

BURKINA FASO
UNITE-PROGRES-JUSTICE

**MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET
SUPERIEUR**

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



Mémoire de fin de cycle
En vue de l'obtention du
Diplôme de Master en Production Végétale

**THEME : EFFET DE LA SALINITÉ SUR L'EFFICACITÉ D'UTILISATION DE
L'AZOTE PAR LE RIZ**

Présenté par :
Nongawendé Ella ZONGO

Maître de stage : **Dr Boubié Vincent BADO**

Directeur de mémoire : **Dr Bernard BACYE**

Table des matières

Dédicace.....	iv
Remerciements.....	v
Sigles et abréviations	vii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures	x
Résumé.....	xi
Abstract	xii
Introduction générale	1
1 ^{ère} partie : Synthèse bibliographique	4
Chapitre I : Généralités sur le riz	3
I.1. Différents stades du cycle du riz.....	3
I.1.1. Phase végétative.....	3
I.1.2. Phase reproductive.....	4
I.1.3. Phase de maturation du grain.....	4
I.2. Ecologie du riz.....	5
I.2.1. Eau	5
I.2.2. Température	5
I.2.3. Lumière.....	6
I.2.4. Vent.....	6
I.2.5. Sol.....	6
I.3. Eléments minéraux majeurs N, P et K dans la nutrition du riz.....	6
I.3.1. Nutrition azotée du riz	6
I.3.2. Nutrition en phosphore du riz	7
I.3.3. Nutrition en potassium du riz	8
I.4. Importance du zinc pour le riz.....	8

Chapitre II : Riziculture au Sénégal	9
II.1. Différents types de riziculture pratiqués au Sénégal	9
II.2. Principaux avantages liés au développement de la riziculture au Sénégal.....	9
II.3. Principales contraintes au développement de la riziculture au Sénégal	9
II.4. Salinité	10
II.4.1. Différents types de salinisation et la compréhension des mécanismes	10
II.4.2. Origine de la salinité des sols dans le Delta du fleuve Sénégal (dfs).....	11
II.4.3. Effet de la salinité sur le cycle du riz	11
II.4.4. Différents moyens de lutte contre la salinité	12
II.4.5. Effet du gypse ou Sulfate de calcium (CaSO ₄) sur la salinité	12
II.4.6. Effet du zinc (Zn) sur la salinité.....	13
2 ^{ème} partie : Conduite de l'étude	11
Chapitre III : Matériels et Méthodes	14
III.1. Matériels.....	14
III.1.1. Description du site d'expérimentation	14
III.1.2. Matériel végétal.....	14
III.1.3. Fertilisants minéraux.....	15
III.2. Méthodes d'étude.....	15
III.2.1. Dispositif expérimental	15
III.2.2. Conduite de l'étude	16
III.2.3. Paramètres mesurés.....	18
III.2.3.1. Caractérisation du sol.....	18
III.2.3.2. Echantillonnage et analyse des feuilles et des grains.....	19
III.2.4. Détermination de la variété tolérante	20
III.2.5. Détermination de l'efficacité agronomique de l'azote (EAN).....	20
III.2.6. Détermination de la dose économiquement rentable (DER)	20
III.2.7. Analyses des données.....	21

Chapitre IV : Résultats et discussion	22
IV.1. Résultats.....	22
IV.1.1. Evolution de la salinité dans les parcelles au cours de l'expérience	22
IV.1.2. Effet des traitements sur le rendement et le nombre de talles/m ²	22
IV.1.2.1. Analyse de variance du rendement et du nombre de talles/m ²	22
IV.1.2.2. Effet du type de fertilisant sur le rendement paddy des variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé	23
IV.1.2.3. Effet des types de fertilisant sur les pertes de rendement de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé	25
IV.1.3. Variété tolérante à la salinité	25
IV.1.4. Effet des modes de fertilisation sur l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) et la rentabilité économique de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé	28
IV.1.4.1. Analyse de variance de l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) et de la dose économiquement rentable (DER)	28
VI.1.4.2. Efficacité agronomique de l'azote	28
VI.1.4.3. Dose économiquement rentable.....	30
IV.2. Discussion.....	32
Conclusion, recommandations et perspectives	34
Références bibliographiques	35
Annexes.....	40

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

- la mémoire de mon très cher père, **ZONGO Cyprien** grâce à qui et pour qui j'ai suivi cette formation ;
- ma très chère mère **TARPAGA Anne** qui m'a toujours encouragée et accompagnée avec ses prières. Que Dieu t'accorde longue vie ;
- mes sœurs **Béatrice, Rolande, Rosine, Bertille** et frères **Hubert, Abraham, Patrice** ;
- mes beaux-frères **SOULAMA, TRAORE** et **YAMEOGO** ;
- tous mes neveux et nièces : **Grace, Yannick, Julia, Laura, Célia, Patrick** et **Jessica** ;
- toute la famille **IDR₃** de la promotion 2012-2013.

Remerciements

Ce mémoire a vu le jour grâce à plusieurs personnes et structures. Nous leur témoignons nos sincères reconnaissances. Nos remerciements s'adressent particulièrement à :

- **Dieu Tout-Puissant** pour nous avoir donné la vie et pour avoir veillé sur nous tout au long de notre séjour au Sénégal. Merci Seigneur !

- **Docteur Boubié Vincent BADO**, Chef du Centre du Riz pour l'Afrique et notre Maître de stage, pour nous avoir accueilli dans sa structure, pour le thème qu'il nous a proposé et pour avoir été pour nous une référence du travail bien fait ;

- **Docteur Bernard BACYÉ**, notre Directeur de stage, pour sa rigueur dans le travail et son aide ;

- **M. Valère MEL**, assistant de Dr Vincent BADO et notre encadreur, pour sa disponibilité et l'encadrement qu'il nous a apporté tout au long du stage ;

- **Madame BADO et sa famille**, en qui nous avons trouvé l'image d'une autre famille, pour tout ce qu'elles ont été pour nous pendant ces moments ardues, pour leur joie de vivre qu'elles ont su nous communiquer, leurs conseils et leur soutien jour et nuit, soyez bénies ;

- **Docteur Karim TRAORÉ et sa famille**, pour leur joie de vivre qu'ils ont su nous communiquer, leur aide, leur disponibilité et leurs conseils ;

- Techniciens du laboratoire et de terrain d'AfricaRice, **M. Djibril SAGNA, M. Maguette DIOUF, Mme Anna, M. TOP, Mme Khady DIALLO** ;

- **M. Abdoulaye SOW, M. Ghislain KANFANY** pour toute l'aide et les conseils ;

- **M. Mansour DIOP** et tout le personnel d'AfricaRice, pour leur accueil chaleureux et leur fraternité ;

- **Professeur Irénée SOMDA**, Directeur de l'Institut du Développement Rural (IDR), pour nous avoir aidé dans la recherche du stage et ses encouragements pendant le stage ;

- **Professeur Bismarck Hassan NACRO**, pour son soutien moral et ses conseils ;

- **Docteur Mamadou TRAORE**, Directeur Adjoint de l'IDR, pour ses encouragements et son aide ;

- **Docteur Dénis OUEDRAOGO**, Directeur des stages, à travers lui tous les enseignants permanents et vacataires ;

- l'Union Economique et Monétaire Ouest Africain (**UEMOA**), pour nous avoir accordé une bourse d'étude de fin de cycle à AfricaRice ;

Je tiens à exprimer ici mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Que Dieu vous bénisse !

Sigles et abréviations

ADRAO	Association de Développement du Riz en Afrique de l'Ouest
AfricaRice	Centre du riz pour l'Afrique
ANSD	Agence National de la Statistique et de la Démographie
ASS	Afrique Subsaharienne
CE	Conductivité Electrique
CEC	Capacité d'Echange Cationique
CGIAR	Groupe Consultatif pour les Recherches Agricoles Internationales
CIAT	Centre International de l'Agriculture Tropical
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le Développement
DAP	Di-Ammonium Phosphate
DER	Dose économiquement rentable
dfs	delta du fleuve Sénégal
dS / m	déci siemens par mètre
EAN	Efficacité Agronomique de l'Azote
FAO	Food and Agriculture Organization
GRiSP	Global Rice Science Partnership
INP	Institut national de pédologie
IP	Initiation Paniculaire
IRRI	International Rice Research Institute
ISRA	Institut sénégalaise de recherche agricole

ITA	Institut de technologie alimentaire
JAR	jour après repiquage
MOS	Matière Organique Sèche
NERICA	New Rice for Africa
PRESAO	Programme de Renforcement et de recherche sur la Sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest
SAED	Société National d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé
TSP	Triple super phosphate
UEMOA	Union Economique et Monétaire Ouest Africain
USDA	United States Department of Agriculture
vfd	vallée du fleuve Sénégal

Liste des tableaux

Tableau I : Prix des fertilisants (FCFA/ kg) au Sénégal en 2013.	21
Tableau II: Analyse statistique de la variance des différents paramètres étudiés.....	23
Tableau III : Rendements et nombre de talles/m ² en milieu non salé et en milieu salé, pertes de rendement et variation du taux de tallage de six variétés de riz à Ndiaye (saison humide 2013).	27
Tableau IV : Analyse statistique de la variance de l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) et de la dose économiquement rentable (DER), en milieu salé	28

Liste des figures

Figure 1: Grain de riz germé (AfricaRice, 2011).....	3
Figure 2 : Les phases de maturation du grain (AfricaRice, 2011)	5
Figure 3 : Comparaison de deux variétés cultivées dont Sahel 108 et IR31785 au stade tallage	11
Figure 4 : Effet du stress salin ($CE \geq 3dS/m$) sur une variété sensible (Sahel 108) durant le stade de croissance (30 jours après repiquage)	13
Figure 5 : Vue d'ensemble de l'essai à Ndiaye, (Saison humide, 2013)	16
Figure 6: Offsettage des parcelles (A) et Construction des diguettes (B).....	17
Figure 7 : Dissolution du sel dans un bassin d'eau pour irriguer.....	18
Figure 8 : Mesure de la conductivité électrique à l'aide d'un conductivimètre.....	19
Figure 9 : Effet des fertilisants (NPK, NPK+Zn et NPK+Gypse) sur l'évolution de la salinité du sol durant 80 jours après repiquage (Saison humide 2013)	22
Figure 10 : Evolution du rendement de six variétés, en fonction de trois types de fertilisant (NPK, NPK+Zinc, NPK+Gypse) en milieu salé à Ndiaye (Saison humide 2013).....	24
Figure 11 : Effet des types de fertilisation (NPK, NPK+Zinc, NPK+Gypse) sur les pertes de rendement de six variétés en milieu salé (saison humide 2013).	26
Figure 12 : Effet des modes de fertilisation sur l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé à Ndiaye (saison humide 2013).	29
Figure 13: Effet des modes de fertilisation sur la rentabilité économique de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé à Ndiaye (saison humide 2013)	31

Résumé

La salinité est l'une des causes majeures des pertes de rendement en riziculture irriguée au Sénégal. Elle rend inaccessible les éléments nutritifs aux plantes, surtout l'azote qui est l'élément le plus limitant pour le riz. Afin d'améliorer la productivité des périmètres rizicoles sénégalais, une expérimentation a été conduite à Ndiaye. Le dispositif expérimental était un essai factoriel implanté en milieu salé et en milieu non salé. La configuration des parcelles était faite selon un split-plot complètement randomisé avec 12 traitements principaux (fertilisants) et six traitements secondaires (variétés). Chaque traitement était répété trois fois. Les traitements principaux étaient des formules et doses variées d'engrais minéraux. T1, T2, T3 et T4 correspondaient respectivement à 0, 60, 120 et 150 Kg N/ha tandis que P et K étaient fixés respectivement à 26 et 50 Kg/ha. Pour les traitements T5, T6, T7 et T8 les mêmes formules de NPK étaient respectées qu'en T1, T2, T3 et T4 respectivement, avec addition de 10 kg de Zn /ha. Dans les traitements T9, T10, T11 et T12, le Zn était remplacé par 100 kg/ha de Gypse. Ces différentes doses et formulation d'engrais ont été testées sur six variétés de riz correspondant au facteur secondaire. La collecte des données a concerné le rendement paddy, le nombre de talles/m², l'efficacité agronomique de l'azote et la dose économiquement rentable, en milieu salé et non salé. De l'analyse des résultats, il ressort que la variété V3 (IR4630) se révèle être la variété la plus tolérante à la salinité avec 36,96 % de perte de rendement et +15,57 % de variation du taux de tallage. Elle donne également avec le fertilisant 150kg N/ha+gypse la perte de rendement la plus faible (3,5 %) parmi toutes les variétés. Le NPK et le NPK+Zn augmentent la conductivité électrique (CE) tandis que le NPK+gypse diminue la CE. L'augmentation de la dose de N entraîne une hausse du rendement paddy de 1,8 à 3,4 T/ha, l'efficacité agronomique de l'azote de 0,78 à 2,45 kg paddy/kg N additionnel, diminue les pertes de rendement paddy de 60,34 % à 3,5 % mais n'a aucun effet sur la rentabilité économique des fertilisants. L'étude révèle que l'addition du Zn et surtout du gypse aux doses croissantes de N augmente le rendement paddy des variétés, l'efficacité agronomique de l'azote, diminue les pertes de rendement paddy mais n'a pas d'effet sur la rentabilité économique des fertilisants. La dose 150kgN/ha est la dose économiquement rentable de la variété tolérante V3 (IR4630). L'étude montre aussi l'intérêt d'augmenter la dose de N et d'associer le gypse ou le Zn, en milieu salé, pour une meilleure productivité du riz et une durabilité de la riziculture à Ndiaye.

Mots clés : Salinité, riz, azote, zinc, gypse, rendement, efficacité agronomique de l'azote, dose économiquement rentable, Ndiaye, Sénégal.

Abstract

Salinity is one of the major causes of yield loss in irrigated rice production in Senegal. Salinity reduces the nutrients uptake to plants, namely nitrogen which is the most limited nutrient for rice. In order to improve the productivity of rice growth areas in Senegal, an experiment was conducted in Ndiaye. The experimental design consisted in a factorial trial in saline and non saline conditions. The plots configuration was made according to a completely randomized split plot with 12 main treatments (fertilizers) and 6 secondary treatments (varieties). Each treatment was repeated three times. The main treatments were various formula and doses of mineral fertilizers. T1, T2, T3, T4 corresponded respectively to 0, 60, 120, 150 kg N /ha while P and K were fixed on 26 and 50 kg /ha respectively. The same formula of NPK were respected for the treatments T5, T6, T7, T8 as T1, T2, T3, T4 respectively with an addition of 10 kg Zn /ha. Zn was replaced by 100 kg of gypsum in T9, T10, T11, and T12. These different doses and formulation of mineral fertilizer have been tested in six varieties. The data have concerned the yield of paddy, the number of tillers/m², nitrogen-use efficiency and economically optimum nitrogen rate. The variety V3 (IR4630) reveals to be the best saline tolerate variety with 36.96 % of yield loss and +15.57 % of tillage rate. V3 gave the lowest yield loss (3.5 %) among all the varieties with the dose 150 kgN/ha + gypsum. NPK and NPK+Zn increase the electrical conductivity (EC) while NPK+gypsum decreases it. The increase of N doses causes an increase of yield in paddy from 1.8 to 3.4 T/ha, nitrogen-use efficiency from 0.78 to 2.45 kg paddy/kg additional N, decreases the paddy yield losses from 60.34 % to 3.5 % but has no effect on profitability of fertilizers. 150 kg N/ha is the dose that gives the most economical profitability with V3 (IR4630). The study reveals that the addition of Zn and namely gypsum with the increasing N doses increases the yield in paddy of all the varieties, nitrogen-use efficiency, decreases the yield loss of paddy but has no effect on profitability of fertilizers. Moreover, the study shows the interest to increase the dose of N and associate Gypsum or Zn in saline conditions, for better productivity of rice and a sustainability of rice production in Ndiaye.

Key words: Salinity, rice, nitrogen, zinc, gypsum, yield, nitrogen-use efficiency, economically optimum nitrogen rate, Ndiaye, Senegal.

Introduction générale

Le riz est la deuxième plus importante céréale au monde, en termes de production, après le blé, avec une production annuelle en 2010 de 700 millions de tonnes de paddy soit 467 millions de tonnes en équivalent blanchi (FranceAgriMer, 2012). En 2011, la production mondiale de riz était de 723 millions de tonnes de paddy soit 482,3 millions de tonnes en riz blanchi. Cette augmentation est concentrée en Chine, en Inde et en Indonésie, qui totalisent près des 2/3 de la production mondiale. La prévision du département américain de l'agriculture (USDA) concernant la production mondiale du riz pour la campagne 2012-2013 fait état de 466,4 millions de tonnes de riz blanchi (FranceAgriMer, 2012).

En 2011, l'Afrique de l'Ouest a produit 11 939 492 tonnes de riz blanchi et 13 078 655 tonnes en 2012 (FAO, 2013). Les estimations de l'USDA montrent une baisse de la production du riz blanchi en Afrique de l'ouest pour la campagne 2012-2013 de 13 % par rapport à 2010-2011, et cela à cause de la faiblesse de la pluviométrie enregistrée (MÉNDEZ DEL VILLAR, 2012). Ce qui devrait correspondre à une baisse de 12 % de la production de riz au Burkina Faso et 27 % au Sénégal pendant cette même période.

La production du riz est l'une des grandes activités au Sénégal avec plus de 50 000 ha cultivés (SAED, 2007). Sur les trois dernières années agricoles, la production n'a cessé d'augmenter de 312 000 tonnes en 2009-2010, 336 000 en 2010-2011 à près de 370 000 tonnes en 2011-2012. Le riz local représente de nos jours 20 à 30 % de la consommation locale. Malgré tous ces efforts, la production reste faible et le Sénégal reste l'un des plus gros importateurs de riz en Afrique de l'ouest. Ainsi, la contribution du Sénégal aux besoins nationaux en riz au cours de ces dernières années varie entre 50 % et 80 %, ce qui correspond en termes de volume à un million de tonnes (FAO, 2013). Selon l'ANSD (2013), le Sénégal a importé en 2011 au total 804 934 tonnes de riz pour une valeur de 175,664 milliards FCFA. En 2012, le pays a importé 918 897 tonnes pour un coût global de 207,605 milliards FCFA.

L'une des raisons majeures de la faible productivité des rizières du Sénégal, à l'instar de la plupart des pays sahéliens, est la salinité des sols. En effet, la salinité affecte près de 25 % des terres irriguées dans les zones arides et semi-arides. Elle est actuellement une menace à la durabilité de l'agriculture irriguée dans le delta du fleuve Sénégal (ADRAO, 2007). Dans ces sols où la riziculture est pratiquée, la concentration élevée du sel induit une faible accessibilité



à plusieurs nutriments aux plants de riz, notamment l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K) et le zinc (Zn); et une dégradation des propriétés physiques du sol (ABROL *et al.*, 1988). L'azote est connu comme le nutriment le plus limitant de la productivité rizicole en riziculture irriguée et représente la «source de vie » pour le riz (SHRESTHA et MASKEY, 2005). Vue sa grande importance dans la production du riz, il est nécessaire d'étudier l'impact de la salinité sur sa disponibilité pour le riz, pour une durabilité de la riziculture. C'est dans cette perspective que le thème «Etude de l'effet de la salinité sur l'efficacité d'utilisation de l'azote par le riz dans le delta du fleuve Sénégal» a été formulé. L'objectif global de cette étude est d'évaluer l'impact des différentes doses d'azote sur les paramètres agronomiques du riz en condition salée.

Il s'agit plus spécifiquement de: (1) déterminer la (ou les) variété (s) la (les) plus tolérante (s) à la salinité ; (2) trouver la meilleure formule d'engrais azoté pour la (ou les) variété (s) la plus tolérante à la salinité ; (3) déterminer le niveau de perte de rendement par rapport au milieu non salé de la (ou les) variété (s) tolérante; (4) déterminer l'efficacité agronomique de l'azote et la dose économiquement rentable pour la (ou les) variété (s) tolérante (s).

La démarche a suivi les hypothèses suivantes : l'apport des doses croissantes de l'azote permet d'accroître le rendement et les composantes de rendement en milieu salé et diminue les pertes de rendement dues à la salinité, l'utilisation du gypse ou du zinc combinée au NPK améliore le rendement et les composantes de rendement et diminue leur perte en condition salée.

Le présent mémoire qui rend compte des travaux menés est structuré en quatre chapitres. Le premier présente une revue bibliographique sur le riz. Dans le second et troisième chapitres, sont respectivement présentés la zone d'étude, le matériel et la méthodologie utilisés. Le quatrième chapitre traite des résultats obtenus et de leur analyse.

1^{ère} partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le riz

I.1. Différents stades du cycle du riz

Le cycle du riz peut être divisé en trois phases (LACHARME, 2001) :

- la phase végétative : de la germination à l'initiation paniculaire ;
- la phase reproductive : de l'initiation paniculaire à la floraison ;
- la phase de maturation : de la floraison à la maturité complète.

I.1.1. Phase végétative

Elle dure du semis jusqu'à la phase de l'initiation paniculaire. Chez certaines variétés, elle est affectée par la longueur du jour (ou photopériode) et par la température. Au cours de la phase végétative, la plante traverse les stades suivants :

-**Stade Germination** (stade 0). Il correspond à la période comprise entre la germination et l'émergence de la première feuille ;

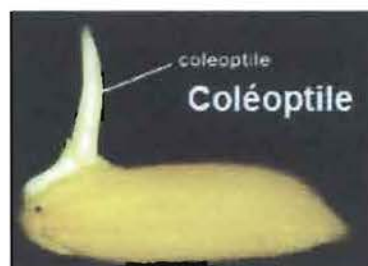


Figure 1: Grain de riz germé (AfricaRice, 2011)

-**Stade Plantule** (stade 1). Il correspond à la période comprise entre l'émergence de la première feuille et l'apparition de la 5^{ième} feuille. Durant ce stade, la plantule produit des racines. C'est un stade critique au cours duquel la plante est très fragile.

-**Stade Tallage** (stade 2). Il correspond à la période comprise entre l'apparition de la 5^{ième} feuille et celle de la première talle. L'accroissement numérique des talles se poursuit jusqu'au

tallage maximum. On assiste ensuite à une dégénérescence de certaines talles et à une stabilisation du nombre de talles.

-Stade de l'élongation du chaume (stade 3). Il correspond à une élongation des entre- nœuds au cours de la période allant du tallage actif à l'initiation paniculaire-montaison.

I.1.2. Phase reproductive

C'est la phase au cours de laquelle les organes de reproduction sont formés. Elle a une durée constante d'environ 30 à 35 jours quelle que soit la saison et la variété. Les organes de reproduction sont formés et le nombre de grains est déterminé. La phase reproductive est cependant très sensible aux conditions défavorables (températures basses, salinité, manque d'eau, etc.). Durant cette phase la plante traverse les stades suivants :

-Stade de l'initiation paniculaire (IP) (stade 4). Il marque le début de la phase reproductive. Le déclenchement de l'IP est fonction des variétés et de l'environnement climatique (photopériode et température, particulièrement) ;

-Stade de la montaison (stade 5). C'est le stade pendant lequel la panicule et les épillets se développent. Ce stade est caractérisé par un gonflement de la gaine foliaire due à une montée de la panicule à l'intérieur de la tige ;

-Stade d'épiaison-floraison (stade 6). L'épiaison commence par l'émergence de la panicule de la gaine de la feuille paniculaire. La floraison commence deux à trois jours après l'épiaison et le processus se poursuit progressivement jusqu'à la sortie complète de la panicule ;

I.1.3. Phase de maturation du grain

Le riz est très autogame à 95-98 % selon WEBSTER et GUNNEL (1992). Après la pollinisation, l'ovaire gonfle, le caryopse ou grain de riz se développe jusqu'à la maturité. Cette phase dure de 30 à 42 jours, selon les conditions de température et d'humidité du milieu (LACHARME, 2001). Durant cette phase de maturation la plante traverse les stades suivants :

-Stade grain laiteux (stade 7). Le contenu du caryopse (fraction amidon du grain) est d'abord aqueux, puis prend une consistance laiteuse. Les panicules sont toujours vertes et dressées ;

-Stade grain pâteux (stade 8). Le contenu du grain se transforme en pâte dure. La couleur des grains évolue progressivement du vert vers la couleur caractéristique de la variété (jaune paille, noire, etc.). Les panicules sont retombantes et la couleur des graines vire vers le jaune ;

-**Stade maturité** (stade 9). Le grain est mûr lorsque le caryopse a atteint sa taille définitive. Il devient dur et prend la couleur définitive de la variété (jaune paille, etc.). Le stade maturité est atteint lorsque 85 à 90 % des grains de la panicule sont mûrs. Le grain est dénommé «paddy» lorsqu'il n'est pas décortiqué.

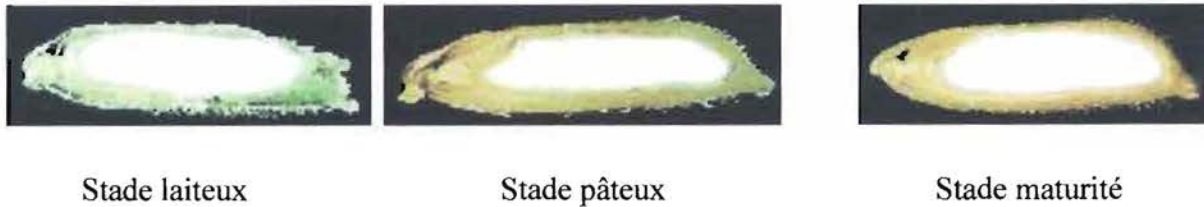


Figure 2 : Les phases de maturation du grain (AfricaRice, 2011)

I.2. Ecologie du riz

I.2.1. Eau

La lame d'eau présente sur le sol permet principalement l'alimentation des plants de riz et la lutte contre les adventices. Elle est également utilisée contre la salinité par solubilisation du sel accumulé à la surface du sol. Aussi, la présence d'une lame d'eau à la surface du sol permet d'éviter une salinisation à nouveau des sols par remontée capillaire (CEUPPENS et WOPEREIS, 1999). L'excès d'eau réduit le tallage et l'efficacité d'utilisation de l'azote. Aussi, tout excès d'eau correspond à un apport de sels supplémentaire, surtout si la culture ne bénéficie pas de systèmes de drainage (LACHARME, 2001). Cependant, l'absence d'une lame d'eau favorise le développement des adventices, entraîne la stérilité en phase reproductive et une remontée capillaire du sel à la surface du sol. Un drainage tardif retarde la maturation et la récolte (ADRAO et SAED, 2001).

I.2.2. Température

La température ambiante se transmet au sol sous forme de flux de chaleur causant une forte évapotranspiration qui conduit à un mouvement ascendant de l'eau de nappe très salée, se traduisant par une accumulation de sels au niveau de la zone racinaire (HAZAN, 1998). Ces sols salins sont caractérisés par la présence de croûtes de sel blanc à la surface du sol.

I.2.3. Lumière

Le riz est une plante exigeante en lumière et son cycle végétatif est influencé par le photopériodisme plus ou moins selon la variété. Pour un cycle de 120 à 130 jours, la somme de radiation est de 1000 à 1200 heures d'ensoleillement (ANONYME, 2002). C'est une plante de jours courts (KIMA, 1993). Selon GRIST (1975) cité par KIMA (1993), le nombre de talles augmente avec l'intensité et la quantité de la lumière. L'IP est retardée ou supprimée pendant les durées de jours longs (KIMA, 1993).

I.2.4. Vent

L'effet du vent sur le riz dépend de sa violence et du stade de développement de celui-ci. Au stade repiquage, les vents forts peuvent entraîner l'arrachage des plants, la verse pendant la montaison et l'égrenage à la maturité chez les variétés sensibles. Le vent assèche la surface du sol et favorise ainsi la salinisation par remontée capillaire et/ou par concentration du sel après évaporation de l'eau de surface (ADRAO, 2007).

I.2.5. Sol

Le riz est une plante rustique, peu exigeant quant à la nature du sol, pourvu qu'il soit suffisamment approvisionné en eau. Les sols livrés à la riziculture irriguée se transforment sous l'action de la submersion, du drainage et du travail de l'homme (CARON et GRANES, 1993).

I.3. Eléments minéraux majeurs N, P et K dans la nutrition du riz

I.3.1. Nutrition azotée du riz

L'azote (N) est sans doute l'élément fertilisant le plus limitant en riziculture, bien qu'étant l'élément le plus abondant de l'atmosphère terrestre (78 %). Il intègre le sol en petite quantité à travers les pluies et la fixation biologique. Le N est l'élément nutritif dont le riz a le plus besoin en grande quantité pour un bon rendement car c'est une composante fondamentale de plusieurs molécules organiques, acides nucléiques et protéines (LEA et MIFLIN, 2011). Le déficit en cet élément conduit à des pertes énormes de rendement (VINOD et HEUER, 2012). Le N est important dans le bon déroulement de la photosynthèse, de la fécondation et de la maturation. DOBERMANN et FAIRHURST (2000) ont remarqué que le N est un constituant essentiel des amino-acides, des acides nucléiques et de la chlorophylle. Il est responsable de la croissance rapide et de l'augmentation de la taille des feuilles, du nombre d'épillets/ panicule,

du remplissage des épillets et de la quantité élevée en protéine des grains. Le N est impliqué dans le maintien de l'équilibre cation-anion et dans l'osmo-régulation. L'épandage de N en fumure de fond à la fin de la mise en boue, au moment du tallage et environ 3-5 jours avant l'épiaison permet une croissance active des jeunes panicules. Le N absorbé à l'initiation florale aide à maintenir les feuilles vertes après l'épiaison et contribue par là à une photosynthèse active pour la production de grains. L'efficacité maximum de N serait environ 32 kg de grains par kg d'azote apporté sous forme d'engrais. Le N utilisable par les plantes est prélevé sous forme de nitrate (NO_3^-) dans les sols aérés et sous forme d'ammonium (NH_4^+) en milieu anaérobie (HUANG *et al.*, 2008). Une déficience azotée chez le riz donne des symptômes facilement détectables en donnant des plantes chétives, un jaunissement uniforme des plantes (ADRAO et SAED, 2001), réduit le nombre de talles, le nombre de grains/panicule, la taille des feuilles et la hauteur des plantes. Mais l'excès de N entraîne une croissance excessive des plants qui aboutit à la verse, inhibe le développement racinaire, retarde la floraison et la sénescence (BERNIER *et al.*, 1993) augmente la sensibilité du riz aux maladies cryptogamiques, notamment la pyriculariose et la verse. Son apport est primordial aux stades tallage et d'initiation paniculaire (IP). Pour la fertilisation azotée, l'urée est la plus indiquée. La dose d'urée recommandée dans le delta du fleuve Sénégal (dfs) est de 200 kg/ha d'urée soient 120 kg N/ha (ADRAO et SAED, 2001).

Une bonne gestion de N est susceptible de limiter les pertes. Cette gestion concerne les bonnes pratiques culturales, le respect des dates d'application (au début tallage, à l'IP et à la montaison), le respect du mode d'application optimal et le fractionnement de l'azote en trois apports (ADRAO et SAED, 2001).

I.3.2. Nutrition en phosphore du riz

L'effet du phosphore (P) n'est pas visible comme celui de l'azote. Cependant, il est important dans la synthèse de sucres, l'induction florale, la maturation et pour une bonne qualité des grains de riz. Il est essentiel dans la floraison et la fécondation (GERALD et SCHAUB, 2011). Le P permet une meilleure croissance racinaire, favorise le tallage et la fécondation et raccourcit la maturation. Il favorise la reprise après un stress. La déficience en P se manifeste par une coloration vert-foncé des feuilles et une réduction du tallage. La dose recommandée dans la vallée du fleuve Sénégal (vfs) est 58 kg de TSP soit 26 kg P/ha (ADRAO et SAED, 2001). Le P est en général appliqué comme fumure de fond au moment du semis. L'application fractionnée n'est pas rentable (FAO, 2003).

I.3.3. Nutrition en potassium du riz

Le potassium (K) est le deuxième constituant structural des plantes après le calcium. Il favorise la croissance et le développement des plantes en favorisant le tallage et en accroissant la taille et le poids des grains. Il joue un rôle déterminant dans la synthèse des protéines au même titre que l'azote. Le K est utile pour une bonne croissance et une résistance aux maladies. Il joue un rôle fondamental dans la synthèse de sucres et dans la qualité gustative des grains du riz (GERALD et SCHAUB, 2011) et stabilise le pH. Il accroît la réponse de la plante au phosphore. Un apport optimal de K donne une meilleure résistance des plantes aux vents, au froid, à la sécheresse et aux coups de soleil. Il joue également un rôle osmo-régulateur indispensable pour le maintien du statut de l'eau dans la cellule. Il intervient dans la réduction de la transpiration car l'ouverture des stomates est conditionnée par une concentration élevée en K^+ dans les cellules de garde. Le K a un rôle prépondérant dans la fixation du CO_2 . Une teneur en K élevée induit une baisse de Mg, qui aboutit à la réduction de la photosynthèse. Une insuffisance en K dans l'alimentation du riz peut provoquer la rouille du riz (HELLALI, 2002) et un faible poids des grains car il favorise la synthèse, la transformation et le transport des éléments assimilables vers les grains. La dose recommandée dans le delta du fleuve Sénégal (dfs) est 83,5 kg de KCl soient 50 kg K/ha (ADRAO et SAED, 2001).

I.4. Importance du zinc pour le riz.

Le zinc (Zn) est l'un des micro-éléments nécessaires à la croissance du riz. L'apport du Zn améliore la croissance et la nutrition du riz. Il est impliqué dans le métabolisme de l'azote (AfricaRice, 2013). Au stade tallage, il augmente la matière sèche de 5,5 à 14,2 %. Il augmente le rendement en agissant sur le nombre de grains, de grains pleins et le poids de 100 grains (LUJIU *et al.*, 2008). Le zinc est essentiel à plusieurs processus biochimiques dans le plant de riz, tels que les synthèses du cytochrome et des nucléotides, le métabolisme de l'auxine, la production de chlorophylle, l'activation des enzymes et la conservation de l'intégrité des membranes (IRRI, 2000 cité par AVSAR *et al.*, 2001). Après le N et le P, la déficience en Zn est devenue le plus important problème nutritionnel qui limite les rendements en grains de la riziculture irriguée. Des études faites par IRRI (2000) ont montré que des déficiences en Zn entraînent une baisse ou un arrêt complet du tallage, réduit le temps de maturité des grains et augmente la stérilité des épillets (AVSAR *et al.*, 2001)

Chapitre II : Riziculture au Sénégal

II.1. Différents types de riziculture pratiqués au Sénégal

Il existe quatre (4) types de riziculture pratiqués au Sénégal : la riziculture pluviale ou de plateau, la riziculture irriguée, la riziculture de bas-fond et la riziculture de mangrove. La riziculture pluviale est pratiquée essentiellement dans la région Sud du pays et dans une moindre mesure dans la région Centre. La riziculture irriguée est essentiellement pratiquée dans la vallée du fleuve Sénégal. Dans les bas-fonds, la riziculture se pratique de manière encore traditionnelle, à une petite échelle le long des vallées inondables (FAO, 2011).

II.2. Principaux avantages liés au développement de la riziculture au Sénégal

La présence d'immenses étendues de terres rizicultivables encore inexploitées dans la vfs (44733 ha) et en Casamance ; une pluviométrie suffisante pour la riziculture pluviale en Casamance sont des atouts au développement de la riziculture au Sénégal (FAO, 2013). Les structures comme l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA), AfricaRice, l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA), l'Institut National de Pédologie (INP), travaillent à mettre en place des variétés de qualité correspondant aux besoins des producteurs et des consommateurs.

II.3. Principales contraintes au développement de la riziculture au Sénégal

Selon des sondages faits chez des producteurs de la vallée du fleuve Sénégal, les adventices et les oiseaux sont les deux grandes contraintes biotiques à la production du riz irrigué. La salinité, les températures extrêmes et la toxicité ferreuse sont les contraintes abiotiques les plus connues au Sénégal. Pour notre étude, nous nous intéressons à la salinité des sols rizicoles du delta du fleuve Sénégal.

II.4. Salinité

La salinité est provoquée par une concentration excessive de sels solubles dans le sol en quantité suffisante pour affecter ses aptitudes agronomiques (augmentation de la pression osmotique provoquant un stress hydrique de la plante). La salinité se mesure par la conductivité électrique (CE) en dS/m ou en mS/cm (LACHARME, 2001). Les plantes peuvent absorber l'eau et les éléments nutritifs jusqu'à une salinité maximale de 3 dS/m qui devient le seuil critique. La salinité varie d'un point à l'autre dans le profil du sol (CARRIER, 2003).

1dS/m = 640 mg/L de sel (LACHARME, 2001).

II.4.1. Différents types de salinisation et la compréhension des mécanismes

On définit en général deux types de salinisation : la salinisation primaire et la salinisation secondaire.

Salinisation primaire. Elle résulte de la présence initiale de sels dans le sol ou dans la nappe phréatique. Ce phénomène est très manifeste dans le dfs où la nappe phréatique est en général salée et peu profonde. Les apports d'eau importants au riz peuvent élever le niveau de la nappe phréatique et l'amener près de la surface du sol. Le problème se manifeste entre deux cultures de riz. Lorsque le sol est asséché, il se crée alors un flux d'eau chargée en sels vers la surface du sol à travers des remontées capillaires. Après évaporation de l'eau en surface, les sels se concentrent à la surface du sol. Plus la nappe phréatique est chargée en sels, plus le phénomène est important et rapide. Dans des sols argileux comme ceux de la basse vallée du fleuve, on considère que ce phénomène de capillarité peut aller jusqu'à plus de 1 m de profondeur. Si la nappe saline est à moins de 1 m de profondeur, les sols se saliniseront. Si la nappe phréatique salée affleure à la surface du sol, le processus de salinisation sera extrêmement rapide et impossible à éviter (LACHARME, 2001).

Salinisation secondaire. Elle résulte des apports de l'eau d'irrigation. Une culture de riz consomme sur la durée d'un cycle environ 2 m d'eau ou 20.000 m³/ha. Même si l'eau peut avoir une faible teneur en sels et donc être considérée comme bonne pour l'irrigation, étant donné les besoins en eau des cultures, les apports de sels à la parcelle sont loin d'être négligeables. Par exemple, 2 m d'eau d'irrigation apportent 1 T de sel par campagne si l'eau provient directement du fleuve et 2,7 T si l'eau provient d'un bras du fleuve (LACHARME, 2001).

II.4.2. Origine de la salinité des sols dans le Delta du fleuve Sénégal (dfs)

Le dfs couvre environ 370 000 ha dont 145 000 ha en Mauritanie et 225 000 ha au Sénégal. Il est affecté par le sel dans sa presque totalité (VAN DER VELDEN et MUTSAARS, 1973). Le dépôt de sel dans les sols du dfs est dû à une submersion de ces terres par l'eau de l'océan Atlantique, il y a des milliers d'années. Le sel a pénétré dans les différentes couches du sol et donné une nappe phréatique dont la salinité dépasse parfois celle de l'eau de mer (supérieure à 20 dS/m). Une remontée capillaire se crée sous l'effet de l'air chaud et devient alors une grande menace pour l'agriculture (ADRAO, 1997). La salinisation a aussi une origine anthropique, due souvent à un équipement de drainage inadéquat (CEUPPENS et WOPEREIS, 1999). La pratique intensive de l'irrigation sans drainage, amène une augmentation de la concentration en sel des sols. A côté des zones affectées par le sel, il y a des zones peu ou pas salées. Les ions Na^+ , Ca^+ , Mg^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont les plus fréquents dans les sols salés. Parmi ceux-ci, le Na^+ et le Cl^- sont les mieux représentés dans les sols du dfs (VAN DER VELDEN et MUTSAARS, 1973).

II.4.3. Effet de la salinité sur le cycle du riz

L'effet de la salinité sur la croissance du riz dépend du stade de développement auquel apparaît la salinité. Le riz est très tolérant à la salinité pendant la levée, peu sensible aux stades tallage et maturation mais très sensible au semis et au stade reproductif (LAFITTE *et al.*, 2004). A la phase floraison, la salinité cause une réduction de la photosynthèse, ainsi le nombre d'épillets vides augmente, par conséquent le nombre de grains pleins/panicule diminue (MUNNS et TERNAAT, 1986). Au stade reproductif, la salinité diminue le nombre de grains pleins, de talles fertiles (figure 3) et le poids des grains (ASCH *et al.*, 2000). Les phases critiques sont la phase plantule, l'initiation paniculaire, la montaison et l'épiaison (ADRAO et SAED, 2001). Cependant, l'IP reste le stade le plus sensible à la salinité (ASCH *et al.*, 2000).



Figure 3 : Comparaison de deux variétés cultivées dont Sahel 108 et IR31785 au stade tallage

II.4.4. Différents moyens de lutte contre la salinité

Il existe plusieurs procédures pour améliorer les sols salés.

1) La correction peut être faite en utilisant des **agents de fixation d'ions** toxiques Na^+ et Cl^- , tels que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), la calcite (CaCO_3), le chlorure de calcium (CaCl_2) et la matière organique (le fumier, les engrais verts, les amendements organiques et les déchets urbains) (MOKOI et VERPLANCKE, 2010).

2) Le **drainage superficiel** peut être utilisé contre la salinité pendant les premières années de culture pour évacuer le sel accumulé à la surface du sol en le solubilisant. Mais, après ces années, le drainage devient inutile car la salinité aurait baissé considérablement. Cependant, la présence d'une lame d'eau sur le sol permet d'éviter une salinisation à nouveau des sols par remontée capillaire (CEUPPENS et WOPEREIS, 1999). La double culture par an du riz permet un dessalement rapide des sols par rapport à la monoculture (CEUPPENS *et al.*, 1997). Selon VAN DER VELDEN et MUTSAARS (1973), le seul moyen de récupérer les sols salés du delta pour la culture consiste à les drainer.

3) **Éviter les apports d'eau excessifs** : trouver un équilibre entre les besoins de la culture et les apports en eau. Tout apport supplémentaire d'eau correspondra à un apport supplémentaire de sels, surtout si la culture ne bénéficie pas de systèmes de drainage (LACHARME, 2001).

4) La **méthode pépinière-repiquage** : la mise en place de pépinières dans des sites indemnes de sel permettra de sauvegarder les jeunes plants de riz, pendant les phases de germination/levée. Lors du repiquage, la tolérance des plants à la salinité est plus importante et la parcelle peut ensuite être maintenue en eau, ce qui limitera les problèmes de concentration de sel (LACHARME, 2001).

5) L'**utilisation des variétés tolérantes à la salinité** : les problèmes de salinité peuvent être atténué par l'utilisation de variétés tolérantes, notamment, la variété **Sahel 201** (LACHARME, 2001).

II.4.5. Effet du gypse ou Sulfate de calcium (CaSO_4) sur la salinité

Le gypse est un amendement calcaire, sous-produit des phosphates, broyé (inférieur ou égal à 40 microns) et contient entre 5 et 10 % d'impuretés, surtout du P_2O_5 . Il a une action de remplacement du sodium (Na^+) fixé au complexe absorbant par le calcium (Ca^{2+}) qu'il contient. La structure du sol se trouve améliorée car l'ion Ca^{2+} est plus hydraté que l'ion Na^+ . Aussi, le Cl^- est lessivé et remplacé par le SO_4^{2-} . Le gypse diminue considérablement la

percolation en créant des zones de colmatage. Le dessalement, corollaire de la percolation, est amélioré. L'apport du gypse est peu nécessaire en double culture (VAN DER VELDEN, 1973). Pour une seule culture par an, 4 à 5 T/ha de gypse est recommandable pour accélérer le dessalement et éviter le resalement pendant la période sèche. Avec le gypse, on observe un lessivage des ions Na et Cl en faveur des ions bivalents Ca^{2+} , Mg^{2+} et SO_4^{2-} . Le gypse se dissout au fur et à mesure des besoins en Ca^{2+} par le riz (VAN DER VELDEN, 1973).

II.4.6. Effet du zinc (Zn) sur la salinité

L'application du Zn en conditions salées accélère la croissance des plants du riz (figure 4 B). L'effet du Zn est plus prononcé sur les variétés tolérantes (augmentation du nombre de talles, de la hauteur des plants, du poids de la matière sèche et du poids de la matière fraîche, la concentration en chlorophylle) comparativement aux variétés sensibles (IQBAL et ASLAM, 1999). La sévérité de la salinité est réduite lorsqu'on associe du zinc ou du gypse au NPK (BADO et MEL, 2014).



A: 120N-26P-50K

B: 120N-26P-50K +
Zinc (10 kg/ha)

C: 120N-26P-50K +
Gypsum (100 kg/ha)

Figure 4 : Effet du stress salin ($\text{CE} \geq 3\text{dS/m}$) sur une variété sensible (Sahel 108) durant le stade de croissance (30 jours après repiquage)

2^{ème} partie : Conduite de l'étude

Chapitre III : Matériels et Méthodes

III.1. Matériels

III.1.1. Description du site d'expérimentation

L'essai a été conduit à AfricaRice, station régionale du sahel (située à Ndiaye à 35 km de St Louis), sur la ferme expérimentale de Ndiaye pendant la saison hivernale 2013, au Sénégal. Ndiaye (16°11' Nord et 16°15' Ouest) est situé à 40 km de l'embouchure du fleuve Sénégal dans le delta du fleuve Sénégal. Le site se trouve sur la rive d'un défluent du fleuve Sénégal dénommé Lampsar, une position morphologique typique des périmètres rizicoles dans le delta. La nappe d'eau salée est affleurante pendant la campagne hivernale.

Le sol est de type vertisols eutrique Gleysols selon la WRB et *hollaldé* en dénomination Pulaar au Sénégal. Ces sols salés contiennent 50 à 75 % d'argile et sont favorables à la riziculture. Ils supportent la submersion et sont difficiles à travailler aussi bien en sec qu'à l'état humide (MICHEL, 1973).

Le climat est caractérisé par une saison des pluies qui va de Juillet à Octobre avec une pluviométrie moyenne annuelle de 200 mm, une saison sèche froide qui va de Novembre à Février et une saison sèche chaude qui va de Mars à Juin (JOHNSON *et al.*, 2003). Ndiaye a un climat côtier aride, une humidité de l'air très forte pendant toute l'année. A Ndiaye, la production du riz se fait deux fois dans l'année, de Février à Juin pendant la saison sèche chaude et de Juillet à Novembre en saison hivernale. L'étude expérimentale a débuté en saison sèche chaude 2012 et continue jusqu'à la quatrième campagne, hivernage 2013. Les parcelles expérimentales sont restées en jachère pendant deux années avant l'implantation des essais en 2012.

III.1.2. Matériel végétal

Le matériel végétal était composé de six variétés de riz dont deux variétés sensibles et quatre variétés tolérantes. La variété Sahel 108 (V1) est une variété locale homologuée, à cycle court (110 jours en hivernage), très productive (le potentiel de rendement est de 10 T/ha), moyennement sensible à la salinité et sélectionnée par AfricaRice. La variété (V2) IR31785 est une variété productive mais très sensible à la salinité. IR4630 (V3) est une variété tolérante dont les grains sont de mauvaise qualité. Les variétés IR4630 (V3),

IR59418-7B-21-3 (V4), IR76346-B-B-10-1-1-1 (V5) et IR72593-B-3-2-3-8 (V6) sont non homologuées au Sénégal et toutes tolérantes à la salinité. Les variétés V2 et V3 sont introduites au Sénégal depuis longtemps, contrairement aux autres variétés qui sont nouvellement introduites. IR vient de IRRI.

III.1.3. Fertilisants minéraux

Les fertilisants consistaient en 12 fumures minérales combinant les éléments N-P-K et en option le zinc ou le gypse comme suit :

T1: 0-26-50	T5 : 0-26-50 – Zn (10 kg/ha)	T9 : 0-26-50 + gypse (100 kg/ha)
T2: 60-26-50	T6 : 60-26-50 – Zn (10 kg/ha)	T10 : 60-26-50 + gypse (100 kg/ha)
T3: 120-26-50	T7 : 120-26-50 – Zn (10 kg/ha)	T11 : 120-26-50 + gypse (100 kg/ha)
T4: 150-26-50	T8 : 150-26-50 – Zn (10 kg/ha)	T12 : 150-26-50 + gypse (100 kg/ha)

Les apports d'azote 60, 120 ou 150 kg/ha sous forme d'urée ordinaire sont fractionnés en trois applications successives au début du tallage, à l'initiation paniculaire et à 10 jours avant la floraison. Des fumures de fond apportant 26 kg P/ha sous forme de TSP, 50 kg K/ha sous forme de Kcl, 10 kg Zn/ha sous forme de sulfate de zinc et 100 kg/ha de gypse ont été également appliqués, 10 jours avant semis.

III.2. Méthodes d'étude

III.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un dispositif factoriel 12x6 en split-plot avec 12 traitements de fumure minérale NPK, qui représentent le facteur principal, six variétés de riz qui sont le facteur secondaire, en 3 répétitions (Annexe 5).

Le même dispositif est mis en place sur deux sites, un site salé et un site témoin non salé, tous basés à Ndiaye. Chaque unité de traitement ou parcelle élémentaire avait une superficie de 74m^2 ($5,4\text{ m} \times 13,6\text{ m}$) et les parcelles secondaires 8 m^2 ($4\text{ m} \times 2\text{ m}$). Les parcelles principales sont séparées par des diguettes pour minimiser la percolation latérale des eaux entre parcelles (Figure 6).



Figure 5 : Vue d'ensemble de l'essai à Ndiaye, (Saison humide, 2013)

III.2.2. Conduite de l'étude

- **Mise en place de la pépinière** : après une mise à boue et un planage parfait, la parcelle de la pépinière a été découpée en planches rectangulaires surélevées, de 1 à 1,5 m de large et de 10 à 20 m de long et séparées par des canaux d'irrigation. La pépinière a été mise en place le 31 Juillet 2013 à Ndiaye, sur des parcelles non salées de 25 m^2 . La pré-germination des semences a été réalisée en deux phases: le trempage qui a consisté à imbiber d'eau les semences dans des sacs en jute pendant 24 h ; puis l'incubation qui a consisté à garder les semences retirées de l'eau, dans un endroit aéré, à une température voisine de 30°C , jusqu'à la germination. Le semis a été fait lorsque 95 % au moins des semences avaient germées. Le semis à la pépinière a été réalisé à la volée en terrain inondé par 1 à 2 cm d'eau. Le repiquage a été fait 31 jours après semis.

- **Préparation du sol** : les parcelles ont été irriguées pour faciliter l'arrachage des plantes de riz récoltées. La préparation du lit de repiquage a consisté au labour à l'aide d'une charrue à socs suivi d'un offsetage (figure 7 A). Le planage a été fait manuellement avant le repiquage et pendant le repiquage. La confection des diguettes a été aussi réalisée manuellement (figure 7 B).



Figure 6: Offsetage des parcelles (A) et Construction des diguettes (B)

- **Fertilisation** : Les quantités d'azote (60 kg N/ha, 120 kg N/ha, 150 kg N/ha) ont été apportées sous forme d'urée ordinaire au début tallage, à l'initiation paniculaire et 10 jours avant la floraison. Les fumures de fond apportant TSP, KCl, sulfate de zinc et gypse, ont été appliquées avant le repiquage (Annexes 1 et 2).

- **Repiquage** : Le repiquage s'est fait 31 jours après semis, dans chaque site, à un écartement de 20 cm sur la ligne et entre les lignes, en raison de 1 plant/poquet en eau douce et 2 plants/poquet en eau salée, soit une densité de 50 plants/m² en eau salée et 25 plants/m² en eau douce. Les pieds manquants sont remplacés avant l'application des engrais.

- **Entretien de la culture**. Le désherbage est assuré par une application de bensulfuron-méthyl (LONDAX 60 % DF) en pré-levée. En post-levée à la dose de 100 g/ha, 1 L de 2,4-D sel d'amine mélangé à 5L de propanyl a été appliqué. Le diméthoate (DIMETO 400 EC) et le profenofos (ARSENAL 500 EC) sont utilisés contre les insectes. L'irrigation s'est faite selon

le besoin de la culture. De la floraison à la récolte, la protection des cultures contre les oiseaux est assurée par un gardiennage.

- **Gestion de la salinité** : la salinité naturelle des parcelles expérimentales du milieu salé a baissé à cause de la double culture pratiquée en saison pluvieuse et en saison sèche chaude de 2012. Un apport de sel par irrigation avec de l'eau salée a été fait dans les parcelles où la conductivité électrique (CE) était inférieure à 3 dS/m afin de l'élever à une valeur supérieure à 3 dS/m. L'eau salée a été obtenue par dissolution du sel granulé de mer de 25 kg, dans un bassin d'eau situé à proximité des parcelles (figure 8). La quantité de sel dissous dépendait du niveau de salinité des parcelles et du nombre de parcelles dont la CE est en-dessous de 3 dS/m. Cette quantité a été obtenue à partir de la formule $1 \text{ dS/m} = 640 \text{ mg/l}$ de sel. Ainsi, la première dissolution de sel a été faite avec 375 kg, la deuxième avec 150 kg et la troisième avec 75 kg. L'irrigation avec de l'eau douce a été nécessaire au niveau des parcelles où la CE trop élevée pouvait tuer toutes les plantes (supérieure à 8 dS/m).



Figure 7 : Dissolution du sel dans un bassin d'eau pour irriguer

III.2.3. Paramètres mesurés

III.2.3.1. Caractérisation du sol

Mesures au champ : la conductivité électrique (CE) a été mesurée dans les parcelles salées avec un conductivimètre, tous les 10 jours jusqu'au 70^{ième} jour après repiquage. L'électrode du conductivimètre est plongée entre 3 à 5 cm dans le sol pour les mesures (figure 9). Le conductivimètre possède une sonde de température qui corrige la conductivité à 25 °C. Les résultats sont lus directement sur le cadran et sont exprimés en dS/m.



Figure 8 : Mesure de la conductivité électrique à l'aide d'un conductivimètre

III.2.3.2. Echantillonnage et analyse des feuilles et des grains

Dans chaque parcelle des deux milieux salé et non salé, 4 touffes/parcelles/variété ont été prélevées à la récolte et ont servi à déterminer le nombre de talles/m² de chaque variété, le rendement et les pertes de rendement. L'écartement entre 2 touffes de riz est 20 cm. Ce qui donne 25 touffes/m². Le nombre de panicules des 4 touffes est rapporté au m² par la formule $Pan/m^2 = pan * 25 / \text{nombre échantillons}$. Cette formule est appliquée pour trouver le nombre de talles/m². Pour la détermination du rendement de chaque variété pour chaque fertilisant, les panicules ont été égrainées et les grains pleins de chaque panicule ont été séparés des grains vides et comptés. 100 grains pleins (100 grp) de chaque variété/fertilisant ont été pesés avec une balance à précision. Le taux d'humidité des grains a été obtenu grâce à un humidimètre. Après cela, le rendement de chaque milieu a été obtenu à partir de la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \text{Poids } 100 \text{ grp} / 100 \times \text{nbr grains.panicule}^{-1} \times \text{nbr panicules.m}^{-2} \times 10 \times ((100 - \text{humidité grain}/86) \times (\% \text{ grp}/100)).$$

Les pertes de rendement ont été obtenues à partir de la formule suivante :

$$\text{Perte de rendement} = ((\text{rendement milieu non salé} - \text{rendement milieu salé}) / \text{rendement milieu non salé}) \times 100$$

Les pertes ou les gains de talles/m² ont été obtenus à partir de la formule suivante:

$$\text{Variation du taux de tallage} = (\text{talles/m}^2 \text{ du milieu non salé} - \text{talles/m}^2 \text{ du milieu salé}) / \text{talles/m}^2 \text{ du milieu non salé} \times 100.$$

III.2.4. Détermination de la variété tolérante

La tolérance de variété a été déterminée à partir du calcul des pertes de rendement et de la variation du taux de tallage. La comparaison a été faite à partir des résultats des travaux de ASCH *et al.* (1995) qui ont montré qu'une variété est classée tolérante à la salinité lorsqu'elle a une perte de rendement grain compris entre 0 et 40 %, modérément tolérante entre 41 et 50% ; modérément sensible entre 51 et 60 % et sensible entre 61 et 100 % de perte de rendement grain.

III.2.5. Détermination de l'efficacité agronomique de l'azote (EAN)

Une comparaison des rendements paddy produits dus à l'addition d'un kilogramme d'azote de chaque fertilisant azoté a été faite à partir du calcul de l'efficacité agronomique de l'azote. Cela a permis de déterminer le fertilisant azoté qui donne la meilleure EAN de toutes les variétés et particulièrement de la variété tolérante.

L'efficacité agronomique de l'azote (EAN) a été déterminée à partir de la formule de CASSMAN *et al.* (1998) :

$$\text{EAN} = \Delta Y / X \text{ engrais apporté.}$$

$$\Delta Y = \text{rendement paddy additionnel (en kg/ha grains)}$$

$$\Delta Y = \text{Rendement traitement considéré} - \text{Rendement traitement témoin}$$

$$X \text{ engrais apporté} = \text{la quantité d'engrais azoté apportée (en kg N/ha).}$$

III.2.6. Détermination de la dose économiquement rentable (DER)

Le fertilisant azoté qui donne la plus grande rentabilité économique de chaque variété et surtout de la variété tolérante, a été déterminé à partir d'une comparaison du gain économique que génère chaque fertilisant azoté.

La dose économiquement rentable (DER) a été calculée à partir de la formule de CRAWFORD et KAMUANGA (1991) :

$$\text{DER} = (\text{Prix du kg paddy} * \text{Gain paddy}) / \text{Coût fertilisant}$$

$$\text{Gain paddy} = \text{Rendement traitement considéré} - \text{Rendement traitement témoin}$$

Selon DONOVAN *et al.* (1999), il faudrait ajouter 16 % du coût de fertilisation pour prendre en compte le transport et la main d'œuvre liés à l'application des engrais (Annexe 3).

L'organisation des producteurs de riz au Sénégal a fixé le prix du kg de riz paddy à 150 FCFA en 2013.

Tableau I : Prix des fertilisants (FCFA/ kg) au Sénégal en 2013.

Fertilisant	Prix en FCFA/ kg
Urée	280
TSP	340
Kcl	900
Sulfate de zinc	3 000
Gypse	100

Ainsi, un fertilisant est dit économiquement rentable lorsque le rapport de la valeur du gain de paddy sur le coût du fertilisant est supérieur à 1. Si ce rapport est inférieur ou égal à 1, le fertilisant n'est pas économiquement rentable.

III.2.7. Analyses des données

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SAS 9.2. Elles ont porté sur l'analyse de la variance et la comparaison des moyennes des traitements au seuil de 1%. La saisie des données a été faite avec le logiciel Microsoft Office Excel 2007.

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1. Résultats

IV.1.1. Evolution de la salinité dans les parcelles au cours de l'expérience

La figure 10 présente l'évolution de la salinité de la solution du sol des parcelles sous différents modes de fertilisation (NPK, NPK+Zinc, NPK+Gypse). L'évolution de la salinité suit une loi linéaire $Y = ax + b$ avec $a \geq 1$ dans les parcelles ayant reçu NPK et le NPK + zinc (Figure 10 A et 10 B) et $a \leq 1$ dans les parcelles fertilisées avec le NPK + gypse (Figure 10C) ; d'où une augmentation de la salinité en fonction de l'évolution du riz.

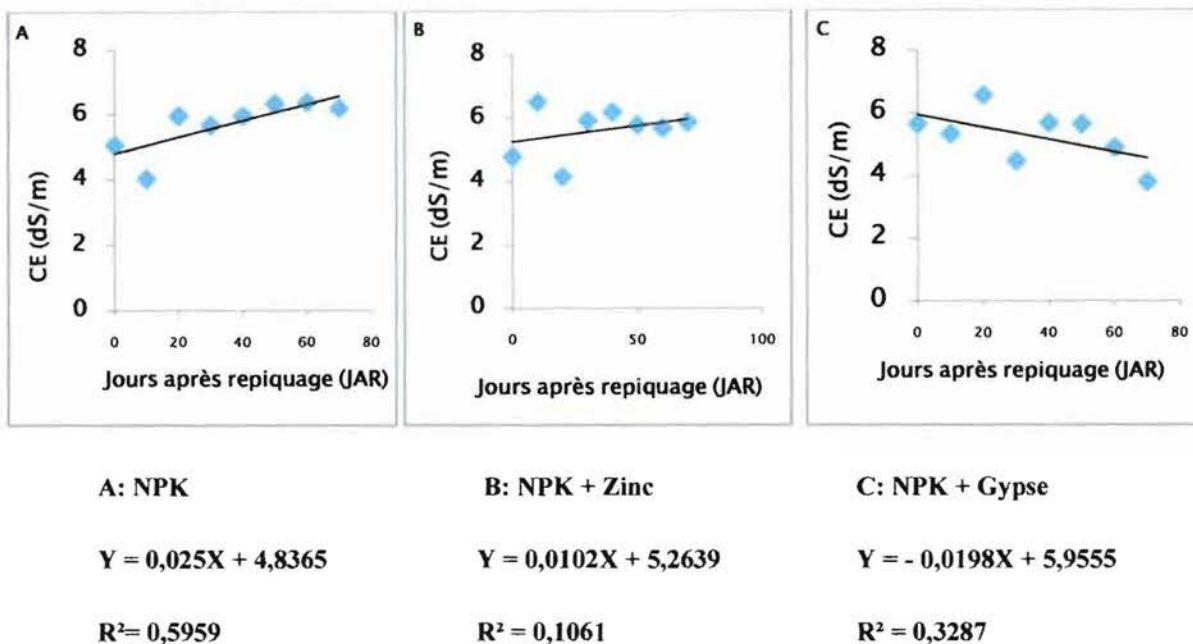


Figure 9 : Effet des fertilisants (NPK, NPK+Zn et NPK+Gypse) sur l'évolution de la salinité du sol durant 80 jours après repiquage (Saison humide 2013)

IV.1.2. Effet des traitements sur le rendement et le nombre de talles/m²

IV.1.2.1. Analyse de variance du rendement et du nombre de talles/m²

Le tableau 1 présente l'analyse de variance du rendement et du nombre de talles/m². Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs fertilisant*variété pour tous les

paramètres étudiés, dans les deux milieux salé et non salé. Ainsi, pour chaque paramètre, toutes les variétés ont des valeurs similaires quel que soit le fertilisant apporté. Aussi, tous les fertilisants et les variétés se comportent différemment pour tous les paramètres mesurés dans les deux milieux salé et non salé.

Tableau II: Analyse statistique de la variance des différents paramètres étudiés

		Rendement	Talles/m ²
Milieu Non salé	Fertilisant	***	**
	Variété	***	***
	Trait*Var	NS	NS
Milieu Salé	Fertilisant	***	**
	Variété	***	**
	Trait*Var	NS	NS

NS = Non significatif ; ** = Significatif au seuil de 5% ; *** = Hautement significatif au seuil de 1 %, selon le test de Student-Newman-Keuls.

IV.1.2.2. Effet du type de fertilisant sur le rendement paddy des variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé

La figure 11 montre l'évolution du rendement de six variétés de riz en fonction de trois types de fertilisant (NPK, NPK+Zinc, NPK+Gypse) en milieu salé. L'analyse de variance montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les rendements des six variétés pour chaque fertilisant azoté. En milieu salé, le rendement est compris entre 1 et 3 T/ha pour les variétés sensibles et entre 1,5 et 3,5 T/ha pour les variétés tolérantes, lorsqu'on applique du NPK uniquement. Par contre, lorsque le NPK est associé au zinc ou au gypse, le rendement est respectivement compris entre 1,5 et 4 T/ha et entre 2 et 4,20 T/ha. Le rendement augmente mais cette augmentation est non significative avec les doses croissantes de N en présence ou non du zinc ou du gypse, pour toutes les variétés. Le rendement le plus élevé de chaque variété est obtenu pour l'apport le plus élevé en azote en addition avec du gypse (150 kgN/ha+gypse). Le rendement le plus élevé pour chacune des variétés est 4,2 ; 3,1 ; 3,5 ; 4,1 ; 4,01 et 4,02 T/ha pour respectivement V1, V2, V3, V4, V5 et V6. Le zinc et le gypse ont un effet synergique avec les doses de N en milieu salé pour toutes les variétés. Cependant, il n'y

a pas de différence significative entre les rendements obtenus avec le NPK+Zn et NPK+gypse.

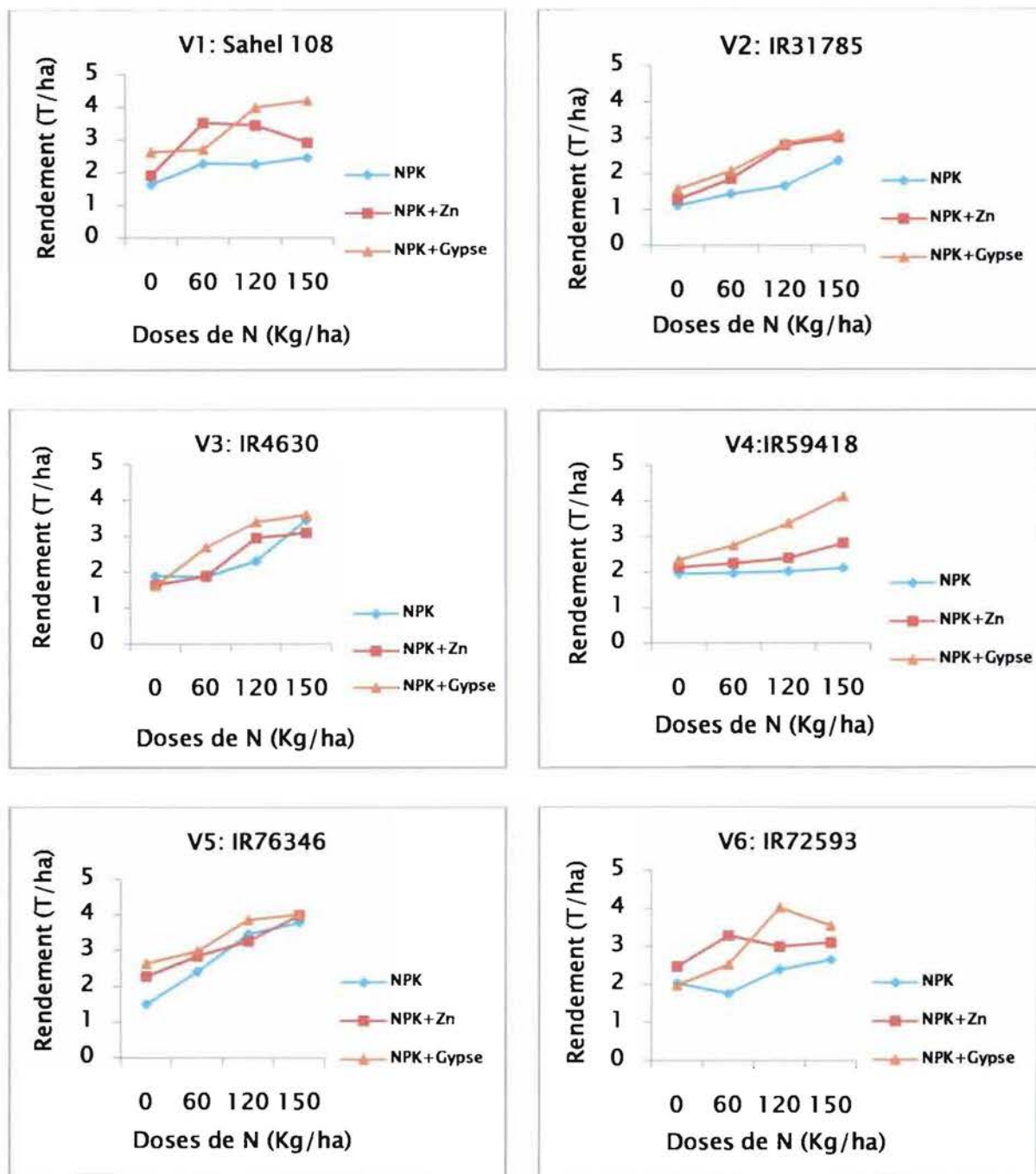


Figure 10 : Evolution du rendement de six variétés, en fonction de trois types de fertilisant (NPK, NPK+Zinc, NPK+Gypse) en milieu salé à Ndiaye (Saison humide 2013)

IV.1.2.3. Effet des types de fertilisant sur les pertes de rendement de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé

Les pertes de rendement paddy de six variétés de riz en milieu salé sont présentées dans la figure 12. L'analyse de variance montre des différences significatives entre les pertes de rendement paddy avec le NPK, NPK+Zn et NPK+gypse. La comparaison des pertes de rendement paddy des variétés montre une tendance à la baisse avec les doses croissantes de N, avec ou sans apport de zinc ou de gypse. L'addition du zinc et surtout du gypse entraîne une réduction significative des pertes de rendement chez toutes les variétés. La plus faible perte de rendement de toutes les variétés est 3,5 %, obtenue avec la variété V3 soumise à la dose 150 kg N/ha+gypse. Elle est significativement différente de celle des autres fertilisants.

IV.1.3. Variété tolérante à la salinité

Les rendements, le nombre de talles/m² des milieux salé et non salé, les pertes de rendement, et les variations du taux de tallage des six variétés sont présentés dans le tableau 2. Il y a de différences significatives entre les rendements et le nombre de talles/m² des différentes variétés en milieux salé et non salé. Les variétés ont été classées dans l'ordre décroissant de tolérance à la salinité, selon le niveau de perte de rendement. La variété V3 est la variété la plus tolérante à la salinité avec 36,96 % de perte de rendement. Les variétés V5 et V6 sont moyennement sensibles à la salinité avec respectivement 52,94 % et 56,25 % de perte de rendement. Ces variétés V1, V4 et V2 sont des variétés sensibles à la salinité avec des pertes de rendement de 61,23 %, 62,00 % et 69,36 % respectivement. Par ailleurs, le nombre de talles/m² des variétés V1, V3 et V4 augmente en milieu salé par rapport au milieu non salé. La variation du taux de tallage la plus élevée (+15,57 %) est obtenue avec la V3, suivie de la V4 (+8,12 %) et de la V1 (+2,97 %). Par contre, le nombre de talles/m² des variétés V2, V5 et V6 a diminué ; le taux de tallage respectif est -9,45 %, -17,74 % et -27,29 %. Ainsi, la V3, bien qu'ayant le rendement le plus bas dans les deux milieux et le nombre de talles/m² le plus faible après la V4, est la variété la plus tolérante avec 36,96 % de perte de rendement et +15,57 % de taux de tallage.

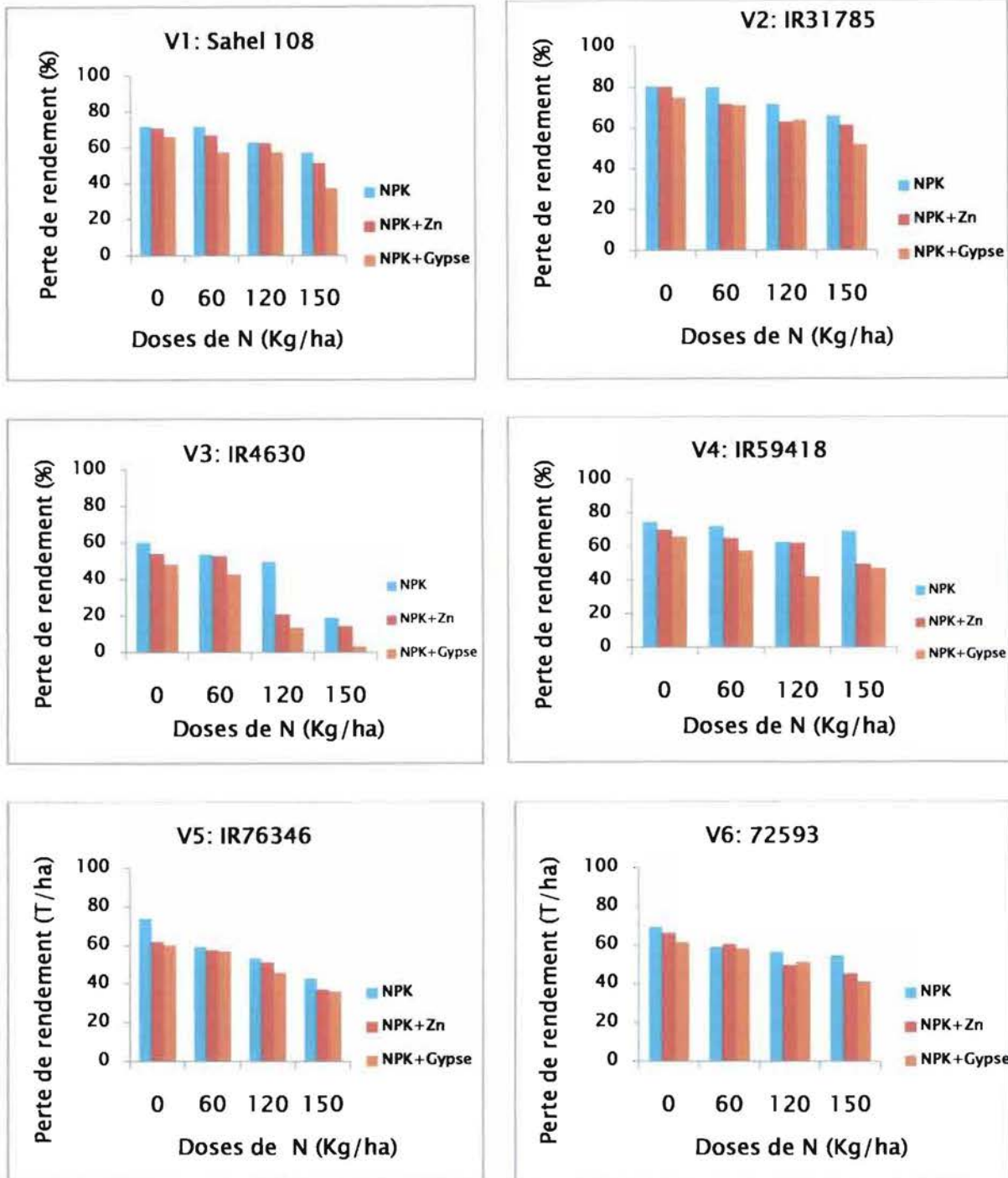


Figure 11 : Effet des types de fertilisation (NPK, NPK+Zinc, NPK+Gypse) sur les pertes de rendement de six variétés en milieu salé (saison humide 2013).

Tableau III : Rendements et nombre de talles/m² en milieu non salé et en milieu salé, pertes de rendement et variation du taux de tallage de six variétés de riz à Ndiaye (saison humide 2013).

Variété	Rendement			Talles/m ²		
	Milieu Non Salé	Milieu Salé	Perte rdt (%)	Milieu Non Salé	Milieu Salé	Variation taux de tallage (%)
V1	7,31 ^a	2,83 ^{ab}	61,23	457 ^{ab}	471 ^{ab}	+2,97
V2	6,83 ^b	2,09 ^c	69,36	486 ^a	444 ^a	-9,45
V3	4,01 ^d	2,53 ^{bc}	36,96	374 ^c	443 ^c	+15,57
V4	6,64 ^{bc}	2,52 ^{bc}	62,00	373 ^c	406 ^c	+8,12
V5	6,55 ^{bc}	3,08 ^a	52,94	457 ^{ab}	359 ^{bc}	-27,29
V6	6,25 ^c	2,73 ^{ab}	56,25	418 ^{bc}	355 ^{bc}	-17,74

Les moyennes portant les mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student-Newman-Keuls, rdt = rendement

V1 = Sahel 108; V2 = IR31785; V3 = IR4630 ; V4 = IR59418-7B-21-3 ; V5 = IR76346-B-B-10-1-1-1 ; V6 = IR72593-B-3-2-3-8

IV.1.4. Effet des modes de fertilisation sur l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) et la rentabilité économique de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé

IV.1.4.1. Analyse de variance de l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) et de la dose économiquement rentable (DER)

Le tableau 3 présente l'analyse de variance du rendement et du nombre de talles/m². Il n'y a pas d'interaction significative entre les deux facteurs fertilisant*variété pour l'EAN et la DER, en milieu salé. Ainsi, pour chaque paramètre, toutes les variétés ont des valeurs similaires quel que soit le fertilisant apporté. Il existe des différences hautement significatives entre les fertilisants pour les paramètres EAN et DER. Aussi, il y a des différences significatives entre les variétés pour l'EAN mais il n'existe aucune différence significative entre ces mêmes variétés pour la DER.

Tableau IV : Analyse statistique de la variance de l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) et de la dose économiquement rentable (DER), en milieu salé

	EAN	DER
Fertilisant	***	***
Variété	**	NS
Trait*Var	NS	NS

VI.1.4.2. Efficacité agronomique de l'azote

La figure 13 montre une hausse de l'EAN lorsqu'on augmente les doses de N, avec ou sans zinc ou gypse. Cependant, cette hausse est statistiquement non significative. Il n'y a pas de différence significative entre l'EAN des différentes variétés pour chaque fertilisant considéré. En outre, en milieu salé, l'EAN la plus élevée (2,45 kg paddy/kg N additionnel) est obtenue avec la V1 soumise à la dose 150kg N/ha+Gypse. La meilleure EAN (1,76 kg paddy/kg N additionnel) de la V3 est obtenue avec la dose 150 kgN/ha+gypse. Cette valeur n'est pas significativement différente de l'EAN obtenue avec la dose 150 kgN/ha+Zn, qui est 1,70 kg paddy/kg N additionnel. Le zinc et surtout le gypse augmentent l'EAN en milieu salé de la variété la plus tolérante V3 ; mais cette augmentation est statistiquement non significative.

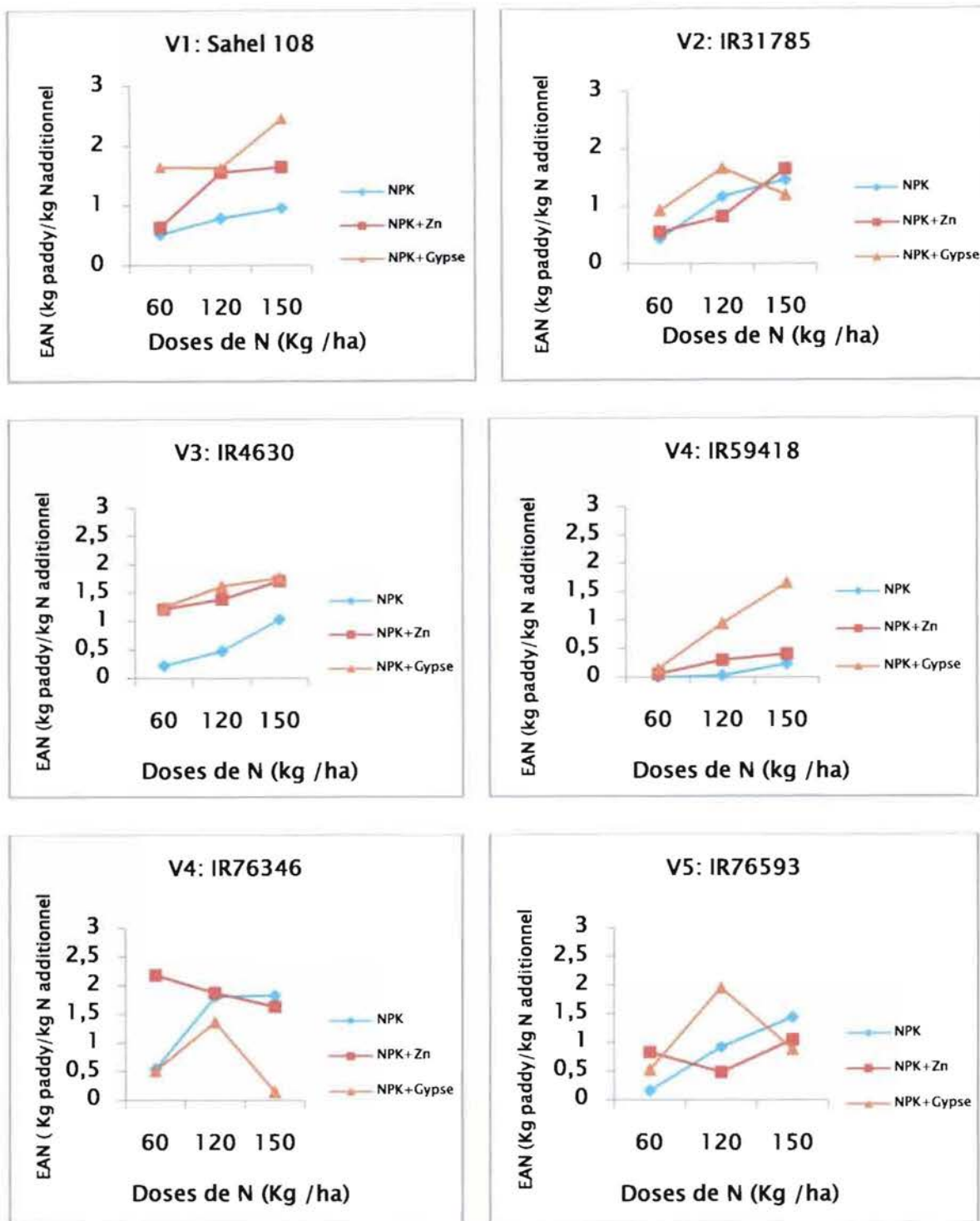


Figure 12 : Effet des modes de fertilisation sur l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé à Ndiaye (saison humide 2013).

VI.1.4.3. Dose économiquement rentable

La rentabilité économique des fertilisants de chaque variété n'augmente pas proportionnellement à la quantité de N appliquée (figure 14). Le zinc et le gypse, avec les différentes doses de N, n'ont pas d'effet sur la rentabilité économique des fertilisants. La dose 60 kg N/ha, 120 kg N/ha, 120 kg N/ha+Zn, 60 kg N/ha+gypse et 150 kg N/ha+gypse de la V1, 60 kg N/ha+gypse et 150 kg N/ha+gypse de la V2, 60 kg N/ha+gypse de la V3, 60 kg N/ha+Zn, 120 kg N/ha+Zn, 120 kg N/ha+gypse, 150 kg N/ha+Zn, 60 kg N/ha+gypse, 120 kg/ha+gypse et 150 kg/ha+gypse de la V4, 60 kg N/ha, 60 kg N/ha+gypse, 150 kg N/ha+gypse de la V5, 60 kg N/ha, 120 kg N/ha et 60 kg N/ha+gypse de la V6, ne sont pas économiquement rentables. Par contre, 120kg N/ha+gypse est économiquement rentable pour les variétés V1 et V2, 150 kg N/ha pour la V3 et V4, 60+Zn pour la V5 et 150 kg N/ha+Zn pour la V6. Ces doses donnent des valeurs Prix paddy/Coût fertilisant de 2,28 ; 2,26 ; 2,19 ; 1,36 ; 1,88 et 1,73 respectivement avec les variétés V1, V2, V3, V4, V5 et V6. Ce qui veut dire, par exemple, qu'avec la dose 150 kg N/ha, la V3 donnera un revenu 2,19 fois plus élevé que le montant investi dans l'utilisation de ce fertilisant, en milieu salé. La dose 120 kg N/ha+gypse donne la rentabilité économique la plus élevée pour les variétés V1 et V2 ; 150 kg N/ha pour V3 et V4 ; 60 kg N/ha+Zn pour V5 et 150 kg N/ha+Zn pour V6.

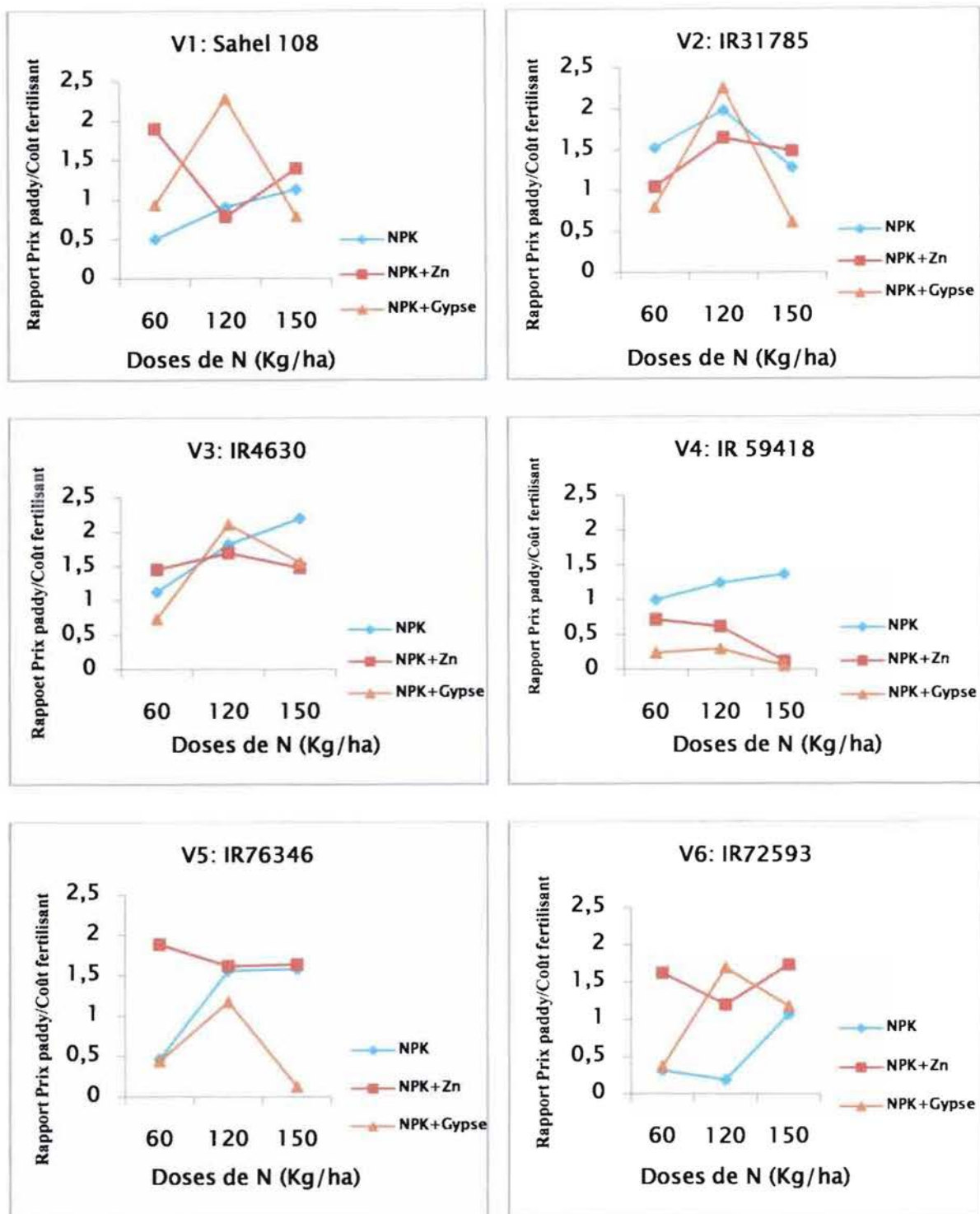


Figure 13: Effet des modes de fertilisation sur la rentabilité économique de six variétés de riz en fonction des doses d'azote en milieu salé à Ndiaye (saison humide 2013)

IV.2. Discussion

L'application du NPK uniquement ou du NPK+zinc élève la CE respectivement de 5,07 à 6,2 dS/m² et de 4,7 à 5,8 dS/m². Cette augmentation est plus marquée avec le NPK. Par contre, l'addition du gypse au NPK diminue la CE de la solution du sol de -2 dS/m². HASSAN *et al.* (2001) et KHATTAK *et al.* (2007), rapportent que l'application du gypse réduit la CE du sol à une limite convenable à la bonne croissance des plantes de riz.

La variété V3 (IR4630) se révèle être la variété la plus tolérante à la salinité avec 36,96 % de perte de rendement et +15,57 % de variation du taux de tallage. Elle donne également avec le fertilisant 150 kg N/ha+gypse la perte de rendement la plus faible (3,5 %) parmi toutes les variétés. BADO et MEL (2014) ont montré que la variété IR4630 est la plus tolérante à la salinité avec 90 à 100 plants par ha qui ont survécus au sel. Cependant, bien qu'étant la variété la plus tolérante à la salinité, IR4630 donne le plus faible rendement (3,58 T/ha) après celui de la variété la plus sensible V2 (3,10 T/ha). Le meilleur rendement (3,58 T/ha) de IR4630 est obtenu avec la dose 150 kgN/ha+gypse qui serait par conséquent le meilleur formule de fertilisant de cette variété.

La perte de rendement paddy diminue de 60,34 % à 3,5 % et le rendement augmente de 1,8 à 3,4 T/ha, lorsqu'on augmente la dose d'azote de 0 kgN/ha à 150 kgN/ha chez la V3. D'après les travaux de BADO et MEL (2014) réalisés sur les mêmes variétés et dans les mêmes conditions en 2012, les doses croissantes de N permettent de réduire les pertes de rendement paddy dues à la salinité chez toutes les six variétés. ABDELGADIR *et al.* (2005) rapportent que sous conditions de stress salin, l'absorption de l'azote par les plantes est généralement supprimée. Mais un apport de doses croissantes de N dans la solution du sol favorise l'absorption de l'azote-nitrate par les plantes. Ces auteurs ont également montré en 2010 que les doses croissantes de N augmentent le rendement en grain du blé et la biomasse (densité de tallage) en condition salé.

IQBAL et ASLAM (1999) ont montré que les variétés tolérantes produisent plus de talles que les variétés sensibles en condition de stress salin. Or, la variété V1(Sahel108) qui est une variété sensible, et les variétés tolérantes V3 et V4, produisent plus de talles/m² que V5 et V6 qui sont des variétés tolérantes. Cela pourrait être expliqué par le fait que certaines variétés sensibles ou tolérantes lutteraient contre la salinité en produisant plus de talles que d'autres

variétés tolérantes qui perdent des talles. IRRI (1997) a montré que le sel excite la capacité de tallage de certaines variétés sensibles ou tolérantes du riz.

En milieu salé, les doses de N sans addition de gypse donnent un rendement inférieur aux mêmes doses avec du gypse. Par exemple, la dose 150 kgN/ha donne 2,46 T/ha de paddy alors que la dose 150 kgN/ha+gypse donne 4,20 T/ha de paddy. Ces résultats sont en accord avec ceux de HASSAN *et al.* (2001), qui ont montré que le gypse améliore significativement le rendement paddy. Ces auteurs ont montré que le rendement le plus élevé (4,303 T/ha) est obtenu en milieu salé traité avec le gypse et le plus faible rendement (1,952 T/ha) en milieu salé non traité avec le gypse. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le gypse diminue la conductivité électrique (CE) du sol donc la salinité et favoriserait donc la nutrition des plantes qui donnent ainsi un bon rendement.

Les doses croissantes de N (0-150 kg N/ha) permettraient d'augmenter l'efficacité agronomique de l'azote (EAN) des fertilisants à Ndiaye, qui passe de 0,78 kg paddy/kg d'azote additionnel avec 60 kg N/ha à 2,45 kg paddy/kg de N additionnel avec 150 kg N/ha, en milieu salé. Nos résultats sont en contradiction avec ceux de CASSMAN *et al.* (2002) ; HUANG *et al.* (2008) ; ZHANG *et al.* (2008), de PENG *et al.* (2010) qui rapportent que la réduction des fertilisants azotés améliore considérablement l'EAN.

La rentabilité économique des fertilisants n'est pas fonction des doses croissantes de N. La dose 120 kg N/ha donne 2,19 T/ha de rendement alors que la dose 150 kg N/ha permet d'avoir un rendement de 1,82 T/ha. WANG *et al.* (2007), durant trois ans d'études dans une région de la République de Chine, ont indiqué qu'une réduction de la quantité de N utilisée de 300 kg/ha à 150 kg/ha ne diminue pas statistiquement le rendement paddy, mais réduit le N perdu de 68 % de NH₃, 64 % par ruissellement et 8% par infiltration dans le sol. Aussi, le Zn et le gypse n'ont pas d'effet sur la rentabilité économique des fertilisants. La dose 150 kgN/ha est la dose économiquement rentable de la V3. Elle donne un revenu 2,19 fois plus élevé que le montant investi dans l'utilisation du fertilisant et correspond à un rendement de 3,45 T/ha, en milieu salé.

Conclusion, recommandations et perspectives

La forte salinité des sols rizicoles constitue une contrainte majeure à la production du riz au Sénégal et surtout dans le delta du fleuve Sénégal. La présente étude s'inscrit dans la dynamique d'une amélioration de la productivité du riz sur sols salés par la recherche de variété tolérante à la salinité et de fertilisants appropriés en vue d'une production économiquement rentable.

Les résultats révèlent que la variété V3 (IR4630) est la variété la plus tolérante à la salinité avec 36,96 % de perte de rendement et +15,57 % de variation du taux de tallage, bien qu'ayant un faible rendement et un nombre réduit de talles/m². La dose 150 kg N/ha+100 kg gypse/ha est la formule appropriée qui donne le rendement optimal, le minimum de perte de rendement et la meilleure efficacité agronomique pour toutes les variétés. Mais la dose 150kgN/ha est la dose économiquement rentable (DER) de la variété tolérante V3 (IR4630). Elle donne un revenu 2,19 fois plus élevé que le coût du fertilisant.

Au regard de ces résultats, nous formulons les recommandations suivantes, dans les conditions de sols salés, à Ndiaye : une utilisation de la variété IR4630 qui est la plus tolérante à la salinité par les producteurs lorsque les sols sont salés. Pour un rendement optimal et pour une efficacité agronomique maximale de l'azote de chacune des six variétés, la dose 150 kg N/ha+100kg gypse/ha pourrait être recommandée aux producteurs en terre salée. Pour une rentabilité économique de la V3 (IR4630), la dose 150kgN/ha est recommandée aux producteurs de Ndiaye. Il serait nécessaire de transférer le gène de tolérance à la salinité de IR4630 qui a un faible rendement et des grains de mauvaise qualité, aux autres variétés plus productives comme V1 (Sahel 108).

En guise de perspectives, il serait intéressant de reprendre la même étude en milieu salé avec de l'urée simple et de l'urée super granulé afin de connaître la dose la plus économiquement rentable ; varier les doses de zinc (2,5 ; 5 ; 10 ; 15 et 20 kg/ha) et de gypse (25 ; 50 ; 100 ;125 ;150 kg/ha) pour trouver la meilleure dose en terme économique et agronomique ; étudier l'effet à long terme (5 ans) du zinc et du gypse sur les paramètres agronomiques du riz en milieu salé.

Références bibliographiques

ABDELGADIR E. MOKA M. and FUJIYAMA H., 2005. Nitrogen nutrition of rice plants under salinity. *Biologia Plantarum*. Volume 49 (1): pp 99-104.

ABROL I. P., YADAO J. S. P. and MASSOUD F. I., 1988. Salt-affected soils and their management. *FAO Soils Bulletin*, volume. 39. Italy, Rome, pp 93.

ADRAO et SAED, 2001. Manuel pratique de riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal. (Version 1). ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire et Société Nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé (SAED), St Louis, Sénégal. Pp 121.

ADRAO, 1997. Partenaires au développement : pour relever les défis de la sécurité alimentaire et de l'éradication de la pauvreté en Afrique. 6p.

ADRAO, 2007. Tendances rizicole en Afrique : Vue d'ensemble sur l'évolution du secteur rizicole en ASS. Synthèse du centre du riz pour l'Afrique, Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). Pp 10.

AfricaRice, 2011. Manuel pratique de riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal. AfricaRice, St Louis, Sénégal. 118p.

AfricaRice, 2013. Besoins nutritifs du riz. Session de formation sur la gestion intégrée du riz. AfricaRice, St Louis, Sénégal. Pp 30.

ANONYME, 2002. Le riz. Mémento de l'agronome. Ministère de la coopération et du Développement, Paris, France. Pp 169.

ANSD, 2013. Note de conjoncture économique ANSD : 202,3 milliards de FCFA d'importation en Janvier 2013. Pp 7.

ASCH F., DINGKUHN M. and DORFING K., 1995. Physiological stresses of irrigated rice caused by soil salinity in the Sahel. *In*: The International-1 Symposium on "irrigated rice in

the Sahel: prospects for sustainable development” Geld at WARDA’s research station in Ndiaye, Senegal. Pp 10.

ASCH F., DINGKUHN N. and DORFFLING K.; 2000. Salinity increases CO₂ assimilation but reduces growth in field-grown irrigated rice. *Plant and soil*. Volume 218, (1-2), pp 1-10.

AVSAR F., BESER N., DUREK H., GURBUZ M. A. and YAKAN H. M., 2001. The effect of zinc application on rice yield and some agronomic characters. *In: The new development in rice agronomy and its effects on yield and quality in Mediterranean areas*. Chataigner J. Ed., Montpellier: CIHEAM. Cahiers Options Méditerranéennes. N°58. 6 p.

BADO B. V. and MEL V. 2014. Testing of management options of nutrients to improve yields of salt-tolerance rice varieties. *AfricaRice*, St Louis, Sénégal. Pp 10.

BERNIER G., HAVELANGE A., HOUSSA C., PETITJEAN A. and LEJEUNE P., 1993. Physiological signals that induce flowering. *Plant cell* 5 : pp 1147-1155.

CARON H. et GRANES D., 1993. *Agriculture spéciale*. CERDI, Bambey, Sénégal. Pp 168.

CARRIER A., 2003. *Serriculture maraîchère biologique : Que se passe t-il dans le sol ?* Agriculture, Pêcheries et Alimentation. Québec. Pp 9.

CASSMAN K. G., PENG S., OLK D. G., LADHA J. K., REICHARDT W. and CEUPPENS J., 1998. Soil salinization processes in rice irrigation schemes in the Senegal river delta. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61 (1), pp 1122-1130.

CASSMAN, K. G., DOBERMANN, A., WALTERS, D. T., 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO* 31 (2), pp 132–140.

CEUPPENS J. WOPEREIS M. C. S. and MIEZAN K. M., 1997. Soil salinization processes in rice irrigation schemes in the Senegal River delta. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61 (4), pp 1122-1130.

CEUPPENS J. and WOPEREIS M. C. S., 1999. Impact of non-drained irrigated rice cropping on soil salinization in the Senegal River delta. *Geoderma*, Volume 92, Number 1, pp 125-140.

CRAWFORD E., KAMUANGA K., 1991. L’analyse économique des essais agronomiques pour la formulation des recommandations aux paysans. *Etudes et documents*, Vol 4 n° 7. Unival-ISRA, Dakar ISSN 0850-8933, Sénégal. Pp 27.

DOBERMANN A. and FAIRHURST T. H., 2000. Rice Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI, Philippines. Pp 191.

DONOVAN C., WOPEREIS M. C. S., GUINDO D. and NEBIE B., 1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in Sahel and Savanna regions of West Africa. Part II. Profitability and risk analysis. *Field Crops Res* 61: pp 147-162.

FAO, 2003. Faostat. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italie. 5 p. [http:// faostat.fao.org/site/567/default.aspx](http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx). Consulté le 14/08/2013.

FAO, 2011. Aperçu du développement rizicole. Dakar, Sénégal. Pp 10. [http:// faostat.fao.org/site/543/default.aspx](http://faostat.fao.org/site/543/default.aspx). Consulté le 22/09/2013.

FAO, 2013. Amélioration de la production du riz en Afrique de l'Ouest : Cas du Sénégal. 2 p. [http://www. Fao.org/index_fr.htm](http://www.Fao.org/index_fr.htm). Consulté le 26/08/2013.

FranceAgriMer, 2012. Note de conjoncture. Analyse économique de la filière riz de FranceAgriMer. N° 40. pp 4.

GÉRALD H. et SCHAU B. C., 2011. Guide des fertilisants azotés utilisables en bio. Agriculture et territoire, chambre d'agriculture, Bas-Rhin, France. Pp 16.

HASSAN G., SADIQ M., JAMIL M., MEHDI S. M. and SATTAR A., 2001. Comparative Performance of Rice Varieties/Lines in Ameliorated and Non-Ameliorated Soils. *International Journal of Agriculture and Biology*. Vol. 03-3. pp 286-288.

HAZAN R. 1998. Relation entre l'action thermique influant sur les eaux des nappes et leur salinité. Maroc, pp 124.

HELLALI R., 2002. Rôle du potassium dans la physiologie de la plante. Institut National Agronomique de Tunisie. Atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, acquis et perspectives de la recherche. Pp 7.

HUANG, J. L., HE, F., CUI, K.H., BURESH, R. J., XU, B., GONG, W. H., PENG, S. B., 2008. Determination of optimal nitrogen rate for rice varieties using a chlorophyll meter. *Field Crops Res*. 105(1), pp 70-80.

IQAL M. and ASLAM M., 1999. Effect of zinc application on rice growth under saline conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*. Volume. 1 (4). 362-365 p.

IRRI, 1997. Evaluation of salinity tolerance in rice. Pp 9.

JOHNSON D. E. WOPEREIS M. C. S., MBODJ D., DIALLO S. and POWERS S., 2003. Timing of weed management and yield losses due to weeds in irrigated rice in the Sahel. *Field Crops Research*, volume 85 (1): pp 31-42.

KHATTAK S. G., UL HAQ I., MALIK A., KHATTAK M. J. and NAVEEDULLAH, 2007. Effect of various levels of gypsum application on the reclamation of salt affected soil grown under rice followed by wheat crop. *Sarhad J. Agric.* Volume 23 (3), pp 676-680.

KIMA F., 1993. Evaluation de variétés améliorées de riz dans trois zones agro écologiques du Burkina Faso (Douna, Karfiguéla, Vallée du Kou). Mémoire de fin d'études, option agronomie, Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Burkina Faso. Pp 60.

LACHARME M., 2001. Mémento technique de riziculture pour la vallée du fleuve Sénégal, du Développement Rural et de l'Environnement. Direction de la Recherche Formation Vulgarisation. Saint-Louis, Sénégal. Pp 168.

LAFFITTE H. R., YONGSHENG G., YAN S. and LI Z. K., 2004. Whole plant responses, key processes and adaptation to drought stress: the case of rice. *Oxford Journals. Life Scienceqs. Journal of Experimental Botany*, volume 58 (2), pp 169-175.

LEA P. J. and MIFLIN B. J., 2011. Nitrogen assimilation and its relevance to crop improvement. *In. FOYER C., ZHANG H., Editors. Nitrogen metabolism in plants in the post-genomic era. Plant Annual Reviews*, volume 42. pp 1-40.

LUJIU L., ZOU C., WANG J., ZHANG F. and LI D., 2008. Effect of zinc application on rice growth and zinc uptake. Institute of Soil and Fertiliser, Anhui Academy of Agricultural Science. Republic of China. Pp 2.

MÉNDEZ DEL VILLAR P., 2012. Rapport mensuel du marché mondial du riz. *Osiriz*. N° 96. Pp 2.

MICHEL M., 1973. Coupe schématique transversale de la vallée du fleuve Sénégal. *In. SONINKARA, 2008. Le portail du peuple Soninké (Sénégal, Mali, Mauritanie, Gambie) : relief, géologie et sols, climat, hydrologie, couvert végétal et faune.* Pp 7.

MOKOI J. H. J. R. and VERPLANCKE H., 2010. Effect of gypsum placement on the physical properties of a saline sandy loam soil. *Aust J. Crop Sciences*. Volume 4 (1): pp 556-563.

MUNNS R. and TERMAAT A. 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aus. J. plant physiol.* Volume 13 (1): pp 143-160.

PENG, S. B., BURESH, R. J., HUANG, J.L., ZHONG, X. H., ZOU, Y. B., YANG, J. C., WANG, G. H., LIU, Y. Y., HU, R. F., TANG, Q. Y., CUI, K. H., ZHANG, F. S., DOBERMANN, A., 2010. Improving nitrogen fertilization in rice by site-specific N management: a review. *Agron. Sustain. Dev.* Volume 30(1): pp 649–656.

SAED, 2007. Superficies et productions de riz dans la VFS entre 1990 et 2006. , SAED/DDAR/ CSE. Saint-Louis, Sénégal. Pp 10.

SHRESTHA R. K. and MASKEY S. L. 2005. Associative Nitrogen Fixation in Lowland Rice. *Nepal Agriculture Resource Journal*, Volume 6 (2005). Pp 112-121.

VAN DER VELDEN J. et MUTSAARS M. 1973. Le dessalement des terres salées du delta du fleuve Sénégal : Bilan des trois années d'expérimentations (1970-1973) et perspectives. *Etude hydro-agricole du bassin du pleuve Sénégal, RAP 65/061.* Pp 31.

VINOD K. K. and HEUER S., 2012. Approaches towards nitrogen and phosphorus-efficient rice. *Journal for Plant Sciences.* Volume 10. 1093. Pp 21.

WANG G. H., ZHANG Q. C., WITT C. and BURESH R. J., 2007. Opportunities for yield increases and environmental benefits through site-specific nutrient management in rice systems of Zhejiang province. *China. Agric. Syst.* 94, pp 801-806.

WEBSTER R. K. and GUNNELL P. S., 1992. *Compendium of Rice Diseases.* The American phytopathological Society Press, St Paul, Minn. pp 27.

ZHANG F. S., WANG J. Q., ZHANG W. F., CUI Z. L. MA W. Q. and JIANG R. F., 2008. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedol. Sinica.* Volume 145 (5), pp 915-924.

Annexes

Annexe 1 : Application d'engrais de fond

⬇ Traitements	⬇ TSP (g)	⬇ Kcl (g)	⬇ Gypse (g)	⬇ Zinc (g)
T1 : 0-26-50	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇
T2 : 60-26-50	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇
T3 : 120-26-50	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇
T4 : 150-26-50	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇
T5 : 0-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇ 225
T6 : 60-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇ 225
T7 : 120-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇ 225
T8 : 150-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇ 225
T9 : 0-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇	⬇
T10 : 60-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇ 745	⬇
T11 : 120-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇ 745	⬇
T12 : 150-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 968	⬇ 745	⬇ 745	⬇

Annexe 2 : Application d'engrais de couverture.

⬇ Traitement	⬇ Urée (g)		
	⬇ Appl 1	⬇ Appl 2	⬇ Appl 3
T1 : 0-26-50	⬇	⬇	⬇
T2 : 60-26-50	⬇ 393	⬇ 393	⬇ 196
T3 : 120-26-50	⬇ 786	⬇ 786	⬇ 392
T4 : 150-26-50	⬇ 982	⬇ 982	⬇ 491
T5 : 0-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇	⬇	⬇
T6 : 60-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 393	⬇ 393	⬇ 196
T7 : 120-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 786	⬇ 786	⬇ 392
T8 : 150-26-50 – Zn (10 kg.ha ⁻¹)	⬇ 982	⬇ 982	⬇ 491
T9 : 0-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇	⬇	⬇
T10 : 60-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 393	⬇ 393	⬇ 196
T11 : 120-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 786	⬇ 786	⬇ 392
T12 : 150-26-50 + gypse (100 kg.ha ⁻¹)	⬇ 982	⬇ 982	⬇ 491

Annexe 3 : Détermination des coûts des différents fertilisants

Fertilisants	N (kg)	Dose urée	P2O5	Dose TSP	K2O	Dose Kcl	Prix urée	Prix TSP	Prix Kcl	Prix ZnSO4	Prix gypse	Coût total	Coût (transp/MO)	Coût fertilisant
T1 (0-26-50)	0	0	59,8	132,89	60	100	0	45182	90000					
T2 (60-26-50)	60	130,4348	59,8	132,89	60	100	36521,7	45182	90000			171704	27472,63382	199176,6
T3 (120-26-50)	120	260,8696	59,8	132,89	60	100	73043,5	45182	90000			208225,7	33316,11208	241541,81
T4 (150-26-50)	150	326,087	59,8	132,89	60	100	91304,3	45182	90000			226486,6	36237,85121	262724,42
T5 (0-26-50-Zn)	0	0	59,8	132,89	60	100	0	45182	90000	30000				
T6 (60-26-50-Zn)	60	130,4348	59,8	132,89	60	100	36521,7	45182	90000	30000		201704	32272,63382	233976,6
T7 (120-26-50-Zn)	120	260,8696	59,8	132,89	60	100	73043,5	45182	90000	30000		238225,7	38116,11208	276341,81
T8 (150-26-50-Zn)	150	326,087	59,8	132,89	60	100	91304,3	45182	90000	30000		256486,6	41037,85121	297524,42
T9 (0-26-50-Gypse)	0	0	59,8	132,89	60	100	0	45182	90000		10000			
T10 (60-26-50-Gypse)	60	130,4348	59,8	132,89	60	100	36521,7	45182	90000		10000	181704	29072,63382	210776,6
T11 (120-26-50-Gypse)	120	260,8696	59,8	132,89	60	100	73043,5	45182	90000		10000	218225,7	34916,11208	253141,81
T12 (150-26-50-Gypse)	150	326,087	59,8	132,89	60	100	91304,3	45182	90000		10000	236486,6	37837,85121	274324,42

Dose d'engrais simple = (Dose recommandée * Surface) / Concentration

Urée=(DR*1*100)/46

TSP=(DR*1*100)/45

Kcl=(DR*50*1*100)/60

Qté P2O5 = Qté P * 2,3

Qté K2O = Qté K * 1,2

Coût fertilisant = Coût total + Coût (transport et main d'œuvre)

Annexe 4 : Dates des différentes activités au champ

Activités	Dates
Préparation du lit de pépinière	16/07/2013
Semis de la pépinière	20/07/2013
Prélèvement des échantillons de sol	22/08/2013
Repiquage I	22/08/2013
Repiquage II	23/08/2013
Repiquage III	24/08/2013
Application des herbicides	30/08/2013
Première application d'engrais	06/09/2013
Deuxième application d'engrais	24/09/2013
Troisième application d'engrais	01/10/2013
Remplacement des poquets manquants	25/08/2013 - 01/09/2013
Application d'insecticide	03/10/2013
Échantillonnage de biomasse	15/10/2013

Annexe 5 : Plan de randomisation

Rép1		Rép2		Rép3	
T9 V5	T9 V6	T5 V2	T5 V4	T6 V2	T6 V3
T9 V4	T9 V1	T5 V5	T5 V6	T6V6	T6 V5
T9 V2	T9 V3	T5 V1	T5 V3	T6 V1	T6 V4
T11 V5	T11 V3	T3 V4	T3 V1	T4 V5	T4 V2
T11 V4	T11 V1	T3 V3	T3 V2	T4 V3	T4V1
T11 V2	T11 V6	T3 V6	T3 V5	T4 V4	T4 V6
T10 V3	T10 V5	T2 V6	T2 V1	T5 V6	T5 V3
T10 V4	T10 V6	T2 V2	T2 V3	T5 V1	T5 V4
T10 V2	T10 V1	T2 V2	T2 V5	T5 V2	T5 V5
T1 V5	T1 V1	T1 V2	T1 V6	T2 V5	T2 V4
T1 V3	T1 V6	T1V5	T1 V1	T2 V2	T2 V1
T1 V4	T1 V2	T1 V3	T1 V4	T2 V6	T2 V3
T4 V5	T4 V1	T4 V5	T4 V6	T7 V2	T7 V4
T4 V2	T4 V3	T4 V3	T4 V1	T7 V5	T7 V3
T4 V6	T4 V4	T4 V4	T4 V2	T7 V1	T7 V6
T8 V3	T8 V4	T7 V5	T7 V1	T9 V4	T9 V1
T8 V5	T8 V1	T7 V3	T7 V6	T9 V2	T9 V3
T8 V2	T8 V6	T7 V4	T7 V2	T9 V5	T9 V6
T2 V5	T2 V3	T9 V6	T9 V1	T3 V3	T3 V5
T2 V2	T2 V1	T9 V4	T9 V3	T3 V4	T3 V6
T2 V4	T2 V6	T9 V5	T9 V2	T3 V2	T3 V1
T3 V4	T3 V1	T10 V5	T10 V6	T12 V3	T12 V2
T3 V2	T3 V3	T10 V1	T10 V2	T12 V4	T12 V1
T3 V5	T3 V6	T10 V3	T10 V4	T12 V6	T12 V5
T7 V4	T7 V5	T8 V5	T8 V1	T10 V1	T10 V2
T7 V6	T7 V2	T8 V6	T8 V2	T10 V4	T10 V5
T7 V1	T7 V3	T8 V3	T8 V3	T10 V6	T10 V3
T6 V5	T6 V2	T12 V3	T12 V5	T8 V2	T8 V1
T6 V6	T6 V4	T12 V2	T12 V4	T8 V5	T8 V6
T6 V1	T6 V3	T12 V1	T12 V6	T8 V4	T8 V3
T12 V4	T12 V3	T6 V6	T6 V5	T11 V5	T11 V3
T12 V1	T12 V6	T6 V2	T6 V4	T11 V1	T11 V6
T12 V5	T12 V2	T6 V3	T6 V1	T11 V4	T11 V2
T5 V3	T5 V6	T11 V1	T11 V6	T1 V5	T1 V6
T5 V1	T5 V5	T11 V3	T11 V5	T1 V4	T1 V1
T5 V2	T5 V4	T11 V2	T11 V4	T1 V3	T1 V2