



Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz

O. Nd Faye¹, T. Gueye², A. Dieng²

1 : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles – Centre de Saint Louis route de Khor BP 240 Saint Louis, Sénégal

2 : Université de Thiès – École Doctorale Développement Durable et Société (E2DS) quartier dixième (10 ème) rue Riaom, BP 964 Thiès, Sénégal

Auteur correspondant email : omarndf@yahoo.fr

Original submitted in on 13th May 2016. Published online at www.m.elewa.org on 31st July 2016
<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v103i1.7>

RESUME

Objectif : La réaction du riz à la salinité est un phénomène complexe qui dépend du niveau de salinité, de la variété et du stade de développement. Cette étude veut mettre en exergue les différents comportements de variétés de riz dans différents niveaux de salinité afin de sélectionner les variétés prometteuses.

Méthodologie et résultats : Quatre essais de criblage de 23 variétés et 5 témoins de riz ont été installés dans la station de recherches de AfricaRice au Sénégal avec des niveaux de salinité contrôlés de 0 ; 3 ; 6 et 9 dS/m. Un dispositif en alpha lattice avec 3 répétitions de 7 blocs a été appliqué. Les incidents de la salinité sur ces variétés se sont traduits par une perte de panicules, un retard de la croissance, une diminution du cycle à la maturité et des rendements en biomasse et grains. La classification K-means illustre les performances de variétés prometteuses comme D14, IR 72593-B-3-2-3-8 et WAS 201-B-2.

Conclusion et applications des résultats. Les comportements des variétés de riz dans différents niveaux de salinité manifestés sur les paramètres agronomiques traduisent différents mécanismes physiologiques de tolérance à la salinité. Les variétés D14, IKP, IR-1829-3R 89-1-1, IR 72593-B-3-2-3-8 et WAS 201-B-2 ont pu limiter les dégâts du sel à 6,33 dS/m ; elles sont des potentiels parents élites dans des schémas de croisement avec les meilleures variétés locales. Quant aux variétés D14, IR 59418-7B-21-3, IR 61920-3B-22-2-1 et WAS 73-B-B-231-4, elles ont confirmé leur performance avec des rendements supérieurs à 4 T/ha dans des conditions de salinité de 4,86 dS/m. Elles ont été choisies par les producteurs en première année de sélection variétale participative, et peuvent être proposées à l'homologation pour une production dans les zones de salinité moyenne dans la vallée du fleuve Sénégal. Pour cela, des tests de caractérisation de DHS/VATE (Distinction Homogénéité Stabilité / Valeur Agronomique Technologique et Environnementale) devront être conduits.

Mots clés : salinité, effets sel, riz, variétés, paramètres agronomiques

SALINITY EFFECT AT FIELD ON AGRONOMIC PARAMETERS OF 23 RICE VARIETIES

ABSTRACT

Objective : The reaction of rice to salinity is a complex phenomenon that depends on the salinity level, variety and stage of development. This study wants to highlight the different behaviors of rice varieties in different salinity levels to select promising varieties.

Methodology and Results: Four screening trials of 23 varieties and 5 controls of rice were installed in the AfricaRice research station in Senegal with controlled salinity levels of 0; 3; 6 and 9 dS / m. A device in alpha lattice with 3 replicates of 7 blocks has been applied. Incidents of salinity on these varieties have resulted in a loss of panicles, stunted; decreased cycle maturity and biomass yields and grain. The K-means classification illustrates the promising varieties of performance as D14, IR 72593-B-3-2-3-8 and WAS 201-B-2.

Conclusion and application of the results: The behaviors of rice varieties in different salinity levels exhibited on agronomic parameters reflect different physiological mechanisms of salt tolerance. The D14 varieties, IKP, IR-1829-3R 89-1-1, IR 72593-B-3-2-3-8 and WAS 201-B-2 were able to limit the damage of salt to 6.33 dS / m ; they are potential elite parents in crossing patterns with the best local varieties. As for the D14 varieties IR-59418-7B 21-3, 22-2-1 and IR 61920-3B-WAS 73-BB-231-4, they confirmed their performance with yields higher than 4 t / ha in salinity conditions of 4.86 dS / m. They were chosen by the producers in the first year of participatory varietal selection, and can be proposed for approval for production in the average salinity zones in the Senegal River valley. For this characterization tests of DHS / VATE (Distinction Uniformity Stability / Value Technological Agricultural and Environmental) will be conducted.

Keywords: salinity, salt effects, rice, varieties, agronomic parameters

INTRODUCTION

La consommation du riz (*Oryza Sativa* L.) dans le continent africain a augmenté de 16 à 29 millions de tonnes entre 2000 et 2012 et en Afrique subsaharienne de 12 à 24 Mt (Seck *et al.*, 2013). La culture de cette céréale se fait dans différents systèmes agro-écologiques : irrigué, pluvial plateau et bas-fond et en mangrove. Le continent regorge encore de fortes potentialités en terres cultivables, mais avec les effets néfastes du changement climatique, le taux d'accroissement des superficies culturales est atténué par les stress abiotiques. La salinité des sols fait partie des stress abiotiques majeurs pouvant ralentir l'augmentation de la production du riz dans le monde (Zeng *et al.*, 2000). Au Sénégal, les terres salées couvraient en 2008 une superficie de 996.947 ha, dont 179.765 ha dans la Vallée du Fleuve Sénégal (INP, 2008). Les pratiques d'irrigation habituellement utilisées et qui entraînent un maintien continu de la lame d'eau en début de la phase végétative augmentent le niveau de salinité. Les effets visibles de salinité sur le riz sont : la diminution du taux de croissance des plants, les dégâts sur le méristème des jeunes plantules, la baisse des composantes de rendement et les

symptômes typiques du désordre nutritionnel dans les conditions de stress osmotique et ionique. En général, les jeunes plantules sont très sensibles en condition de stress de salinité (Pearson et Bernstein, 1959 ; Kadah, 1963 ; Flowers et Yeo, 1981). Au niveau de la panicule, les ramifications, la longueur, le nombre d'épillets et le poids sont aussi significativement réduits par la salinité (Ismail *et al.*, 2007 ; Scardaci *et al.*, 1996 ; Heenan et McCaffery, 1988 ; Khatun *et al.*, 1995). Au niveau physiologique, les différentes stratégies pour s'adapter dans des conditions de salinité des plantes sont décrites par l'IRRI (International Rice Research Institute) :

1. exclusion : c'est une restriction de l'entrée des ions toxiques au niveau des racines ;
2. transfert des ions toxiques au niveau des feuilles âgées ou dans la tige ;
3. évacuation (excrétion) du sel, à travers des glandes où des poils (surtout chez les halophytes) ;
4. séquestration des ions toxiques au niveau de la vacuole (IRRI, accédé le 25/12/2015 ; Hanana *et al.*, 2011 ; Borsani *et al.* 2003 ; Munns, 2005 ; Munns et Tester, 2008 ; Yamaguchi et Blumwald, 2005 ; Apse et Blumwald, 2007). Les stratégies de lutte contre la

salinité en productions végétales sont souvent axées, à la fois, sur le développement des options de gestion de pratiques culturales (Shannon, 1997) et l'amélioration génétique de tolérance à la salinité des nouvelles variétés (Epstein *et al.*, 1980). Le développement de ces technologies rizicoles dans les systèmes irrigués et les bas-fonds au Sénégal est encore très limité. Dans le domaine de l'amélioration variétale, les tests de criblage de variétés supposées tolérantes à la salinité conduits au niveau de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), dans le cadre du projet STRASA (Stress Tolerant Rice for Africa and South Asia), ont permis de sélectionner des variétés prometteuses. Cependant, les succès des méthodes de criblage de variétés de riz basées sur la vigueur des plants et les symptômes des dégâts de la salinité sont limitées

METHODOLOGIE

L'essai a été installé dans les parcelles expérimentales de la station du Centre du riz pour l'Afrique (AfricaRice) basé au Sénégal, zone Sahel situé à Ndiaye 16°14'N, 16°14'W, dans la région de Saint Louis département de Dagana durant la contre saison 2015 (février – juillet). Le matériel végétal est composé de 23 lignées choisies après un criblage pour la tolérance à la salinité en Gambie, au Mali et au Sénégal et 5 témoins soit 28 entrées au total (Tableau 1). Les témoins sont composés de :

- 4 variétés introduites : IR 4630 ; FL 478, Nona Bokra tolérantes et IR 29 sensible à la salinité
- un témoin local sensible Sahel 108

Les autres matériels sont composés de:

- un appareil de mesure de la Conductivité Électrique (CE exprimée en déci-Siemes par mètre dS/m) qui a permis d'estimer la quantité de sel avec la formule (LENNTECH, accédé le 10/09/2015)

$C = 640 CE$ (concentration en sel C et la conductivité électrique CE)

- un pH mètre pour mesurer le niveau d'acidité de l'eau d'irrigation,
- des tuyaux en plastique servant de piézomètres pour mesurer le niveau de salinité de la nappe d'eau et son Ph. Trois piézomètres étaient installés diagonalement dans chaque environnement ;
- une solution composée essentiellement de l'eau et sel ordinaire de cuisine a permis d'ajuster les niveaux de salinité recherchés dans chaque environnement,

(Yeo et Flowers, 1990). La stratégie consistant à alterner un criblage de la diversité génétique avec des caractères physiologiques peut être une approche effective en sélection variétale pour la tolérance à la salinité. Les méthodes d'évaluation agronomique peuvent améliorer la caractérisation, particulièrement sur les rendements en grains, première étape d'un plan de sélection (Zeng *et al.*, 2002). Après une évaluation participative des variétés en milieu réel, suivie d'un criblage durant la phase végétative en serre avec un contrôle de salinité, cette étude de l'effet de la salinité sur les variétés en milieu réel permet de voir les incidents du sel sur quelques paramètres agromorphologiques et à partir d'une classification sélectionner les lignées les plus prometteuses.

les informations complémentaires (pedigree) sur le matériel végétal ont été tirées du logiciel de BMS version 3.0.8. téléchargé à partir de la plateforme de IBP « Integreting Breeding Plateforme » (IBP, accédé le 14/02/2015). Le BMS a été aussi utilisé pour la gestion des données, l'élaboration du cahier de champ exporté dans une tablette. Le dispositif expérimental était en alpha lattice, avec 3 répétitions dans chaque environnement. Chaque répétition était composée de 7 blocs et chaque bloc de 4 parcelles/variétés. La taille d'une parcelle élémentaire était de 2,80x1 m, avec 5 lignes de 2,8 m. La parcelle utile constituée des trois lignes centrales avec 2,4 mètres de long soit une superficie de 1,56 m². Le nombre d'environnements est de 4 :

- l'environnement 1 (E1) a servi de contrôle avec sans apport de solution salée ;
- l'environnement 2 (E2), le niveau de salinité était fixé à 3 dS/m avec des apports de solution salée pour réguler la salinité;
- l'environnement 3 (E3), avec un niveau de salinité de 6 dS/m, ce qui a entraîné des apports de solution salée importants.
- l'environnement (E4) avait le niveau de salinité le plus élevé avec 9 dS/m.

Ce dispositif permet de suivre les effets du sel d'un nombre important de variétés à des niveaux de salinité différents.

Tableau 1 : Liste des variétés et leur généalogie

VARIETIES	GENEALOGIE
IR 4630	PELITA I-1/POKKALI (ACC 8948)//IR 2061-464-2//IR 1820-52-2
SAHEL 108	IR 30 (BPH S)/BABAWEE//IR 36
IR 29	IR 1561-149-1//IR 1737//IR 833-6-2-1-1
FL478	FL478
WAS 73-B-B-231-4	IR 4630-22-2//IR 31785-58-1-2-3-3
WAS 174-B-8-4	IR 4630-22-2//IR 67418-238-6-2-3-3
D 14	D 14
WAS 201-B-2	WAS 201
IR 1829-3R-89-1-1	IR 1366-120-3-1//IR 1539-111
IR 71991-3R-2-6-1	IR 5//IRRI 126
Nona Bokra	Nona Bokra
IR 65192-4B-11-3	IR 9884-54-3-1E-P1 (PSB RC 48)/KUATIK PUTIH
IR 59418-7B-21-3	IR 50404/AT 401//IR 10198-66-2
IR 61920-3B-22-2-1	IR 32429-47-3-2/WAGWAG
SAHEL 201	IR 2071-586/BG 400-1-SLR
IR 31785	IR 31785
IKONG PAO	IKONG PAO
IR 197-B-8-2	BLUEBELLE/TAINAN LINE 487 (T 487)
IR 76346-B-B-10-1-1-1	IRRI 126//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
HASAWI	HASAWI
WAS 191-7-WAB-1-1-1	TOG 5681/4*IR 64//IR 64
IR 70023-4B-R-12-3-1-1	IR 50184-3B-8-2B-1//IR 10198-66-2
WAS 73-B-B-231-4	IR 4630-22-2//IR 31785-58-1-2-3-3
IR 85920-11-2-1-AJY1-2-B	IR 84087-19//IR00A110//IR00A110
IR 88314-1-AJY 1-B	IR 66946-3R-178-1-1/2*IR 73718-23-2-1-3
WAS 206-B-B-2-2-1	WAS 206-B-B-2-2-1
IR 72593-B-3-2-3-8	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
IR 72593-B-3-2-3-14	IR 20//IR 24//IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)

Les analyses combinées de variances ont été faites avec le breeding view et les classifications K-means réalisées avec le logiciel R. L'incident de la salinité sur un paramètre est calculé avec la formule (Ahmadi, 2011):

$$Xs.k \text{ (en \%)} = (Xb - Xi) * 100 / Xi$$

Avec :

$Xs.k$ = incident de la salinité sur les plants en mesurant le paramètre k .

Xi = la mesure du paramètre à un niveau de référence i où la plante ne reçoit aucun stress (condition optimum). Dans notre expérience, l'environnement de contrôle 0 est notre référence.

Xb = la mesure du paramètre à un niveau de stress b (environnement testé 3 ; 6 ou 9 dS/m)

Au sens strict du terme, l'héritabilité d'un caractère est décrite par la régression de la performance des

descendances sur la moyenne de performance des parents.

Dans une population en brassage l'héritabilité (h^2) est définie par :

$$h^2 = \text{cov}(\text{parental mean, offspring}) / \text{var}(\text{parental mean}) = \sigma^2_A / \sigma^2_P$$

σ^2_A = variance génétique additive

σ^2_P = variance phénotypique

Au sens large du terme, l'héritabilité est égale à la variance génétique sur la variance phénotypique. ($h^2 = \sigma^2_g / \sigma^2_P$ avec $\sigma^2_A =$ variance génétique et $\sigma^2_P =$ variance phénotypique)

L'héritabilité opérationnelle s'applique à des :

- unités de sélection génétiquement constantes, c'est-à-dire des populations des lignées ou des clones ;
- moyennes des entrées issues des essais

$h^2 = \sigma_g^2 / \sigma^2_P$ avec $\sigma_g^2 = (MC_{\text{entrée}} - MC_{\text{résiduel}}) / r$ et $\sigma^2_P = MC_{\text{entrée}} / r$; MC= Moyenne carrée et r nombre de répétitions.

- la valeur estimée pour σ_g^2 dépend de la diversité des entrées

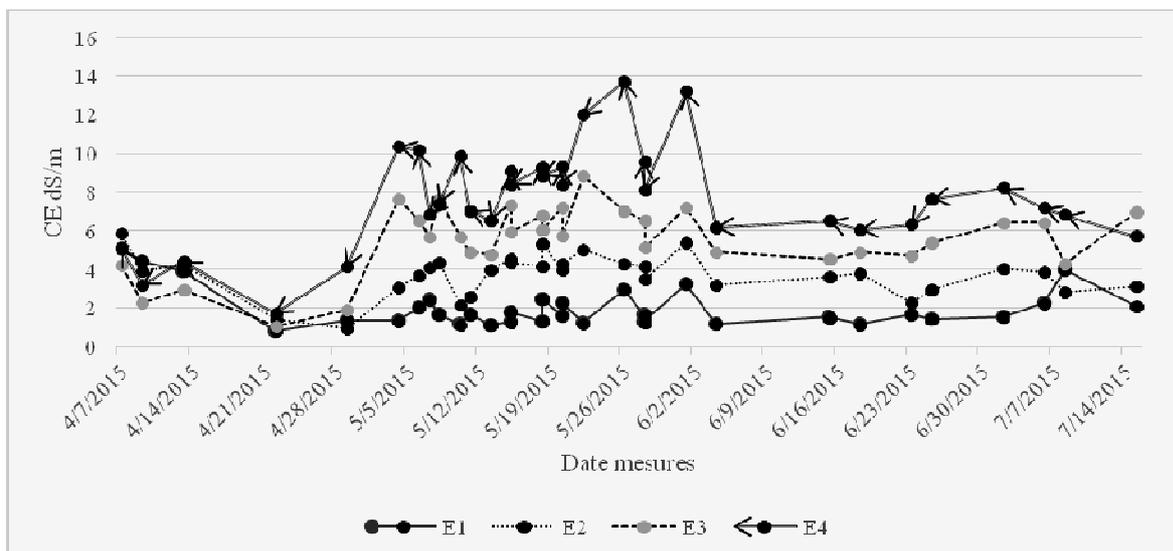
- la valeur estimée pour σ^2_P dépend de l'essai

Le sélectionneur peut ainsi influencer l'héritabilité opérationnelle par le dispositif expérimental de l'essai (Fred et Schipprack, 2014). L'héritabilité de chaque paramètre étudié est calculée dans cette étude pour juger nous permettre de juger la qualité des données. Les variétés ont été semées en pépinière et, après 21 jours, repiquées avec un écartement de 20x20 cm. Les irrigations s'effectuaient hebdomadairement avec un suivi régulier de la lame d'eau et du niveau de salinité. Les mauvaises herbes étaient contrôlées par un traitement à l'aide d'un mélange de Propanil et Weedone (matières actives en g/l Propanil : 360 et 2.4 D : 480 respectivement) accompagné d'un désherbage manuel en cas de nécessité. Quant à la fertilisation, le N-P-K en 124-68-4 a été apporté sous forme d'urée (46%), DAP (18 - 46%) et KCl. Les mesures de conductivité électrique se sont effectuées tous les lundis, mercredis et vendredis sur trois points choisis et fixés diagonalement dans chaque répétition sur la lame d'eau et dans chaque

piézomètre. Les apports de sel ont démarré 2 semaines après le repiquage et suivant le niveau de salinité. Les paramètres suivis et étudiés sont le nombre de panicule par plant, la hauteur, le nombre de jours à la maturité et les rendements grains et biomasse aérienne.

Caractérisation des environnements

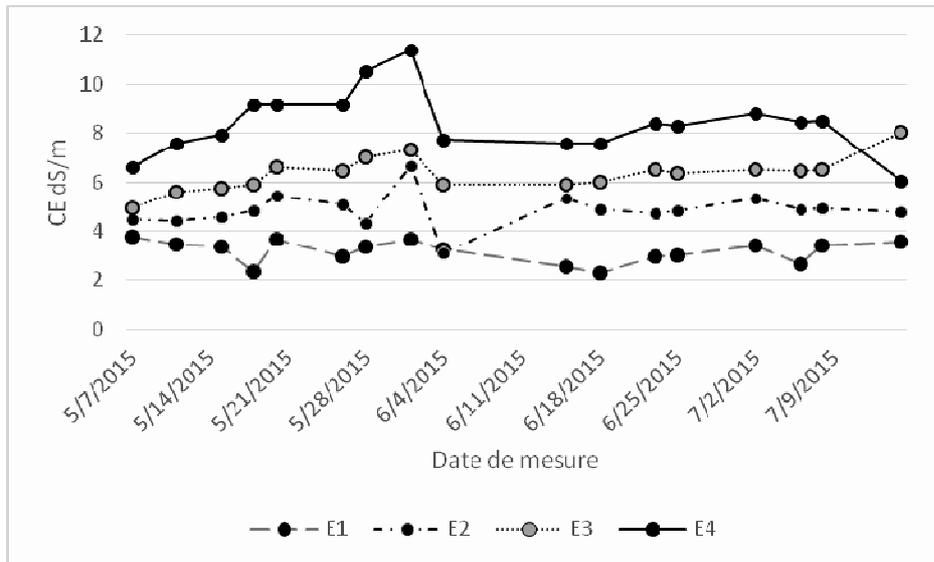
Eau d'irrigation de surface dans les parcelles : Les mesures de la CE au niveau de chaque environnement ont permis d'avoir l'évolution de la salinité dans le temps. L'analyse de la variance de l'interaction des dates de mesures et des environnements révèle un effet significatif sur l'évolution CE de la lame d'eau. La salinité entre les environnements est aussi significativement différente ($P < 0,001$). Les niveaux de salinité par environnement ont évolué suivant les dates et montrent des fluctuations parfois s'écartant de la CE visée. Au repiquage effectué le 07 avril, les niveaux de la salinité au niveau des environnements étaient de 5,1 ; 5,8 ; 4,2 et 5,1 dS/m respectivement dans E1 ; E2 ; E3 et E4. Pour assurer une bonne reprise des plants, la lame d'eau a été renouvelée toutes les 48 heures jusqu'à la date du 21 avril où les apports de solution salée ont démarré. Les niveaux de salinité dans les environnements E1, E2, E3 et E4 ont évolué en moyenne pour la suite de 1,8 ; 3,8 ; 6,1 et 8,4 dS/m respectivement (Graphique 1).



Graphique 1 : Évolution de la conductivité électrique de la lame d'eau au niveau des parcelles dans les différents environnements suivant les dates de mesures.

Eau des piézomètres (20 cm de profondeur) : Les mesures de CE dans les piézomètres ont démarré le 07 mai 2015. L'analyse de la variance combinée des mesures de CE des environnements en fonction des dates de mesure a révélé une interaction significative

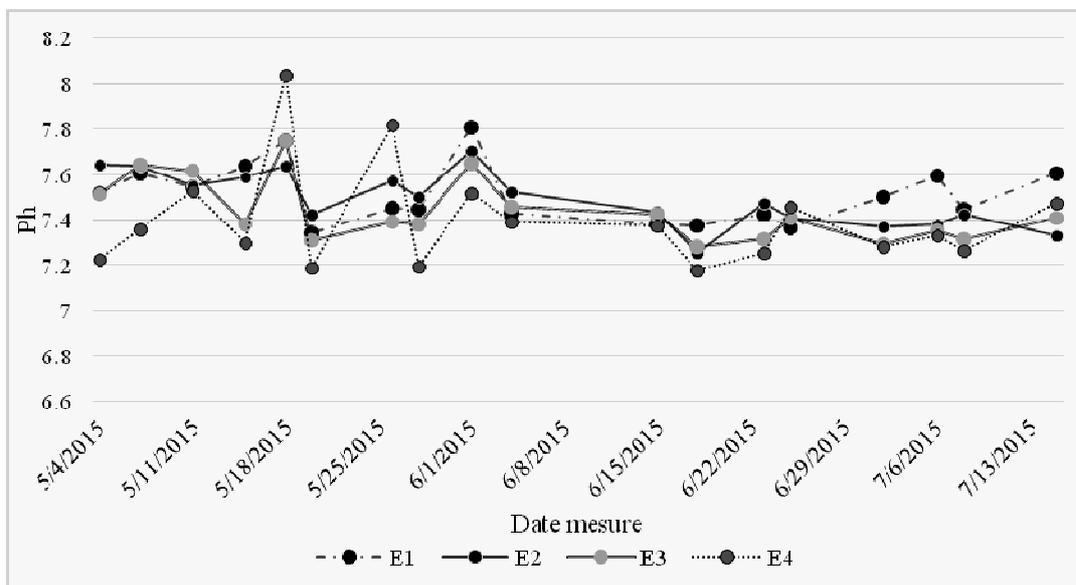
($Pr < 0,0001$). Les CE moyennes des environnements sur l'ensemble des mesures sont de 3,15 ; 4,86 ; 6,33 et 8,40 ds/m respectivement en E1, E2 E3 et E4. La salinité de la nappe est plus élevée que l'eau d'irrigation (graphique 2).



Graphique 2 : Évolution de la conductivité électrique dans les différents environnements suivant les dates de mesures de l'eau de la nappe dans les piézomètres

Évolution du PH : Quant au PH, l'analyse de variance combinée dans les différents environnements suivant les dates de mesure ne montre pas un effet significatif

de l'interaction ($P = 0,1737$). Le Ph moyen dans les environnements est ainsi de 7,45 (Graphique 3).



Graphique 3 : Évolution des moyennes de Ph dans différents environnements en fonction des dates de mesure

RESULTATS

Paramètres agronomiques : Dans l'environnement E4, les variétés n'ont pas bouclé leur cycle, les paramètres suivis n'ont pas pu être mesurés.

Le nombre de panicules par plant : Les héritabilités opérationnelles du nombre de panicules par plant dans

les environnements E1, E2, et E3 sont respectivement de 85 ; 60 et 67 %. L'analyse de variance combinée au niveau des trois environnements montre un effet de l'interaction GxE significatif ($Pr < 0,0001$) sur l'évolution du nombre de panicules par plant. Cette évolution est aussi

Faye et al. J. Appl. Biosci. 2016 Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz.

différente significativement entre les environnements ($Pr < 0,0001$) et entre les variétés ($Pr = 3,3E-08$). L'analyse simple de la variance au niveau de chaque environnement montre aussi que la différence du nombre de panicules par plant est hautement significative entre les variétés ($Pr = 6,7E-26$; $2,4E-05$ et $3,1E-07$ respectivement en E1, E2 et E3). Les moyennes de

nombre de panicules par plant évoluent de 12,8 de l'environnement de contrôle (E1) à 12,3 et 5 respectivement dans les environnements E2 (3 ds/m) et E (6 ds/m). Les incidents de la salinité sur le nombre de panicule ont engendré des pertes de panicules 4,8 % dans l'environnement E2 à 58,8 % dans l'environnement E3 (Tableau 2).

Tableau 2 : Moyennes de nombre de panicules par plant issues de l'analyse GXE

Variétés	E1	E2	E3	INC.E2	INC.E3
D 14	9,9	11,2	10,0	13,9	1,2
FL 478	9,0	11,1	8,4	23,5	-7,1
HASSAWI	-	-	-	-	-
IKP	11,6	13,3	8,0	14,7	-31,2
IR 1829-3R-89-1-1	12,2	8,2	8,0	-32,8	-34,0
IR 29	14,7	12,4	4,4	-15,5	-70,3
IR 31785	15,4	12,7	3,6	-18,0	-76,6
IR 4630	16,2	11,6	14,5	-28,2	-10,1
IR 59418-7B-21-3	13,1	9,3	2,8	-28,9	-78,6
IR 61920-3B-22-2-1	10,1	12,4	9,1	23,0	-9,9
IR 65192-4B-11-3	14,1	16,6	0,2	17,6	-98,4
IR 70023-4B-B-12-3-1-1	21,3	13,2	12,4	-37,9	-41,9
IR 71991-3R-2-6-1	16,3	19,7	1,3	20,9	-92,1
IR 72593-B-3-2-3-14	10,8	11,9	3,3	10,5	-69,1
IR 72593-B-3-2-3-8	14,3	8,5	6,4	-40,4	-55,3
IR 76346-B-B-10-1-1-1	13,4	11,2	3,3	-16,3	-75,7
IR 85920-11-2-1-ATY-2-B	14,7	19,9	5,2	35,7	-64,6
IR88314-1-ATY1-B	16,0	10,8	5,6	-32,5	-64,6
NONA BOKRA	-	-	-	-	-
SAHEL 108	11,2	13,1	0,0	16,8	-100,0
SAHEL 201	19,1	21,6	0,0	13,3	-100,0
WAS 174-B-8-4	13,4	13,8	1,1	3,1	-92,1
WAS 191-7-WAB-1-1-1	15,8	13,8	7,2	-12,9	-54,6
WAS 197-B-8-2	14,6	13,2	3,7	-10,0	-75,1
WAS 201-B-2	12,4	11,1	5,8	-10,1	-53,1
WAS 206-B-3	12,6	10,2	4,3	-18,7	-66,2
WAS 73-B-B-231-4	10,8	9,7	4,3	-9,8	-60,0
WAS 73-B-B-231-4-ARS1	16,1	15,3	9,3	-5,1	-42,1
Moyenne	12,8	12,3	5,1	-4,8	-58,5
Héritabilité	0,8592	0,6003	0,6748		
Pr GXE (combine ANOVA)	3,3E-08				
Pr variétés (combine ANOVA)	6,5E-20				
Pr Env. (combine ANOVA)	1,2E-09				
Pr variétés (ANOVA)	6,7E-26	2,4E-05	3,1E-07		

Faye et al. J. Appl. Biosci. 2016 Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz.

La hauteur du plant : Les héritabilités opérationnelles des mesures de hauteur des plants sont de 94,1 ; 89,4 et 75,1 % dans les environnements respectifs de E1, E2 et E3. L'effet de l'interaction des variétés et des environnements sur la hauteur est significatif (Pr=4,7E-16). L'évolution de la hauteur des plants est significativement différente entre les différents environnements et entre les variétés elles-mêmes dans les trois environnements. L'analyse simple de la variance au niveau de chaque environnement

permet de voir la variation significative entre les variétés au niveau de chaque environnement (Pr=1,1E-74 en E1 ; Pr = 2,4E-35 en E2 et Pr= 3,2E-11 dans E3). Les moyennes des hauteurs par environnement diminuent suivant le niveau de salinité (94,9 cm pour l'environnement de contrôle et 82,5 cm pour E2 et 53,9 cm pour E3). Ce qui s'exprime au niveau de l'incident moyen de la salinité sur la hauteur des plants en E2 avec -12,5% et E3 -42,9% (tableau 3).

Tableau 3 : Moyennes de la hauteur en cm des plants issues de l'analyse GXE

Variétés	E1	E2	E3	INC.E2	INC.E3
D 14	83,7	75,4	62,1	-9,9	-25,8
FL 478	85,4	82,0	63,4	-3,9	-25,7
HASSAWI	135,4	102,5	72,4	-24,3	-46,5
IKP	89,1	75,4	56,8	-15,4	-36,3
IR 1829-3R-89-1-1	86,2	86,9	63,2	0,8	-26,7
IR 29	84,0	72,0	34,6	-14,2	-58,7
IR 31785	80,1	66,4	64,4	-17,0	-19,6
IR 4630	104,3	78,0	67,2	-25,3	-35,6
IR 59418-7B-21-3	85,4	81,4	43,0	-4,7	-49,7
IR 61920-3B-22-2-1	80,0	68,8	54,5	-14,0	-31,9
IR 65192-4B-11-3	80,5	73,3	55,7	-8,9	-30,7
IR 70023-4B-B-12-3-1-1	101,1	87,7	72,7	-13,3	-28,1
IR 71991-3R-2-6-1	90,6	89,3	73,9	-1,4	-18,4
IR 72593-B-3-2-3-14	89,9	75,8	40,7	-15,7	-54,8
IR 72593-B-3-2-3-8	94,5	82,7	67,3	-12,5	-28,8
IR 76346-B-B-10-1-1-1	98,8	79,6	63,8	-19,4	-35,4
IR 85920-11-2-1-ATY-2-B	103,0	96,9	65,3	-6,0	-36,6
IR88314-1-ATY1-B	105,3	87,9	62,4	-16,6	-40,7
NONA BOKRA	153,5	118,0	51,0	-23,1	-66,8
SAHEL 108	79,2	67,4	-	-14,9	-100
SAHEL 201	90,9	81,3	16,6	-10,6	-81,7
WAS 174-B-8-4	88,1	71,3	12,4	-19,1	-85,9
WAS 191-7-WAB-1-1-1	111,9	95,5	70,2	-14,6	-37,3
WAS 197-B-8-2	91,4	83,3	25,4	-8,8	-72,2
WAS 201-B-2	92,7	80,2	60,3	-13,5	-34,9
WAS 206-B-3	99,6	91,8	66,6	-7,9	-33,1
WAS 73-B-B-231-4	86,2	80,6	61,5	-6,5	-28,7
WAS 73-B-B-231-4-ARS1	86,7	79,6	60,9	-8,1	-29,7
Moyenne en cm	94,9	82,5	53,9	-12,5	-42,9
Héritabilité	0,9412	0,8939	0,7515		
Pr GXE (Combine ANOVA)	4,7E-16				
Pr Env. (Combine ANOVA)	4,1E-19				
Pr Variété (Combine ANOVA)	4,1E-47				
Pr (ANOVA / environnement)	1,1E-74	2,4E-35	3,2E-11		

Faye et al. J. Appl. Biosci. 2016 Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz.

Le nombre de jours à la maturité : L'analyse combinée de la variance dans les différents environnements montre une interaction des variétés et des environnements hautement significative ($Pr=7,071E-07$) sur la variation du nombre de jours de maturité des plants. L'analyse de variance par environnement montre aussi que les réactions des variétés suivant le nombre de jours à la

maturité sont significativement différentes entre elles. La variation du nombre de jours moyens par environnement des variétés E1 à E3 traduit l'effet de la salinité. L'incident de la salinité sur la maturité des plants est ainsi de 1,04% en E2 : un rallongement général du cycle de maturité ; de -33,04 % en E3 : une diminution du cycle à la maturité (Tableau 4).

Tableau 4 : Moyennes du nombre de jours à la maturité issues de l'analyse GXE

Variétés	E1	E2	E3	INC.E2	INC.E3
D 14	142	129	136	-9,15	-4,10
FL 478	138	129	156	-6,52	13,47
HASSAWI	-	-	-	-	-
IKP	134	134	135	0,00	0,42
IR 1829-3R-89-1-1	133	131	135	-1,50	1,09
IR 29	133	129	93	-3,01	-30,29
IR 31785	134	124	89	-7,46	-33,43
IR 4630	156	156	113	0,00	-27,39
IR 59418-7B-21-3	129	132	103	2,33	-20,22
IR 61920-3B-22-2-1	129	129	132	0,00	2,40
IR 65192-4B-11-3	143	155	-	8,14	-
IR 70023-4B-B-12-3-1-1	145	141	152	-2,76	5,11
IR 71991-3R-2-6-1	97	151	53	55,14	-45,26
IR 72593-B-3-2-3-14	135	129	94	-4,44	-30,09
IR 72593-B-3-2-3-8	132	129	155	-2,27	17,23
IR 76346-B-B-10-1-1-1	134	133	97	-0,75	-27,23
IR 85920-11-2-1-ATY-2-B	150	155	105	3,33	-30,28
IR88314-1-ATY1-B	141	141	113	0,00	-20,13
NONA BOKRA	-	-	-	-	-
SAHEL 108	132	130	-	-1,52	-
SAHEL 201	150	156	-	4,00	-
WAS 174-B-8-4	129	129	-	-	-
WAS 191-7-WAB-1-1-1	150	154	57	2,67	-62,14
WAS 197-B-8-2	129	129	47	0,00	-63,89
WAS 201-B-2	138	130	137	-5,80	-0,22
WAS 206-B-3	133	135	87	1,25	-34,41
WAS 73-B-B-231-4	129	135	99	4,65	-23,24
WAS 73-B-B-231-4-ARS1	142	129	81	-9,15	-42,74
Moyenne	126	127	84	1,04	-33,04
Héritabilité	0,939	0,9998	0,6402		
Pr GXE (ANOVA combiné)	7,071E-07				
Pr variétés (ANOVA combiné)	8,348E-42				
Pr Env (ANOVA combiné)	8,945E-08				
Pr (ANOVA)	8,49E-77	0	3,051E-32		

Faye et al. J. Appl. Biosci. 2016 Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz.

Biomasse : Le calcul de l'héritabilité du rendement en biomasse aérienne donne 85 ; 76 et 54 %, respectivement dans les environnements E1 ; E2 et E3. L'analyse combinée de la variance sur les trois environnements montre que l'effet de l'interaction du génotype et de l'environnement est hautement significatif sur le rendement en biomasse (Pr=0,0001). Entre les environnements, la biomasse des variétés varie aussi

différemment (Pr=0,004). Les variétés ont aussi un comportement en biomasse très différent entre elles dans chaque environnement. Les moyennes de rendement biomasse évoluent ainsi de 7752 kg/ha dans l'environnement de contrôle (E1) à 6870 kg/ha à E2 et 4892 kg/ha dans E3. Ce qui se reflète au niveau des incidents moyens de la salinité en E2 avec -8,9% puis en E3 avec -32,65 % (tableau 5).

Tableau 5 : Moyennes du poids en Kg de la biomasse aérienne par variété issues de l'analyse GXE

Variétés	E1	E2	E3	INC.E2	INC.E3
D 14	5125,6	4944,4	5457,4	-3,53	6,47
FL 478	4857,8	6018,5	6844,2	23,89	40,89
HASSAWI	-	-	-	-	-
IKP	5634,8	6129,6	5831,2	8,78	3,49
IR 1829-3R-89-1-1	7264,6	3777,8	6604,5	-48,00	-9,09
IR 29	5762,0	5370,4	3789,2	-6,80	-34,24
IR 31785	5172,4	6518,5	3861,7	26,03	-25,34
IR 4630	18135,5	9814,8	12705,2	-45,88	-29,94
IR 59418-7B-21-3	5996,5	5351,9	1762,7	-10,75	-70,60
IR 61920-3B-22-2-1	5500,9	4777,8	5643,5	-13,15	2,59
IR 65192-4B-11-3	9578,9	8463,0	5006,2	-11,65	-47,74
IR 70023-4B-B-12-3-1-1	13270,9	7500,0	11292,2	-43,49	-14,91
IR 71991-3R-2-6-1	11267,1	14740,7	2515,5	30,83	-77,67
IR 72593-B-3-2-3-14	6165,1	6703,7	4681,8	8,74	-24,06
IR 72593-B-3-2-3-8	5318,2	3759,3	6043,2	-29,31	13,63
IR 76346-B-B-10-1-1-1	8272,8	5648,1	3386,5	-31,73	-59,06
IR 85920-11-2-1-ATY-2-B	11846,1	11351,9	6804,9	-4,17	-42,56
IR88314-1-ATY1-B	9224,1	9314,8	5459,2	0,98	-40,82
NONA BOKRA	-	-	-	-	-
SAHEL 108	5208,8	5111,1	0,0	-1,88	-100
SAHEL 201	11107,2	12648,1	350,6	13,87	-96,84
WAS 174-B-8-4	6417,1	4759,3	3597,3	-25,83	-43,94
WAS 191-7-WAB-1-1-1	14164,4	14740,7	10278,1	4,07	-27,44
WAS 197-B-8-2	7048,9	7296,3	2037,2	3,51	-71,10
WAS 201-B-2	6157,3	5481,5	5325,6	-10,98	-13,51
WAS 206-B-3	7197,1	9463,0	6160,2	31,48	-14,41
WAS 73-B-B-231-4	16573,1	3370,4	7252,1	-79,66	-56,24
WAS 73-B-B-231-4-ARS1	5523,2	5611,1	4607,2	1,59	-16,58
Moyenne	7752,6	6870,4	4892,9	-8,19	-32,65
Héritabilité	0,8589	0,7563	0,5375		
Pr GXE	0,00014				
Pr Env. (Combine ANOVA)	0,00474				
Pr Var. (Combine ANOVA)	2,04E-30				
Pr (ANOVA)	2,28E-24	4,0E-12	0,0003689		

Faye et al. J. Appl. Biosci. 2016 Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz.

Le rendement en grains en Kg/ha : La variation du rendement en grains par variété est fortement influencée par l'interaction des variétés et des environnements (Pr=1,2E-12). L'analyse de la variance au niveau de chaque environnement montre aussi que les rendements sont significativement différents entre les variétés. Les

moyennes de rendement des variétés par environnement évoluent de 6120 kg/ha dans l'environnement de contrôle à 3300 kg/ha au niveau de E2 et à 340 kg/ha à l'environnement E3. Ce qui traduit l'effet de la salinité sur le rendement grain des variétés en une perte de 45,8% en E2 puis 93% en E3 (Tableau 6).

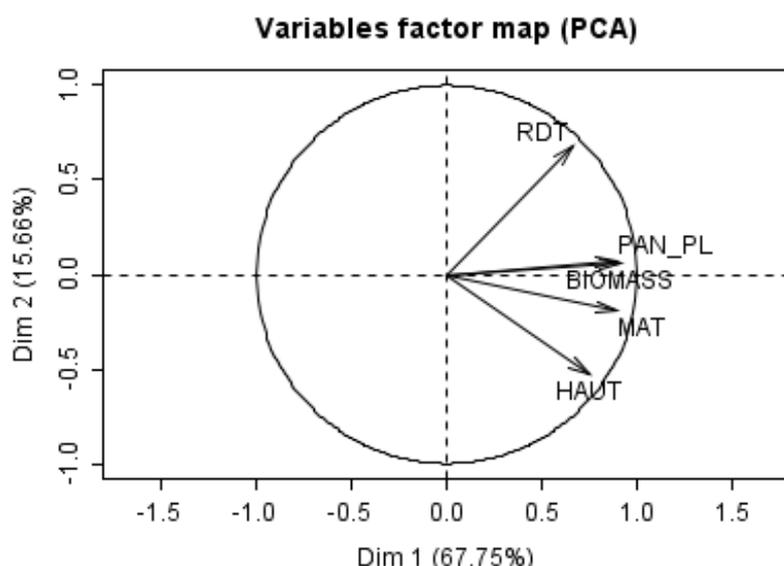
Tableau 6 : Moyennes du rendement en grains en kg/ha par variété issues de l'analyse GXE

Variétés	E1	E2	E3	INC.E2	INC.E3
FL 478	3839,9	3526,5	3013,3	-8,2	-21,5
IR 1829-3R-89-1-1	4402,0	3668,7	1667,6	-16,7	-62,1
D 14	6812,3	6050,3	1179,1	-11,2	-82,7
IR 29	6165,0	4796,6	667,0	-22,2	-89,2
IKP	7981,1	3419,9	597,0	-57,1	-92,5
IR 61920-3B-22-2-1	5866,4	4581,1	515,2	-21,9	-91,2
WAS 201-B-2	7676,5	3929,8	405,8	-48,8	-94,7
IR 72593-B-3-2-3-8	7570,9	3839,1	385,6	-49,3	-94,9
IR 59418-7B-21-3	9105,7	5490,3	225,8	-39,7	-97,5
IR 76346-B-B-10-1-1-1	3156,3	3538,8	221,8	12,1	-93,0
IR 70023-4B-B-12-3-1-1	4533,1	3325,7	154,5	-26,6	-96,6
WAS 206-B-3	7401,7	2454,7	128,9	-66,8	-98,3
IR 72593-B-3-2-3-14	8412,6	3204,8	115,7	-61,9	-98,6
WAS 197-B-8-2	7237,0	2468,1	98,4	-65,9	-98,6
IR 4630	4365,9	3382,7	92,8	-22,5	-97,9
IR88314-1-ATY1-B	6502,6	2379,5	84,3	-63,4	-98,7
WAS 191-7-WAB-1-1-1	5710,5	3773,7	66,9	-33,9	-98,8
IR 31785	9063,9	1996,1	44,5	-78,0	-99,5
IR 85920-11-2-1-ATY-2-B	6908,8	3436,3	42,1	-50,3	-99,4
WAS 73-B-B-231-4-ARS1	7349,7	3525,1	21,2	-52,0	-99,7
IR 65192-4B-11-3	6963,6	4558,3	20,5	-34,5	-99,7
WAS 174-B-8-4	5398,9	3982,8	15,2	-26,2	-99,7
SAHEL 108	9402,9	2108,4	0,0	-77,6	-100,0
HASSAWI	-	-	-	-	-
SAHEL 201	7237,1	2516,6	0,0	-65,2	-100,0
IR 71991-3R-2-6-1	5014,3	2259,2	0,0	-54,9	-100,0
WAS 73-B-B-231-4	7059,5	4169,9	0,0	-40,9	-100,0
NONABOKRA	-	-	-	-	-
Moyenne	6119,9	3299,4	339,3	-45,8	-93,0
Héritabilité	0,7934	0,6095	0,7326		
Pr GXE (ANOVA Combine)	1,2E-12				
Pr Env. (ANOVA Combine)	2,8E-46				
Pr Var. (ANOVA Combine)	7,1E-18				
Pr (ANOVA / Environnement)	9,6E-14	1,4E-05	3,8E-09		

Analyse multi-variée

- Analyse des composantes principales : L'analyse des composantes principales a permis d'illustrer les corrélations entre les différentes variables : le nombre de panicules par plant, la hauteur, le nombre de jours à la maturité, le poids sec de la biomasse aérienne et le

rendement. Les deux premiers axes portent 83,31 % de l'information des variables. L'augmentation du nombre de panicules par plant est positivement corrélée avec le poids sec de la biomasse aérienne, le nombre de jours à la maturité (Graphique 3).



Graphique 3 : Analyse de composantes principales – corrélation entre les paramètres

Classification K-means des variétés

En fonction des paramètres agronomiques étudiés des variétés : La classification K-means a permis d'avoir 3 groupes de variétés, selon leurs performances en nombre

de panicule par plant, nombre de jours à la maturité, hauteur, rendements biomasse et en grains au niveau l'environnement E3 (tableaux 7 et 8).

Tableau 7 : Moyennes des variables dans les différentes classes

CLASSE	BIOMASS	HAUT	MAT	PAN_PL	RDT
1	11425.1	70.0	107.5	11.4	104.7
2	5837.2	60.1	138.1	7.8	584.0
3	2366.8	37.1	54.0	2.2	141.4

Tableau 8 : Résultats Classification K-means dans l'environnement E3

CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3
IR 4630	D 14	IR 29
IR 70023-4B-B-12-3-1-1	FL 478	IR 31785
WAS 191-7-WAB-1-1-1	IKP	IR 59418-7B-21-3
	IR 1829-3R-89-1-1	IR 71991-3R-2-6-1
	IR 61920-3B-22-2-1	IR 76346-B-B-10-1-1-1
	IR 65192-4B-11-3	SAHEL 108
	IR 72593-B-3-2-3-14	SAHEL 201
	IR 72593-B-3-2-3-8	WAS 174-B-8-4
	IR 85920-11-2-1-ATY-2-B	WAS 197-B-8-2

Faye et al. J. Appl. Biosci. 2016 Effets de la salinité au champ sur des paramètres agronomiques de 23 variétés de riz.

	IR 88314-1-ATY1-B	
	WAS 201-B-2	
	WAS 206-B-3	
	WAS 73-B-B-231-4	
	WAS 73-B-B-231-4-ARS1	

La classe 2 contient les variétés les plus performantes en rendement.

est faite avec les incidents au niveau de E3 calculés des différents paramètres étudiés.

En fonction de l'incidence de la salinité sur les paramètres étudiés : Cette classification avec K-means

Tableau 9 : Moyennes des incidents en % des différents paramètres étudiés utilisée par K-means

CLASSE	BIOMASSE	HAUT	MAT	PAN_PL	RDT
1	-71.92430	-74.20062	-92.07062	-93.11585	-99.61282
2	-0.04146	-30.40976	0.8884528	-26.81850	-81.57329
3	-40.75182	-36.89090	-33.28835	-67.87361	-97.72502

Tableau 10 : Classification des variétés par K-means

CLASSE 1 (sensible)	CLASSE 2 (variétés tolérantes)	CLASSE 3 (intermédiaire)
IR 65192-4B-11-3	D 14	IR 29
SAHEL 108	FL 478	IR 31785
SAHEL 201	IKP	IR 59418-7B-21-3
WAS 174-B-8-4	IR 1829-3R-89-1-1	IR 71991-3R-2-6-1
WAS 197-B-8-2	IR 4630	IR 72593-B-3-2-3-14
	IR 61920-3B-22-2-1	IR 76346-B-B-10-1-1-1
	IR 70023-4B-B-12-3-1-1	IR 85920-11-2-1-ATY-2-B
	IR 72593-B-3-2-3-8	IR88314-1-ATY1-B
	WAS 201-B-2	WAS 191-7-WAB-1-1-1
		WAS 206-B-3
		WAS 73-B-B-231-4
		WAS 73-B-B-231-4-ARS1

La classe 2 contient les variétés qui ont les plus faibles incidents de la salinité sur les paramètres.

DISCUSSION

Dans les piézomètres, l'évolution de la conductivité électrique montre que la nappe est plus salée que l'eau d'irrigation de surface. En fait, la salinisation de l'eau de surface est accentuée par les remontées salines. Les variétés testées ne peuvent pas survivre à une salinité supérieure à 9 dS/m durant la phase plantule. Les effets de la salinité sur le riz varient suivant le niveau de salinité et les caractéristiques de la variété. Ils se sont traduits dans cette expérience par une perte de panicules, un retard de croissance, des diminutions du cycle de nombre de jours à la maturité et des rendements de la biomasse aérienne et des grains. Ces comportements du riz en milieu salin sont confirmés dans certains de recherches. L'évolution du nombre de panicules par plant suivant le niveau croissant de la salinité est très variable. Dans

l'environnement E2, certaines variétés ont réagi à la salinité en augmentant le nombre de panicules ; il s'agit de D14 ; FL 478 ; IKP ; IR 61920-3B-22-2-1 ; IR 65192-4B-11-3 ; IR 71991-3R-2-6-1 ; IR 72593-B-3-2-3-14 ; IR 85920-11-2-1-ATY-2-B ; SAHEL 108 ; SAHEL 201 et WAS 174-B-8-4. Cette réaction ressemble à celle généralement développée par certaines variétés de riz soumises à un déficit hydrique au stade végétatif. L'effet défavorable du déficit hydrique peut être compensé chez les variétés à stade végétatif long par l'apparition de nouvelles talles après la période de sécheresse, mais lorsque celle-ci devient trop longue et sévère et que certains pieds sont flétris, la compensation n'est plus possible (Assemien, 1984). Dans l'environnement E3, le stress se prolonge et devient plus salé ; seule la variété

D14 a maintenu, voire amélioré, le nombre de panicules par plant ; toutes les autres variétés ont subi l'effet de la salinité en réduisant le nombre de panicules par plant. En effet, les effets du sel sur le tallage sont moins néfastes que sur le nombre de grains par panicule ; au Bangladesh, le nombre de talles par plant de la variété BR11 a accru d'un niveau de salinité de contrôle à 7,81 dS/m (Purnendu *et al.*, 2004). La croissance des plants semble être plus affectée par la salinité. Toutes les variétés ont réagi négativement à la salinité à partir de E2 avec 12,5 % de réduction de la hauteur comparé à E1 et 42,9 % au niveau de E3. Ce retard de croissance de la plante dans des conditions de salinité fait partie des réactions majeures du riz (Singh et Flowers, 2010 ; Hanana *et al.*, 2011). Par rapport au nombre de jours à la maturité, son évolution par variété est très variable suivant le niveau de la salinité. Dans l'environnement le plus salé (E3) six variétés ont réagi en allongeant leur cycle : IKP, IR 1829-3R-89-1-1, IR 61920-3B-22-2-1, IR 70023-4B-B-12-3-1-1, FL 478 et IR 72593-B-3-2-3-8 ; les autres variétés ont raccourci leur cycle. Ce rallongement du cycle de maturité peut être expliqué par un retard de la date de l'épiaison dû l'effet salinité. En effet, chez certaines variétés de riz, le retard de la date de l'épiaison fait partie des effets néfastes de la salinité (Grattan *et al.*, 2002). L'effet du sel sur le poids de matière sèche de la partie aérienne par variété suivant le niveau de salinité est aussi très variable. Deux variétés, IKP et FL 478, ont réagi en développant une biomasse aérienne plus importante dans les deux environnements E2 et E3. Dans l'environnement E2, 11 variétés ont augmenté leur poids sec et au niveau de l'environnement E3 seules deux variétés, FL 478 et IKP, ont eu une réaction positive sur leur biomasse à la salinité. En effet, la réaction du riz au niveau de sa biomasse à la salinité dépend du niveau de salinité et des variétés. Le poids sec biomasse chez certaines variétés peut augmenter du niveau de contrôle

CONCLUSION

Les effets du sel sur les variétés étudiées ont permis de voir différentes réactions sur le nombre de panicules par plant, la hauteur, le nombre de jours de maturité, le poids sec de la biomasse aérienne et le rendement en grains. La réaction du riz à la salinité est très complexe :

- certaines variétés ont diminué le nombre de panicules par plant suivant l'évolution croissant de la salinité ;
- d'autres ont augmenté le nombre de panicules par plant jusqu'à l'environnement E2. À partir d'E3, une seule variété D14 a échappé à l'effet

à 7,815 dS/m et commencer à décroître suivant le niveau croissant de salinité (Purnendu *et al.*, 2004). Les rendements en grains par variété ont chuté suivant le niveau croissant de la salinité. Dans l'environnement E3, seule la variété FL 478 a pu maintenir une perte de rendement de 21% ; le reste de variétés ont enregistré des pertes de plus de 60%. Les trois variétés FL 478, D 14 et IR 1829-3R-89-1-1 ont pu résister dans l'environnement E3, avec un rendement de plus d'une tonne à l'hectare (tableau 6). Cette baisse du rendement est le résultat d'une réduction significative du nombre d'épillets, des ramifications et du poids de panicule (Sajjad, 1984 ; Heenan et McCaffery, 1988 ; Khatun *et al.*, 1995). Les variétés D14, FL 478, IKP, IR 1829-3R-89-1-1, IR 61920-3B-22-2-1, IR 72593-B-3-2-3-8 et WAS 201-B-2 se sont adaptées dans les environnements salés avec les plus faibles pertes sur liées surtout au rendement. Ces comportements traduisent les effets des mécanismes physiologiques de tolérance à la salinité. Un croisement de ces variétés avec des témoins locaux à haut rendement permettrait

- d'identifier les qtl « quantitative traits locus » de tolérance à la salinité en faisant un génotypage de la population F2 et un phénotypage de la F3

- de développer des lignées tolérantes à la salinité et haut rendement

Les variétés D14, IR 59418-7B-21-3, IR 61920-3B-22-2-1 et WAS 73-B-B-231-4, ont des performances constantes avec des rendements supérieurs à 4 tonnes à l'hectare dans des conditions de salinité de 4,86 dS/m en moyenne. Elles ont été choisies en première année de sélection variétale participative en 2009 au Sénégal et au Mali. Un essai de caractérisation DHS (Distinction Homogénéité et Stabilité) permettrait de les proposer à l'homologation pour une production dans les zones de salinité moyenne.

néfaste de la salinité sur l'évolution du nombre de panicule.

Quant à la hauteur et le rendement en grains, toutes les variétés étudiées ont subi l'effet néfaste du niveau croissant de la salinité. La réaction du riz à la salinité sur la durée du cycle et du poids sec de la biomasse est aussi très variable suivant l'évolution croissante du niveau de salinité.

Ces effets du sel sur les variétés ont permis de les classer suivant :

- leur performance agronomique ;

- l'évolution des incidents du sel sur le riz comparé à un témoin E1. Ces réactions de la plante sont le résultat d'une stratégie physiologique qui permet de contrôler la salinité. Les variétés D14, FL 478, IKP, IR 1829-3R-89-1-1, IR 61920-3B-22-2-1, IR 72593-B-3-2-3-8 et WAS 201-B-2 ont géré les effets du sel en dégageant des stratégies qui permettent de limiter les effets néfastes de la salinité. Elles sont ainsi mieux indiquées dans les schémas de croisement ou de développement de nouvelles variétés tolérantes à la salinité des variétés locales. La variété D14 a une tolérance à la salinité plus constante, elle a été choisie par les producteurs en première année de PVS et faisant partie du premier lot des variétés du criblée durant

la phase végétative dans un environnement de 9 dS/m. Quant aux variétés D14, IR 59418-7B-21-3, IR 61920-3B-22-2-1 et WAS 73-B-B-231-4, elles ont confirmé leur performance avec des rendements supérieurs à 4 T/ha dans des conditions de salinité de 4,86 dS/m. Elles ont été choisies par les producteurs en première année de sélection variétale participative, et peuvent être proposées à l'homologation pour une production dans les zones de salinité moyenne dans la vallée du fleuve Sénégal. Pour cela, des tests de caractérisation de DHS/VATE (Distinction Homogénéité Stabilité / Valeur Agronomique Technologique et Environnementale) devront être conduits.

BIBLIOGRAPHIE

- Ahmadi, N. N. (2011). Targeted association analysis indentWed Japonica rice varieties acheving Na⁺/K⁺ homeostasis without the allelic lake-up of the salt tolerant indica variety Nonabokra. Springer-Verlag.
- Apse, M., & Blumwald E., (2007). Na⁺ transport in plants. FEBS Lett. 581.
- Assemien, N. K. (1984). Réponse physiologique du riz (*Oryza sativa* L.) au déficit hydrique. Étude comparée de types culturaux (variété pluviale, variété aquatique). Thèse de doctorat ingénieur à École Nationale Supérieure Agronomique.
- Borsani, O., Valpuesta, V., & Botella, M. (2003). Developing salt tolerant plants in a new century : a molecular biology approach. Plant Cell Tissue Organ Cult.
- Epstein, E., Norlyn, J., Rush, D., Kingsbury, R., Kelley, D., Cunningham, G., & Wrona, A. (1980). Saline culture of crops : A genetic approach. Science 210, 399-404.
- Flowers, J. T., & Yeo, A. R. (1981). Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. New Phytol 88, pp. 363-373.
- Fred Rattunde, Wolfgang Schipprack (2014). Cours Héritabilité – estimation. CERAAS.
- Grattan, S. R., Zeng, L., Shannon, M. C., & Roberts, S. R. (2002). Rice is more sensitive to salinity than previously though. California agriculture.
- Hanana, M., Hamrouni, L., Cagnac, O., & Blumwald, E. (2011). Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. Presse scientifique du CNRC.
- Heenan, D., L.G., L., & McCaffery, D. (1988). Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages. Exp. Agric.
- <http://www.integratedbreeding.net/> accédé le 14/02/2015
- Institut National de Pédologie, (2008). Rapport annuel. Dakar, Sénégal.
- IRRI. (Accédé ce 25/12/2015). Récupéré sur http://www.knowledgebank.irri.org/ricebreedingcourse/Breeding_for_salt_tolerance.htm.
- Ismail, A., Heuer, S., Thomson, M., & Wissuwa, M. (2007). Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. Plant Mol Biol.
- Kaddah, M. (1963). Salinity effects on growth of rice at the seedling and inflorescence stages of development. Soil Sci. 96: 105-111.
- Khatun, S., Rizzo, C., & Flowers, T. (1995). Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice. Plant soil.
- LENNTECH. (2015). <http://www.lennotech.fr/francais/irrifarion>. Accédé le 10/09/2015.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Plant Biol.
- Munns, R. (2005). Genes and Salt tolerance : bringing them together. New Phytol.
- Pearson, G., & Bernstein, I. (1959). Salinity effects at several growth stages of rice. Argon.
- Purnendu, G., Mannan, M., Pal, P., Maheb Hossain, M., & Parvin, S. (2004). Effect of salinity on some yield attributes of rice. Pakistan Journal of Biological Sciences.
- Sajjad, M. (1984). Effect of increased salt stress on yield and yield components in rice. Pak. J. Sci. Ind. Res. 27, 292-294.
- Scardaci, S., A.U. Eke, H. J., Shannon, M., & Rhoades, J. (1996). Water and soil salinity studies on

- California rice. Rice Pub 2 Coop. Ext. Univ. California, Colusa.
- Seck, P. A., Togola, A., Touré, A., & Diagne, A. (2013). Propositions pour une optimisation des performances de la riziculture en Afrique de l'Ouest. Biological Sciences.
- Shannon, M. (1997). Adaptation of plants to salinity. *Adv in Agron* 60, 75-120.
- Singh, R., & Flowers, T. (2010). The physiology and molecular biology of the effects of salinity on rice. Pessaraki M, editor. *Handbook of plant and crop stress*.
- Yamaguchi, T., & Blumwald, E. (2005). Developing Salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci*.
- Yeo, A., & Flowers, S. (1990). Screening of rice (*Oriza sativa* L.) genotypes for physiological characters contributing to salinity resistance, and their relationship to overall performance. *Theor Appl Genet* 79, 377-384.
- Zeng, L., & Shannon, M. C. (2000). Salinity effects on Seedling Growth and Yield Components of Rice. *Crop Science*.
- Zeng, L., Shannon, M., & Grieve, C. (2002). Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Kluwer Academic*, 235-245.