

Effets de la salinité sur différentes variétés de riz durant leur phase végétative

O. Nd FAYE^{1*}, T. GUEYE² et A. DIENG²

¹ Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Centre de Saint Louis 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 Thies, Sénégal

* Correspondance, courriel : oumarndao.faye@univ-thies.sn

Résumé

Vingt-quatre variétés de riz en conditions de culture irriguée choisies pour leur tolérance à la salinité, suite à une sélection variétale participative au Mali, en Gambie et au Sénégal, sont criblées durant leur phase végétative, dans différentes conditions de salinité. L'objectif de cet essai est de déterminer les effets de la salinité sur les caractéristiques agro morphologiques des variétés durant la phase végétative et de sélectionner celles qui sont les variétés les plus performantes en fonction de l'incidence du sel sur les paramètres étudiés. L'essai a été installé dans 4 bacs représentant 4 niveaux de salinité : 0 ; 3 ; 6 et 9 dSm⁻¹, dans la station expérimentale d'AfricaRice, au Nord du Sénégal. Au niveau de chaque bac, un dispositif « augmented design » a été utilisé. Les paramètres étudiés sont la hauteur, le nombre de tiges par pieds et le poids sec des feuilles vertes. L'incidence du sel sur chaque paramètre du sel a été calculée en prenant comme référence le bac de contrôle (0 dS / m) et analysée. Les résultats montrent une interaction GXE très significative suivant l'évolution des incidences du sel sur les paramètres. La classification par la méthode non hiérarchique K-means suivant les incidences du sel sur les paramètres a permis d'illustrer 4 groupes de variétés. Les variétés D 14, IR 197-B-8-2, IR 59418-7B-21-3 et WAS 73-B-B-231-4 ont un comportement similaire aux témoins tolérants et confirment leur performance dans les conditions de salinité; elles ont été choisies par les producteurs en première année de la sélection variétale participative dans la vallée du Fleuve Sénégal. Une caractérisation DHS (Distinctif, Homogénéité et Stabilité) permettrait de les proposer à l'homologation pour une production dans les zones salées du Sénégal.

Mots-clés : riz irrigué, salinité, incidence, phase végétative.

Abstract

Salinity effects on rice varieties during the vegetative stage

Twenty four rice varieties under irrigated conditions growing, which were identified as salt tolerant by participatory varietal selection in Mali, Gambia and Senegal, are evaluated during the vegetative phase, in salt conditions. The goal of this screening is to determine agro morphological reactions of the varieties belong the salinity evolution and select the best performances by the incidence of salinity in studied parameters. Trial, installed in 4 bacs represented 4 salinity levels 0, 3; 6 and 9 dSm⁻¹ at AfricaRice research station, North Senegal. In each bac, an augmented design was used. The parameters studied were : height, the number tillers per plant, the dry weight of green leaves. The salinity incidence in each parameter has been calculated using

bac control (0 dS / m) like reference and analyzed. The results show an interaction GXE very significative on salinity incidence evolution in each parameter. K-means classification below the salt incidences in each parameter permits to show 4 class of varieties. D 14, IR 197-B-8-2, IR 59418-7B-21-3 and WAS 73-B-B-231-4 varieties have the similar behavior with the tolerant checks and confirm their performance under salinity conditions; they were chosen by farmers in the first year of participatory varietal selection in the Senegal River Valley. A DUS (Distinguish Uniformity and Stability) characterization would permitted to propose varieties for realizing and producing under salinity area in Senegal.

Keywords : rice irrigated, salinity, incidence, vegetative phase.

1. Introduction

Le seuil de tolérance du riz (*Oryza sativa* L.) à la salinité peut être atteint à 3 dS / m, au-delà de cette valeur le rendement commence à chuter chez une bonne partie de variétés [4, 13, 15]. Considéré comme une espèce végétale qui s'adapte dans des conditions de culture en milieu salé, le riz développe différentes stratégies de survie en fonction du stade de développement. Généralement, une salinité de 4 dS / m est considérée comme moyenne et, à 8 dS / m, elle devient élevée [7]. La réaction la plus commune aux variétés de riz, face à la salinité, est le retard de croissance [16]. Les effets dus à la salinité varient suivant les stades de croissance. La germination des semences de riz en milieu salé n'est pas significativement affectée jusqu'à 16,3 dS / m ; elle est cependant sévèrement empêchée à 22 dS / m [10]. La dormance des semences de riz peut être prolongée dans des conditions de salinité élevée ; elle est souvent due au stress osmotique [17, 21]. Dans la plupart des cas, le riz devient particulièrement sensible à la salinité au stade plantule [12, 19]. L'effet majeur de la salinité à ce stade est la réduction du nombre de talles [17]. En Californie, une salinité aussi faible que 1,9 dS / m peut réduire significativement le poids sec des plantules et à un niveau de conductivité de 3,4 dS / m, une réduction du nombre de plants repris est observée chez une variété locale M-202 [30]. Le nombre de jours à l'épiaison et à la floraison est rallongé en condition de stress de salinité [11]. En sélection variétale, la recherche de variétés tolérantes à la salinité demande une bonne maîtrise des différentes réactions du riz dans des conditions de salinité élevées.

On cherche souvent dans l'élaboration des programmes d'amélioration génétique du riz à intégrer des caractéristiques agronomiques ciblées à un niveau de tolérance à la salinité dans la variété [3]. Au Sénégal, la vallée du fleuve Sénégala, située dans la partie nord du pays, constitue la zone de riziculture irriguée la plus importante. Elle doit contribuer actuellement au moins à 60 % du Programme National d'Autosuffisance en Riz. Pour atteindre cet objectif, des solutions doivent être apportées face à l'abandon des périmètres irrigués du fait de la salinité. En effet, près de 179.765 Ha de terres salées ont été recensées dans cette zone en 2008. Le développement de nouvelles variétés de riz tolérantes à la salinité peut être une stratégie permettant de récupérer certaines superficies. Le choix de variétés pour une base génétique adaptée aux conditions de salinité s'effectue souvent avec une caractérisation agronomique et physiologique suivant des niveaux de salinité à différents stades de développement des plants. Faisant suite à une activité de sélection variétale participative pour la tolérance à la salinité conduite au Mali, Sénégal et Gambie qui a permis d'avoir une liste de variétés issues de la combinaison du choix des producteurs et des résultats des analyses statistiques des paramètres de rendement; un criblage de 24 variétés en serre dans différents niveaux de salinité a été conduit. L'objectif de cette expérimentation est de déterminer les effets de la salinité sur les caractéristiques agro morphologiques des variétés durant la phase végétative et de sélectionner celles qui sont les variétés les plus performantes en fonction de l'incidence du sel sur les paramètres étudiés.

2. Matériel et méthodes

L'essai a été conduit sous serre au niveau du Centre du riz pour l'Afrique (AfricaRice, Sénégal zone Sahel), situé à Ndiaye, 16°14'N, 16°14'W, dans la région de Saint Louis, département de Dagana durant l'hivernage 2014.

2-1. Matériel

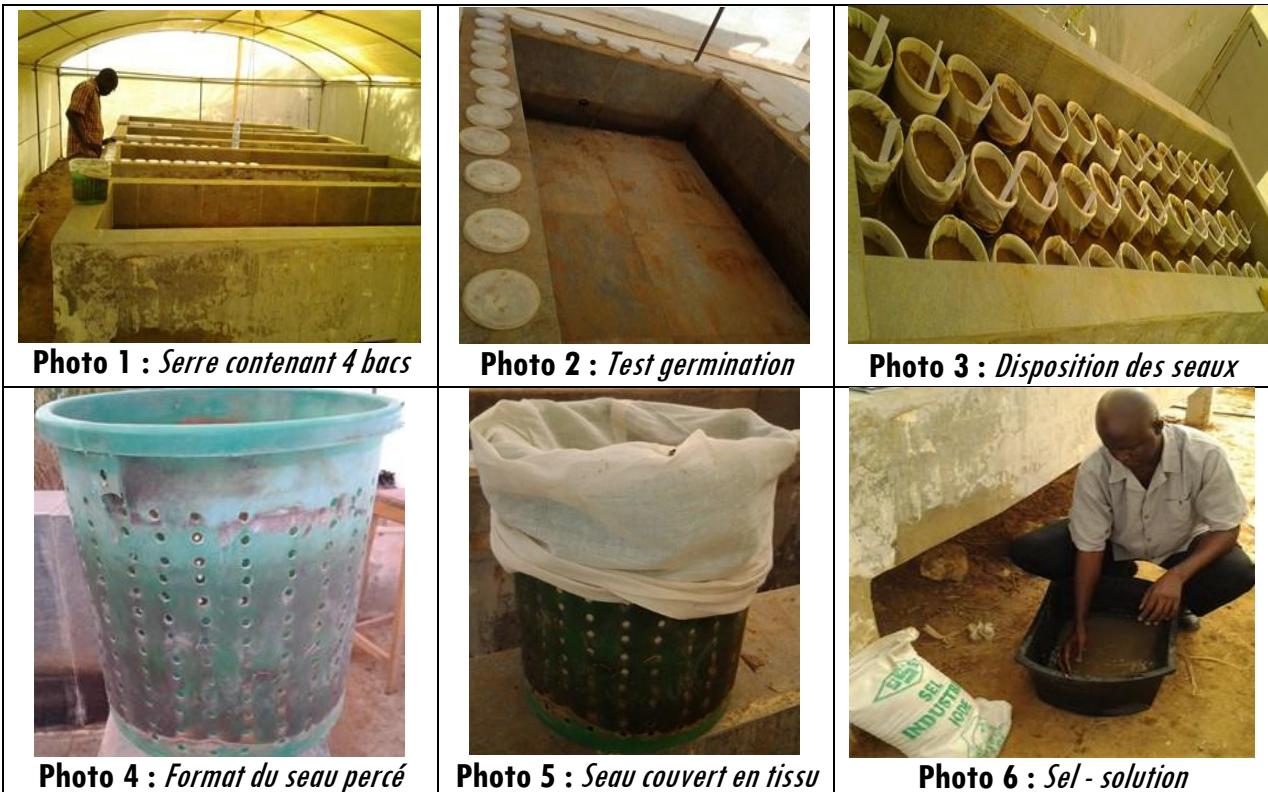
Le matériel végétal est composé de 24 lignées choisies après un criblage pour la tolérance à la salinité en Gambie, au Mali et au Sénégal et 5 témoins dont 1 témoin local sensible et 4 témoins internationaux composés de 2 témoins sensibles et 2 témoins tolérants à la salinité (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Liste des variétés

N°	DESIGNATION	Pedigree
1	AGAMI	AGAMI
2	D 14	D 14
3	HASAWI	HASAWI
4	IKP	IKONG PAO
5	IR 1829-3R-89-1-1	IR 1366-120-3-1 / IR 1539-111
6	IR 197-B-8-2	BLUEBELLE / TAINAN LINE 487 (T 487)
7	IR 59418-7B-21-3	IR 50404 / AT 401 // IR 10198-66-2
8	IR 61920-3B-22-2-1	IR 32429-47-3-2 / WAGWAG
9	IR 63275-B-1-1-1-3-2	IR 68 / TCCP 266-2-49-B-B-3
10	IR 65192-4B-11-3	IR 9884-54-3-1E-P1 (PSB RC 48) / KUATIK PUTIH
11	IR 66401-2B-6-1-3	IR 10206-29-2-1 / IR 29337-36-3
12	IR 67076-2B-8-2	IR 10198-66-2*2 / GZ 2175
13	IR 71907-3R-2-11	IR 63731-1-1-4-3-2-2 / IRRI 126
14	IR 71991-3R-2-6-1	IR 5/IRRI 126
15	IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	IR 31142-14-1-1-3-2*2 / IR 31406-333-1
16	IR 72593-B-3-2-3-8	IR 20 / IR 24 // IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
17	IR 76346-B-B-10-1-1-1	IRRI 126 / IR 65195-3B-13-2-3 (PSB RC 86)
18	IR 76393-2B-7-1-13-1	IR 71657-5R-B-12 PB / IRRI 126
19	Nona Bokra	Nona Bokra
20	NSIC RC 106	IR 32429-47-3-2 / WAGWAG
21	SAHEL 201	IR 2071-586 / BG 400-1-SLR
22	WAS 174-B-1-10	IR 4630-22-2 / IR 67418-238-6-2-3-3
23	WAS 201-B-2	WAS 201
24	WAS 73-B-B-231-4	IR 4630-22-2 / IR 31785-58-1-2-3-3
TEMOINS		
1	FL 478 tolérant	FL478
2	IR 29 sensible	IR 1561-149-1/IR 1737//IR 833-6-2-1-1
3	IR 31785 sensible	IR 31785
4	IR 4630 tolérant	PELITA I-1/POKKALI (ACC 8948)//IR 2061-464-2/IR 1820-52-2
5	SAHEL 108 local sensible	IR 30 (BPH S)/BABAWEE//IR 36

(Source BMS, 2015)

Les graines, pré germées dans des boites de pétri, ont été semées en serre, dans des seaux placées dans des bacs en ciment de 3,39 cm x 89 cm x 41,5 cm de dimensions (**Photos 1 - 3**). Chaque bac contient 39 seaux dont chacun est percé et recouvert à l'intérieur d'un tissu coton (**Photos 4 - 5**) et contient, en guise de substrat, du sol venant de la station de Fanaye (**Photo 6**).



L'irrigation est effectuée avec de l'eau douce de façon indépendante dans chaque bac. Un conductimètre électrique a permis d'effectuer les mesures directes de Conductivité Electrique (CE) dans de l'eau. Le pH est mesuré au laboratoire avec un pH-mètre dans des échantillons d'eau venant de chaque bac. A l'intérieur de chaque bac, est placée une sonde permettant de relever les températures de l'eau. Une balance de précision est utilisée pour déterminer le poids du sel et des échantillons de plants ou de sol.

2-2. Dispositif expérimental

Un dispositif statistique « augmented design » a été utilisé au niveau de chaque bac, avec 3 blocs (rangées) de 13 seaux (chaque seau contenait une variété). Chaque rangée est constituée de 8 variétés à tester et 5 témoins répétés 3 fois au niveau de chaque rangée. Cela fait un total de 39 seaux ((3blocs x 8 seaux = 24) + (3 répétitions x 5variétés = 15) = 39). Le bac est considéré comme une localité ou un environnement avec son niveau de salinité :

- Bac 1 : 0 dS / m ou contrôle avec de l'eau douce d'irrigation ;
- Bac 2 avec un niveau de salinité de 3 dS / m ;
- Bac 3 : 6 dS / m;
- Bac 4 : 9 dS / m.

Quatre paramètres agro morphologiques ont été mesurés à la récolte et analysés. Il s'agit des paramètres suivants : nombre de plants repris, nombre de tiges, hauteur, et poids secs des feuilles vertes. Pour chaque

paramètre mesuré, une réponse de la plante à la salinité ($X_{s,k}$) est calculée. L'incidence de la salinité sur les variables étudiées au niveau de chaque bac est calculé avec la formule suivante [1] :

$$X_{s,k} (\text{en \%}) = (X_b - X_i) * 100 / X_i \quad (1)$$

avec, $X_{s,k}$ = incidence de la salinité sur les plants en mesurant le paramètre k ; X_i = 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 ; X_b = la mesure du paramètre à un niveau de stress b (environnement testé 3 ; 6 ou 9 dS/m).

La gestion et les analyses statistiques de toutes les données de l'essai ont été effectuées dans le BMS (Breeding Management System) et le « Breeding View ». Les interactions génotype et environnement (GXE) ont été étudiées pour chaque paramètre. Une analyse multivariée (classification K-means) a permis de classer les variétés suivant leur performance en condition de salinité.

2-3. Conduite des cultures

L'essai a été mis en place par semis direct à sec, à raison de trois grains par seau, le 25 octobre 2014, après les tests de germination des différentes variétés et des analyses de sol. Du semis au 21^{ème} jour, les plantules ont été irriguées avec de l'eau douce d'irrigation pour permettre une bonne reprise. A partir de cette date, différents niveaux de salinité avec 3 dS/m, 6 dS/m et 9 dS/m ont été apportés. La concentration en sel dans l'eau d'irrigation des bacs / seaux est estimée en utilisant la **Formule** suivante [1] :

$$C = 640 \times CE \quad (2)$$

avec, C : concentration en sel m/l; CE : Conductivité Electrique dS/m).

Pour la fertilisation, la dose vulgarisée a été appliquée, soit 128 N - 25 P - 4 K, apportée en engrais (9 - 23 - 30) et urée en deux fractions. L'étude concerne la phase végétative des différentes variétés et la récolte des plants est effectuée à 74 jours après semis.

2-4. Observations et mesures

- *Conductivité électrique (CE) en déci siemens par mètre (dS/m) :*

La salinité de l'eau d'irrigation est mesurée directement avec le conductimètre électrique dans les bacs, au niveau des seaux et dans les sols, avec des fréquences variées et à différentes périodes de la semaine. Ainsi :

- au niveau des bacs, des mesures journalières sont effectuées dans chaque bac à partir de trois points choisis au hasard ;
- au niveau des seaux, trois mesures par semaine sont effectuées sur la lame d'eau dans chaque seau durant trois jours choisi dans la semaine (lundi, mercredi et vendredi) ;
- au niveau du sol contenu dans les seaux, des mesures sont effectuées dans le sol de chaque seau où la sonde de l'appareil conductimètre électrique est enfoncée.

- *pH*

Le pH est mesuré au laboratoire tous les lundis dans des échantillons d'eau de chaque bac ;

- *Température des bacs (°C)*

La température de l'eau dans les bacs est mesurée à l'aide d'une sonde placée dans chaque bac ;

- *Nombre de plants repris*

Le nombre de plants ayant survécu au stress salin est calculé en deux étapes, dont la première est effectuée 10 jours après semis et la seconde, à la récolte ;

- *Nombre de talles :*

Le comptage du nombre de talles est réalisé 21 jours après semis et à la récolte (74 jours après semis) ;

- *Hauteur en centimètre (cm)*

La mesure de la hauteur des plants s'est faite deux fois à 30 jours après semis et à la récolte ;

- *Poids secs des feuilles vertes en grammes (g)*

Les feuilles vertes à la récolte ont été séchées au four à 75 °C et ensuite pesées ;

- *Scoring*

C'est une estimation de la réaction de la plante au stress avec des scores suivant son niveau de flétrissement et de croissance. Quatre mesures ont été effectuées suivant le manuel SES de l'IRRI.

2-5. Caractérisation des environnements

Durant tout le cycle de l'essai, les températures ont évolué entre 27 et 13 °C dans tous les bacs. Quant au pH de l'eau d'irrigation, la moyenne était de 7,29 dans les bacs, avec un minimum de 7,22 (bacs 3 et 4) et un maximum de 7,37 (bac 2). Une analyse de variance de l'interaction *seau x bac* révèle un effet significatif sur la conductivité électrique (CE) des seaux. Les niveaux de CE dans les seaux sont donc différents entre les bacs qui les contiennent. Les moyennes (**Tableau 2**) sont respectivement de 0,487 (Bac 1 ou contrôle) ; 2,324 (Bac 2); 6,512 (Bac 3) et 9,582 (Bac 4) et correspondent aux niveaux de salinité recherchés.

Tableau 2 : Moyenne CE dans les bacs

Environnement	Minimum	Moyenne	Maximum	Héritabilité
Bac 1 (3 dS / m)	2,543	3,324	4,050	0,9915
Bac 2 (6 dS / m)	5,702	6,512	7,427	0,9932
Bac 3 (9 dS / m)	8,144	9,582	10,601	0,9949
Bac 4 (Contrôle)	0,487	0,582	0,662	0,8451

3. Résultats

3-1. Nombre de plants repris

Le comportement des variétés à la levée était satisfaisant dans l'ensemble, cependant les quatre variétés HASSAWI, IR 67076-2B-8-2, NSIC RC 106 et WAS 174-B-1-10 n'avaient pas germé dans les sceaux, même si les tests de germination avant le semis avaient donné de bons résultats. La comparaison des moyennes du nombre de plants repris à la récolte par environnement montre une diminution de ce paramètre, du bac de contrôle au bac 3, avec le niveau de salinité le plus élevé correspondant à 9 dS / m (**Tableau 9**). Ces moyennes évoluent de 2,79 plants par variété dans l'environnement de contrôle à 2,65, puis 1,42 et enfin 0,83 respectivement dans les bacs à 3, 6 et 9 dS / m. Le calcul de l'incidence a permis ainsi d'évaluer l'effet de la salinité sur le nombre de plants repris par variété, en considérant l'environnement de contrôle comme référence. L'analyse de la variance de l'interaction du génotype et l'environnement révèle un effet significatif ($Pr < 0,001$) sur le nombre de plants ayant repris. Les moyennes des incidences par environnement passent de -7,77 % dans l'environnement de 3 dS / m à -54,63 % (6 dS / m) puis à -72,24 % à 9 dS / m (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Moyennes des Incidences de la salinité sur le nombre plants repris 74 jours après semis, dans des conditions de salinité de 6 dS/m et 9 dS/m.

Genotypes	BAC3DS / M	BAC6DS / M	BAC9DS / M
AGAMI	-	-	-
D 14	0	-33,33	-66,67
FL 478	0	-77,78	-89
IKP	0	-66,67	-100
IR 1829-3R-89-1-1	0	-66,67	-100
IR 197-B-8-2	0	-33,33	-33,33
IR 29	-44,44	-66,67	-100
IR 31785	-66,67	-44,44	-100
IR 4630	0	-55,56	-78
IR 59418-7B-21-3	0	-33,33	-66,67
IR 61920-3B-22-2-1	0	-100	-100
IR 63275-B-1-1-1-3-2	0	-33,33	-33,33
IR 65192-4B-11-3	0	-50	-100
IR 66401-2B-6-1-3	0	-50	-100
IR 71907-3R-2-11	0	-100	0
IR 71991-3R-2-6-1	0	0	0
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	0	-33,33	-100
IR 72593-B-3-2-3-8	-33,33	-66,67	-100
IR 76346-B-B-10-1-1-1	-50	-100	-100
IR 76393-2B-7-1-13-1	0	-33,33	-33,33
Nona Bokra	0	0	-33,33
SAHEL 108	0	-66,67	-100
SAHEL 201	0	-100	-66,67
WAS 201-B-2	0	-33,33	-100
WAS 73-B-B-231-4	0	-66,67	-33,33
Moyenne	-7,77	-54,63	-72,24
Erreur standard des moyennes	3,768	5,856	7,079

Tableau 4 : Moyennes des paramètres agro morphologiques par environnement

Genotypes	Bac 4				Bac 1				Bac 2				Bac 3			
	Tal	PI	HT	NbFV	Tal	PI	HT	NbFV	Tal	PI	HT	NbFV	Tal	PI	HT	NbFV
AGAMI	7	1	77	26	5	1	64	10	-			0	-			0
D 14	4,5	3	74	17,5	4	3	70	8,67	3	2	55	6	3,5	1	57	6,5
FL 478	4,9	3	92,7	13,05	4,2	3	90	8,89	4,2	0,67	83,7	8,67	0,67	0,33	23,3	2
IKP	7	3	79	17	5	3	65	7,67	2	1	60	3	0	0	0	0
IR 1829-3R-89-1-1	8	3	85	36	3	3	71	7	-	-		0	4	1	52	7
IR 197-B-8-2	5	3	74	17,67	4	3	76	10,67	3	2	51	3,5	3	2	56	1,67
IR 29	6,2	3	74,7	24,5	3,8	1,67	72,67	9,67	0,8	1	20	1,56	0	0	0	0
IR 31785	9,2	3	79	28,67	4,5	1	73,67	10,72	1,3	1,67	17,7	1,67	0	0	0	0
IR 4630	5,3	3	73,3	10,78	4,6	3	70,67	16,44	1,9	1,33	58,3	3,67	2,33	0,66	36	4,67
IR 59418-7B-21-3	6,5	3	83	17,5	6	3	82	16	2,3	2	60	5,33	2,5	1	64	16
IR 61920-3B-22-2-1	5,5	2	79	17	4,3	3	70	9	0	0	0	0	0	0	0	0
IR 63275-B-1-1-1-3-2	3	3	76	11,67	3,7	3	72	8,67	2	2	55	4	2	2	50	7,5
IR 65192-4B-11-3	6	2	76	21	4	3	71	11,33	5	1	50	6	0	0	0	0
IR 66401-2B-6-1-3	3,5	2	49	12	4	2	80	7,5	1	1	29	1	0	0	0	0
IR 71907-3R-2-11	6	3	75	17,3	3,3	3	76	8,33	0	0	0	0	2	3	58	2
IR 71991-3R-2-6-1	5,7	3	80	12	4,3	3	72	11	3	3	61	6,67	3	3	65	7,33
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	4,3	3	71	14	3,3	3	80	7,67	1	2	42	0,5	0	0	0	0
IR 72593-B-3-2-3-8	4,7	3	89	15,67	3,5	2	83	11,5	3	1	63	4	0	0	0	0
IR 76346-B-B-10-1-1-1	7	2	96	32	5	1	79	20	0	0	0	0	0	0	0	0
IR 76393-2B-7-1-13-1	6	3	68	22,5	7,5	3	74	13,5	5	2	59	8	4	2	59	6
Nona Bokra	3,3	3	113	20	4	3	109	11	4	3	72	6	2,5	2	66	5
SAHEL 108	6,3	2	77	21,67	5,6	2	75,33	15,11	0,7	0,67	15,3	0,33	0	0	0	0
SAHEL 201	5,5	3	83	11	4	3	77	7	0	0	0	0	1	1	0	0
WAS 201-B-2	7	3	74	19,5	4	3	67	8,33	2,5	2	65	4,5	0	0	0	0
WAS 73-B-B-231-4	11	3	72	38	7	3	77	20	7	1	56	16	4,5	2	60	6,5
Moyenne	5,94	2,72	78,79	19,76	4,46	2,59	75,89	11,07	2,29	1,32	42,30	3,61	1,46	0,87	26,93	2,89

3-2. Le nombre de talles par plant

Le nombre de talles par plant dans les environnements de contrôle, 3 dS / m, 6dS / m et 9 dS / m a évolué en moyenne, respectivement de 5,94 ; 4,46 ; 2,29 et 1,46 (*Tableau 4*). Cette diminution du tallage suivant le niveau de salinité croissant permet de calculer la réponse de chaque variété à la salinité. L'analyse de variance de l'interaction génotypes et environnement révèle un effet significatif sur l'incident de la salinité sur le tallage. Le classement des variétés suivant l'évolution des incidences moyennes par variété au niveau de chaque environnement est présenté au *Tableau 5*.

Tableau 5 : Incidences de la salinité sur le nombre de talles de chaque variété.

Genotypes	3 dS/m		6 dS/m		9 dS/m	
	Incidence	Classe	Incidence	Classe	Incidence	Classe
AGAMI	-28,57	9	-		-	
D 14	-11,11	19,5	-33,33	22	-22,22	25
Nona Bokra	0	24,5	0	25	-37,5	24
IR 197-B-8-2	-20	16	-40	18	-40	23
IR 71991-3R-2-6-1	-24,56	13	-47,37	17	-47,37	22
IR 76393-2B-7-1-13-1	-6,25	23	-37,5	19	-50	20
IR 63275-B-1-1-1-3-2	-7,5	22	-50	16	-50	20
IR 4630	-13,21	18	-64,15	15	-56,04	18
WAS 73-B-B-231-4	-36,37	6	-36,36	20	-59,1	17
IR 59418-7B-21-3	-7,69	21	-64,61	13	-61,54	16
IR 71907-3R-2-11	-45	3	-	3,5	-66,67	14
SAHEL 201	-27,27	11	-	3,5	-100	5,5
FL 478	-14,286	17	-14,28	24	-86,33	11
IR 1829-3R-89-1-1	-62,5	1	-	3,5	-81,82	12,5
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	-23,26	14	-76,74	10	-100	5,5
IR 61920-3B-22-2-1	-21,82	15	-81,82	9	-100	5,5
IR 31785	-51,09	2	-85,87	8	-100	5,5
IR 65192-4B-11-3	-33,33	7	-16,67	23	-100	5,5
IR 72593-B-3-2-3-8	-25,53	12	-36,17	21	-100	5,5
WAS 201-B-2	-42,86	4	-64,28	14	-100	5,5
IKP	-28,57	9	-71,43	12	-100	5,5
IR 66401-2B-6-1-3	0	24,5	-75	11	-100	5,5
IR 29	-38,71	5	-87,1	7	-100	5,5
SAHEL 108	-11,11	19,5	-88,89	6	-100	5,5
IR 76346-B-B-10-1-1-1	-28,57	9	-100	3,5	-100	5,5
Moyenne générale	-24,37		-55,78		-77,44	
Erreur standard de la moyenne	3,191		6.070		5.091	
Variance	254,6		884,2		622,2	

3-3. La hauteur du plant

La hauteur des plants à 74 jours après semis a évolué en moyenne de 78,79 cm au niveau du contrôle à 75,89 ; 43,30 et puis 25,93 cm, respectivement à 3 ; 6 et 9 dS / m (**Tableau 4**). Cette diminution de la hauteur moyenne des variétés par environnement suivant le niveau de salinité ne permet pas de comparer la réponse de chaque variété. L'incidence de la salinité sur la hauteur des plants est ainsi calculée pour analyser l'expression de chaque variété sur la salinité. La classification différente des variétés suivant l'évolution de l'incidence de la salinité sur la hauteur des plants illustre l'effet significatif de l'interaction GXE (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Incidences moyennes du niveau de salinité sur la hauteur des plants.

Genotypes	3 dS / m		6 dS / m		9 dS / m	
	Incident	Classe	Incident	Classe	Incident	Classe
AGAMI	-16,88	4	-100	3,5	-100	7
D 14	-5,40	14	-25,68	18	-22,97	19
FL 478	-2,91	19	-9,79	25	-74,86	14
IKP	-17,72	2	-24,05	19	-100	7
IR 1829-3R-89-1-1	-16,47	5	-	3,5	-38,82	16
IR 197-B-8-2	-2,54	21	-31,08	14	-24,32	18
IR 29	-2,72	20	-73,23	9	-100	7
IR 31785	-6,75	11	-77,59	8	-100	7
IR 4630	-3,59	18	-20,46	22	-50,89	15
IR 59418-7B-21-3	-1,205	25	-27,71	16	-22,89	20
IR 61920-3B-22-2-1	-11,39	7	-100	3,5	-100	7
IR 63275-B-1-1-1-3-2	-5,26	15	-27,63	17	-34,21	17
IR 65192-4B-11-3	-6,58	13	-34,21	13	-100	7
IR 66401-2B-6-1-3	-2,44	22	-40,82	11	-100	7
IR 71907-3R-2-11	-1,30	24	-	3,5	-22,67	21
IR 71991-3R-2-6-1	-12,19	6	-23,75	20	-18,75	22
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	-9,09	9	-40,84	10	-100	7
IR 72593-B-3-2-3-8	-6,741	12	-29,21	15	-100	7
IR 76346-B-B-10-1-1-1	-17,71	3	-100	3,5	-100	7
IR 76393-2B-7-1-13-1	-3,90	16	-13,23	23	-13,23	24
Nona Bokra	-30,43	1	-36,52	12	-8,70	25
SAHEL 108	-2,17	23	-80,12	7	-100	7
SAHEL 201	-7,23	10	-100	3,5	-100	7
WAS 201-B-2	-10,67	8	-12,16	24	-100	7
WAS 73-B-B-231-4	-3,75	17	-22,22	21	-16,67	23
Moyenne générale	-8,28		-45,66		-64,54	
Erreur standard de la moyenne	1,41		6,78		7,65	

3-4. Nombre de feuilles vertes à 74 jours après semis

Après un cycle végétatif de 74 jours, le nombre moyen de feuilles vertes par plant des variétés au niveau des environnements de contrôle, 3 dS / m ; 6 dS / m et 9 dS / m a varié respectivement de 19,76 ; 11,07 ; 3,61 et

2,89 (**Tableau 4**). La classification des variétés suivant la variation de l'incidence de la salinité sur le nombre de feuilles vertes (**Tableau 7**) révèle l'effet significatif de l'interaction GXE. La réponse des variétés à la salinité suivant le nombre de feuilles vertes par plant est différente d'un environnement à l'autre ; elle est aussi différente entre les variétés.

Tableau 7 : Incident des niveaux de salinité sur le nombre de feuilles vertes par plant

Genotypes	3DS / M		6DS / M		9DS / M	
	Inc.FV	Classe	Inc.FV	Classe	Inc.FV	Classe
AGAMI	-61,5	23	-100	22,5	-100	19
D 14	-50,5	18	-65,7	5,5	-62,9	6
FL 478	-31,9	7	-33,6	1	-84,7	10
IKP	-54,9	20	-82,3	14	-100	19
IR 1829-3R-89-1-1	-80,6	25	-100	22,5	-80,6	8
IR 197-B-8-2	-39,6	11	-80,2	13	-90,6	12
IR 29	-60,5	22	-93,6	16	-100	19
IR 31785	-62,6	24	-94,2	17	-100	19
IR 4630	52,6	1	-66	7	-56,7	5
IR 59418-7B-21-3	-8,6	3	-69,5	8	-8,6	1
IR 61920-3B-22-2-1	-47,1	16	-100	22,5	-100	19
IR 63275-B-1-1-1-3-2	-25,7	4	-65,7	5,5	-35,7	2
IR 65192-4B-11-3	-46,0	15	-71,4	10	-100	19
IR 66401-2B-6-1-3	-37,5	9,5	-86,7	15	-100	19
IR 71907-3R-2-11	-51,9	19	-100	22,5	-88,5	11
IR 71991-3R-2-6-1	-8,3	2	-44,4	3	-38,9	3
IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	-45,2	14	-96,4	18	-100	19
IR 72593-B-3-2-3-8	-26,6	5	-74,5	11	-100	19
IR 76346-B-B-10-1-1-1	-37,5	9,5	-100	22,5	-100	19
IR 76393-2B-7-1-13-1	-40	12	-40,7	2	-55,6	4
Nona Bokra	-45	13	-70	9	-75	7
SAHEL 108	-30,3	6	-98,5	19	-100	19
SAHEL 201	-36,4	8	-100	22,5	-100	19
WAS 201-B-2	-57,3	21	-76,9	12	-100	19
WAS 73-B-B-231-4	-47,4	17	-57,9	4	-82,9	9
Moyenne	-39,2		-78,7		-82,4	
Erreur standard des moyennes	5.020		4.038		5.079	

• Classification K-means

L'analyse multivariée des incidences moyennes du sel sur les paramètres étudiés permet de faire une classification par la méthode K-means. Les variétés ont été réparties dans quatre classes suivant les moyennes d'incidences calculées (**Tableaux 8 et 9**).

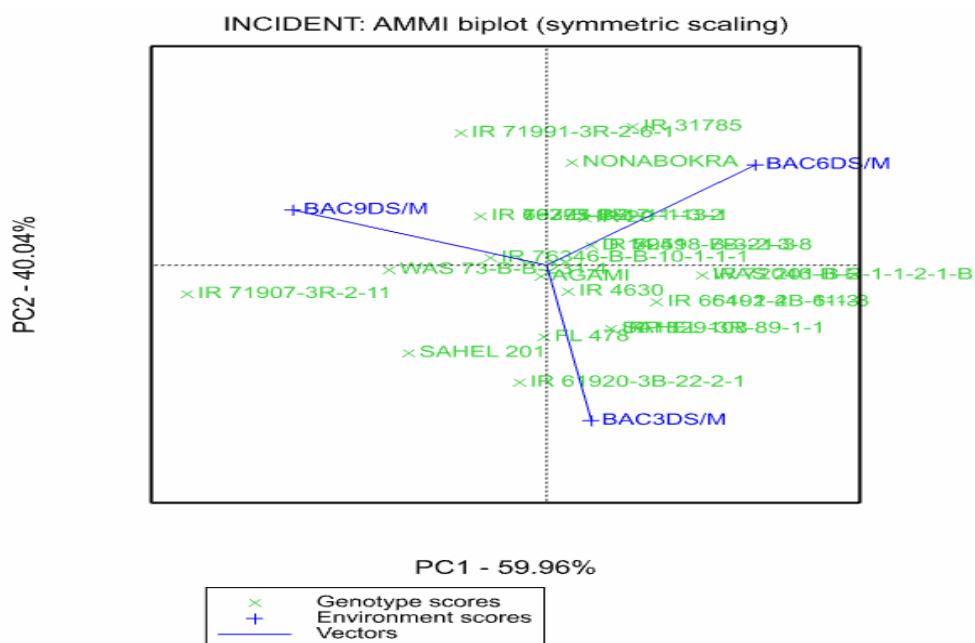
Tableau 8 : Moyennes des incidences du sel sur les paramètres agro morphologiques

Classe	% d'incidence de la salinité sur le nombre de tiges par plant	% d'incidence de la salinité sur le nombre de feuilles vertes par plant	% d'incidence de la salinité sur le nombre de plants repris par variété	% d'incidence de la salinité sur la hauteur
1	- 68,31	- 82,48	- 64,20	- 65,45
2	- 76,19	- 79,17	- 83,33	- 72,57
3	- 58,13	- 77,39	- 50,00	- 39,73
4	- 34,62	- 47,66	- 27,79	- 19,89

Tableau 9 : Classification K-means

CLASSE 1 (témoins sensibles IR 29; IR 31785 sahel108)	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4 (témoins tolérants FL 478; IR 4630)
AGAMI	IR 76346-B-B-10-1-1-1	IKP	D 14
IR 61920-3B-22-2-1		IR 1829-3R-89-1-1	IR 197-B-8-2
SAHEL 201		IR 65192-4B-11-3	IR 59418-7B-21-3
		IR 66401-2B-6-1-3	IR 63275-B-1-1-1-3-2
		IR 71907-3R-2-11	IR 71991-3R-2-6-1
		IR 72046-B-R-1-1-2-1-B	IR 76393-2B-7-1-13-1
		IR 72593-B-3-2-3-8	Nona Bokra
		WAS 201-B-2	WAS 73-B-B-231-4

L'AMMI (Additive Main effects and Multiplicative Interaction) montre les effets majeurs du génotype, de l'environnement et les interactions. Le diagramme double de projections répartit les variétés suivant les environnements (*Figure 1*).

**Figure 1 : AMMI**

3.5. Observations visuelles

Au niveau des feuilles vertes de certaines variétés des bacs 2 et 3, des dépôts de sel ont été observés (*voir Photos*).



Photos prises à 52 jours après semis sur deux variétés du bac 3 : Nona Bokra (étiquette 14) et IR 71991-3R-2-6-1 (étiquette 8).

Une expulsion du sel au niveau de la gaine des anciennes feuilles peut expliquer ce phénomène, en attendant les résultats de l'analyse de Na⁺ et K⁺ contenus dans les différentes parties des plants. La stratégie de Nona Bokra est d'éviter l'entrée de Na⁺ dans les parties aériennes et notamment, dans les limbes actifs photo synthétiquement et d'accumuler ces ions dans les gaines foliaires [9].

4. Discussion

- Variation de la Température (°C) et du pH

La variation des températures durant tout le cycle de l'essai était adéquate pour un bon développement des plants de riz. En effet, le riz est une plante thermophile qui, à des températures de 25 à 35°C (Indica) ou de 20 à 33°C (Japonica), trouve des conditions optimales pour opérer la photosynthèse [29]. La variation du pH aussi n'a pas eu d'influence négative sur le développement des plants. En fait, le pH des sols salins sont inférieurs à 8,6 [25].

- Evolution des niveaux de salinité

Le contrôle de l'évolution des niveaux de salinité, en ajustant avec une solution de sel ordinaire dans les bacs, a donné de bons résultats par rapport à l'objectif qui était fixé d'avoir des niveaux de CE respectifs de 3 ; 6 et 9 dS / m. Les niveaux de salinité obtenus dans les bacs sont statistiquement différents avec les moyennes, après analyse de la variance :

- bac 1, avec une CE de 0,47 dS / m, considéré comme contrôle ;
- bac 2, avec une CE de 3,2 dS / m, l'environnement le plus faible en salinité après le contrôle, où les plants devraient développer les premiers effets de salinité. Pour rappel le seuil de tolérance du riz à la salinité est de 3 dS / m [13] et à ce stade même il est sensible [4, 16] ;
- bacs 3 et 4, avec des CE respectivement de 6,23 et 9,37 dS / m ont des niveaux de salinité plus élevés permettant de mieux cibler les performances des variétés.

Cette caractérisation des environnements a permis de fixer les conditions du stress de salinité appliquée pour réaliser cette expérimentation. Les critères majeurs souvent cités pour caractériser un sol salin sont : une conductivité électrique supérieure ou égale à 4 dS/m, un pH inférieur à 8,5 et un pourcentage d'échange de sodium supérieur ou égal à 15 [22].

- Effets de la salinité sur les variables étudiées

- *Nombre de plants repris*

Sur les 4 environnements testés, on a observé une différence significative inter environnementale et également une différence inter variétale. Au niveau de l'environnement à 3 dS / m, considéré comme le niveau de salinité le plus faible, l'incidence moyenne de la salinité est de - 7,77 % et seules quatre variétés ont montré une sensibilité à la salinité. Il s'agit des variétés IR 29, IR 31785, IR 72593-B-3-2-3-8 et IR 76393-2B-B-10-1-1-1. Les deux premières variétés sont reconnues sensibles à la salinité au niveau international. La lignée IR 72593-B-3-2-3-8 qui fait partie des variétés choisies par les producteurs lors d'une première sélection variétale participative pour l'adaptation à la salinité, s'est révélée sensible en phase juvénile. En outre, la différence de comportement de cette variété pourrait s'expliquer par le type de salinité différent entre le Mali et le Sénégal. En effet, dans l'Office de Niger (Mali), la salinité est de type alcalin tandis qu'à Ndiol (Sénégal) le sol est salin. Dans le bac de 6 dS / m, l'incidence moyenne de la salinité sur le taux de reprise des plants est de - 54,63 %, seules deux variétés, notamment la Nona Bokra et IR71991-3R-2-6-1 n'ont pas subi l'effet de salinité sur la reprise de plants. Les variétés D14, IR 197-B-8-2, IR 59418-7B-21-3, IR 63275-B-1-1-1-3-2, IR 72046-B-R-1-1-2-1-B, IR 76393-2B-7-1-13-1 et WAS 201-B-2 ont subi moins l'effet du sel à la dose de 6,23 dS / m appliquée dans le bac 2 durant tout le cycle végétatif des plants. Par contre, dans le bac 3 (9 dS / m), seules 10 variétés testées et deux témoins tolérants IR4630 et FL478 ont survécu à la dose de 9,37 dS / m appliquée durant tout le cycle végétatif des plants. L'incidence moyenne de ce niveau de salinité est à -72,24 %. On peut définir la tolérance au sel comme la capacité qu'a une plante à se maintenir dans des conditions de salure croissante [7]. Les 12 variétés qui se sont maintenues à une salinité de moyenne 9,37 dS / m ont une tolérance avérée à la salinité en stade végétatif.

- *Nombre de talles par plants*

Quant à l'incidence moyenne de la salinité sur le tallage des variétés, elle évolue de - 24,37 à - 55,78 % du niveau de 3 dS / m à 6 dS / m puis à -77,4 % dans l'environnement de 9 dS / m. Cette évolution traduit la diminution du nombre de talles dans l'ensemble des variétés suivant le niveau croissant de la salinité. Au niveau du bac de 3 dS / m, l'effet de la salinité sur les plants commence à se faire sentir presque sur toutes les variétés. Nona Bokra est la seule variété qui n'a pas subi l'effet de la salinité dans les deux environnements de 3 et 6 dS / m. Les variétés témoins sensibles IR 29, IR 31785 et Sahel 108 ont subi plus de 85 % de pertes de talles à 6 dS / m. Au total, 6 variétés testées ont subi moins de 50 % de perte de talles, comparées au contrôle à 6 dS / m : Nona Bokra, IR 65192-4B-11-3, D 14, IR 72593-B-3-2-3-8, WAS 73-B-B-231-4, IR 76393-2B-7-1-13-1, IR 197-B-8-2 et IR 71991-3R-2-6-1. De même, parmi les variétés ayant survécu à 9 dS / m, 6 ont eu moins de 50 % de perte de talles, performance meilleure que le témoin IR 4630 ; il s'agit de D14, Nona Bokra, IR 197-B-8-2, IR 71991-3R-2-6-1, IR 76393-2B-7-1-13-1 et IR 63275-B-1-1-1-3-2 (**Figure 1**).

- *Hauteur des plants*

La variation de la hauteur des plants est aussi influencée par les niveaux de salinité. Les incidences de la salinité aux niveaux 3, 6 et 9 dS / m sur la hauteur des plants sont en moyenne respectivement -8,28, -45,66 et -64,54 %. Cette évolution traduit une réduction de la croissance des plants suivant l'augmentation du niveau de salinité. Une salinité modérée (4 dS / m) affecte la croissance du riz [23]. Au niveau du bac 9 ds / m, 10 variétés ont développé des incidences plus faibles que les témoins tolérants IR 4630 et FL478 ; il s'agit de : Nona Bokra ; IR 76393-2B-7-1-13-1 ; WAS 73-B-B-231-4 ; IR 71991-3R-2-6-1 ; IR 71907-3R-2-11 ; IR 59418-7B-21-3 ; D14 ; IR 197-B-8-2 ; IR 63275-B-1-1-1-3-2 et IR 1829-3R-89-1-1.

- *Nombre de feuilles vertes*

L'effet de la salinité sur les feuilles vertes se manifeste à partir du niveau de salinité de 3 dS / m. Les incidences de la salinité sur les feuilles des plants aux niveaux 3, 6 et 9 dS / m sont respectivement de -39,2, -78,7 et - 82,4 %. Cette évolution traduit l'assèchement des feuilles suivant le niveau croissant de salinité. En condition de salinité, la croissance des feuilles diminue et peut même annihiler la formation de nouvelles feuilles [6]. A 9 dS / m, 10 variétés se sont comportées comme les témoins tolérants IR 4630 et FL478 ; il s'agit de : Nona Bokra ; IR 71991-3R-2-6-1 ; IR 76393-2B-7-1-13-1 ; IR 59418-7B-21-3 ; WAS 73-B-B-231-4 ; D 14 ; IR 197-B-8-2 ; IR 1829-3R-89-1-1 et IR 63275-B-1-1-1-3-2 et IR 71907-3R-2-11.

Le nombre de plants repris, la hauteur, le nombre de tiges et le nombre de feuilles vertes par plant sont réduits suivant le niveau croissant de salinité. Ces réactions du riz se traduisent par un retard de croissance, un enroulement, puis un séchage des anciennes feuilles [24]. De nombreux travaux expliquant les effets d'un stress de salinité sur le riz indiquent les paramètres liés à la croissance des plants tels que : la biomasse des plantules, la surface foliaire, le nombre de tiges et la hauteur des plants sont réduits par la salinité [5, 12, 30]. En général, au niveau des céréales, l'effet majeur de la salinité sur la partie aérienne des plants se traduit par la réduction du nombre de tiges par plant ; la croissance des plantules est plus affectée que celle des racines [20]. En outre, au niveau physiologique, les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible Ootentiel osmotique de la solution du sol et au niveau élevé de toxicité du sodium (et du chlore pour certaines espèces) qui provoquent des perturbations multiples sur le métabolisme, la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique [20, 24, 26, 27].

- *Analyse multivariée : Classification « K-means »*

Le classement des incidences de la salinité sur les paramètres agro morphologiques étudiés permet de mieux comprendre les stratégies des variétés dans différentes conditions de salinité. Quatre classes ont été choisies pour la classification par la méthode de « K-means » en fonction des moyennes d'incidences du nombre de plants repris, nombre de tiges, la hauteur et le poids sec des feuilles vertes. Cette répartition fait ressortir :

- les 8 meilleures variétés qui ont pu se développer dans l'environnement de 9 dS / m en classe 4, avec les deux variétés témoins tolérantes FL 478 et IR 4630 ;
- une classe 3 moyennement tolérante avec 8 variétés ;
- la variété IR 76346-B-B-10-1-1-1 qui compose la classe 2 est moyennement sensible à la salinité ;
- les variétés sensibles à la salinité, confirmées par la présence de trois deux témoins sensibles (Sahel 108, IR 31785 et IR 29) en classe 1.

5. Conclusion

Les effets de la salinité sur les variétés étudiées se sont traduits par :

- Une croissance ralentie ;
- Une réduction du nombre de tiges ;
- Une baisse du nombre de feuilles vertes.

La classification des variétés suivant les incidences du sel sur les paramètres agro morphologiques a permis d'avoir des variétés élites qui avaient été choisies par les producteurs e année une de la sélection variétale participative. Il s'agit de : D14, WAS 73-B-B-231-4 et IR 59418-7B-21-3. Les nouvelles variétés développées

pour la tolérance à la salinité doivent être accompagnées par des pratiques innovantes qui permettent de gérer le niveau de salinité de la parcelle du producteur. Dans la vallée du Fleuve Sénégal, les drainages fréquents et l'utilisation de « phosphogypse » comme amendement sont pratiqués par certains producteurs de riz. Cette étude de caractérisation va se poursuivre au niveau physiologique, avec les teneurs en Na^+ et K^+ dans les différentes parties de la plante, pour étudier les mécanismes déployés par chaque variété pour s'adapter dans ces conditions de salinité. Une évaluation agronomique en milieu réel durant le cycle complet, avec les mêmes environnements permettra de confirmer les résultats.

Références

- [1] - N. AHMADI, S. NEGRÃO, D. J. F. KATSANTONIS, J. PLOUX, P. LETOURMY, B. COURTOIS, “Targeted association analysis identified japonica rice varieties achieving $\text{Na}(+)/\text{K}(+)$ homeostasis without the allelic make-up of the salt tolerant indica variety Nona Bokra”, *Theor Appl Genet*, (2011).
- [2] - BMS 3.0.8, “Manage list”, www.integratingbreeding.net, (2015).
- [3] - J. BOYER, “Plant productivity and environment”, *Science*, (1982).
- [4] - V. CHINNUSAMY, A. JAGENDORF, J. K. ZHU, “Understanding and improving salt tolerance in Plants”, *Crop Science*, Vol. 45, Nº 2, (2005).
- [5] - J. T. FLOWERS & A. R. YEO, “Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa L.*) varieties”, *New Phytol*, 88 (1981).
- [6] - G. GREGORIO, D. SENADHIRA, R. MENDOZA, N. MANIGBAS, J. ROXAS, & C. GUERTA, “Progress in breeding for salinity tolerance and other abiotic associated stresses in rice”, *Field Crops Re*, (2002).
- [7] - H. E. HAYWARD, & C. H. WADLEIGH, “Plant growth on saline and alkali soils”, *Advances in Agronomy*, (1949).
- [8] - D. L.G. L. HEENAN & D. MCCAFFERY, “Salinity tolerance in rice varieties at different growth stages”, *Exp. Agric.*, (1988).
- [9] - L. Q. HOA, “Analyse de la tolérance du riz à la salinité par l'approche SSH-microarrays”, Rennes : ENSAR, 190 p. Thèse de doctorat : Biologie et agronomie : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, (2004).
- [10] - M. S. KHAN, A. HAMID & M. KARIM, “Effect of sodium chloride on germination and seedling characters of different types of rice (*Oryza sativa L.*)”, *J. agronomy Crop Sci.*, 179 (1997) 163 - 169.
- [11] - S. KHATUM, C. RIZZO, & T. FLOWERS, “Genotypic variation in the effect of salinity on fertility in rice”, *Plant soil*, (1995).
- [12] - LENNTech, “Risque de salinité”, Récupéré sur <http://www.lenntech.fr/francais/irrigation/salinite-risque-irrigation.htm>, (2015).
- [13] - S. LUTTS, J. M. KINET & J. BOUHARMONT, “Changes in plant response in NaCl during development of rice (*Oryza sativa L.*) varieties differing in salinity resistance”, *Journal of Experimental Botanique* 46, (1995) 1843 - 1852 pp.
- [14] - E. V. MAAS, “Agricultural salinity assessment and management”, ASCE Manuals and reports on Engineering, (1990) 262 - 304.
- [15] - E. V. MAAS, “Testing Crops for Salinity Tolerance”, Pub. No. 94-2, Univ of Ne, Lincoln, NE, (1993).
- [16] - E. MAAS, & G. HOFFMAN, “Crop salt tolerance - Cureent assessment”, *J. Irrig. Drain. Div. ASCE* 103, (1997) 115 - 134.
- [17] - R. MUNNS, & M. TESTER, “Mechanisms of salinity tolerance”, *Plant Biol.*, (2008).
- [18] - R. MUNNS, “Comparative physiology of salt and water stress”, *Plant cell Environ*, 25 (2) (2002) 239 - 250.
- [19] - R. NARALE, T. SUBRAMANGAM, & R. MUKHERJEE, “Influence of salinity on germination, vegetative growth, and grain yield of rice (*Oryza sativa* var. Dular)”, *Argon*, (1969).

- [20] - G. PEARSON, & I. BERNSTEIN, "Salinity effects at several growth stages of rice", Argon, (1959).
- [21] - RAHMAN MA, THOMSON MJ, SHAH-E-ALAM M, DE OCAMPO M, EGDANE J, ISMAIL AM., "Exploring novel genetic sources of salinity tolerance in rice through molecular and physiological characterization", Ann. Bot., (2016).
- [22] - M. RANA, & T. MARK, "Salinity tolerance", Annu. Rev., (2008).
- [23] - A. K. SINGH, M. W. ANSARI, A. PAREEK, & S. L. SINGLA-PAREEK, "Raising salinity tolerant rice: recent progress and future perspectives", Plant Molecular Biology, (2008).
- [24] - R. K. SINGH, R. MURORI, N. ALEXIS, B. JOSEPH, J. M. KIMANI, Z. L. KANEYKA, S. SURAPONG, N. INNOCENT, L. JIMMY, M. S. MKUYA, H. TUSEKELEGE AND R. JOSEPH, "Rice Breeding Activities in Eastern and Southern Africa", SABRAO J. of Breeding and Genetics, 45 (2013) 73 - 83.
- [25] - M. TESTER & R. DAVENPORT, "Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants", Ann. Bot. (Lond.), 91 (2003) 503 - 527.
- [26] - UNESCO, "Croissance des plantes en milieu salin", Rapport, (1952).
- [27] - I. WINICOV, "New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants", Ann. Bot., 82 (6) (1998) 703 - 710.
- [28] - T. YAMAGUCHI, & E. BLUMWALD, "Developing salt-tolerant crop plants : challenges and opportunities", Trends Plant Sci, 10 (12) (2006) 615 - 620.
- [29] - S. YOSHIDA, "Fundamentals of rice crop science", Los banos, Phillipines: IRRI, (1981).
- [30] - L. ZENG & M. C. SHANNON, " Salinity effects on Seedling Growth and Yield Components of Rice", Crop Science, (2000).