallage) et par une augmentation du taux de stérilité des panicules. Selon les mêmes auteurs, la productivité peut ainsi chuter de 10 à 100% selon la concentration en  $Fe^{2+}$  dans la solution et la tolérance du cultivar utilisé. Les pertes de rendement moyennes dues à la toxicité ferreuse se situent au tour de 35-45% selon Audebert et Sahrawat, (2000).

Au Burkina Faso, dans la plaine aménagée de la Vallée du Kou (située à 25 km au Nord-Ouest de Bobo Dioulasso), environ 300 hectares ont été abandonnés en 1986 à cause de la forte toxicité du fer selon Ouattara, (1995). Pour le même auteur, dans le Sud-Ouest du pays, zone de riziculture par excellence, les mêmes problèmes sont rapportés chaque année dans de nombreux sites aménagés. En outre le niveau critique de toxicité ferreuse au-dessus duquel les pertes de rendement se produisent est d'environ 500 mg de Fer/Kg de poids de feuilles séchées (Vizier, 1988). Les conséquences ci-dessus évoquées font de la toxicité ferreuse un sérieux problème pour les producteurs de riz de bas-fond. Plusieurs alternatives sont évoquées

dans la littérature pour atténuer les effets de ce problème. Nous passerons en revue ces solutions dans les lignes qui suivent.

### **3.6 Méthodes de lutte contre la toxicité ferreuse**

Outre la gestion des sols, les principales méthodes de lutte contre la toxicité ferreuse se résument aux bonnes pratiques culturales, à la lutte chimique et à la lutte génétique.

#### **3.6.1 La lutte génétique**

Plusieurs solutions existent pour réduire l'effet de la toxicité ferreuse. Une fertilisation raisonnée avec l'utilisation de cultivars tolérants/résistants est une technique appréciable pour lutter contre la baisse des rendements occasionnée par l'excès de fer dans les rizières. La lutte génétique consiste en la création de variétés de riz tolérantes à la toxicité ferreuse permettant aux producteurs moyens de faire face à cette contrainte.

Les travaux du programme riz et riziculture de l'INERA et ses partenaires ont abouti à l'homologation de certaines variétés tolérantes à cette contrainte. Il s'agit entre autre de la FKR 66, FKR 68, FKR 70, FKR72. Une limite de cette méthode pourrait être le temps de sélection. En effet, les processus aboutissant à la création d'une variété tolérante sont pour la plupart assez long.

#### **3.6.2 Pratiques culturale et lutte contre la toxicité ferreuse**

En raison du non aménagement de la plupart des bas-fonds de l'Afrique de l'Ouest, le drainage naturel est limité généralement par un encombrement de l'exutoire entraînant l'engorgement complet du bas-fond au cours de la saison (Audebert *et al.*, 2006). Pour Bagayogo, 2015 le faible niveau d'encadrement des producteurs et la méconnaissance de la toxicité ferreuse dans certaines rivières, limitent la prise en compte des recommandations de la recherche dans la lutte contre la toxicité ferreuse. Par ailleurs, l'utilisation de mauvaises semences de variétés non tolérantes et des aspects de manque de technicité dans la gestion de l'eau favorise la prévalence de la toxicité ferreuse. Ainsi, les conditions favorables (milieu réducteur des rizières) sont réunies pour l'expression et/ou la sévérité de la toxicité ferreuse à cause de ces mauvaises pratiques agricoles dans les rizières d'Afrique de l'Ouest.

Pour une prévention efficace des risques dans les sols de rizières, il convient de :

-pré-inonder les rizières avant le repiquage. Cela permet de placer les plants dans un milieu saturé dans lequel l'immobilisation progressive partielle du fer ferreux a déjà pu se développer, limitant ainsi la concentration en fer dans la solution du sol et sa disponibilité pour la plante (Vizier, 1989).

-repiquer à un plant les jeunes plants de riz après une période de germination en pépinière, ce qui leur confère une maturité physiologique qui leur permet de réduire l'effet toxique du fer (Audebert *et al.*, 2006).

-interrompre momentanément l'inondation juste après le repiquage.

Par ailleurs, les rendements moyens augmentent avec le niveau de maîtrise de l'eau dans les parcelles cultivées et de l'emploi de fertilisant. De ce fait, l'enfouissement des pailles de riz, des balles ou en compost constitue un progrès important pour la fertilisation d'entretien (Velly, 1975 cité par Bagayogo 2015).

Toutefois, l'accumulation de fer dans la parcelle de riz peut être évitée en procédant à l'ouverture d'un fossé autour du champ pour intercepter les eaux latérales d'infiltration (Breeman et Moorman 1978, cités par ADRAO, 2006), ou en drainant la parcelle pour éliminer le principal facteur de manifestation de la toxicité qui est l'inondation.

L'apport d'une faible quantité de zinc (5 à 10 kg ha<sup>-1</sup>) peut constituer un moyen cultural supplémentaire simple pour corriger jusqu'à un certain niveau les effets négatifs de la toxicité ferreuse (Wopereis *et al.*, 2008).

Une étude de l'ADRAO a montré que la culture sur billons dans les sites de toxicité ferreuse peut améliorer les rendements de riz également, la construction des diguettes améliore le rendement de 30 % en moyenne ce qui est significatif (ADRAO, 2002).

### **3.6.3 Lutte chimique**

Pour éviter la toxicité ferreuse secondaire Vizier (1988) a souligné que la correction du déséquilibre nutritionnel peut se faire par apport de potassium, des phosphates et du calcaire. Une méthode efficace aussi recommandée est le chaulage. En effet, la méthode traditionnellement recommandée est de faire le chaulage (Gunawardena *et al.*, 1982), cités par ADRAO (2006), et à apporter une quantité accrue d'engrais pour corriger le désordre créé par le fer qui se trouve en quantité excédentaire. Cette recommandation trouve aussi sa raison dans le fait que les sols sont en générale pauvre en éléments minéraux nécessaire au développement des plantes. Par ailleurs, les doses de fertilisants ont tendances à ne plus suffire au vue des rendements actuels des producteurs.

## Chapitre II: Matériel et méthode

### 1 Matériel

#### 1.1 Présentation du site d'étude

L'étude a été conduite sur le périmètre rizicole irrigué de la Vallée du Kou. Le périmètre rizicole de la Vallée du Kou est situé à l'Ouest du Burkina à environ 30 km de Bobo-Dioulasso sur l'axe Bobo-Faramana-frontière du Mali. Il s'agit d'un périmètre irrigué avec maîtrise totale de l'eau ayant pour coordonnées géodésiques 4° 22' de longitude Ouest, 11°22 de latitude Nord et une altitude de 300m. Il couvre une superficie de 1260 ha (Nebié, 1995).

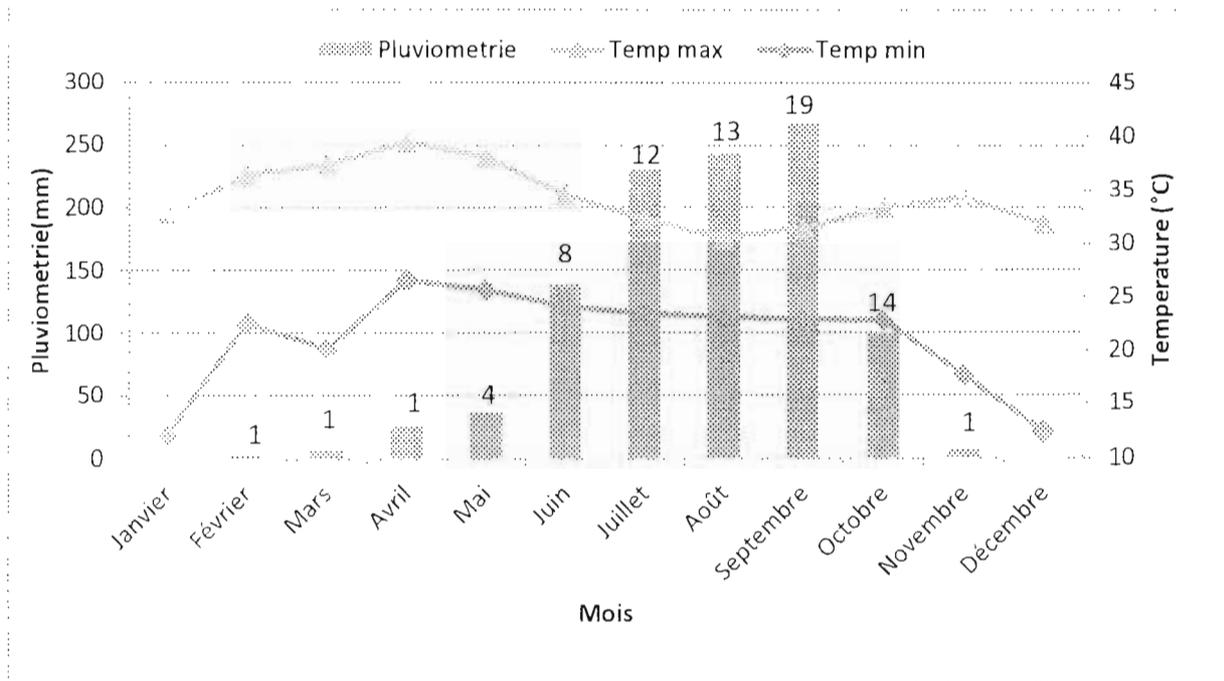
Le climat de la Vallée du Kou est de type Sud-soudanien (Guinko, 1984) et est caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse monomodale de mai à octobre et d'une saison sèche de novembre à avril. La végétation est de type savane arbustive et arborée.

La pluviométrie enregistrée pendant la saison pluvieuse de 2015 a été de 1051,5mm. Le mois de septembre a été le plus pluvieux avec 267,4mm reparti sur 19 jours. Par contre le mois d'avril a été 24,6 mm de pluie pour le mois d'avril qui a été le mois le moins pluvieux (Figure 1). Les plus fortes températures ont été enregistrées durant les mois d'avril, mai et juin.

Les sols du périmètre rizicole de la Vallée du Kou sont classés en deux grandes catégories regroupant six types de sol (Nebié, 1995) :

- les sols de texture moyenne à légère couvrent 66% du périmètre et regroupent les sols sablo-argilo-limoneux, sablo-argileux, limoneux et sablo-limoneux.
- les sols de texture lourde occupent 34% du périmètre et regroupent les sols argileux et argilo-limoneux. Le pH de ces sols varie de 5,5 à 6,5.

Des concrétions ferrugineuses font surface dans certaines zones et créent à ces endroits une toxicité ferreuse, avec un taux de fer libre dans la solution du sol qui est de 208 ppm (BUNASOL, 2010 cité par Bagayogo 2011).



**Figure 1:** Evolution de la pluviométrie et de la température de Janvier à Décembre 2015 dans la plaine de la Vallée du Kou

**Source :** Antenne météorologique de la Vallée du Kou, 2015 (INERA/Farako-Bâ, 2015)

*NB : Les valeurs qui figurent sur les histogrammes représentent le nombre de jour de pluie*

## 1.2 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de 14 variétés de riz (Tableau 2). Ces variétés ont été réparties en trois groupes d'effectif différents. Le groupe 1 est composé des variétés interspécifiques (NERICA), le groupe 2, des variétés du genre Sativa, tolérantes à la toxicité ferreuse et le groupe 3 regroupait les variétés du genre Sativa, sensibles à la toxicité ferreuse.

**Tableau II: liste des variétés utilisées**

N°	Nom	Synonyme	Type de croisement	Groupe de variété
V3	FKR 56 N	NERICA L 41	Inter spécifique	G1
V4	FKR 62 N	NERICA L 19	Inter spécifique	G1
V5	FKR 60N	NERICA L 20	Inter spécifique	G1
V8	FKR 66	(wat 1046 B 43-2-2-2)	Inter spécifique tolérante	G2
V9	FKR 68	(ir75866 2 7)	Intra spécifique tolérante	G2
V10	FKR 70	(ir 75884 12 12)	Intra spécifique tolérante	G2
V11	FKR 72	(rok 25)	Intra spécifique tolérante	G2
V7	FKR 19	Tox 728-1	Intra spécifique sensible	G3
V1	FKR 14	4418	Intra spécifique sensible	G3
V2	FKR 28	ITA 23	Intra spécifique sensible	G3
V6	FKR 64	TS2	Intra spécifique sensible	G3
V12	FKR 76	F36	Intra spécifique sensible	G3
V13	FKR 78	F6 41	Intra spécifique sensible	G3
V14	FKR42	IR64	Intra spécifique sensible	G3

## 2 Méthodes

### 2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est du type blocs randomisés dans un Alpha Lattice avec 2 facteurs à étudier en trois répétitions. Le premier facteur est constitué par les variétés de riz au nombre de 14 et repartis en 3 groupes qui sont :

G1=variétés interspécifiques (NERICA)

G2=des variétés du genre Sativa, tolérantes à la toxicité ferreuse

G3=variétés du genre Sativa, sensibles à la toxicité ferreuse

Le second facteur est représenté par les combinaisons écologie\* fumures ci-dessous :

F1 : Ecologie sans toxicité ferreuse et fertilisation à une dose élevée (rendement cible = rendement maximal) soit 250kg/ha de NPK et 200kg/ha d'urée en deux fractions ;

F2: Ecologie sans toxicité ferreuse et fertilisation à une dose sous-optimale (localement recommandée) soit 200kg/ha de NPK et 150kg/ha d'urée en deux fractions ;

F3: Champ toxique en fer et fertilisation à une dose sous-optimale (localement recommandée) soit 200kg/ha de NPK et 150kg/ha d'urée en deux fractions ;

F4: Champ toxique en fer et fertilisation à une dose élevée soit 250kg/ha de NPK et 200kg/ha d'urée en deux fractions.

Les parcelles élémentaires, séparées de 0,3m ont pour dimensions 2m x 3m.

## **2.2 Fertilisation, entretien et récolte**

Deux doses de fertilisation ont été utilisées : i) -la fertilisation a une dose élevée avec l'objectif d'obtenir un rendement maximal des variétés et ii) la fertilisation à la dose localement recommandée.

F1 et F4 ont été traité selon le premier mode soit :

Au repiquage, la fumure de fond utilisée est le NPK (15-15-15) à la dose de 250kg/ha soit 180g par parcelle élémentaire de 6m<sup>2</sup> ;

En fumure de couverture, l'urée 46% N a été utilisée à la dose de 200kg/ha en deux fractions : 67 kg urée/ha soit 40 g d'urée / parcelle élémentaire à deux semaines après repiquage et 133 kg urée/ha soit 80 g d'urée / parcelle élémentaire à l'initiation paniculaire.

F2 et F3 ont été traité selon le mode de fertilisation recommandée soit:

Au repiquage, la fumure de fond utilisée est le NPK (15-15-15) à la dose de 200kg/ha soit 120g par parcelle élémentaire de 6m<sup>2</sup> ;

En fumure de couverture, l'urée 46% N a été utilisée à la dose de 150kg/ha en deux fractions : 50 kg urée/ha soit 30g d'urée / parcelle élémentaire à deux semaines après repiquage et 100 kg urée/ha soit 60 g d'urée / parcelle élémentaire à l'initiation paniculaire.

Les opérations de préparation du sol ont été effectuées durant le mois de juillet. Ces opérations ont consistées d'abord à un labour à traction bovine. La préparation du lit de semences a été effectuée à travers un concassage suivi de la mise à boue et du planage des parcelles avant le repiquage. Le repiquage a été effectué avec un écartement de 20 cm entre poquets et 20 cm entre les lignes avec des jeunes plants de 20 jours.

Les travaux d'entretien réalisés se résument au désherbage manuel. Au total trois désherbages ont été réalisés en fonctions du degré d'enherbement des parcelles. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué.

La récolte a été effectuée comme suit : 12 poquets sont récoltés au hasard dans la parcelle utile pour servir aux mesures du nombre de panicule. Le reste de la parcelle utile est récolté séparément pour les autres mesures post récolte.

### 2.3 Observations sur les caractères agro-morpho-physiologiques

Les observations ont porté spécifiquement sur les caractères agronomiques. Il s'agit de 8 variables quantitatives (T40, T60, HM, CSE, CSM, Pm<sup>2</sup>, PMG, Rendt). Le Tableau III résume ces variables.

#### ➤ **Nombre moyen de talles à 40 et 60 jours après repiquage(JAR) par m<sup>2</sup> (T40 et T60)**

Ces variables indiquent l'aptitude de la variété au tallage. Ainsi, elles sont des indicateurs très importants d'un bon rendement en grain paddy. Le comptage du nombre de talles a été réalisé à 40 et 60 JAR.

#### ➤ **Hauteur moyenne des plants à maturité (Hm)**

La hauteur de 10 plants choisis au hasard dans la parcelle utile (PU) a été mesurée. Cette mesure (en cm) a été réalisée de la base de la plante à l'extrémité de la panicule la plus haute à la maturité soit environ 110 jours après repiquage.

#### ➤ **Le cycle semis-épiaison (CSE) et le cycle semis-maturité (CSM)**

Le CSE est le nombre de jours compris entre le semis et l'épiaison de 50% des talles. Par contre, le CSM s'obtient en comptant le nombre de jours compris entre le semis et la maturité des plantes qui intervient lorsque les trois quarts supérieurs des panicules ont une couleur paille. La date de maturité et celle d'épiaison à 50% permettent de calculer respectivement le CSM et le CSE.

#### ➤ **Nombre de panicules par m<sup>2</sup> (P/m<sup>2</sup>)**

Le nombre de panicule permet de connaître le nombre de talles fertiles et renseigne sur le rendement. Il a été déterminé en comptant le nombre de panicules sur 12 poquets sélectionnés au hasard dans la parcelle utile et extrapolé au mètre carré.

#### ➤ **Poids de 1000 grains (PMG)**

Le poids de 1000 grains (PMG) est une composante importante du rendement. Il est déterminé au laboratoire en pesant le poids de 1000 grains prélevés sur les grains obtenus par carré de rendement et par variété. Le poids est ajusté au taux d'humidité de 14%.

### ➤ Données obtenues par estimation

Certains paramètres ont été estimés de la façon suivante :

	Nombres de talles sur 2m <sup>2</sup> par Parcelle	
Nombre de talles par m <sup>2</sup> :	.....	x 25
	Nombre de poquet vivant dans les 2m <sup>2</sup>	
	Nombres de panicule de 12 poquets par Parcelle	
Nombre de panicules/m <sup>2</sup> :	.....	X 25
	12	
	Hauteur maximale sur 10 poquets par parcelle	
Hauteur moyen (cm)/plant :	.....	
	10	
	Poids corrigé de la parcelle utile par Parcelle (Kg)	
Rendement (t/ha) :	.....	X 10000
	Superficie de la parcelle utile (2,64m <sup>2</sup> )	

### 3 Analyses statistiques

Les données recueillies au cours des observations ont fait l'objet d'une analyse de variance à l'aide des logiciels, Genstat Discovery édition 4 avec l'application du test de FISHER au seuil de 5% pour la comparaison des moyennes des traitements. Les analyses de sol ont été réalisées par le laboratoire d'analyse de sol de l'Université Libre de Bruxelles (BELGIQUE). L'annexe 2 résume ces résultats. La variabilité de la réaction des trois groupes de variétés a été représentée grâce à l'utilisation des box plot ou boite de dispersion avec le tableur XLSTAT 2015.

## Chapitre III Résultats et discussion

### 1. Résultats

#### 1.1 Effets des traitements sur le tallage, le nombre de panicule et la hauteur

Les résultats de l'analyse de variance sont présentés dans le tableau 4.

**Tableau III: Effets des traitements sur le tallage et la hauteur**

	Traitements	T40	T60	P/m <sup>2</sup>	HM
variétés	NERICA	154a	228	180,03	88,51
	Sativas tolérantes	155a	227	173,00	88,87
	Sativas sensibles	143b	222	166,00	89,76
	<b>Probabilité</b>	<b>0,020</b>	<b>0,716</b>	<b>0,196</b>	<b>0,834</b>
	<b>Significativité</b>	<b>S</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>	<b>NS</b>
Fumures x Ecologie	Dose élevée + milieu non toxique	249 a	311 a	243 a	107 a
	Dose recommandée + milieu non toxique	229 b	300 a	236 a	103 a
	Dose recommandée + milieu toxique	51 d	133 c	91 c	70 b
	Dose élevée + milieu toxique	69 c	156 b	118 b	76 b
	<b>Probabilité</b>	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>	<b>&lt;,001</b>
	<b>Significativité</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>
Interaction	Probabilité	0,601	0,754	0,761	0,600
	Significativité	NS	NS	NS	NS
<b>CV(%)</b>		<b>18,0</b>	<b>19,1</b>	<b>21,9</b>	<b>12,7</b>

*NB : Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Fisher. S=significatif ; NS=Non Significatif ; HS=Hautement Significatif*

*T40 et T60=nombre de talle à 40 et à 60 jours après repiquage, P/m<sup>2</sup> : nombre de panicule par mètre carré, HM : hauteur moyenne ;*

Les interactions variétés\*Fumures x Ecologie pour ces paramètres ne sont pas significatives entre les différents niveaux de facteur, ce qui permet la comparaison entre niveaux de chaque facteur

- **Tallage à 40 jours après repiquage (T40)**

L'analyse de variance au seuil de 5% révèle une différence significative entre les trois groupes de variétés pour ce paramètre ( $P=0,02$ ). Deux groupes ressortent après le test de Fischer. Les NERICA (154 talles/m<sup>2</sup>) et les Sativas tolérants (155talles/m<sup>2</sup>) à la toxicité ferreuse forment un groupe homogène ayant un tallage significativement supérieur au tallage du 2<sup>ème</sup> groupe constitués par les Sativas sensibles (143 talles/m<sup>2</sup>). Tout comme les variétés, le nombre de talles à 40jours après repiquage a varié selon les fumures apportées.

L'analyse de variance a montré une différence hautement significative entre les fumures ( $P<.001$ ) pour le tallage à 40 JAR. La comparaison révèle une différence entre les quatre fumures avec une dominance du tallage obtenu avec le premier groupe constitué par la fumure 1(forte dose en écologie non toxique) soit 249 talles/m<sup>2</sup> significativement supérieur au tallage de fumure 2 constituant le deuxième groupe (dose recommandée en écologie non toxique) avec 229 talles/m<sup>2</sup>. Le troisième groupe est constitué par la fumure 4 (forte dose en écologie de toxicité) avec 69 talles/m<sup>2</sup> également significativement supérieur au tallage de fumure 3 (dose recommandée en écologie de toxicité) (51 talles/m<sup>2</sup>) constituant le dernier groupe.

- **Tallage à 60 jours après repiquage (T60)**

Pour cette variable, l'analyse de variance ne révèle aucune différence significative entre les groupes de variétés ( $P=0,716$ ). Toutefois les NERICA et le groupe des sativas tolérantes ont des moyennes (228 et 227 talles/m<sup>2</sup>) sensiblement égales, supérieur à la moyenne du groupe des sativas sensibles (222 talles/m<sup>2</sup>).

L'analyse de variance a montré une différence hautement significative entre les fumures pour le T60 ( $P<.001$ ). Le test a permis d'avoir trois groupes. Les fortes dose et dose recommandée de fumure minérale en écologie non toxique (F1 et F2) forment un groupe homogène avec des moyennes respectives de 311 et 300 talles/m<sup>2</sup> supérieur à la forte dose de fumure minérale en condition de toxicité (F4) (156 talles/m<sup>2</sup>) constituant le 2<sup>ème</sup> groupe. Le dernier groupe inférieur aux autres est constitué de la dose recommandée en milieu de toxicité ferreuse soit 133 talles/m<sup>2</sup> en moyenne.

- **Variabilité du tallage a 60 JAR**

Les résultats présentés dans la figure II montre une grande variabilité du tallage des variétés de type NERICA cultivés dans les conditions de toxicité ferreuse sous la dose recommandée de fumure par rapport aux autres traitements. Près de 75% des variétés de type NERICA ont un tallage compris entre 107 et 161 talles/m<sup>2</sup>. Les sativas tolérantes dans les conditions de

toxicité montrent cependant une bonne variabilité avec les deux fumures que les sativas sensibles. Leur tallage maximum évolue entre 121 et 143 pour la dose recommandée et entre 141 à 173 talles/m<sup>2</sup> pour la dose élevée.

La plus faible variabilité est observée chez les sativas sensibles dont le tallage maximum évolue entre 136 et 161 pour la dose élevée et entre 112 et 136 talles/m<sup>2</sup> pour la dose recommandée dans les conditions de toxicité ferreuse.

Par ailleurs, la variabilité des NERICA cultivés en condition de non toxicité est meilleure avec la dose élevée par rapport aux autres traitements dans les conditions de non toxicité. Les  $\frac{3}{4}$  de ces variétés ont un tallage évoluant entre 288 et 373 talles/m<sup>2</sup>. La variabilité des sativas tolérantes et sensibles est sensiblement identique avec les deux fumures dans ce milieu. Le maximum de chacun de ces groupes se situe entre 250 et 330 talles/m<sup>2</sup>.

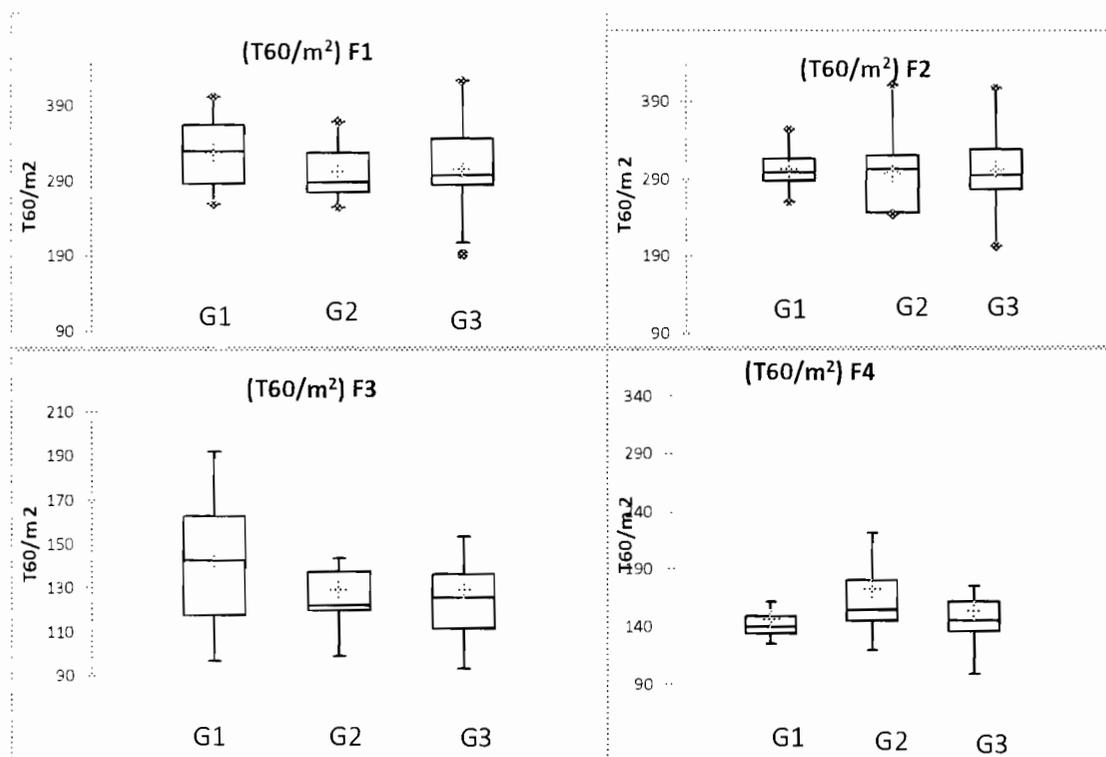


Figure II : Variabilité du tallage des variétés en fonction de la fumure

*F1* : forte dose en écologie non toxique, *F2* : dose recommandée en écologie non toxique

*F3* : dose recommandée en écologie de toxicité, *F4* : forte dose en écologie toxique

*G1*=NERICA ; *G2*= Sativas tolérantes ; *G3*= Sativas sensibles

- **Nombre de panicule, P/m<sup>2</sup>**

Tout comme le tallage maximum (T60), le nombre de panicule par mètre carré n'a pas connu une variation significative entre les groupes de variétés ( $P=0,196$ ). Toutefois, la moyenne obtenue avec les NERICA (180 panicules/m<sup>2</sup>) a été supérieure à celle des sativas tolérantes (173 panicules/m<sup>2</sup>) qui a été aussi supérieur à la moyenne du nombre de panicule des sativas sensibles (166 panicules/m<sup>2</sup>). L'analyse de variance a révélé une différence hautement significative entre les fumures ( $P<.001$ ) contrairement aux variétés pour le nombre de panicule par mètre carré. En effet, suite à l'application du test de Fischer au seuil de 5%, on observe que les forte dose et dose recommandée de fumure minérale appliquées dans le milieu sans contrainte de toxicité, forment un groupe homogène avec des moyennes (respectivement 243 et 236 panicules/m<sup>2</sup>) supérieur à la moyennes (118 panicules/m<sup>2</sup>) du nombre de panicule obtenu avec la dose élevé dans l'écologie affecter par la toxicité ferreuse (2<sup>ème</sup> groupe). Le dernier groupe avec une moyenne de 91 panicules/m<sup>2</sup> est constitué de la dose recommandée de fumure minérale appliquée dans l'écologie affecter par la toxicité ferreuse. Cette évolution du nombre de panicule est en effet identique à l'évolution de la variable T60 en fonction de la fumure.

- **Hauteur moyenne (HM)**

Les groupes de variétés ont eu des hauteurs moyennes statistiquement identiques. L'analyse de variance n'a pas montré de différence significative entre les hauteurs des variétés. La hauteur des sativas simple (89,76cm) est cependant supérieure à celle des sativas tolérantes (88,87cm) qui a été sensiblement égale à celle des NERICA (88,51cm).

Cependant, l'analyse de variance a fait ressortir une différence hautement significative de la hauteur moyenne entre les fumures ( $P<.001$ ). Le test de Fischer a fait ressortir deux groupes homogènes. Le premier groupe est constitué des parcelles fertilisées avec les doses élevée (107,14cm) et dose recommandée (103,28cm) dans l'écologie sans toxicité. Les parcelles fertilisées selon la dose recommandée (70,28cm) et dose élevée en condition de toxicité ferreuse (76,14cm) forment le deuxième groupe homogène.

## 1.2 Effets des traitements sur le cycle

Les résultats de l'analyse de variance sont présentés dans le tableau 5.

**Tableau IV: Effets des traitements sur le cycle de variétés**

Traitements		CSE	CSM
Variétés	NERICA	99 <b>a</b>	125 <b>a</b>
	Sativas tolérantes	101 <b>a</b>	126 <b>a</b>
	Sativas sensibles	96 <b>b</b>	123 <b>b</b>
	<b>Probabilité</b>	<b>0.002</b>	<b>0.015</b>
	<b>Significativité</b>	<b>HS</b>	<b>S</b>
Fumures x Ecologie	Dose élevée + milieu non toxique (F1)	91 <b>c</b>	115 <b>c</b>
	Dose recommandée + milieu non toxique (F2)	92 <b>c</b>	115 <b>c</b>
	Dose recommandée + milieu toxique (F3)	108 <b>a</b>	137 <b>a</b>
	Dose élevée + milieu toxique (F4)	103 <b>b</b>	131 <b>b</b>
	<b>Probabilité</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>
<b>Significativité</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	
Variétés*Fumures x	Probabilité	0.725	0.101
Ecologie	Significativité	NS	NS
CV(%)		6.6	4.9

*Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Fisher. S=significatif ; NS=Non Significatif ; HS=Hautement Significatif*

*CSE = cycle semis épiaison, CSM = cycle semis maturité*

Les interactions variétés et écologie x fumures pour ces paramètres ne sont pas significatives entre les différents niveaux de facteur, ce qui permet la comparaison entre niveaux de chaque facteur

- **Le Cycle semis épiaison, CSE :**

Le cycle semis épiaison a varié entre les groupes de variétés. Les résultats de l'analyse de variance présentée dans le tableau 5 révèlent une différence hautement significative entre les groupes de variétés pour ce paramètre (P=0.002). Deux groupes différents ressortent après le test de *Fisher*. Le premier groupe est constitué des NERICA et des Sativas tolérantes ayant obtenu des cycles semis épiaison respectifs de 99 et 101 jours plus long que le cycle du 2<sup>ème</sup> groupe constitué des Sativas simples (96 Jours).

La variation du cycle de maturité des variétés est identique à celle du cycle épiaison.

Le cycle semis épiaison a également varié en fonction de la fumure apportée. L'analyse de la variance des moyennes révèle une différence hautement significative entre elles ( $P < .001$ ). On distingue trois groupes après l'application du test de Fisher. En effet, le cycle des variétés est plus long avec la fumure recommandée (F3) en condition de toxicité formant ainsi le premier groupe avec 108 Jours en moyenne. Le deuxième groupe est constitué par la dose élevée (F4) en condition de toxicité (103 jours) et supérieure au dernier groupe homogène constitué de F1 (dose élevée en écologie sans contrainte) et F2 (dose normale en écologie sans contrainte) respectivement de 91 et 92 jours. Les mêmes variations ont été obtenues avec le cycle semis maturité.

- **Variabilité du cycle semis- maturité (CSM)**

La figure suivante (Figure III) présente la variabilité du cycle semis maturité des variétés en fonction de la fumure. De l'analyse de cette figure, il ressort que le cycle des NERICA et des sativas tolérantes présente la même variation, soit entre 116 et 119 jours pour l'ensemble de ces variétés avec les deux fumures dans le milieu sans toxicité. La plus grande variation a été enregistré avec les sativas sensibles soit une variation de 109 à 117 jours.

Les NERICA et les sativas sensibles cultivés en milieu de toxicité sous la dose élevée présente des cycles plus courts que les autres traitements ; la variation de leur cycle est de 125 à 133 jours. La variation du cycle des variétés tolérantes est de 133 à 140 jours sous la même fumure. Quant à la fumure recommandée, les cycles des variétés y sont semblables de 133 à 140 jours. Seuls les NERICA font une exception de 133 à 135 jours.

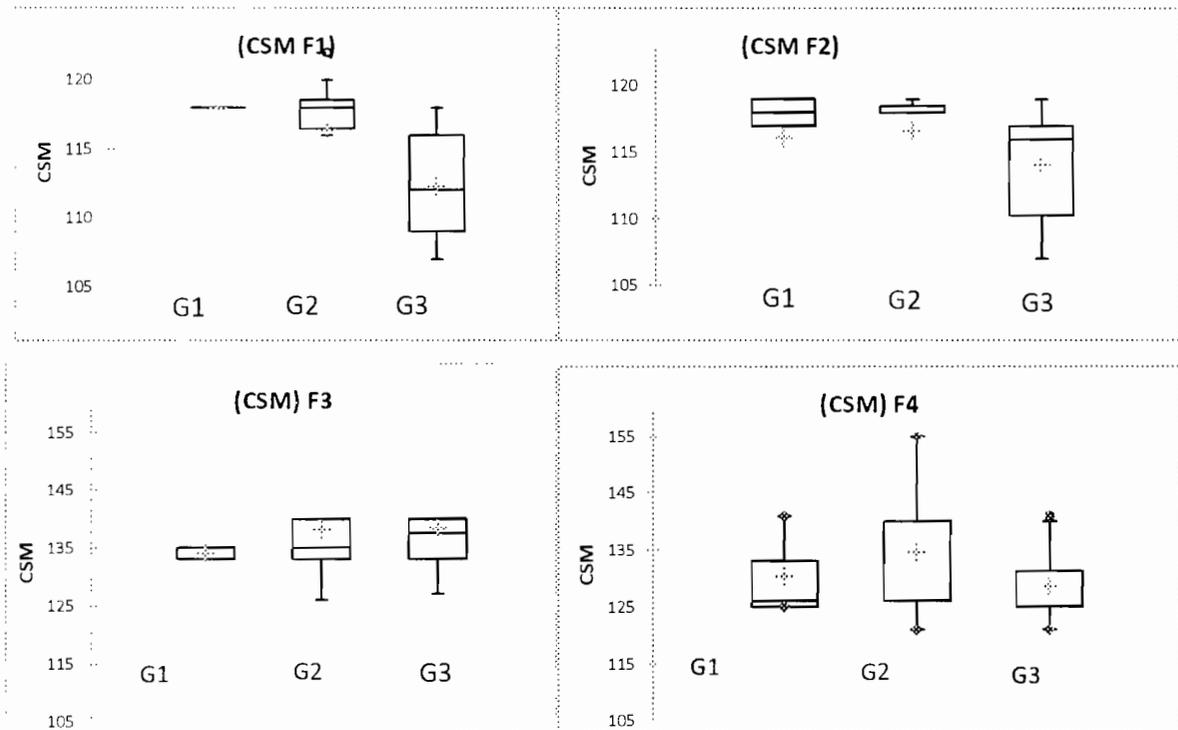


Figure III : Variabilité du cycle des variétés en fonction de la fumure

*F1 : forte dose en écologie non toxique, F2 : dose recommandée en écologie non toxique*

*F3 : dose recommandée en écologie de toxicité, F4 : forte dose en écologie toxique*

*G1=NERICA ; G2= Sativas tolérantes ; G3= Sativas sensibles*

### 1.3 Effets des traitements sur le poids de mille grains et le rendement paddy

Les résultats de l'analyse de variance sont présentés dans le tableau 6.

**Tableau V : Poids de mille grains (PMG) et le rendement paddy (Rendt) en fonction des traitements**

Traitements		PMG <sup>1</sup>	Rendt <sup>2</sup>
Variétés	NERICA	23.83 <b>ab</b>	4002.1
	Sativas tolérantes	24,18 <b>a</b>	3690,90
	Sativas sensibles	21,94 <b>b</b>	3637,90
	<b>Probabilité</b>	<b>0.002</b>	<b>0.2</b>
	<b>Significativité</b>	<b>HS</b>	<b>NS</b>
Fumuresx Ecologie	dose élevé + milieu non toxique (F1)	26.10 <b>a</b>	6237.3 <b>a</b>
	dose recommandée + milieu non toxique(F2)	25.67 <b>a</b>	6455.4 <b>a</b>
	dose recommandée + milieu toxique (F3)	19.93 <b>b</b>	1013.0 <b>b</b>
	dose élevé + milieu toxique (F4)	20.89 <b>b</b>	1233.7 <b>b</b>
	<b>Probabilité</b>	<b>&lt;.001</b>	<b>&lt;.001</b>
<b>Significativité</b>	<b>HS</b>	<b>HS</b>	
Variétés*Fumures	Probabilité	0.632	0.781
x Ecologie	Significativité	NS	NS

*NB : Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Fisher. S=significatif ; NS=Non Significatif ; HS=Hautement Significatif ; CV<sup>1</sup> = 12,9% ; CV<sup>2</sup> = 22.2%*

L'interaction variétés\*fumures x écologies n'est également pas significative entre les différents niveaux de facteur pour le poids de milles grains et le rendement paddy.

- **Le poids de mille grains (PMG)**

Le poids de mille grains a varié entre les groupes de variété. L'analyse de variance au seuil de 5% révèle une différence hautement significative entre les groupes de variété (P=0.002). Trois groupes différents ressortent après l'application du test de Fisher. Le premier groupe constitué des sativas tolérantes avec un poids de 24.18 g est statistiquement supérieur au deuxième groupe contenant les NERICA (23.83g). Les sativas sensibles constituent le dernier groupe inférieur aux autres avec une moyenne de 21.94 grammes.

Le poids de mille grains a varié également en fonction de la fumure. Il existe une différence hautement significative entre les fumures apportées pour le PMG (P<.001). Deux groupes homogènes se distinguent après le test. Le premier groupe est composé de la dose de fumure

élevée et dose recommandée dans l'écologie sans contrainte (F1 et F2) de moyennes respectives 26.10g et 25.67g.

Enfin les fumures, dose élevée et recommandée appliquée dans l'écologie de toxicité ferreuse forment le dernier groupe homogène avec une moyenne inférieure au premier groupe (20g). Ainsi le poids des grains obtenu avec la dose élevée (20.89g) dans cette écologie n'est pas différent statistiquement mais supérieur à la moyenne obtenue avec la fumure recommandée (19.93g).

- **Le rendement paddy**

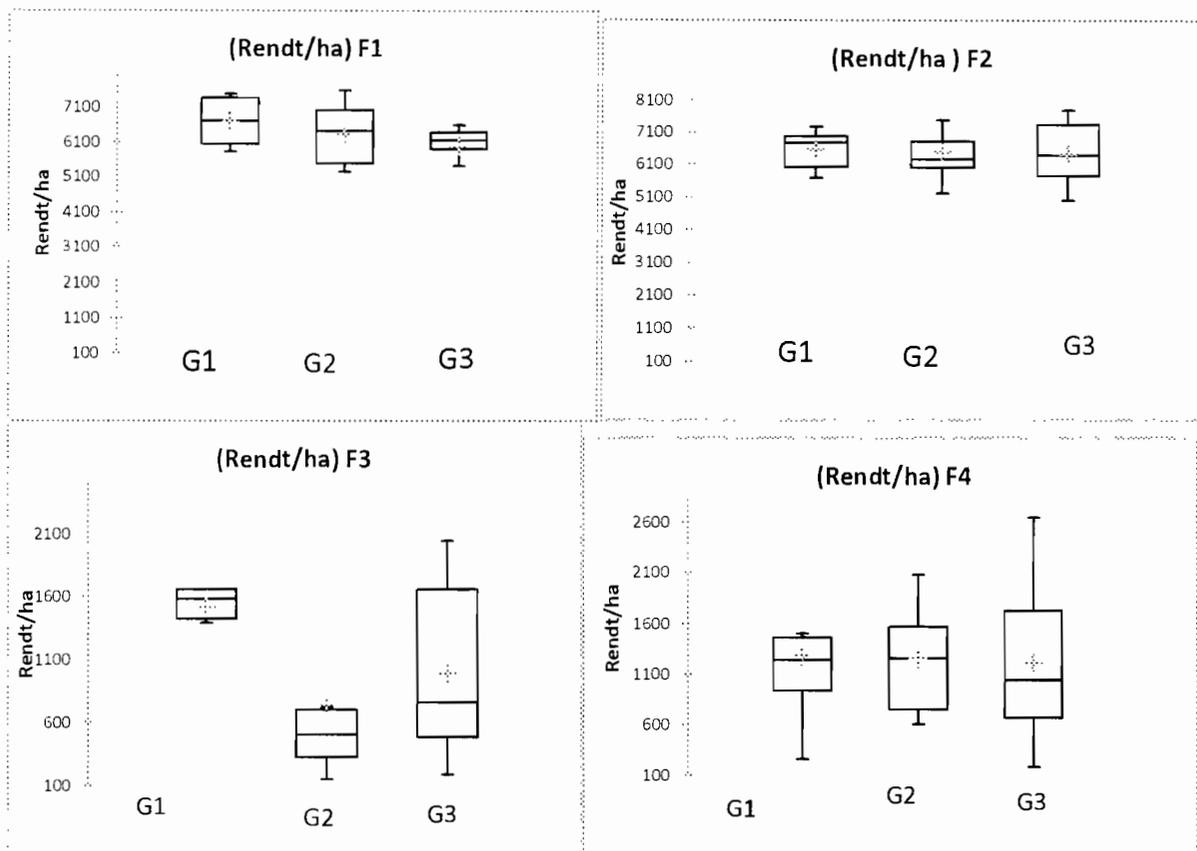
Les résultats de l'analyse de variance du rendement paddy ne montrent pas de différences significatives au seuil de 5% ( $P=0.2$ ) selon les variétés. Cependant, la plus forte moyenne ( $4002\text{Kg ha}^{-1}$ ) est obtenue avec les NERICA et cette moyenne est supérieure à la moyenne du groupe des sativas tolérantes ( $3690\text{Kg ha}^{-1}$ ). Les rendements moyens des sativas tolérantes et sensibles sont sensiblement égaux respectivement  $3690\text{Kg ha}^{-1}$  et  $3637\text{Kg ha}^{-1}$ .

L'analyse de variance révèle une différence hautement significative entre les fumures pour le rendement ( $P<.001$ ). Le test a permis d'obtenir deux groupes homogènes. Le premier groupe de moyenne supérieur contient les fumures F1 et F2 (forte dose et dose recommandée appliquée dans l'écologie sans toxicité) de moyennes respectives de  $6237\text{Kg ha}^{-1}$  et  $6455\text{Kg ha}^{-1}$ . Les fumures, F4 (forte dose) et F3 (dose recommandée) en condition de toxicité ferreuse forment le second groupe homogène. La moyenne obtenue avec la forte dose ( $1233\text{Kg ha}^{-1}$ ) est cependant plus élevée que celle obtenue avec la dose recommandée ( $1013\text{Kg ha}^{-1}$ ).

- **Variabilité du rendement paddy en fonction de la fumure.**

La figure III présente les graphes traduisant la variation du rendement paddy en fonction de la fumure. De l'analyse de ces graphes il ressort que le rendement des groupes de variétés dans le milieu sans toxicité avec la dose élevée ont variés entre 5 et 6 tonne/ha. Seuls les NERICA ont atteint la barre de 7 t/ha. Quant au deuxième traitement de fumure dans ce milieu, les rendements de l'ensemble évolue entre 5 et 6 tonnes/ha également. Toutefois, les sativas sensibles et les NERICA ont atteint 7 t/ha avec cette fumure. En écologie de toxicité, le rendements des variétés de type NERICA présente une variabilité de 1424 Kg et 1653 Kg avec la dose recommandé et meilleur que les autres traitements. Les NERICA sont suivi par les sativas sensibles dont la variation du rendement a été de 479 Kg et 1689 Kg. Les plus faibles variations ont été enregistrées avec les variétés tolérantes ayant des rendements de 321 Kg et 700Kg.

Avec la dose élevée dans ce milieu, les résultats ont été les suivantes : 660 Kg et 1720 pour les variétés sensibles, 742 Kg et 1567 Kg pour les variétés tolérantes, et 932Kg et 1498 Kg pour les variétés de type NERICA. Il n'existe pas une différence fondamentale entre les variétés pour cette fumure.



**Figure IV : Variabilité du rendement paddy**

*F1 : forte dose en écologie non toxique, F2 : dose recommandée en écologie non toxique*

*F3 : dose recommandée en écologie de toxicité, F4 : forte dose en écologie toxique*

*G1=NERICA ; G2 – Sativas tolérantes ; G3= Sativas sensibles*

## 2. Discussion

### 2.1 Effets de la fumure sur les paramètres agronomiques et physiologiques

Le traitement des données a montré que l'évolution des paramètres agromorphologiques des variétés en fonction de la fumure et de l'écologie n'est pas identique. Le tallage du groupe des NERICA a été supérieur aux autres à 40 comme à 60 JAR. Par ailleurs, la différence de tallage entre les trois groupes de variétés a été significative à 40 JAR. En effet les variétés interspécifiques ont enregistré un grand nombre de talles et conséquemment un grand nombre de panicule. Ce caractère serait hérité de leur parent asiatique (Bagayogo, 2011). La baisse du nombre de talle a été vite constatée dès les 40 premiers jours. L'excès de fer ferreux a été identifié (14400 mg/kg de sol) dans cette écologie et serait à l'origine de cette baisse.

En effet, Raunet (1991), a constaté à Madagascar que l'absorption de fer par la plante paraît être surtout importante pendant les 40 premiers jours après repiquage (phase de tallage) et plus spécialement durant les 20 premiers jours et réduit le tallage. Pour Audebert (2006b), le nombre de talle est affecté (environ 30 jours après repiquage) bien avant l'apparition des symptômes de la toxicité ferreuse.

Cependant, la fumure en quantité élevée a été d'un effet bénéfique sur le T40 et T60. L'apport suffisant d'azote entraîne un développement végétatif vigoureux, l'azote stimule la croissance et le développement de tous les tissus (Marchal, 1992). Ce résultat corrobore ceux trouvés par Sahrawat, (1996); Abu *et al.* (1989); Diatta *et al.* (1998), qui ont montré que l'apport de fertilisant peut atténuer la toxicité ferreuse en améliorant le tallage et le rendement du riz.

Comme le tallage, la taille des plantes a été réduite par la toxicité ferreuse. Les moyennes sont élevées dans le milieu non toxique par rapport au milieu affecté par la toxicité ferreuse. Ces résultats corroborent ceux de Abu *et al.* (1989) qui ont affirmés que la toxicité ferreuse pendant les stades végétatifs entraîne une réduction de la hauteur et une réduction de matière sèche.

Par ailleurs, la fumure a eu aussi un effet bénéfique sur la croissance du riz. Selon Tapsoba, (1997) la hauteur des plantes augmente corrélativement avec l'accroissement de la dose d'azote, cela traduirait l'effet bénéfique de la forte dose.

Quant au cycle semis maturité (CSM) des variétés, il a été plus long dans l'écologie affectée par la toxicité ferreuse. Les moyennes des CSM ont été respectivement de 131 et 137 jours pour la fumure élevée et la fumure recommandée en conditions de toxicité ferreuse contre 115

jours en milieu sans toxicité pour les deux fumures. Le cycle est alors plus long d'environ une semaine avec la dose recommandée qu'avec la dose élevée de fumure minérale contrairement à l'écologie sans toxicité où la fumure n'a eu aucun effet sur le cycle des variétés. L'excès de fer ferreux dans le sol ralenti le développement végétatif de la plante selon Marshal et al (1992) et sa maturité parvient alors tardivement. Par ailleurs, la fumure a permis de réduire le cycle des variétés d'une semaine dans l'écologie avec toxicité, ce qui est significatif. En outre la longueur du cycle des variétés dans cette écologie les a exposées aux ravageurs.

Les poids de mille grains (PMG) obtenus en écologie sans toxicité (26,10g et 25,67 g) avec les deux fumures forment sont supérieur au PMG obtenu avec les mêmes fumures en écologie de toxicité ferreuse soit 19, 93g et 20, 89g respectivement dose recommandée et forte dose. La variabilité observée entre les deux milieux et entre les fumures serait lié à l'excès du fer dans le sol. En effet, cette contrainte par sa manifestation réduit le pouvoir photosynthétique des plantes (Chérif *et al.*, 2007). Cela a pour conséquence de réduire le poids de matière sèche (Abu *et al.*, 1989). C'est observations sont conforme à ceux de Guiré (2011).

En outre, la fumure appliquée à la dose de 250 kg/ha de NPK et 200 Kg/ha d'urée (forte dose) a permis un redressement du poids des grains dans chaque milieu.

Le nombre de panicule par mètre carré ( $P/m^2$ ) des variétés interspécifiques a été plus élevé que celui des sativas. En effet, la grande production de talles et de panicules des interspécifiques est hérité du parent *O. sativa* selon Bagayogo (2011). Tout comme le nombre de talles, la toxicité ferreuse s'est manifestée aussi par une baisse du nombre de panicule. Ce nombre a été de 249 et 236 respectivement pour la forte dose et la dose recommandée en milieu sans toxicité et successivement de 118 et 91 pour les mêmes fumures en milieu affecter par la forte toxicité. Quand la toxicité ferreuse se produit en fin de phase végétative ou en début de phase reproductive, le nombre de panicule chute (Singh *et al.*, 1996). Les carences en P, K occasionné par un excès de fer ferreux dans la plante surviennent également pourtant le phosphore participe à la formation des protéines et améliore la précocité et la fertilité de la plante (Marchal, 1992). Cela pourrait expliquer pourquoi la forte dose (250 kg/ha de NPK et 200 Kg/ha d'urée) a donné le plus grand nombre de panicule en milieu de toxicité. Les auteurs (Sahrawat *et al.* 1996 ; Diatta *et al.* 1998) ont montré que l'application des nutriments réduit les symptômes de toxicité ferreuse, améliore la morphologie de la plante et augmente le rendement. Diatta *et al.* (2006) ont notifié que l'application de N, P, K et Zn peut minimiser significativement l'effet de la toxicité ferreuse sur la production de panicules et par conséquent sur le rendement du riz. Ces observations sont valables pour le rendement paddy dont une amélioration avec cette fumure dans le milieu toxique a été constatée.

En sus, les rendements moyens des variétés ne sont pas différents statistiquement. Toutefois, la plus forte moyenne obtenue avec les NERICA trouve sa raison dans le fait que les NERICA combinent les capacités d'adaptation du parent africain avec le potentiel de rendement du parent asiatique (FAO, 2004).

Malgré l'apport de NPK, les rendements restent tout de même très bas significativement par rapport au site sans toxicité ferreuse. En effet, ADRAO (2006) rapporte que dans un site de toxicité ferreuse, l'application d'un engrais supplémentaire est bénéfique à la production de grains mais pas suffisante pour corriger la contrainte.

## **2.2 Réactions des cultivars à la toxicité ferreuse et à la fumure**

L'augmentation de la fumure a été d'un effet bénéfique sur le tallage de toutes les variétés quel que soit l'écologie. En effet, dans le milieu sans toxicité, la variabilité du tallage des NERICA a été plus large avec la dose élevée que celle des autres variétés. Ce fait serait hérité de leur parent asiatique signalé ci-haut. Aussi, dans le milieu affecté par la toxicité ferreuse, la variabilité des NERICA est plus large traduisant leur bon tallage dans ce milieu avec la fumure. La boîte de dispersion des satives tolérantes est aussi plus haute que celle des satives sensibles. Leur tolérance pourrait être un atout. Toutefois, l'ensemble des variétés ont obtenu des boîtes de dispersion plus hautes avec la fumure élevée qu'avec la fumure recommandée. Le tallage est plus abondant avec les satives tolérantes traitées avec la fumure élevée. Cela justifie de plus que l'utilisation de cultivars tolérants avec une bonne fertilisation est bénéfique pour lutter contre l'excès de fer ferreux.

Le CSM des NERICA n'a pas varié en fonction de la fumure dans l'écologie sans contrainte et est identique au CSM des satives tolérantes qui a varié de 117 à 119 jours. Par contre, pour les satives sensibles les cycles vont de 109 jours à 120 jours. Ces valeurs sont confirmées par les fiches techniques des variétés fournies par l'INERA. En effet, les trois NERICA à savoir FKR 60N, FKR56N, FKR 62N ont des cycles respectifs de 115, 116, 118 Jours ; les satives sensibles dans l'ensemble ont cependant des cycles normaux de 90 jours à 125 jours selon les fiches techniques. En outre, l'ensemble des variétés a obtenu des cycles plus longs de 20 à 30 jours en conditions de toxicité qu'en condition de non toxicité. En effet, la présence permanente de la lame d'eau dans ces parcelles a amplifié la réduction de l'ion ferrique  $Fe^{3+}$  en favorisant une humidité permanente. Cette situation pourrait allonger le cycle des variétés. Nos résultats sont en accord avec ceux de Audebert (2006 a) qui indiquent que les étapes de floraison et de maturation peuvent être retardées d'environ 20-25 jours suite à un excès de fer

dans la rizière. Cependant, la fumure appliquée à la dose de 250 kg/ha de NPK et 200 Kg/ha d'urée, a réduit d'avantage le CSM d'une semaine en général. En effet, l'excès de fer ferreux occasionne un déficit en P et K alors que selon Marshal *et al* (1992), une carence en phosphore peut provoquer un retard de la maturité ou une stérilité. L'excédent de NPK apporterait du P en surplus couvrant ce déficit. Par ailleurs, la variabilité du cycle des NERICA montre que ces variétés ont un cycle plus court dans cette écologie que les sativas. En effet, les NERICA sont des interspécifiques et Sié *et al* (2010) ont trouvé que les interspécifiques présentent de meilleures capacités d'adaptation à diverses conditions de terre et présentent un cycle plus courts que les intra spécifiques.

Quant au rendement paddy, dans l'ensemble les variétés ont eu de bon rendement dans le milieu sans contrainte. Les variétés ont des rendements qui oscillent entre 5 à 7 tonnes par hectare. Preuve que chaque variété a donné de bon rendement dans ce milieu. En effet, selon FAO (2004), les NERICA combinent les capacités d'adaptation des *Glaberrima* et le potentiel de rendement du parent asiatique. Ce qui confirme nos observations selon lesquelles les trois groupes de variétés à savoir « Les NERICA », les « Sativas tolérantes » et les « Sativas sensibles à la toxicité ferreuse » ont obtenu des rendements identiques dans l'écologie sans toxicité ferreuse avec les deux doses de fumures minérale. En outre, dans les conditions de toxicité ferreuse, la boîte de dispersion du rendement des interspécifiques (NERICA) est plus concentré et supérieure aux autres. Ainsi, l'ensemble des NERICA a obtenu un rendement moyen significativement bon et supérieur aux autres groupes. En effet, la tolérance certaine des NERICA est une caractéristique héritée des *Glaberrima*. Ce qui est conforme aux résultats des travaux de Futakuchi et Sié (2009) qui ont montré que *O. GLABERRIMA Steud.*, présente un riche réservoir de gènes de résistance à plusieurs contraintes y compris la toxicité ferreuse pour améliorer le rendement. Toutefois, la toxicité ferreuse a eu pour conséquence une baisse significative du rendement des variétés selon l'analyse de variance ( $P < 0,001$ ). Cette baisse a varié entre 75 et 88% dans l'ensemble. Ces résultats corroborent ceux trouvés par Audebert et Fofana (2008) selon lesquels la toxicité ferreuse pouvait réduire le rendement de 10 à 100 % avec une moyenne de 45 % ; ainsi, la perte de rendement dépend des cultivars de riz, de l'intensité de la toxicité et de la gestion des cultures (maîtrise de l'eau et fertilisation). En effet le coefficient de variation du rendement paddy est élevé. En plus du mauvais drainage de nos parcelles, cette situation pourrait s'expliquer par le fait que le taux de fer n'est pas identique d'une parcelle à l'autre du champ donc d'une répétition à l'autre (ADRAO 2006), l'étude étant en milieu réelle. Le coefficient de variation du rendement (22 %) assez élevé pourrait traduire aussi la variabilité de résistance et d'adaptation des variétés

face à la toxicité ferreuse. Ces observations sont valables pour le nombre de panicule et le tallage. Par ailleurs, l'inondation favorise la réduction du fer  $Fe^{3+}$  en  $Fe^{2+}$  aggravant ainsi la sévérité de la toxicité ferreuse.

Tous les caractères agromorphologiques mesurés ont montré une baisse significative entre le site toxique et le site non-toxicité ferreuse. Cependant, le nombre de talles, de panicule ainsi que la hauteur des plants ont été meilleurs avec les NERICA.

## Conclusion et recommandations

Cette étude avait pour but d'évaluer le gain de rendement de nouvelles variétés de riz tolérantes et sensibles dans les conditions de toxicité ferreuse en utilisant deux doses de fertilisants minéraux.

Les meilleures performances agronomiques ont été obtenues avec la dose élevée (de 250kg/ha de NPK et l'urée 46% N à la dose de 200kg/ha) de fertilisants minéraux par rapport à la dose recommandée (de 200kg/ha de NPK et l'urée 46% N à la dose de 150kg/ha) surtout dans les conditions de toxicité ferreuse.

Par contre dans le milieu sans contrainte de toxicité, le tallage, la hauteur ainsi que le nombre de panicule et le cycle des variétés n'ont pas variés significativement suite à l'augmentation de la fumure.

Dans le milieu sans contrainte, les meilleures performances sont obtenues avec les NERICA. Les deux autres groupes ont obtenu des caractéristiques presque identiques à part la durée des cycles qui a été plus longue avec les variétés tolérantes.

En outre, les caractères agromorphologiques des NERICA sont meilleurs que ceux des sativas en condition de toxicité ferreuse. Les performances agronomiques des sativas tolérantes sont similaires à celles des NERICA mais elles sont toutefois meilleures que celles des sativas sensibles dans les conditions de toxicité ferreuse. Toutefois, le rendement pour certaines des sativas sensibles, ont été dans la plupart des cas très appréciables (Plus de 2tonnes/ha pour IR64).

En général, toutes les variétés ont eu de bonne réponse à la fumure minérale surtout en condition de toxicité ferreuse. Mais, notons que le rendement maximal obtenu avec les sativas tolérantes et sensibles n'a pas été différent lorsque la dose de fumure minérale a été augmentée. Dans le but d'accroître les rendements dans les bas-fonds affectés par la toxicité ferreuse, l'utilisation des variétés tolérantes combiné avec une dose élevée de fumure minérale pourrait y contribué efficacement.

En somme, cette étude permet de confirmé qu'une augmentation de la dose d'engrais minéraux permet de réduire de manière appréciable la baisse de rendement occasionnée par la toxicité ferreuse.

Malgré l'apport de NPK, les rendements reste tout de même très bas significativement par rapport au site sans toxicité ferreuse.

L'utilisation d'une dose élevée de fumure minérale a des implications économiques, des études futures devraient se pencher sur la quantité de fumure minérale optimale et rentable économiquement à utiliser. Plusieurs études ont montré l'importance de l'utilisation du Zinc et du Silicium dans la lutte contre la toxicité ferreuse, des études futures devraient permettre d'évaluer l'efficacité de l'usage combiné du NPK avec le Zn et Si.

Il serait aussi judicieux que l'étude soit reconduite en associant les données sur la manifestation de la toxicité ferreuse sur les feuilles dans le but de confirmer les résultats que nous avons obtenus.

## Bibliographies

- Abifarin AO. 1988.** Grain yield loss due to iron toxicity. WARDA Technical Newsletter 8 (1): 1-4.
- Abifarin AO. 1989.** Progress in Breeding Rice for Tolerance to Iron toxicity. WARDA Annual Report: 34-39.
- ADRAO .2006,** Toxicité ferreuse dans les systèmes à base riz d’Afrique de l’ouest, Centre du riz pour l’Afrique Cotonou, Bénin. 196 pp ,
- ADRAO, 1995.** Formation en production rizicole : manuel du formateur, Sayce publishing, Royaume Uni. 305 p.
- ADRAO, (2002).** Toxicité ferreuse dans les bas-fonds : la rouille du riz. Rapport annuel 2001–2002. Points saillants des activités.
- Abu, M. B., Tucker, E. S., Harding, S. S. & Sesay, J. S., (1989).**Cultural practices to reduce iron toxicity in rice. Int. Rice Res. Newsl. 14-19.
- Audebert A 2006a:** La toxicité ferreuse - les conditions environnementales et les symptômes *Cirad-CA UPR Rizicultures, TA 70/01, 34398 Montpellier cedex 5, France*  
*[Alain.audebert@cirad.fr](mailto:Alain.audebert@cirad.fr)*
- Audebert A , (2006b).** Répartition du fer comme mécanisme de tolérance a la toxicité ferreuse en riziculture de bas-fond *Cirad-CA UPR Rizicultures, Montpellier, France In :* ADRAO, 2006. Toxicité ferreuse dans les systèmes à base riz d’Afrique de l’Ouest. pp35-47.
- Audebert A & M. Fofana 2008,** “rice yield gap due to iron toxicity in west Africa” *J. Agronomy & Crop Science (2009) ISSN 0931-2250 11p*
- Audebert, A & Sahrawat, K. L., (2000).**Mechanisms for iron toxicity tolerance in lowland rice. *J. Plant Nutr.* 23, pp1877-1885.
- Angladette A., 1974.** Le riz par André Angladette. Troisième édition « Que sais-je » Le point des connaissances actuelles. *No 305. Troisième édition, 126 p.*
- Angladette A.,1966** Le riz, G-P.MaisonneuveetLarose,Paris930p
- Arraudeau A., 1998.** Le riz irrigué édition Maisonneuve et la rose: le technicien d'agriculture tropicale 321 p.
- Arraudeau A. & Vergara B. S., 1992.** Manuel illustré de riziculture pluviale 284 p.
- Bado B. V. & Ouattara S., 2002.** Mise au point d'une nouvelle formule d'engrais minéral NPK pour la riziculture au Burkina Faso, 22 p.

- Bagayogo A., 2011.** Evaluation et Sélection variétale Participatives de nouvelles variétés tolérantes à la toxicité ferreuse et aux principaux ravageurs (Insectes et maladies) sur les périmètres rizicoles de Niéna Dionkélé (Bas-fond) et de la Vallée du Kou (irriguée). Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 65 p
- Bagayogo A 2015,** Criblage agro-morpho-physiologique des variétés de riz en condition de toxicité ferreuse sous différentes doses de silice en riziculture irriguée au Burkina Faso, mémoire de fin d'étude, Master professionnel, Université de Ouagadougou. 72p
- Bandaogo A. A, 2010.** Effet de différentes sources d'azote sur la réponse de quatre variétés de riz à l'azote à la Vallée du Kou au Burkina Faso. Mémoire de DEA, Institut du développement rural. 63p
- Bongoua D. A. J., 2009.** Implication des communautés bactériennes Ferri-réductrices et des paramètres environnementaux dans le fonctionnement et la qualité des sols de rizières (Thaïlande et côte d'ivoire).Thèse en cotutelle de grade de Docteur en science du sol option: géo microbiologie. Université HENRI POICARE, NANCY/France.251p.
- Crichton R. et Pierre J. L., 2001.** Old iron, young copper: from mars to gestion. In: Irrigated rice in Sahel: prospects for sustainable development, Miezán K. M., Wopereis M. C. S., Dingkuhn, Dekers J. ET Randolph T. F. (Eds) ADRAO. Bouaké, Côte d'Ivoire, pp 275-287.
- Daniel P. Kabore, 2007.** Efficience technique de la production rizicole sur les périmètres aménagés du Burkina Faso. Centre d'Analyses des Politiques Economique et Sociales (CAPES) 30p
- Dakouo, D. 2010.** Situation et stratégie de la production rizicole au Burkina Faso.
- Diatta S., Audebert A., Sahrawat K.L & Traoré S., (1998).** Lutte contre la toxicité ferreuse dans les bas-fonds. Acquis de l'ADRAO dans la zone des savanes en Afrique de l'Ouest. Aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali, 21-25/10/96, Sikasso, Mali, CIRAD-CA. pp 363-371.
- Diatta, S., & Sahrawat, L. K., (2006).** La toxicité ferreuse du riz en Afrique de l'Ouest. Criblage de variétés tolérantes et rôle de N, P, K et Zn. In : ADRAO, 2006. *Toxicité ferreuse dans les systèmes à base riz d'Afrique de l'Ouest.* Cotonou, Benin. pp82-89.
- Dembele Y., Ouattara S. et Keita A., 2001.** Application des indicateurs. «Approvisionnement relatif» et « productivité de l'eau comme indicateurs des performances des petits périmètres irrigués au Burkina Faso .Irrigation and Drainage (CHD).3009-321.

- Defoer T., Wopereis M.C.S., Diack S., Idinoba P. et l'équipe du PSSDRI / AKF, 2008.** Curriculum d'apprentissage participatif et recherche action (APRA) pour la gestion intégrée de la culture de riz de bas-fonds (GIR) à Madagascar : Manuel du facilitateur. ADRAO, Cotonou, Bénin et AKF, Genève, Suisse.
- Defoer T. ([T.Defoer@cgiar.org](mailto:T.Defoer@cgiar.org)) 2004,** Apprentissage participatif et recherche-action (APRA) pour la gestion intégrée des cultures (GIC); Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO), 01 BP 2551, Bouaké, Côte d'Ivoire. FOIRE – ATELIER DE L'INNOVATION PAYSANNE SEGOU.
- Dobelman J. P., 1976.** Riziculture Pratique 2. *Riz* pluvial. Presses universitaires de France, 123 pages.
- EUREKA, 2005.** Partenariat ADRAO-INERA, Plus de dix ans au service du développement rizicole. Trimestriel du CNRST, Ouagadougou, Burkina Faso. 74 p.
- FAO 2014,** suivi du marché de riz de la FAO. Volume XII édition n°II, juillet 2014
- FAO 2004, Année internationale du riz, le riz, c'est la vie  
[www.rice2004.org](http://www.rice2004.org)
- FAO, l'IFA et l'IMPHOS, 2003 :** « Les engrais et leurs applications », Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole, Quatrième édition ; ISBN 92-5-104414-7 ; 77 P  
<http://www.idea.portea.fr/index.php?id=26>.
- Futakuchi K., SIE M., Wopereis et M.C.S., 2011.** Rice breeding strategy at AfricaRice, in: *S. Yanagihara (Ed.). Next Challenges in Rice Development for Africa: Workshop for New Collaboration between JIRCAS and AfricaRice.* pp 1-14.
- Gue E ,2001 :** Influence du régime hydrique sur la nutrition minérale et les composantes de rendement du riz irrigué à la Vallée du Kou, dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural à l'Institut du Développement Rural/Université Polytechnique de Bobo Dioulasso. Burkina Faso
- Guinko (S), 1984.** Végétation de la Haute – Volta. Thèse de doctorat d'Etat. Université de Bordeaux III. 318 pages.
- Guiré A, 2011,** Criblage variétal du riz pour la tolérance à la toxicité ferreuse. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural à Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso
- Gheysens S., 2009.** Impact du silicium sur l'expression de la toxicité ferreuse chez le riz Cultivé (*Oryza sativa* L.). Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Bio-ingénieur. Université Catholique de LOUVAIN. Faculté d'ingénierie biologique, Agronomique et environnementale. 100p.

**Guisso R., Ilboudo F. 2012.** Analyse des incitations et pénalisations pour le riz au Burkina Faso. Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale. Série notes techniques, SPAAA, FAO, Rome. Journal. D'HOORE 1954. 44p.

**Hodomihou N. R., 2009.** Fonctionnement hydrologique et gestion intégrée de la toxicité ferreuse d'un bas-fond rizicole de niaouli dans la commune d'Allada. Mémoire de DESS/AGRN, option : Aménagement Rural et Gestion des écosystèmes aquatiques. Faculté des sciences agronomiques (fsa). Université d'Abomey-Calavi (uac). 129p.

**Hodomihou N. R., Agbossou K. E., Amadji L.G. et Nacrao B H. 2011.** Effets de différentes doses de phosphate naturel sur la réduction de la toxicité ferreuse des sols du bas-fond de Niaouli au sud Benin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 5(6): 2278-2290, December 2011. ISSN 1991-8631. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi / Bénin. 13p

**INERA 2011,** Manuel de formation en riziculture, 14p

**IRRI, 2008.** Nutritional recommendadations for rice. Botanical name: *Oryza sativa* L. French: Riz. Spanish: Arroz; Italian: Riso; German: Reis. 84p.

**J Rodenburg , Johnson DE, 2009.** Gestion des adventices dans les systèmes à base-riz en Afrique/Weed management in rice-basedcroppingsystems in Africa. *Advances in Agronomy*103, 149-218

**Kabore K.B, Segda Z., Ouedraogo M., Traore H., Lompo F. et Dakouo D., 2011** politique rizicole du Burkina Faso et perspectives, conférence sur « 30 ans de partenariat Mali-fondation Syngenta pour une agriculture durable »5-7 OCTOBRE 2011; BAMAKO, MALI

**Karamage F. X., 2001.** Etude de l'influence de la fertilisation phosphatée sur les attaques de cécidomyie africaine, ses parasitoïdes et les foreurs de tige en riziculture irrigué. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural à l'Institut de Développement rural Université polytechnique de Bobo Dioulasso pp30 - 80.

**Konate K. A., 2012.** Criblage de variétés du riz africain *O. Glaberrima* pour la résistance à la toxicité ferreuse sur le périmètre rizicole de la Vallée du Kou. Mémoire de fin d'étude. Master en protection et amélioration des plantes (mp-pap) université de Ouagadougou (Burkina Faso). 60 p.

**Kone B. A., 2010.** Evaluation de la tolérance de variétés de riz à la toxicité Ferreuse et aux ravageurs (insectes et maladies) sur les périmètres rizicoles de Banfora (Bas-fond) et de la vallée du Kou (irrigué) et tests de sélection variétale participative. Mémoire d'Ingénieur

du Développement Rural à l'Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso. 72 p.

**Lacharme M., 2001.** La fertilisation minérale du riz. Fascicule 06, Mémento technique de riziculture. 19 p.

**MAHRH. 2010.** Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture (SNDR). Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Ouagadougou : s.n. 2010. p. 27.

**MASA., Janvier 2013.** Résultats définitifs de la campagne agricole et de la situation alimentaire et nutritionnelle 2012 /2013. 49p.

**MAHRH, 2009.** Evolution des superficies, des rendements et des productions du riz au Burkina Faso (1984 à 2009), Ministère de l'Agriculture, Ouagadougou.

**Marchal D, Sagna M-A, 1992.** FERTILISATION.

CERDI « Centre d'Edition, de Reproduction et de Diffusion de Documents pédagogiques ». Sénégal 92 pages

**M. Cherif, M. Zouzou, M. Fofana et A. Audebert,2007** Effet de la toxicité du fer sur l'activité photosynthétique du riz ; Agronomie Africaine 19 (2) : 161 - 172 (2007)

SAHRAWAT, K L., MULBAH, C. K., DIATTA, S., DELAUNE, R. D., PATRICK JR.,

**Nebié B., 1995.** Etude des facteurs agro-pédologiques déterminant la production du riz irrigué dans la vallée du Kou au Burkina Faso. Thèse. Université nationale de Côte d'Ivoire. 191 P.

**Ouattara S. A., 1995.** Contribution à l'étude des bactéries réductrices du fer et du sulfate dans les sols de rizières de la Vallée du kou (Burkina Faso).Thèse de doctorat : Mention Sciences (Biologie Cellulaire - Microbiologie). Université de Provence Aix-Marseille 1, Paris.149p.

**Ouattara L.A, 2012** Effet des rotations et des fumures à base du Burkina Phosphate sur la Croissance et le rendement du riz pluvial strict dans la zone soudanienne du Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur, Institut du Développement Rural. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. Burkina Faso.42p

**Ouedraogo M., Ouedraogo S. et Kabore M. 2011.** Analyse de la compétitivité de la filière riz au Burkina Faso. Programme de Renforcement et de Recherche sur la Sécurité Alimentaire en Afrique de l'Ouest (PRESAO).

MICHIGAN State University. 41p

**Prade K. , J.C.G. Ottow, V. Jacq, 1986.** Excessive iron uptake (iron toxicity) by wetland rice (*Oryza Sativa L.*) on an acid sulphate soil in the Casamance/Senegal University Hohenheim, Stuttgart, F.R.G, ORSTOM, Dakar, Senegal. Publication 44, selected papers of the Dakar Symposium on Acid Sulphate Soils. H Dost (ed). Wageningen: The Netherlands. pp 150-162.

**Prade K., Ottow J. C. G., Jacq V. A., Malouf G. et Loyer J. Y., 1990.** Relations entre les des sols de rizières inondées et la toxicité ferreuse en basse Casamance (Sénégal) Cahier O.R.S.T.O.M., série Pédologie, XXV(4).ADRAO /DAKAR, Sénégal. 49p.

**Reichard P.** 1993. From RNA to DNA, why so many ribonucléotide reductases? Science : 260, 1773-7.

**Raunet, M. (1991).** Structure et fonctionnement d'un bas-fond rizicultivé sur les hautes terres de Madagascar. CIRAD, Montpellier, France. 35p.

**Singh, B. N. & Jones, M. P., (1996).** The role of tolerant genotypes and plant nutrients in the management of iron toxicity in lowland rice. J. Agric. Sci. 126, 143-149.

**Sawadogo W.M, 2008,** « Criblage de variétés et lignées isogéniques pour la résistance à *xanthomonas Oryzae* pv. *Oryzae* et étude du développement de l'épidémie du flétrissement bactérien du riz sur le périmètre irrigué de Bagré (Burkina Faso). Université Polytechnique de Bobo /Institut du Développement Rural, 97 pages

**Segalen P.1964,** Le fer dans les sols, O. R. S. T. O. M –PARIS, 156p

**Z. Segda, M. Sié, A. Mando, M.S. Haefele, M.C.S. Wopereis, M. Kebbeh, K. Miezán, M.P. Sedogo S. Guinko, 2005** Performances d'une gestion intégrée des nutriments pour la production de riz irrigué dans la plaine de Bagré au Burkina Faso ,13p

**Sahrawat, K L., Mulbah, C. K., Diatta, S., Delaune,R. D., Patrick J.R., Singh, B. N. & Jones, M. P., (1996).** The role of tolerant genotypes and plant nutrients in the management of iron toxicity in lowland rice. J.Agric. Sci. 126, 143-149.

**Segda Z., 2006.** Gestion de la fertilité du sol pour une production améliorée et durable du riz (*Oriza sativa L.*) au Burkina Faso. Cas de la plaine irrigué de Bagré. Thèse présenté à l'UFR/ SVT. Thèse doctorat UO. BF. 202p + publications.

**Sié M., Saito K., Koné B., Chabi A., Dakouo D., ANNAN-AFFUL E., MONH S., Abo E., et Dramé K. N., 2010.** Coping with iron toxicity in the lowlands of sub Saharan Africa: Experience from Africa Rice Center. Second Africa Rice Congress, Bamako, Mali, 22–26 March 2010: Innovation and Partnerships to Realize Africa's Rice Potential. 8p.

**Sié M., Kaboré B., Dembelé Y., Sanou I., Youm O. et Bado L., 2003.** Variétés intra et interspécifiques pour la riziculture à maîtrise partielle de l'eau. ADRAO, INERA/Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). 15p.

**Tapsoba M., 1997.** Contribution à l'étude des besoins nutritifs du riz pluvial dans la zone Ouest du Burkina Faso ; Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural à l'Institut Développement Rural, Université polytechnique de Bobo Dioulasso pp 1- 70.

**Traoré S 2000,** « Mise au point d'un paquet technologique de protection Intégrée contre les insectes foreurs de tige, la pyriculariose et les nématodes associés au riz irrigué ». Diplôme d'ingénieur du développement rural à l'Institut du Développement Rural, 82 pages

**Vizier, J. F. (1990).** Etude du fonctionnement des milieux saturés d'eau – Une démarche physico-chimique. Cah. ORSTOM, sér. Pédol. Vol. XXV, n° 4, 1989 : 431-442p.

**Vizier Jean-François 1988,** La toxicité ferreuse dans les sols de rizières importance du problème causes et mécanismes mis en jeu conséquences pour l'utilisation des sols. Antenne ORSTOM auprès du CEA DB-SRA Cadarache (France) 13p

**Yaméogo P.L., 2012 :** Placement profond de l'urée et amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'azote en riziculture irriguée : cas du périmètre rizicole de Karfiguéla au Burkina Faso. Mémoire de diplôme d'études approfondies (DEA), Institut du Développement/Rural Université Polytechnique de Bobo ; 72p.

**Yaméogo P.L., 2009.** Contribution des granules d'urée dans l'amélioration des rendements. Cas de la Vallée du Kou au Burkina Faso. Mémoire d'Ingénieur du Développement Rural/Université polytechnique de Bobo-Dioulasso. 40 p.

## Annexes

### Annexe 1 : programme des opérations culturales

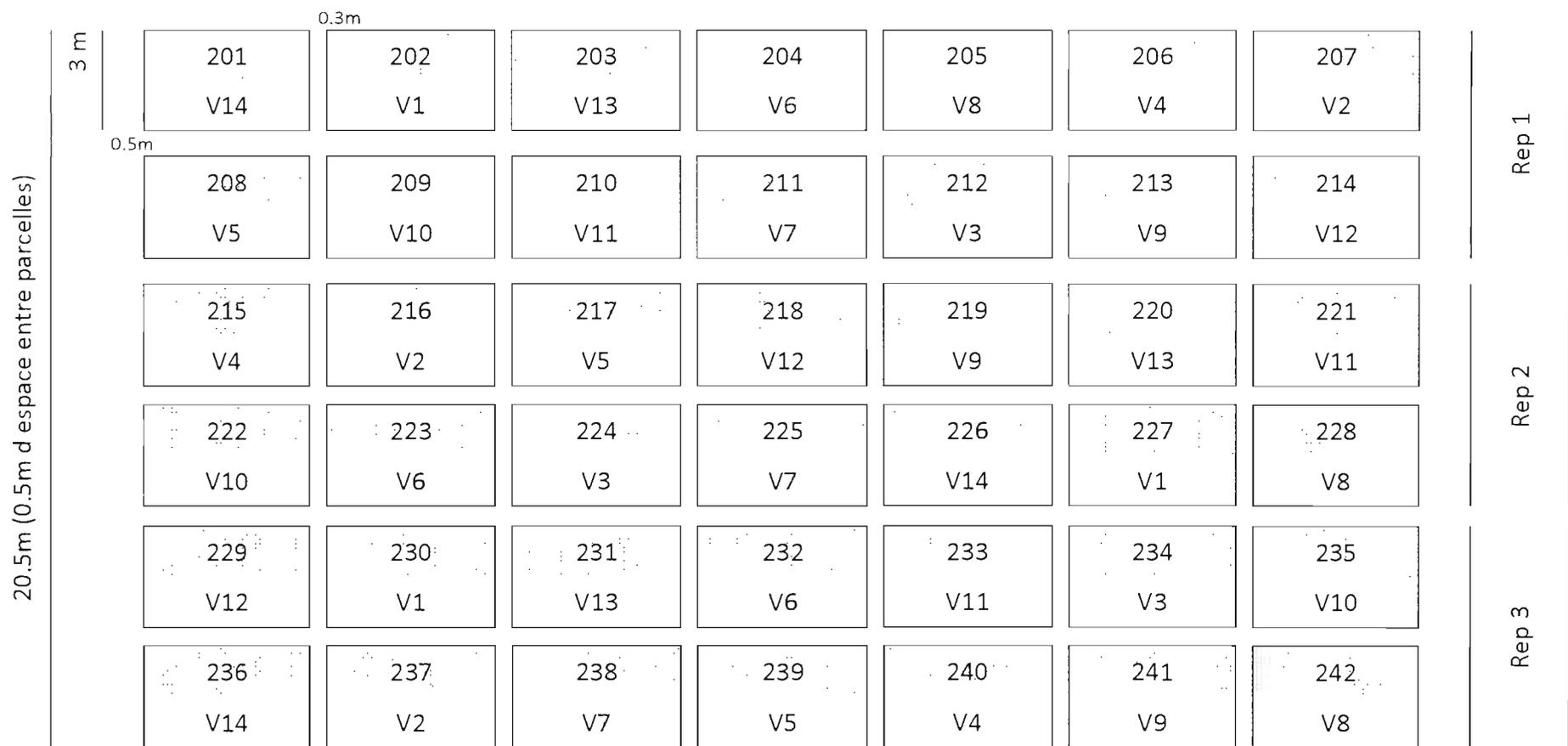
Opérations	Dates
Mise en place de la pépinière	21 au 22 juillet
Planage et repiquage	10 au 11 Aout
Premier désherbage	02 septembre
Première fertilisation minérale	21 au 22 juillet
Deuxième fertilisation minérale	25 Aout
Deuxième désherbage	12 au 14 octobre
Troisième fertilisation minérale	13 et 15 octobre

Annexe 2 : Dispositif expérimental

**T1 : Champ non-toxique en fer et fertilisation à une dose élevée (rendement cible = rendement potentiel)**

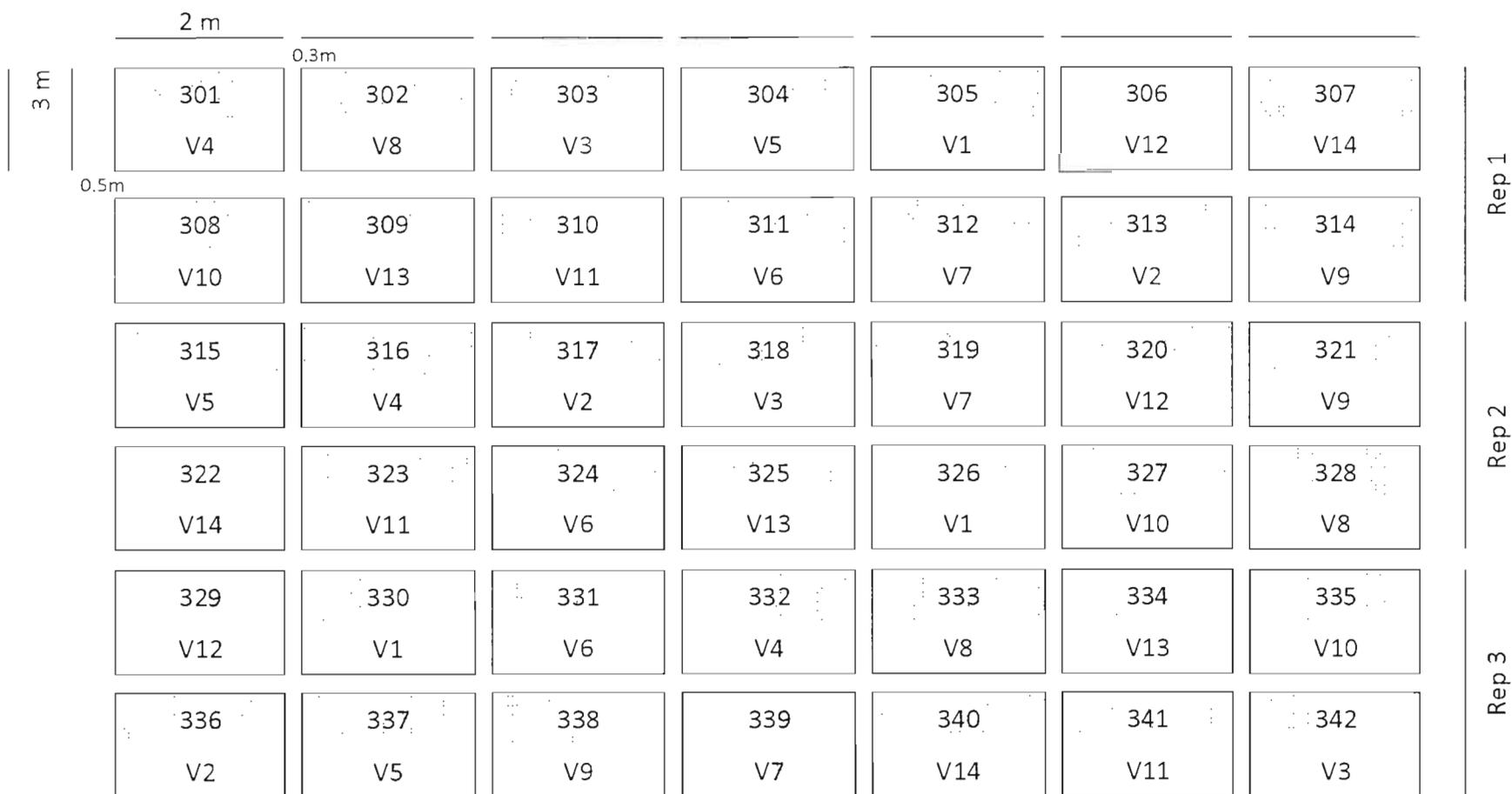
15.8m (0.3m d'espace entre parcelles)

20.5m (0.5m d'espace entre parcelles)	3 m	101 V5	102 V4	103 V2	104 V14	105 V1	106 V10	107 V6	0.5m	Rep 1
		108 V3	109 V8	110 V11	111 V13	112 V7	113 V12	114 V9		
		115 V12	116 V6	117 V11	118 V4	119 V2	120 V14	121 V10		
		122 V1	123 V7	124 V13	125 V3	126 V5	127 V8	128 V9		
		129 V1	130 V11	131 V3	132 V8	133 V7	134 V12	135 V13		
		136 V14	137 V4	138 V2	139 V6	140 V9	141 V5	142 V10		
1m	<b>T2 : Champ non-toxique en fer et fertilisation à une dose sous-optimale (localement recommandée )</b>									
	2 m									



**T3: Champ toxique en fer et fertilisation à une dose recommandée**

15.8m (0.3m d espace entre parcelles)



T4 : Champ toxique en fer et fertilisation à une dose élevée

15.8m (0.3m d espace entre parcelles)

2 m						
0.3m						
401 V5	402 V4	403 V2	404 V14	405 V1	406 V10	407 V6
0.5m						
408 V3	409 V8	410 V11	411 V13	412 V7	413 V12	414 V9
415 V12	416 V6	417 V11	418 V4	419 V2	420 V14	421 V10
422 V1	423 V7	424 V13	425 V3	426 V5	427 V8	428 V9
429 V1	430 V11	431 V3	432 V8	433 V7	434 V12	435 V13
436 V14	437 V4	438 V2	439 V6	440 V9	441 V5	442 V10

Annexe 3 : Résultat d'analyse de sol réalisé sur la parcelle expérimental affecter par la toxicité ferreuse

Profondeur	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total	Total
	Al mg/kg	Fe mg/kg	Ca mg/kg	K mg/kg	Na mg/kg	P mg/kg	Mg mg/kg	Mn mg/kg
0-20cm	37300	14400	577	1787	294	168	567	105
20-40cm	42450	15675	480	1765	251	125	615	100
Bases échangeables								
	Ca méq/100gr	K méq/100gr	Mg méq/100gr	Na méq/100gr	CEC méq/100gr			
0-20cm	0,808	0,093	0,24	0,015	7,9			
20-40cm	0,785	0,052	0,227	0,027	7,2			
Acidité échangeable								
	H méq/100gr	Al méq/100gr						
0-20cm	0,88	0,36						
20-40cm	0,84	0,48						
	pH H2O	pHKcl	% N total	%C total	C/N			
0-20cm	4,7	3,6	0,1	1,3	13			
20-40	4,7	3,65	0,055	0,82	14,9			

Source: Laboratoire d'analyse de sol de l'Université Libre de Bruxelles (BELGIQUE)