

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

ECOLE DOCTORALE : Sciences de la Vie, de la Santé et de

L'Environnement (ED-SEV)

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année académique : 2015-2016 N° d'ordre : 197



THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Chimie et Biochimie des produits naturels

Présentée par :

Soukeina MINT EL MOCTAR

Etude de l'effet de doses croissantes de Chlorure de sodium (NaCl) sur le comportement métabolique et agronomique de quelques variétés de riz (*Oryza sativa L.*) cultivées en Mauritanie

Soutenue le **20/ 02/ 2016** devant le jury composé de :

Dr Moussoukhoye DIOP
Pr Ali Ould Mohamed Salem BOUKHARY
Pr Kadioura NOBA
Dr Samba DIENG
Pr Abdoulaye SAMB
Dr Taleb Khyar O. DJEH

Présidente
Rapporteur
Rapporteur
Rapporteur
Directeur de Thèse
Co-Directeur de Thèse

Maître de conférences (UCAD)
Professeur (Nouakchott)
Professeur (UCAD)
Maître de conférences (UCAD)
Professeur
Maître de conférences (ISET)

REMERCIEMENTS

Louange à Allah et paix et salut sur le Prophète.

Les travaux de recherche objet de cette Thèse sont le fruit d'une collaboration entre l'Unité de recherche 'Génomes et milieux' à la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université des Sciences de Technologie et de Médecine (Mauritanie), l'institut supérieur des études technologiques (ISET) de Rosso Mauritanie et le laboratoire des produits naturels à la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD) de Dakar (Sénégal).

Ces travaux de recherche ont été réalisés sous la Direction de Monsieur le Professeur Abdoulaye SAMB et Monsieur le Professeur Taleb Khyar O. DJEH. Je tiens à leur exprimer mon immense gratitude pour leur encadrement de qualité et pour m'avoir accordé leur confiance et ce en dépit de leurs lourdes charges académiques. Dieu seul sait à quel degré je suis reconnaissante et c'est Dieu seul que j'invoque pour qu'il les récompense dans la vie d'ici-bas et l'au-delà.

Je suis très honorée de la présence à mon jury de thèse et je tiens à remercier :

Madame Moussoukhoye DIOP, maître de conférences à la Faculté des Sciences et Techniques de l'UCAD de Dakar, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.

Monsieur Kadioura NOBA, Professeur au département de biologie végétale de FST de l'UCAD de Dakar, pour sa participation à mon jury en qualité de Rapporteur de mon travail et pour toutes remarques intéressantes qu'il m'a faites.

Monsieur Samba DIENG, Professeur de chimie à FST de l'UCAD de Dakar, pour sa participation à mon jury en qualité de Rapporteur et pour les suggestions et les remarques judicieuses qu'il m'a indiquées.

Monsieur Ali Ould Mohamed Salem Boukhary responsable de l'Unité de recherche génomes et milieux de l'Université des sciences, de technologies et de médecine de Nouakchott (Mauritanie) qui a accepté d'être rapporteur de cette thèse malgré son emploi de temps très chargé.

Je remercie vivement Monsieur le Directeur de L'Institut Supérieur d'Enseignement Technologique de Rosso Dr. Issa Nebiollah Bouraya pour les services et la confiance qu'il m'a accordée.

Je remercie également Dr. Med Abdallah Med Mahmoud pour les judicieux conseils et l'aide toujours renouvelée qu'il m'a prodigué durant l'élaboration de ce travail.

Je tiens aussi à remercier les ingénieurs Monsieur Tourad, Monsieur Chrif et Monsieur Sidatt pour m'avoir fourni les semences de riz objets de cette étude et pour leur participation active dans les prospections de terrain et aux travaux de paillasse.

Merci à tous les enseignants des Départements de PPV et STA pour leur encouragement et leur gentillesse.

J'adresse mes remerciements à tous les chercheurs de l'Unité pour leur soutien et leurs encouragements : Fouteye Mint Mohamed Lemine, Mohameden Ould Mohamdi, Mohamed Vall Ould Mohamed Ahmed Kadjetou Mint Lekweiry, Mohamed Salem O. Ahmedou Salem.....

Je tiens à remercier Madame DIOP, secrétaire de l'école doctorale SEV, pour sa gentillesse et sa disponibilité.

Je remercie toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin.

.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail :

-A mon père Emed o. elymbtaleb et ma chère mère Nasserha ALLAH Mint Ahmed Vall qui m'ont éclairé le chemin de la vie par leur grand soutien et leur encouragement, par leur dévouement exemplaire et l'énorme sacrifice qu'ils m'ont consenti durant mes études et qui ont toujours aimé me voir réussir.

-A mon oncle Amadou Haidara et sa femme Dr. Meymona Haidara qui m'ont encouragée et soutenue.

-A mes sœurs et à mes frères.

-A toutes les familles de Ehel Sidiyaaraf ainsi que toutes les familles de Ehl BariKalla Et à tous mes proches.

Publications

Cette thèse a fait l'objet des publications suivantes :

Article 1 : Soukeina M.M, Abdoulaye.S.Abdallahi.O.M, Ali.O.M.S.B,Taleb.K.O.D 2015. Effect of different levels of salinity on germination and early seedling growth of three rice varieties cultivated in Mauritania.IJACS/2015/8/3/346-34.

Communications orales:

Soukeina M.M, Abdoulaye.S.Abdallahi.O.M, Ali.O.M.S.B,Taleb.K.O.D.2013. Effet de la salinité sur le rendement de quatre variétés de riz cultivées en Mauritanie. Les deuxièmes Journées de la Recherche et d'Echanges Scientifiques (JRES) à Rosso ISET-Rosso le 12 et 13 Décembre

Soukeina M.M, Abdoulaye.S.Abdallahi.O.M, Ali.O.M.S.B,Taleb.K.O.D.2013. Effets de doses croissantes de NaCl sur les premiers stades phenologiques chez trois variétés de riz (*Oryza saiva* L.) en hydroponie. Les Doctoriales 4 - 5 Février 2013 des Doctorants de l'EDSEV - UCAD

Soukeina M.M, Abdoulaye.S.Abdallahi.O.M, Ali.O.M.S.B,Taleb.K.O.D.2012. Le comportement de quatre variétés de riz vis-à-vis de trois doses de NaCl. Les premières Journées de la Recherche et d'Echanges Scientifiques(JRES) à ISET-Rosso le 12 et 13 Décembre.

Résumé

En Mauritanie l'abandon des parcelles rizicoles suite à une salinisation est un fléau qui prend de l'ampleur du jour au jour. Par ailleurs chez les céréales, la tolérance aux sels, tel que le chlorure de sodium, sont des qualités recherchées, afin d'élargir la culture aux zones marginales et d'assurer des rendements dans des conditions à risque de salinisation. Dans l'objectif d'orienter les agriculteurs mauritaniens vers les variétés de riz les mieux adaptées aux conditions de stress salin, les variétés du riz (IR-28, Sahel-108, Sahel-201, Nerica-s44) ont été testées en condition d'hydroponie et en plein champ en présence de concentrations croissantes de NaCl. Le suivi du comportement physiologique, métabolique et agronomique des variétés vis-à-vis des doses de NaCl appliquées a montré des comportements variables aux différents stades phénologiques exprimant des inégalités des niveaux de tolérance à la salinité. Au stade de germination la variété IR28 paraît la plus sensible à l'augmentation de la salinité suivie par Sahel 201 alors que la variété Sahel108 paraît la plus tolérante à ce stade. Les résultats montrent qu'en présence de NaCl à 3g/l les variétés Sahel 108, Sahel 201 et IR28 ont montré respectivement des diminutions de 5%, 16,67% et 23,33%. Cependant à la dose de 6g/l de NaCl, après 24 heures les variétés Sahel 108 et Sahel 201 ont donné respectivement 36,66 et 11,66 % de germination alors que IR 28 n'a pas montré de germination à cette dose. L'évaluation de la croissance et des composantes du rendement a montré que la variété Sahel 108 malgré qu'elle enregistre le meilleur rendement en absence de salinité, paraît très affectée en terme de croissance et de rendement par les conditions salines, alors que la variété Nerica-S44 a donné le meilleur rendement en paddy (422,11g/m²) sous la dose de 2g/l suivie de sahel 201(406,44g/m²) tandis que IR28 (308,44g/m²) a enregistré le plus faible rendement sous ces conditions.

Mots clés : riz, Mauritanie, comportement variétal, salinité,

Abstract

In Mauritania the abandonment of the rice plots as a result of soil salinization is a growing challenge. In addition, salt tolerance (NaCl) in cereals, is a desired trait in order to expand crops cultivation to marginal lands and ensure yields in conditions of risk of salinization. In order to better focus Mauritanian farmers to the well adapted rice varieties to saline conditions, IR-28, Sahel 108, Sahel 201 and Nerica-s44 were tested in hydroponics and in field conditions in the presence of increasing concentrations of NaCl. Physiological behavior, metabolic and agronomic responses vis-a-vis of applied NaCl concentrations showed variable behavior at various phenological stages giving unequal level of salt tolerance in the tested rice varieties. At the stage of germination, IR28 seems more sensitive to the increase in salinity followed by Sahel 201 while Sahel108 variety appears most tolerant at this stage. The results also revealed that at 3g/l of NaCl, Sahel 108, Sahel 201 and IR28 showed a decreases of 5%, 16.67% and 23.33% respectively However, at the dose of 6g/l NaCl, varieties Sahel 108 and Sahel 201 gave after 24h of incubation a germination rates of 36.66 and 11.66% respectively whereas 28IR showed no germination at this dose. Moreover, evaluation of growth and yield components showed that although the variety Sahel108 recorded the best performance in the absence of salinity, it seems very affected in terms of growth and yield under saline conditions, while the Nerica-S44 variety gave the best yield of paddy (422.11g/m²) under the dose of 2g/l followed by Sahel 201 (406.44g/m²) while IR28 (308,44g/m²) recorded the lowest yield under these conditions.

Keywords: rice, Mauritania, varietal behavior, salinity.

TABLE DE MATIERES

Introduction Générale.....	1
Chapitre 1 : Synthèse bibliographique.....	4
1.1. Généralité sur le riz.....	4
1.1.1 Position taxonomique	4
1.1.2. Description botanique sommaire du riz.....	5
1.1.3 La riziculture	6
1.1.3.1 La riziculture pluviale	6
1.1.3.2 Les rizicultures aquatiques.....	6
1.1.4 Le cycle du riz	8
1.1.4.1. Phase végétative.....	8
1.1.4.2 Phase reproductive.....	8
1.1.4.3 Phase de remplissage du grain et de maturation.....	9
1.1.5. Le métabolisme de la plante de riz	9
1.1.6. Importance économique et nutritive du riz.....	10
1.1.6.1. Importance économique.....	10
1.1.6.2. Importance nutritive.....	11
1.2. La salinité.....	13
1.2.1. Définition	13
1.2.2. Causes et mesure de la salinité	13
1.2. 3. Salinité des eaux d'irrigation.....	14
1.2.4. Salinité de sols	15
1.2.4.1. Les sols salins	15
1.2.4.2 Les sols sodiques ou alcalins	15
1.2.5. Problème de la salinité de sols dans le monde.....	16
1.2.6 Etat de la salinité en Mauritanie	17
1.2.7. Effets de la salinité sur les plantes	18
1.2.7.1. Effet de la salinité sur la germination	19
1.2.7.2 L'effet de la salinité sur la croissance des plantes	20
1.2.7.3 L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante	23

1.2.7.4 L'Effet de la salinité sur la photosynthèse	23
1.2.7. 5. L'Effet de la salinité sur la nutrition minérale	24
1.2.7.6 L'Effet de la salinité sur les pigments photosynthétiques	26
1.2.7.7 Effet de la salinité sur les composantes du rendement	27
1.2.8 Classification des plantes selon le degré de tolérance à la salinité	28
1.2.9 Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité	30
1.2 .9.1 La régulation ionique et compartimentation	30
1.2.9.2 Synthèse des antioxydants	31
1.2.9.3 Synthèse de solutés compatibles	32
1.2.9.3.1 Accumulation de sucres solubles	32
1.2.9.3.2 Les polyols	33
1.2.9.3.3 Synthèse de protéines	34
1. 2.9.3.4. Synthèse et Accumulation de la proline	35
Chapitre 2 : Matériel et méthodes	39
2.1. Effets de NaCl sur le comportement physiologique et métabolique chez trois variétés de riz (<i>Oryza sativa</i> L.) en hydroponie.....	39
2.1.1. Matériel végétal.....	39
2.1.2. Milieu et conditions de culture.....	39
2.1.3. Paramètres évalués.....	40
2.1.3.1 Test de germination.....	40
2.1.3. 2 Mesure de croissance.....	41
2.1.3.3 Indice de Stress Salin.....	41
2.1.3.4. Teneur en pigments chlorophylliens.....	42
2.1.3.5 Extraction et dosage des sucres.....	42
.1.3.5.1. Extraction des sucres totaux	42
2.1.3.5.2. Dosage des sucres réducteurs.....	43
2.1.3.6. Teneur en proline.....	45
2.1.3.7. Teneur en protéines.....	46
2.1.3.8 Dosage des éléments minéraux (K^+ , Ca^{++} , Mg^+ , Cl^-) au niveau des racines.....	46
2.1.3.9 Analyses statistiques.....	48
2 .2 Effets de NaCl sur la croissance et le rendement de quatre variétés de riz (<i>Oryza sativa</i> L.) cultivées en Mauritanie.....	49
2.2.1. Matériel végétal.....	49
2.2.2. Conduite de la culture	50

2.2.2.1 Analyse physicochimique du sol et d'eau d'irrigation.....	51
2.2.2.2 Système d'irrigation.....	51
2.2.2.3 : Dispositif expérimental.....	52
2.2.2.4. Semis des parcelles et désherbage.....	52
2.2. 3 Paramètres évalués.....	54
2.2.3.1. Teneur relative en eau	54
2.2.3.2: La croissance des plantes.....	54
2.2.3.2.1. Croissance de la hauteur des plantes.....	55
2.3.2.2. Croissance de la longueur des racines des plantes	55
2.3.2.3. Mesures de Poids frais de la partie aérienne des plantes	55
2.3.2.4. Mesures de Poids frais de la partie souterraine des plantes	55
2.3.3. Les paramètres de rendement.....	55
2.3.3.1. Le nombre de talles	55
2.3.3.2. Le nombre de panicules	55
2.3.3.3. Le rendement global en paddy	55
2.3.3.4. Le poids de mille graines	56
2.3.4. Analyses statistiques.....	56
Chapitre 3: L'effet de NaCl sur les premiers stades phénologiques de trois variétés de riz (<i>Oryza sativa</i> L.) cultivées en milieu hydroponique.....	57
3.1. Introduction.....	57
3.2. Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination.....	58
3.3. Effet du chlorure de sodium sur la croissance des variétés de Riz.....	61
3.4. Indice de stress salin (ISS).....	63
3.5. Effets de NaCl sur la teneur racinaire en éléments minéraux (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ et Cl ⁻) dans les racines.....	65
3.6 Effets de NaCl sur la teneur en pigments chlorophylliens.....	67
3.7. Effets de NaCl sur la teneur foliaire en protéines solubles.....	70
3.8. Effets de NaCl sur la teneur foliaire et racinaire en proline	71
3.9. Effets de NaCl sur la teneur foliaire et racinaire en sucres.....	73
3.10 Analyse de la variance.....	77
Chapitre 4: Effets de NaCl sur la croissance et le rendement de quatre variétés de riz(<i>Oryza sativa</i> L.) cultivées en plein champ.....	78
4.1. Introduction.....	78
4.2. Effet de NaCl sur la Teneur Relative en Eau foliaire (TREF) et racinaire (TREF).....	79
4.3. Paramètres de croissance.....	82

4.4 Paramètres de rendement.....	86
4.5. Analyse de la variance.....	91
5.6. Corrélation entre paramètres étudiés.....	92
Conclusion générale.....	95
Références bibliographiques.....	97
Annexe.....	111

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	A. Plant de riz. B. coupes longitudinale et transversale dans un grain de riz (Marc Lacharme, 2001).....	5
Figure 2 :	Les différents stades phénologiques de la plante de riz.....	9
Figure 3:	Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Lauchli et Grattan, 2007).....	20
Figure 4 :	Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel (Munns et Tester, 2008).....	28
Figure 5 :	Le graphique , est adapté par Hagemeyer (1996), présente la production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité.....	29
Figure 6 :	Les mécanismes d'exclusion et de compartimentation des ions Na ⁺ d'après Mansour et al. (2003).....	31
Figure 7 :	Voie de biosynthèse de la proline.....	36
Figure 8 :	exemples d'osmoregulateurs synthétisés par les végétaux (d'après LARHER,1996).....	37
Figure 9:	les voies qui montrent l'activation des protéines kinase SOS, SOS3 et la régulation de l'homéostasie ionique. (Kaur et Gupta, 2005).....	38
Figure 10 :	réaction de réduction de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (3,5-DNS) par les sucres réducteurs en acide 3-amino 5-nitrosalicylique.....	43
Figure 11 :	Réaction de la proline avec la ninhydrine en milieu acide à 100 °C	45
Figure12 :	variation du pourcentage de germination après 24h (a) et 48H (b) des graines de variétés de riz testées en fonction de doses de NaCl appliquées.....	59
Figure 13 :	Classement des moyennes relatives aux pourcentages de germination des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	61
Figure14 :	Évaluation de l'Indice de stress salin ISS en fonction de doses de NaCl dans les solutions nutritives.....	64
Figure 15 :	Classement des moyennes relatives a l'indice de stress salin des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	64
Figure 16:	Évaluation de teneur chlorophylle a(a), chlorophylle b(b) et en chlorophylle totale	

(t), en fonction de doses de NaCl dans les solutions nutritives.....	68
Figure 17 : Classement des moyennes relatives aux teneurs en pigments chlorophylliens des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	69
Figure 18 : Évaluation de la teneur en protéines solubles en fonction de doses de NaCl dans les solutions nutritives.....	70
Figure 19 : variations de la teneur en proline foliaire (a) et racinaire (b) des variétés de riz en fonction de doses de NaCl appliquées.....	72
Figure 20 : Classement des moyennes relatives aux teneurs en Proline foliaire et racinaire des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	72
Figure 21 : variations de la teneur foliaire et racinaire en Sucre réducteur(a), non réducteur (b) et totaux (c) chez les variétés de riz en fonction de doses de NaCl appliquées.....	75
Figure 22 : Classement des moyennes relatives aux teneurs en sucres foliaire et racinaire des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	76
Figure 23 : Effet de la concentration de NaCl sur le Teneur relative en eau foliaire (A) et racinaire (B) au stade végétatif(S1) et stade reproductif(S2) des plantes.....	79
Figure 24 : Classement des moyennes relatives aux teneurs relatives en eau foliaire (a) et racinaire (b) des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	80
Figure 25 : Variation de la hauteur de la partie aérienne(A) et de la longueur des racines(B) à différentes doses de NaCl au stade végétatif(S1)et stade reproductif(S2) des plantes	82
Figure 26 : Variation de poids de partie aérienne(A) et de poids des racines(B) à différentes doses de NaCl au stade végétatif(S1) et stade reproductif(S2) des plantes.....	83
Figure 27 : Classement des moyennes relatives à la longueur de la partie aérienne(a) et de la partie racinaire (b) des variétés de riz selon le test de Duncan.....	84
Figure 28 : Classement des moyennes relatives au poids de partie aérienne (a) et racinaire (b) des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	85
Figure 29: Classement des moyennes relatives au nombre de talle et au nombre de panicule des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	88
Figure 30: Classement des moyennes relatives de rendement des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.....	89
Figure 31: Variation de rendement chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.....	90

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Principaux pays producteurs de riz (2009, FAO)	11
Tableau 2 :	Composition nutritionnelle du riz (en grammes pour 100 g).....	12
Tableau 3 :	Classification de l'eau selon Maillard, 2001.....	14
Tableau 4 :	Classes de la salinité de sols(Maillard, 2001).....	16
Tableau 5 :	Répartition régionale des sols salins dans le monde, en millions d'hectares (Munns, 2002)	17
Tableau 6 :	La composition chimique de la solution nutritive Jemal et al., (2005).....	39
Tableau 7 :	Principales caractéristiques des variétés de riz étudiées.....	49
Tableau 8 :	Variation des paramètres de croissance chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.....	62
Tableau 9 :	variation des paramètres de la teneur en éléments minéraux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Cl^{-}) chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.....	66
Tableau10 :	Analyse de variance à facteurs (effet variété et traitement) des différents paramètres étudiées.....	77
Tableau 11 :	Variation des paramètres de rendement chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.....	87
Tableau 12 :	Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs (effet variété, effet stade et effet dose de NaCl de teneur relative en eau et des paramètres de croissances chez les différentes variétés de riz testées.....	92
Tableau 13:	Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs pour les paramètres de rendement	92
Tableau 14 :	Coefficients de corrélations entres les différents paramètres.....	94

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : les plantules de riz de la culture hydroponique	40
Photo 2 : Test de germination.....	41
Photo 3 : Mallette d'analyse des éléments minéraux	47
Photo 4 : a Terrain après travaux de sol (Offsetage), b Unités parcelles.....	50
Photo 5 : Composantes du système d'irrigation.....	51
Photo 6 : disposition des parcelles.....	52
Photo 7 : Parcelles avant et après désherbage.....	53

Abréviations

ABA : l'acide Abscissique

ATP : Adénosine 5' triphosphate

Ca²⁺: Ion calcium

CAT : catalase

Cl⁻: Ion chlorure

Cm : Centimètre

CO₂ : Dioxyde de carbone

DO : densité optique

EC : conductivité électrique

ESP : pourcentage de sodium échangeable

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

GR : Glutathion Réductase

ISSET : d'Institut Supérieur d'Enseignement Technologique

K⁺ : Potassium

LADA :

Lpa : Longueur de la partie aérienne

Lpr : Longueur de la partie racinaire

M DR : Ministère de Développement Rural

m: Mètre

mg/g: Milligramme par gramme

Mg: Milli gramme

Mha : millions d'hectare

ml : Milli litre

mM : Milli molaire

mM : Milli molaire

mS cm⁻¹: Milli siemens par centimètre

mS cm⁻¹: Milli siemens par centimètre

MS: matière sèche

Mt :millions de tonnes

Na⁺: Sodium

NaCl: Chlorure de sodium

NADPH : Nicotinamide dinucléotide phosphate

NO₃⁻: Nitrate

P5C : 5carboxylique-1-pyrroline

Ppa : poids frais de la partie aérienne

Ppr : poids frais de la partie racinaire

ROS : Réactive Oxygen Species

RuBP : Ribulose Biphosphate

SOD : superoxyde dismutase

TDS : Quantité Totale de Matière Dissout

Introduction générale

Introduction Générale

Le riz (*Oryza sativa* L.) est une monocotylédone, herbacée annuelle appartenant à la famille des Poacées et cultivée pour son grain dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes. Il constitue la principale culture alimentaire de près de 40% de la population mondiale. Il est produit dans environ 110 pays, incluant à des degrés variables, tous les pays d'Afrique de l'ouest (Marc Lacharme, 2001)

Les plantes de riz sont exposées non seulement aux ravageurs et aux maladies qui ont évolué en même temps que lui durant son long passé de plante cultivée, mais également aux caprices des conditions climatiques et de sol. En conséquence, le comportement des plantes se trouve en permanence sous l'effet de stress de types osmotique (Munns et *al*, 2006), ionique (Vera-Estrella et *al*, 2005), hydrique (Trinchant et *al*, 2004) et salin (Bartels et Sunkar, 2005).

De nos jours, la salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales auxquelles l'agriculture moderne est confrontée. Souvent associée à la sécheresse, elle entraîne une réduction des surfaces cultivables et menace l'équilibre alimentaire mondial. Ce phénomène sans cesse accru dans le monde, peut constituer à long terme un danger pour la sécurité alimentaire mondiale.

Le stress salin est un problème majeur pour la croissance et le développement des plantes. Le chlorure de sodium (NaCl) est parmi les sels les plus abondants qui affectent la croissance des plantes au niveau de tous les stades phénologiques, et le rendement des cultures (Vijayan, 2009). Les concentrations élevées de NaCl dans le sol ou dans les eaux, réduisent la vitesse de germination des graines et dans la plupart des cas, inhibe la germination de celles-ci par le biais de deux types de processus : un effet osmotique et un effet toxique des ions Na^+ et Cl^- (Sosa et *al.*, 2005).

Par ailleurs il est signalé que la salinisation remarquée dans les écosystèmes arides et semi arides résulte généralement d'une forte évaporation d'eau à partir du sol (Munns et *al*, 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezni et *al.*2002), ou elle peut résulter d'une irrigation le plus souvent mal contrôlée (Bennaceur et *al*, 2001). En conséquence dans le Monde plus de 20 millions d'hectares sont signalées affecter par la salinité (Cheverry, 1995).

En Mauritanie, la sécheresse des années 1970, en faisant périlcliter l'agriculture traditionnelle, a favorisé l'émergence d'une agriculture irriguée avec un accent particulier sur

la riziculture dans les régions du Brakna, du Guidhimagha, du Gorgol et du Trarza (MDR, 2003). La production nationale est passée de 70000 Tonnes de paddy (Danecette, 1999) à 104000 tonnes (ONS, 2014) correspondant à plus de 42 % de la production nationale en céréales.

Cependant, la dégradation des terres par l'engorgement et la salinisation présentent un défi que la Mauritanie devra relever au plus tôt, du fait que la salinisation du sol conduit à la désertification de terres irriguées. En effet, après une ou deux années de culture, il est classique de constater que des parcelles sont abandonnées par les paysans en raison de la présence d'efflorescences salines (Barbiero, 1999). Un exemple vivant parmi d'autres, a été signalé dans le rapport annuel de l'ADRAO (1999) citant que le barrage de « Foum Legleita » dans le Sud Mauritanien a été abandonné par les agriculteurs, dix ans après sa construction en raison des problèmes de salinité.

Il est possible de surmonter ces problèmes si l'on tient compte de deux stratégies complémentaires : appliquer des techniques culturales permettant de réduire la salinité des sols (Bennes, 2003) et sélectionner les variétés ou les espèces capables de minimiser les effets dépressifs de la salinité sur les rendements. La sélection du matériel végétal tolérant au sel est tributaire d'une connaissance approfondie des mécanismes physiologique, métabolique et génétique de tolérance à la salinité.

L'objectif de ce travail est d'explorer l'effet de la salinité (NaCl) sur le comportement métabolique et agronomique de quatre variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en Mauritanie. L'étude a concerné tout d'abord la réaction des plantes de riz au stade trois feuilles, vis-à-vis de doses croissantes de NaCl moyennant l'évaluation des paramètres de croissance et métaboliques dans des conditions contrôlées. Dans une autre phase l'étude a été axée sur le comportement de quatre variétés au niveau du terrain irrigué par des eaux enrichies en NaCl.

Le présent document a été divisé en quatre chapitres :

Le chapitre I : comporte une synthèse bibliographique décrivant les aspects de l'impact de la salinité sur la croissance des plantes ainsi que les mécanismes de tolérance de celles-ci à la salinité, tout en abordant les processus biochimiques et physiologiques mis en jeu dans cette tolérance.

Le chapitre II : comprend les méthodologies et le matériel utilisés pour l'évaluation des paramètres d'étude.

Le chapitre III : a été consacré aux résultats recueillis de l'étude du comportement physiologique et biochimique de trois variétés de riz conduites en hydroponie.

Le chapitre IV : traite l'effet de la salinité sur les paramètres de croissance et de rendement chez quatre variétés de riz.

Nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

1.1. Généralité sur le riz

1.1.1 Position taxonomique

Le riz (*Oryza* sp.) est une céréale, herbacée annuelle appartenant à la famille des Poacées (Graminées). Cette monocotylédone est cultivée dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son fruit (caryopse), riche en amidon (polysaccharide de réserve). La taxonomie de l'espèce *O. sativa* est la suivante :

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Liliopsida
Sous-classe :	Commelinidae
Ordre :	Poales
Famille :	<i>Poaceae</i>
Genre :	<i>Oryza</i>
Espèce :	<i>O. sativa</i> L.

Le genre *Oryza* comprend plus d'une vingtaine d'espèces, dont deux sont cultivées :

- *Oryza sativa* L., originaire de l'Asie, c'est l'espèce la plus cultivée.
- *Oryza glaberrima* Steud., ou riz de Casamance originaire d'Afrique Centrale.

Oryza sativa (ou riz asiatique) provient de divers événements de domestication ayant eu lieu environ 5000 ans avant J-C en Inde du Nord, et autour de la frontière Sino-birmane. Le parent sauvage du riz cultivé est *Oryza rufipogon* (anciennement, les formes annuelles de *Oryza rufipogon* ont été nommées *Oryza nivara*).

Oryza glaberrima provient de la domestication de *Oryza barthii*. On ne sait pas où a eu lieu la domestication, mais elle semble datée de 500 ans avant J-C. Depuis quelques dizaines d'années, ce riz est de moins en moins cultivé en Afrique, sa culture est remplacée par celle

de *O. sativa*, des variétés hybrides *Sativa-glaberrima* combinant les qualités des deux espèces sont diffusées sous le nom de « Nerica » (Anonymes, 2008).

1.1.2. Description botanique sommaire du riz

Le riz est une herbacée annuelle, graminée et autogame qui se développe plus facilement sous les climats tropicaux, possédant un système racinaire abondant à la surface (Figure 1).

Cette plante prédisposée au tallage, formant un bouquet de tiges à partir du sol et peut mesurer de 0,6 à 6 m. Les tiges se terminent en une panicule ramifiée longue de 20 à 30 cm. Chaque panicule est composée de 50 à 300 fleurs monoïques ou "épillets", à partir desquels les grains se formeront.

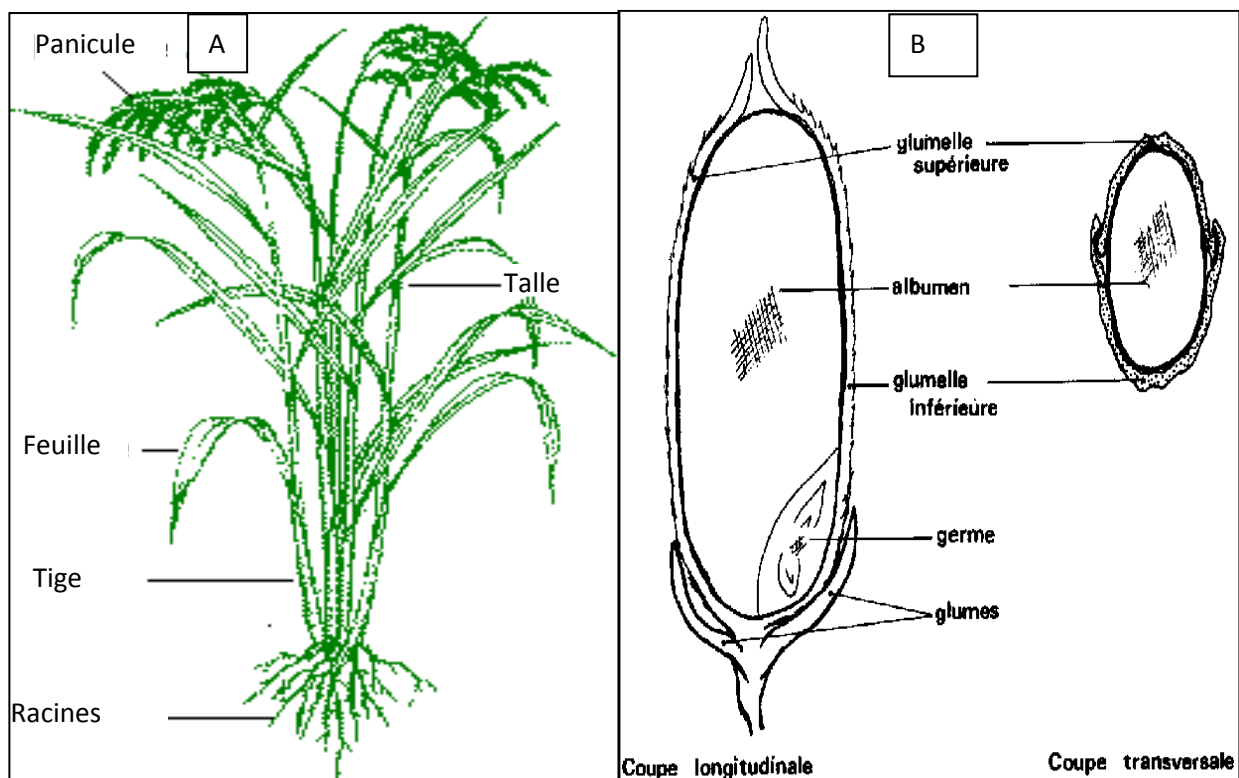


Figure 1. A. Plant de riz. B. coupes longitudinale et transversale dans un grain de riz (Marc Lacharme, 2001).

La semence de riz est un grain enfermé dans des pièces florales : deux petites glumes à la base et deux glumelles s'imbriquant l'une dans l'autre protégeant entièrement le grain.

Le riz est classé suivant la taille de ses grains en trois catégories :

Le riz long, dont les grains doivent mesurer au minimum 7 à 8 mm et sont plutôt fins.

Le riz à grain médium ou grain moyen, dont les grains sont plus larges que le riz long grain (le rapport entre longueur et largeur oscille entre 2 et 3) et qui atteignent une longueur comprise entre 5 et 6 millimètres. Le plus souvent, ce type de riz est légèrement plus collant que le riz long.

Le riz à grain court, riz rond ou riz à grain ovale. Les grains mesurent généralement 4 à 5 mm de long pour 2,5 mm de large. Ils collent souvent entre eux.

1.1.3 La riziculture

Le riz est cultivé de diverses manières. On distingue deux grands écosystèmes rizicoles en fonction du régime hydrique, écosystème aquatique et écosystème non aquatique (Trébuil et Houssain, 2004) :

1.1.3.1 La riziculture pluviale

C'est une culture non aquatique (sans submersion) alimentée par les pluies et/ou la nappe phréatique. Elle représente 12% des superficies mondiales, et 40% en Afrique. Le riz pluvial est traditionnellement cultivé dans des systèmes itinérants d'abattis-brûlis (Slash et Burn,). Ces systèmes sont de moins en moins productifs du fait du raccourcissement de la durée des « jachères » (rendements de 1 tonne /ha au lieu de 2 tonnes /ha). Ils se heurtent aussi, de plus en plus, à la préoccupation de protection des forêts et de lutte contre l'érosion.

1.1.3.2 Les rizicultures aquatiques

Selon Slash et Burn, les rizicultures aquatiques couvrent 88% des superficies rizicultivées et sont subdivisées en quatre catégories :

- **Riziculture irriguée** : Des infrastructures hydro-agricoles permettent de maîtriser la date d'entrée et de retrait de l'eau dans la rizière, ainsi que la hauteur de la lame d'eau. C'est dans ce type de riziculture, qui couvre 55% des superficies cultivées et assure 75% de la production mondiale, que s'est faite la « révolution verte » des années 1960. L'utilisation simultanée de

variétés demi-naines très productives, d'engrais minéraux et de pesticides, associée à une bonne maîtrise de l'enherbement grâce au repiquage et au désherbage manuel, a permis d'atteindre par récolte des rendements moyens de 4-5 t/ha et des maxima de 10 t/ha. La monoculture du riz est souvent la règle et, dans certains climats chauds, l'utilisation de variétés précoces et non photosensibles permet jusqu'à trois cycles de culture par an. En zones subtropicales, la rotation riz-blé est très largement répandue. Avec l'accroissement du coût de la main d'œuvre, la tendance est à l'abandon du repiquage au profit du semis.

-Riziculture inondée : En l'absence d'infrastructures hydro-agricoles de contrôle de l'eau, l'alimentation en eau de la rizière dépend directement des pluies ou de la crue des cours d'eau les dates d'arrivée et de retrait de l'eau dans la rizière ne sont pas maîtrisées et la lame d'eau peut varier de 0 à 10cm. Ce type couvre 23% des superficies mondiales. Le mode d'implantation de la culture le plus répandu est le semis. Les rendements dépassent rarement 4 t/ha. La préoccupation majeure est la stagnation des rendements autour de 3 t/ha. Les variétés utilisées doivent être plus rustiques, leur hauteur et leur cycle bien adaptés au régime hydrique.

- Riziculture de submersion profonde ou riz « flottant » : Pratiquée dans des zones de delta où la lame d'eau peut atteindre 5 cm, elle représente 10% des superficies cultivées et assure seulement 3% de la production mondiale. Les variétés utilisées se caractérisent par une capacité d'élongation rapide des entre-nœuds (jusqu'à 10 cm par jour) accompagnant la montée des eaux. Les rendements sont faibles (environ 1 t/ha) et sujets à une grande variabilité spatiale et interannuelle, ce qui rend cette catégorie de production de moins en moins attractive.

- Riziculture de mangrove : Pratiquée dans des plaines côtières soumises à l'influence des marées, elle s'appuie sur une savante gestion de l'eau douce et de l'eau salée. En saison des pluies, on dessale la rizière par submersion avec de l'eau douce, puis on installe le riz et on le protège de l'eau salée avec des digues. En saison sèche, une fois le riz récolté, on introduit l'eau de mer pour éviter l'acidification des sols, bénéficier des éléments nutritifs qu'elle apporte et contrôler l'enherbement. Les variétés utilisées doivent avoir une bonne tolérance à la salinité. Etant donnée la fertilité élevée des sols, des rendements de 5 t/ha peuvent être atteints sans utilisation d'engrais.

Dans les rizières, l'existence de conditions anaérobies peut entraîner l'apparition de problèmes liés aux caractéristiques des sols (acidité, salinité, alcalinité, toxicité ferreuse, etc.)

1.1.4 Le cycle du riz

La plante de riz se développe en trois phases : végétative, reproductive et maturation (Figure 2, page 9.) avec différents stades de développement : germination, plantule, tallage...

1.1.4.1. Phase végétative

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

Selon la température, la phase de germination dure de 5 à 20 jours (5 jours en condition chaude et 20 jours sous de basses températures).

La levée qui va de l'émergence jusqu'au stade 4 feuilles dure de 15 à 25 jours selon la température (de basses températures rallongent la durée de la levée). Durant cette phase, le plant acquiert progressivement son indépendance vis à vis des réserves alimentaires du grain. Le plant est totalement indépendant au stade 3 feuilles. En cas de semis en pépinière, il est nécessaire d'attendre ce stade avant de faire le repiquage.

La durée [germination + levée] est d'environ 21 jours pour les semis d'hivernage. Elle peut être rallongée jusqu'à près de 40 jours pour les semis ou début de Contre Saison Chaude.

Le tallage commence à partir du stade 5 feuilles et a une durée variable qui dépend des conditions climatiques (température) et de la variété. C'est la longueur de cette phase qui différencie les variétés de cycle court, moyen et long. En règle générale, une variété de cycle long aura une aptitude au tallage supérieure à une variété de cycle court. 3 à 5 jours avant la fin du tallage, on peut observer l'initiation paniculaire à l'intérieur des tiges de différentes talles.

1.1.4.2 Phase reproductive

La phase reproductive commence de l'initiation paniculaire à la fécondation. Elle dure 19 à 25 jours. Elle comprend l'initiation paniculaire, la montaison, l'épiaison et la fécondation. A partir de l'initiation paniculaire, le tallage s'arrête. Durant la phase reproductive, le plant de riz est particulièrement sensible à des conditions défavorables (sécheresse, basses températures...).

1.1.4.3 Phase de remplissage du grain et de maturation

La phase de remplissage du grain et de maturation débute de la fécondation des grains jusqu'à la maturité. Durant cette phase, on observe un remplissage des grains par un mouvement des éléments nutritifs de la plante vers les grains. Les grains passent par une phase de grain laiteux, puis grain pâteux et enfin de grain mature. Cette phase dure de 30 à 42 jours, selon les conditions de température et d'humidité du milieu.

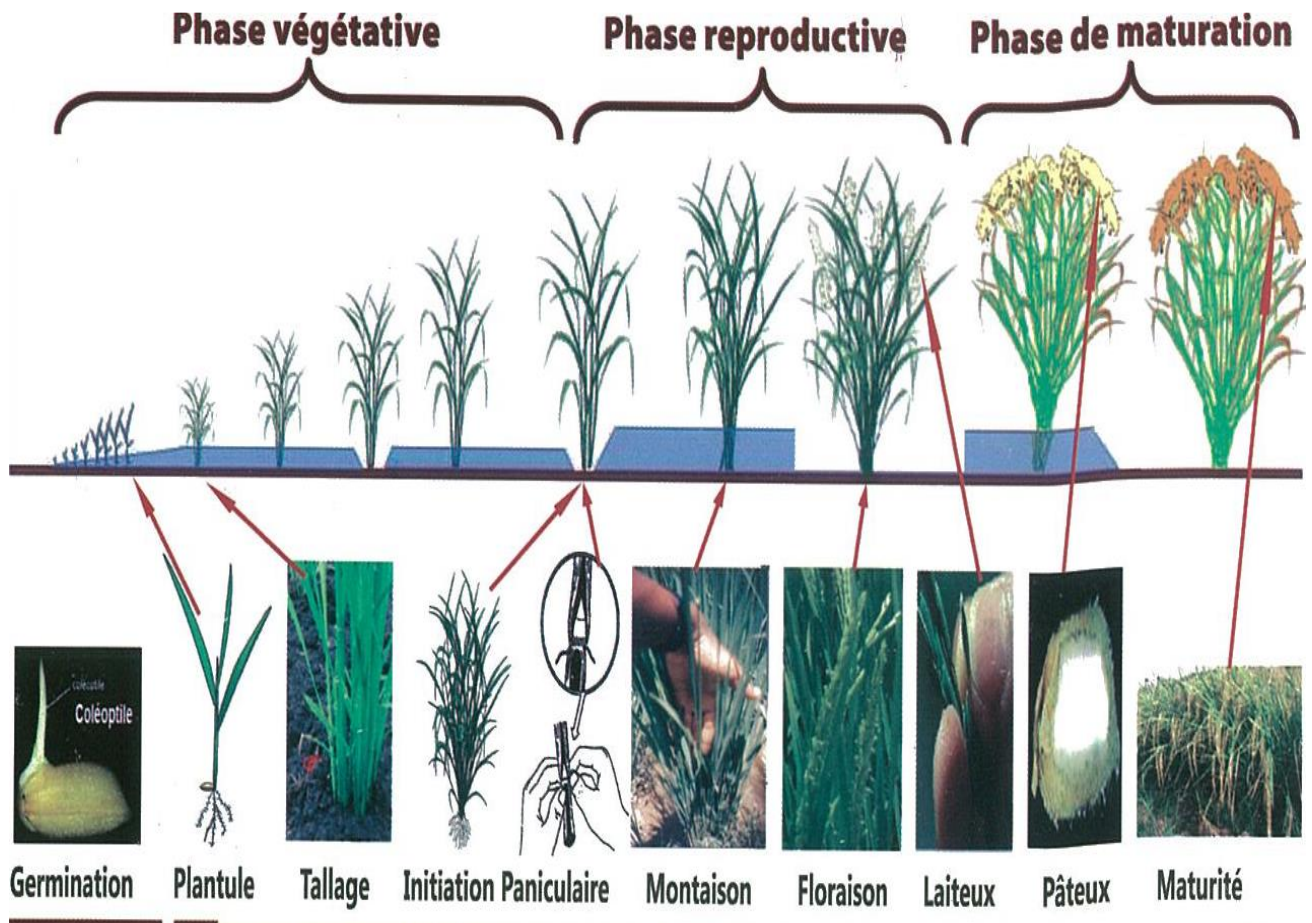


Figure 2 : Les différents stades phénologiques de la plante de riz.

1.1.5. Le métabolisme de la plante de riz

Le métabolisme de la plante correspond à l'ensemble des réactions chimiques qui ont lieu dans ses cellules. Près de 95% de la matière sèche d'une plante est constituée par les trois éléments C, H et O incorporés dans les différents composés organiques de la plante comme les protéines, les enzymes, les lipides et les carbohydrates. La réaction chimique première de ces composants est la photosynthèse. Dans cette réaction, la lumière du soleil est la source

d'énergie qui permet la transformation du CO₂ atmosphérique en carbohydrates. Le processus global simplifié de cette réaction est donné par la suite:



Le maximum du métabolisme de la plante se fait aux environs de la floraison de la plante. Après celle-ci, il décroît rapidement pour s'annuler à la maturité.

L'importance du métabolisme de la plante dépendra, à chaque phase de son cycle, des conditions de température et d'humidité mais aussi d'une bonne alimentation hydrique et minérale de la plante, d'une faible concurrence des mauvaises herbes adventices et d'un état sanitaire satisfaisant. Plus ce métabolisme sera important, plus le rendement final sera élevé.

1.1.6. Importance économique et nutritive du riz

1.1.6.1. Importance économique

Les rendements varient selon les conditions de culture de 1 à 10 tonnes /hectare en culture avec submersion et de 1 à 5 tonnes/hectare en riziculture pluviale. La production mondiale étant de 550 millions de tonnes de paddy, le rendement moyen est de l'ordre de 3.5 tonnes/ hectare (Marchand, 1997).

La plus grande partie du riz récolté est consommée localement. Les échanges commerciaux internationaux portent sur moins de 5% de la production. Les principaux pays exportateurs sont la Thaïlande et les Etats-Unis. Les pays importateurs sont situés surtout en Afrique subsaharienne et au Moyen-Orient.

En 2009, la production mondiale de riz complet s'élevait à 685 millions de tonnes contre seulement 585 en 2003 (FAO).

Tableau 1. Principaux pays producteurs de riz (2009, FAO)

Pays	Surface cultivée (Mha)	Rendement (tonne/ha)	Production (Mt)	Production (%)
Chine	29,88	6,58	196,68	28,70
Inde	41,85	3,19	133,70	19,51
Indonésie	12,88	4,99	64,40	9,40
Bengladesh	11,35	4,20	47,72	6,96
Viêtnam	7,44	5,23	38,90	5,68
Birmanie	8,00	4,09	32,68	4,77
Thaïlande	10,96	2,87	31,46	4,59
Philippines	4,53	3,59	16,27	2,37
Brésil	2,87	4,40	12,65	1,85
Japon	1,62	6,52	10,59	1,55
Pakistan	2,88	3,58	10,32	1,51
Etas-Unis	1,26	7,94	9,97	1,46
Cambodge	2,68	2,84	7,59	1,11
Égypte	0,75	10,00	7,50	1,09
Corée du sud	0,92	7,60	7,02	1,02

1.1.6.2. Importance nutritive

Le riz est la première céréale pour l'alimentation humaine et fournit près de 50% des besoins énergétiques de 3 milliards d'Asiatiques. Son importance est ancienne : « Dans la plus grande partie de l'Asie, en Perse, en Arabie, en Egypte et de là jusqu'à la Chine, le riz fait la principale nourriture » (Buffon,). Il constitue l'aliment de base pour plusieurs populations à travers le Monde. Il est cultivé aussi comme matière première pour la fabrication de l'amidon pharmaceutique et des vitamines.

Tableau 2. Composition nutritionnelle du riz (en grammes pour 100 gr)

Composition	Paddy	Riz décortiqué
Eau	13	12
Glucides	73,1	75,5
Lipides	2,1	1,3
Protéines	8,2	10
Matières minérales	3,6	1,2
Vitamines :		
B ₁	0,3-0,5	0,04-0,09
B ₂	0,1	0,03
B ₆	0,3-0,6	0,2

Source : Vierling, 2003

La valeur énergétique varie peu entre le riz décortiqué et le riz blanchi. Elle se situe autour de 350- 360 calories pour 100g.

1.2. La salinité

1.2.1. Définition

La salinité peut être définie comme une accumulation excessive de sels dans les sols ou dans les eaux à un seuil pouvant avoir un impact sur les activités humaines et naturelles (plantes, animaux, écosystèmes aquatiques, approvisionnement en eau, agriculture, ...). Selon l'organisation mondiale de l'agriculture et de l'alimentation FAO (2006), la salinité d'un sol ou d'une eau, est la teneur en sels solubles nuisibles pour la production végétale. On distingue deux types de salinité, une salinité primaire où l'augmentation de sels est uniquement due à des processus naturels et une salinité secondaire ou induite où les augmentations ont eu lieu en raison des changements des pratiques d'utilisation des terres par les activités humaines.

1.2.2. Causes et mesure de la salinité

L'origine de sels responsables de la salinité est diverse : les précipitations, l'évaporation élevée, et les pratiques agricoles sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à une salinité croissante.

Les terres sous climats arides et semis arides représentent un tiers de la surface du globe (Ait Belaid, 1994). Ces écosystèmes sont caractérisés par une forte irrégularité des précipitations (Rewgui et al 2004) associée à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (Hayek ; Abdelly 2004)

La salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec de l'eau saline (IPTRID 2006).

Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux.

La salinisation peut être appréciée soit par le TDS (Quantité Totale de Matières Dissoutes) exprimée en mg de sels par litre d'eau (mg/L) ou en gramme de sels par mètre cube d'eau (g/m^3), ou par la Conductivité Electrique de l'eau d'irrigation (EC). La conductivité électrique est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) en deciSiemens par mètre (dS/m) ou

microSiemens par centimètre ($1\text{dS/m} = 1000\mu\text{S/cm}$). La relation entre la concentration en sel (C) et la conductivité électrique (EC) est approximativement: $C = 640 \text{ EC}$ (Essington, 2004).

1.2. 3. Salinité des eaux d'irrigation

La qualité des eaux d'irrigation a un impact majeur sur la production des cultures. En général, toutes les eaux d'irrigation contiennent des sels minéraux dissous, mais la concentration et la composition de sels minéraux varient selon la source d'eau d'irrigation (Grattan et *al.*, 2002). Les sels sont dissous dans les eaux d'irrigation sous forme de cations et d'anions. Les sels les plus dominants sont: le chlorure de sodium (NaCl) qui constitue 50 à 80% du total des sels solubles dans les sols salins (Rengasamy 2010), le gypse, le Sulfate de calcium (CaSO_4), Sulfate de magnésium (MgSO_4), bicarbonates de sodium (NaHCO_3). Les cations les plus dominants sont : le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}) et le sodium (Na^+). Alors que les anions les plus dominants sont le chlore (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}) et les bicarbonates.

Le potassium (K^+), les carbonates (CO_3^{2-}) et les nitrates (NO_3^-) sont présents en concentrations très faibles comparativement aux autres ions. En plus, certaines des eaux d'irrigation et plus particulièrement les eaux souterraines, contiennent le bore à des niveaux qui peuvent être préjudiciables à certaines cultures.

Tableau 3. Classification de l'eau selon Maillard, 2001.

Classes	EC(dm/m)	Concentration de sel (mg/l)	Types d'eau
Non saline	<0.7	<500	Eau potable et optimale pour l'irrigation
Légèrement saline	0.7-2	500-1500	Eau d'irrigation
Modérément saline	2-10	1500-7000	Première eau de drainage Eau souterraine
Très saline	10-25	7000- 15000	Eau souterraine très salée
Très fortement saline	25-45	15000-35000	Seconde eau de drainage
Saumure	>45	>45000	Eau de mer

1.2.4. Salinité de sols

Les sols ont une vocation principale de production agricole et sylvicole et assurent le développement de la végétation naturelle comme support de la biodiversité. Les sols sont aussi des réacteurs biologiques qui assurent de nombreuses fonctions environnementales ainsi qu'ils maintiennent le développement des êtres vivants.

La pénurie d'eau et la concentration des sels dans les sols sont actuellement considérées comme des menaces pour la vie humaine. Les ressources naturelles mondiales souffrent de plus en plus de surexploitation, de mauvaise gestion et de la pollution. En effet plus de 1/6 des terres dans le monde sont touchées par la dégradation et la déforestation, 6.4% des terres, équivalent à une superficie de 10 millions de km², seraient touchées par des phénomènes de salinité ou d'alcalinité

Les sols salins sont caractérisés par un niveau toxique des chlorures et sulfates de sodium, la conductivité électrique des solutions de sols saturés en sel est supérieure à 4 dS/m, l'équivalent de 40 mM NaCl (Shirokova et *al.*, 2000).

Les sols affectés par la salinité peuvent être classés en trois types : sols salins, sols sodiques et sols salins-sodiques.

1.2.4.1. Les sols salins

Les sols salins sont présents dans les régions arides, dans les estuaires et dans les zones côtières. Ils sont dominés par les ions sodium et se caractérisent par une conductivité électrique (CE) supérieure à 4 dSm⁻¹, les anions dominants sont toujours des chlorures et des sulfates, le pourcentage de sodium échangeable (ESP < 15), les valeurs de pH sont toujours inférieures à celles des sols sodiques (Szabolcs, 1994).

1.2.4.2 Les sols sodiques ou alcalins

Ils sont présents dans les zones arides et semi-arides et se caractérisent par des concentrations élevées en carbonates et bicarbonates et un excès de sodium dans les particules échangeables des sites d'argile. En plus, ils sont pauvres en azote, en phosphore et en zinc, et ont toujours un pH supérieur à 8,5 et parfois supérieur à 10,7 avec une ESP > 15 et une structure de sol très médiocre.

La fraction argile et la matière organique sont dispersées, en conséquences, ces sols sont compacts en présence de l'humidité et durs en cas de sécheresse et se caractérisent enfin, par une mauvaise conductivité hydraulique, ce qui constitue un milieu non propice pour la croissance des racines des plantes.

Tableau 4 : Classes de la salinité de sols(Maillard, 2001)

Classe	CE de l'extrait de sol saturé
Non salins	0-2
Légèrement salins	2-4
Modérément salins	4-8
Fortement salins	8-16
Très Fortement salins	>16

1.2.5. Problème de la salinité de sols dans le monde

La salinité et la sécheresse sont considérées comme deux facteurs majeurs influant l'agriculture dans les zones arides et semi arides. Approximativement 40 % des surfaces sur terre sont caractérisés par la présence d'un problème potentiel de salinité (Zahran 1997)

Les sols salés couvrent de grandes superficies dans le Monde, leur distribution se superpose presque entièrement à celle des régions semi-arides et côtières .En effet 400 à 900 millions d'hectares irrigables dans le Monde sont affectés par le problème de la salinité (Cheverry, 1995).

La salinisation des terres est donc un problème majeur à l'échelle du globe. Selon Legros, (2009), ce phénomène affecte déjà au moins 400 millions hectares et menace gravement une surface équivalente. Tuteja, (2007) estime que la salinité consomme chaque année plus de 2 millions d'hectares (~1%) des terres agricoles et qu'en l'horizon 2050, plus de 50% de terres cultivées deviendront à cet effet incultivables.

En Afrique de l'ouest soudano-sahélienne les sols des périmètres irrigués sont soumis à plusieurs types de dégradation : engorgement, salinisation et sodisation alcanisation.

La dégradation des sols par salinisation affecte plus de 1,700 millions d'hectares de terre au

Sénégal (LADA, 2009), ce qui affecte considérablement les potentialités de production agricole.

Legros 2009 a signalé qu'au Pakistan plus de 1000 hectares de ses terres cultivables sont perdus par an à cause de la salinité. Par ailleurs il a été signalé que dans 10 pays de la Méditerranée, le pourcentage des terres irriguées atteintes à des degrés divers par la salinisation est en augmentation. Ce pourcentage varie d'un minimum de 7% (Grèce) à un maximum de 30 à 40% (Egypte). L'Algérie, l'Espagne, la Jordanie et le Maroc se situent dans le gros peloton des 10 à 15%, la Syrie et la Tunisie plutôt dans la fourchette haute (Hamdy, 1995). Selon Szablocs, (1994) cité par Legros (2009), 10 millions d'hectares seraient stérilisés chaque année par le sel et un milliard d'hectares sont menacés par ce phénomène.

Tableau 5 : Répartition régionale des sols salins dans le monde, en millions d'hectares (Munns, 2002)

Régions	La superficie totale	Les sols salins		Sodique sols	
	Mha	Mha	%	Mha	%
Afrique	1899	39	2,0	34	1,8
Asie, Le pacifique et l'Australie	3107	195	6,3	249	8,0
Europe	2011	7	0,3	73	3,6
Amérique latine	2039	61	3,0	51	2,5
Proche Orient	1802	92	5,1	14	0,8
Amérique du Nord	1924	5	0,2	15	0,8
Total	12781	397	3,1	434	3,4

1.2.6 Etat de la salinité en Mauritanie

En Mauritanie de nombreux facteurs sont favorables à la salinisation des sols. L'évaporation, la qualité d'eaux d'irrigation, le contrôle d'irrigation. La surface des terres arables de la Mauritanie avoisine les 481.000 ha dont 150.000 ha des cultures irriguées basées essentiellement dans la vallée du fleuve Sénégal, rive droite et le barrage de Fouta Gleita et au

lac de R'kiz. D'après Asch et Wopereis, (2000), la salinité des eaux d'irrigation varie entre 20 mS cm⁻¹ à la saison humide et 100 mS cm⁻¹ lors de la saison sèche. Les sols sont naturellement salés avec une conductivité électrique moyenne oscillant entre 0,6 et 2,5 dS cm⁻¹ (Wopereis et *al.*, 1998). En 2003, Hachicha et Abdelgawed avaient estimé que la salinité affecte plus de 38 % des terres agricoles. Selon Ould Kankou (2004), les sols agricoles de la rive droite du fleuve Sénégal sont menacés par une salinité accrue. En 1993, environ 12% des sols de la région de Fouta Djallon avaient été abandonnés et la dégradation des sols par l'invasion des sels, menace l'existence du système d'irrigation. Dans ce cadre, Van Asten et *al.* (2003) avaient souligné que les problèmes de productivité des cultures dans la même région sont le résultat des deux contraintes à savoir, la qualité des sols et la gestion des cultures sous-optimale. La culture maraîchère, se pratique principalement dans cette zone dont la plupart des champs sont victimes des dégâts importants causés par la salinité (Ould Kankou, 2004)

1.2.7. Effets de la salinité sur les plantes

Plusieurs auteurs ont rapporté que la salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leurs habitats naturels. La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (Hillel, 2000). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns *et al.*, 1995). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Wang et *al.*, 2001 ; Ashraf et Harris, 2004). Les données classiques sur les effets de la salinité chez les plantes mettent en relief trois principales composantes par lesquelles la salinité affecte la croissance: le stress osmotique, le stress ionique, le stress nutritionnel et le stress oxydatif (Guetadahan *et al.*, 1998 ; Rodriguez *et al.*, 2005). Généralement un taux élevé de Na⁺ et Cl⁻ cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou de perturbation en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Plusieurs auteurs ont signalé que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005), l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (Greenway et Munns, 1980 in Parida et Das, 2005).

Suite à l'exposition des plantes au stress salin, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétique s'avèrent affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivie par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (Parida et Das, 2005). La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité (Allakhverdiev et *al.*, 2000b in Parida et Das, 2005). Chez les céréales, la résistance ou même la tolérance à l'aridité et à la présence de sels, tel le chlorure de sodium, sont des qualités largement recherchées, afin d'élargir la culture aux régions difficiles. Chez ce groupe de plantes, l'effet dépressif des sels se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Kingsbury et *al.* ; 1984). M'Barek et *al.* (2001), ont signalé que le sel a un effet dépressif sur le taux de germination, la croissance biologique chez plusieurs variétés de blé. L'élévation du niveau des mers mène l'eau saline plus loin à l'intérieur des terres, ce qui expose les zones de riziculture aux conditions salées. Le stress de sel affecte différemment les propriétés de croissance des variétés de riz (Mint El Mokhtar et *al.*, 2015)

1.2.7.1. Effet de la salinité sur la germination

La salinité réduit significativement la précocité de germination des semences (Devron et Sifi, 2003). Elle affecte tout les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (Maas et Poss, 1989).

Le chlorure de sodium affecte la germination des graines en limitant l'activité de α -amylase, l'enzyme la plus impliquée dans la germination. En outre, les ions Na^+ par leur effet toxique, induisent la désintégration de la structure de cette enzyme (Saboury et Karbassi, 2000). Les concentrations élevées de NaCl provoquent la réduction du potentiel hydrique dans le milieu, ce qui limite l'absorption de l'eau par les graines, influence le pouvoir germinatif des graines et conduit par conséquent à la réduction du pourcentage de leur germination (Jamil et *al.*, 2006). Mint El Mokhtar et *al.*, 2015 ont signalé que le chlorure de sodium a un effet dépressif sur le taux de germination chez quatre variétés de riz.

La germination et l'installation de la plantule s'avèrent les stades les plus sensibles pour les céréales (Lachaal, 1992). La germination a été utilisée pour le criblage aux stress abiotiques

chez le blé et notamment chez le blé dur, elle pourrait constituer un test rapide de tolérance à la salinité (Maalej-Mallek et *al.*, 1998 ; Ben Naceur et *al.*, 2001 ; Klay, 2004). Ce dernier a un effet nocif sur la germination qui peut être de nature soit osmotique soit toxique (Abdelly, 1997). Par ailleurs, il est conseillé après avoir initié la germination des graines du riz d'exonder les parcelles tout en faisant très attention à la salinité car ce stade de la culture y est très sensible. La salinité agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques (Slama, 2004). Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique (Jamil et *al.*, 2006 ; Karmous, 2007), qui se traduit par la difficulté que trouve l'embryon à absorber la quantité d'eau nécessaire pour déclencher les processus métaboliques (Slama, 2004).

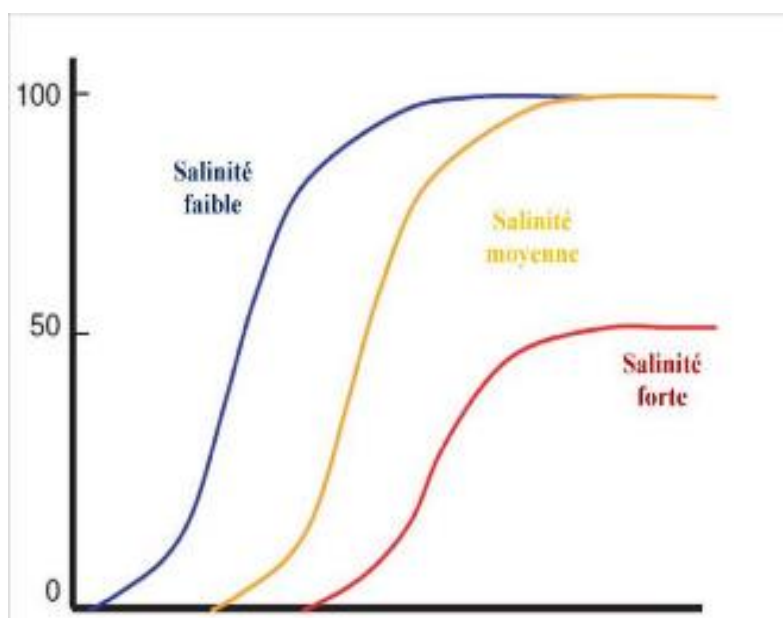


Figure 3: Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Lauchli et Grattan, 2007).

1.2.7.2 L'effet de la salinité sur la croissance des plantes

Les effets négatifs de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel 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 (Winicov 1998; Munns 2002; Tester et Davenport

2003; Yamaguchi et Blumwald 2005). De ce fait, la salinité influence plusieurs aspects de la croissance y compris la floraison, la pollinisation, le développement du fruit, la quantité et la qualité des rendements.

La majorité des changements physiologiques notés chez les plantes soumises à un stress salin est une réponse à des composantes osmotiques. Néanmoins, en présence d'une osmorégulation, les plantes traitées par le sel sont confrontées au problème d'accumulation d'ions toxiques dans leurs tissus, ce qui est considéré comme un élément clé limitant la croissance des plantes en milieu salin (Munns et *al.*, 1999). Les changements brusques de l'état physiologique de la plante sont à l'origine du ralentissement de la vitesse de croissance suite à l'augmentation de la salinité du sol traduisant ainsi l'effet osmotique des sels au niveau des racines. Pendant quelques jours de stress, l'élongation des cellules ainsi que leur division deviennent de plus en plus lentes et les dimensions de la cellule rétrécissent ce qui induit par conséquent, une diminution importante de la surface foliaire. Les feuilles deviennent alors, plus petites à parois plus épaisses. Ces changements sont des réponses à l'effet osmotique de la salinité et sont similaires aux réponses au stress hydrique (Munns et Tester, 2008).

L'inhibition de la croissance foliaire chez les plantes sensibles est la première réponse à l'excès de sel dans le milieu. Chez les graminées soumises à court terme à une salinité, une inhibition de la croissance foliaire résulte d'une réponse aux composantes osmotiques du stress salin à travers l'ABA (Termaat et Munns 1986). En conséquence à la diminution de la surface foliaire, l'assimilation du carbone photosynthétique est sévèrement réduite. En effet, les composantes stomatiques et non stomatiques reliées aux cycles du CO₂ sont affectées par les sels. Le contrôle des stomates a été attribué surtout à l'ABA (Sibole et *al.* 2003).

La réponse à la salinité se manifeste généralement chez les glycophytes par un effet dépressif sur la croissance et le développement. Bounaqba (1998) a rapporté que la réduction de la croissance des organes aériens sous l'effet du sel se traduit par une réduction de la surface foliaire causée par un ralentissement des divisions cellulaires et une diminution de l'extension foliaire. Dans le même ordre d'idées, Dali et *al.*, (1996) ont également montré que la présence de sels dans la solution nutritive affecte considérablement le niveau foliaire et la biomasse; ce qui se manifeste par une réduction de la surface foliaire, une chute des feuilles et une diminution des poids frais et sec des feuilles. Ben Khaled et *al.*, (2003) chez des plantules de trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) ont mentionné que la croissance pondérale de la partie aérienne a été réduite de 20% à 4 g/L et de 44% à 6 g/L. Selon Katerji et *al.*, (2006) l'effet du

sel se traduit généralement par une réduction de la croissance en hauteur. Pour les céréales, l'effet majeur de la salinité sur la partie aérienne se traduit par une réduction du nombre de talles et de feuilles (El-Hendawy et *al.*, 2005). Bouaouina et *al.*, (2000) en travaillant sur le blé dur (*Triticum turgidum L.*) ont constaté que le NaCl d'un côté diminue la croissance de la plante entière, retarde l'émergence des nouvelles feuilles et limite l'accumulation de K^+ et Ca^{2+} dans ces organes et que, d'un autre côté, le Na^+ suit un gradient décroissant des feuilles âgées vers les feuilles jeunes. Bayuelo et *al.*, (2002) ont montré que la salinité augmente le rapport PR/PA. En effet, les plantes maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, l'augmentation du rapport PR/PA qui s'ensuit semble être associée à une augmentation de leur tolérance au sel. Kafkai (1991) suggère que, sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production de racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau.

L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement export, suite à la réduction du calibre et du poids frais du fruit (NevarroJ et *al.*, 2010). En effet, la salinité réduit la croissance et la productivité de la culture en raison de la diminution de potentiel osmotique dans le sol et de l'augmentation de la concentration de ions Na^+ et Cl^- , qui atteint alors un niveau toxique pour la plante (Chartzoulakis et Klapaki 2000). Le chlorure du sodium est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels (potassium, calcium), soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire (Zid et Grignon 1991). Le déséquilibre de la balance ionique induit par le sel affecte directement et/ou indirectement plusieurs processus physiologiques et métaboliques se traduisant à l'échelle de la plante par l'inhibition de la croissance (Munns R, 2002). D'une manière générale, le stress salin influence la croissance de la plante à travers de nombreuses facettes du métabolisme, telles que l'absorption des éléments nutritifs et leur distribution au sein de la plante (Zhou et *al.*, 2007), l'altération de la photosynthèse et la respiration (Stoeva et Kaymakanova, 2008), la synthèse des protéines et des acides nucléiques (Ghorbanli et *al.*, 2004), l'accumulation des solutés organiques, l'activité des enzymes antioxydants, l'équilibre hormonal et la disponibilité de l'eau (Farhoudi, 2011).

1.2.7.3 L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante

La première difficulté d'une plante en milieux salins est donc d'assurer son apport en eau. Pour cela, il faut que la plante puisse ajuster la pression osmotique de ses tissus par rapport à la pression osmotique du sol. Une fois que la plante s'est ajustée osmotiquement au milieu et que la turgescence est restaurée, le déficit hydrique n'apparaît plus comme un facteur limitant de la croissance en milieu salé (Zhao et *al.*, 1991).

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romeroaranda et *al.*, 2001 dans Parida et Das, 2005). Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu et *al.*, 2002 dans Parida et Das, 2005). L'augmentation de la concentration des cations dans le sol réduit l'afflux d'eau dans la racine. Le déficit résultant en eau est similaire à des conditions de sécheresse et, en outre aggravée par la présence d'ions Na^+ (Bohnert, 2007).

1.2.7.4 L'Effet de la salinité sur la photosynthèse

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux réduisent la croissance donc affectent la photosynthèse.

La salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale (Alem et *al.*, 2002). Selon Munns et Tester (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price et Hendry, 1991 ; Allen, 1995), qui cause la réduction de la conductance stomatique (Orcutt et Nilsen, 2000). La diffusion du CO_2 à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue (Graam et Boyer, 1990), par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée (Gimenez et *al.*, 1992). Le contrôle et la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des signaux racinaires, comme l'acide Abscissique (ABA) (Zhang et Davies, 1989 ; Davis et

al., 1994). La turgescence cellulaire intervient de manière plus ou moins directe au niveau du chloroplaste : directement par le maintien du volume du chloroplaste, et indirectement, par son effet sur l'ouverture stomatique, qui contrôle la conductance, et conditionne l'utilisation de l'énergie photochimique (ATP, NADPH) dans les chloroplastes (Gupta et Berkowitz, 1987).

Le stress salin cause des effets à long et à court termes sur la photosynthèse. L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Termatt et Munns, 1986 in Parida et Das, 2005), aussi on a rapporté qu'il y a suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin (Kao et *al.*, 2001 in Parida et Das, 2005) et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel (Kurban et *al.*, 1999 in Parida et Das, 2005). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs : la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂, la toxicité du sel, la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates, la sénescence accrue induite par la salinité et le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005).

1.2.7. 5. L'Effet de la salinité sur la nutrition minérale

Plusieurs investigations soulignent qu'en présence de la salinité les plantes s'avèrent leur alimentation hydrique et leur nutrition minérale perturbées. De ce fait, la plante va chercher à rétablir son équilibre ionique et nutritionnel pour sa survie, en développant des stratégies spécifiques d'ordre adaptatif ou occasionnel. Ainsi, pour limiter les conséquences d'un stress osmotique, les cellules doivent mettre en place un dispositif permettant le maintien de l'absorption d'eau et la protection des structures les plus sensibles à une déshydratation fatale, c'est la stratégie de l'ajustement osmotique (Zhang et *al.*, 1999; Iannucci et *al.*, 2000). De ce fait, le mécanisme physiologique adopté en présence de contrainte saline ou hydrique, peut constituer un outil efficace pour la différenciation entre les variétés. En effet, la tolérance aux divers stress dépend des espèces, des variétés et même des écotypes (Ullaha et *al.*, 2008 ; Li et *al.*, 2008). Il a été établi que face au stress hydrique, la concentration ionique de nombreuses espèces augmente (Jones et *al.*, 1980 ; Ford et Wilson, 1981 ; Munns et Weir, 1981) et les ions comptent pour 60 à 70% du potentiel osmotique (Pitman, 1981). Ce dernier auteur a aussi montré que les plantes adaptées à la sécheresse sont aussi des halophytes, capables d'utiliser Na⁺, Cl⁻ ou Mg²⁺ comme osmotocums ou peuvent aussi accumuler des

sucres ou autres solutés organiques dans leur cytoplasme pour faire face aux faibles potentiels hydriques du milieu. Cette fonction assurée par les ions minéraux sous stress hydrique est en contradiction avec le rôle qu'ils jouent en présence de contraintes salines. En effet, la présence de sel dans la solution du sol abaisse son potentiel osmotique et rend l'absorption d'eau plus difficile (Waisel et Ovadia 1972). Toutefois, les plantes sont capables d'ajuster leur potentiel osmotique à celui du milieu extérieur, et de maintenir un gradient de potentiel hydrique (Greenway et Munns, 1980). La solution la plus économique pour réaliser cet ajustement osmotique est d'absorber les ions minéraux dominants dans le milieu et de les accumuler dans les vacuoles. Elle permet, en effet, de mettre à l'abri du sel, les organites cellulaires et la machinerie métabolique, tout en favorisant l'ajustement osmotique (Flowers et *al.*, 1977 ; Greenway et Munns, 1980 ; Levigneron et *al.*, 1995). Tel est le cas des halophytes qui utilisent comme osmoticums minéraux les ions Na^+ et Cl^- dominants dans le milieu (Flowers et *al.*, 1977 ; Ishitani et *al.*, 1993). Il en est de même des glycophytes cultivés en milieu salé (Greenway et Munns, 1980), à l'exception de ceux qui excluent Na^+ de leurs parties aériennes. Dans ce cas, l'ajustement osmotique implique l'utilisation de K^+ et Cl^- (Hamza, 1980) ou la synthèse de substances organiques solubles protectrices (proline, glycine-bétaïne, sorbitol...) et qui n'interfèrent pas avec le métabolisme cellulaire (Bartels et Nelson, 1994; Petrusa et Winicov, 1997; Khöl, 1997) Chez les glycophytes sensibles, la résistance à la salinité et la survie sur sel sont en relation avec l'exclusion des ions toxiques des organes aériens (Zid et Grignon, 1991; Durand et Lacan, 1994). Chez ces plantes sensibles, pour lesquelles la compartimentation vacuolaire est déficiente, Na^+ est redistribué par le phloème. Cette recirculation constitue un critère permettant la classification des espèces selon leur degré de tolérance à NaCl (Kramer, 1983 ; Durand et Lacan, 1994).

En général, les plantes qui poussent sur des milieux salins, accumulent des quantités importantes de Na^+ dans leurs feuilles, tiges et racines. En conséquence, cette accumulation déséquilibre dans la plupart des cas, la balance ionique de la plante ce qui peut se manifester par des symptômes spécifiques de la déficience en éléments essentiels tels que K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} . Selon Sairam et *al.* (2004) la restriction de l'absorption de Ca^{2+} et de K^+ en particulier, réprime sensiblement la croissance des plantes car, la déficience en K^+ observée chez les plantes exposées à des concentrations élevées de NaCl, est inversement corrélée avec l'accumulation de Na^+ à cause de la compétition entre Na^+ et K^+ . D'autre part, la réduction de l'absorption de Ca^{2+} en réponse au stress salin, a été rapportée chez la tomate par Maggio et

al. (2007), qui ont constaté que l'ajout de Ca^{2+} dans le milieu de culture, a amélioré remarquablement la tolérance des plantes au stress salin.

La tolérance au sel chez les plantes supérieures dépend de la façon dont les plantes contrôlent le transport du sel à travers les organes. En effet, les mécanismes de tolérance au sel sont de deux types : ceux qui minimisent l'entrée du sel à l'intérieur des plantes et ceux qui minimise la concentration du sel dans le cytoplasme. Du fait que les racines sont les premières à être exposées à la contrainte saline et que même leur faible endommagement peut induire un important flux d'ions vers les parties aériennes, il serait plus judicieux que la comparaison entre les divers génotypes d'une espèce se porte sur l'accumulation des ions Alian et *al.*, 2000; Munns et *al.*, 2000; Joshi et *al.*, 2003.

1.2.7.6 L'Effet de la salinité sur les pigments photosynthétique

Le stress salin induit des réponses physiologiques multiples chez les plantes. Le plus souvent, en cas de stress salin, les plantes montrent des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction des chlorophylles.

Des résultats rapportés par Seeman et Critchley (1985) ont souligné une diminution de la concentration des chlorophylles foliaires et une baisse de l'activité de la ribulose 1,5 biphosphate carboxylase/oxygénase (rubisco) chez l'haricot irrigué par une solution enrichie en NaCl. De même, Shaheena et *al.*, (2005) ont noté une diminution des concentrations des chlorophylles au niveau des feuilles de moutarde cultivée sous condition de stress salin. Par contre, Wang et Nil (2000) ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*. Chez *Grevilea*, la protochlorophylle, la chlorophylle et les caroténoïdes diminuent significativement sous le stress salin. Dans le même ordre d'idées, Housseine et *al.*, (1998) ont obtenu une diminution de pigments chlorophylliens suite à un stress salin chez trois variétés de blé et que cette diminution paraît à quelques heures après la levée du stress imposé.

La réduction dans le taux de la chlorophylle observée avec l'intensité du stress salin pourrait être attribuée aux conditions dans lesquelles se trouvent les stomates car durant le stress salin, la concentration du CO_2 diminue dans le chloroplaste à cause de la réduction dans la conductance stomatique. (Gama et *al.*, 2007)

Les pigments anthocyanines augmentent significativement dans ce cas de stress salin (Kennedy et De Fillippis, 1999 dans Parida et Das, 2005).

1.2.7.7 Effet de la salinité sur les composantes du rendement

Une concentration élevée de sel dans le sol est un facteur principal qui limite le rendement des cultures agricoles (Munns et Tester, 2008). Les composantes du rendement tel que le nombre de talles par plante, le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain, sont élaborés de façon séquentielle dans le temps. Katergi et *al.*, (1994) et Saadollah Houshmand et *al.*, (2005) ont montré que tous les paramètres de rendement chez le blé dur subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. De même, les travaux de Hamdy et *al.*, (2005) ont montré que le rendement en grains et le poids des grains sont significativement affectés aussi bien chez le blé que chez l'orge en condition d'irrigation avec une eau saumâtre et que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains. Cette réduction du rendement en grains est principalement attribuée au déclin du poids de l'épi et du poids de 1000 graines (Saadollah et *al.*, 2005). Au stade végétatif, la salinité affecte le développement de l'épi et baisse le rendement (Maas et Grieve, 1990). Lorsque le blé est soumis à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains (Munns et Rawson, 1999). La salinité diminue le rendement plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets (El-Hendawy et *al.*, 2005). Par conséquent Maas et Grieve (1990) ont conclu que la salinité doit être évitée avant et pendant le développement de l'épillet pour attendre le plus haut potentiel de rendement.

Grieve et *al.*, (2001) ont mené une autre étude sur l'effet du sel sur le blé de printemps où la salinité a été imposée et retirée, avant ou après, stade premier feuille, Etape double crête, et la formation de l'épi terminal. Ils ont constaté que les rendements des céréales ont été maximisés lorsque le stress salin a été retardé jusqu'après la formation de l'épi terminal ou par le retrait du stress à la fin du stade première feuille au stade de double crête. D'autre part, ils ont trouvé que la salinité réduit la durée de la phase d'ouverture du primordial épillet, même si elle n'a aucun effet sur le taux d'ouverture. Cette combinaison d'effets a provoqué une réduction du nombre de grains par épillet, affectant gravement le potentiel de rendement de ce type de blé. Chandhary, et *al* ont soutenu que le stade de maturation chez le riz est peu touché par la salinité. Le riz tolère seulement modérément le sel et les rendements peuvent être réduits quand la salinité est présente.

1.2.8 Classification des plantes selon le degré de tolérance à la salinité

La tolérance d'une plante à la salinité repose sur sa capacité de maintenir sa croissance en présence de proportions importantes de NaCl autour de ses racines sans dommages remarquables. Munns et Tester (2008) ont établi les limites de tolérance à la salinité des espèces d'intérêt agronomique, leur classification est déterminée selon le taux de réduction du rendement sous l'effet du sel à diverses concentrations mesurées en (mM) (figure 4).

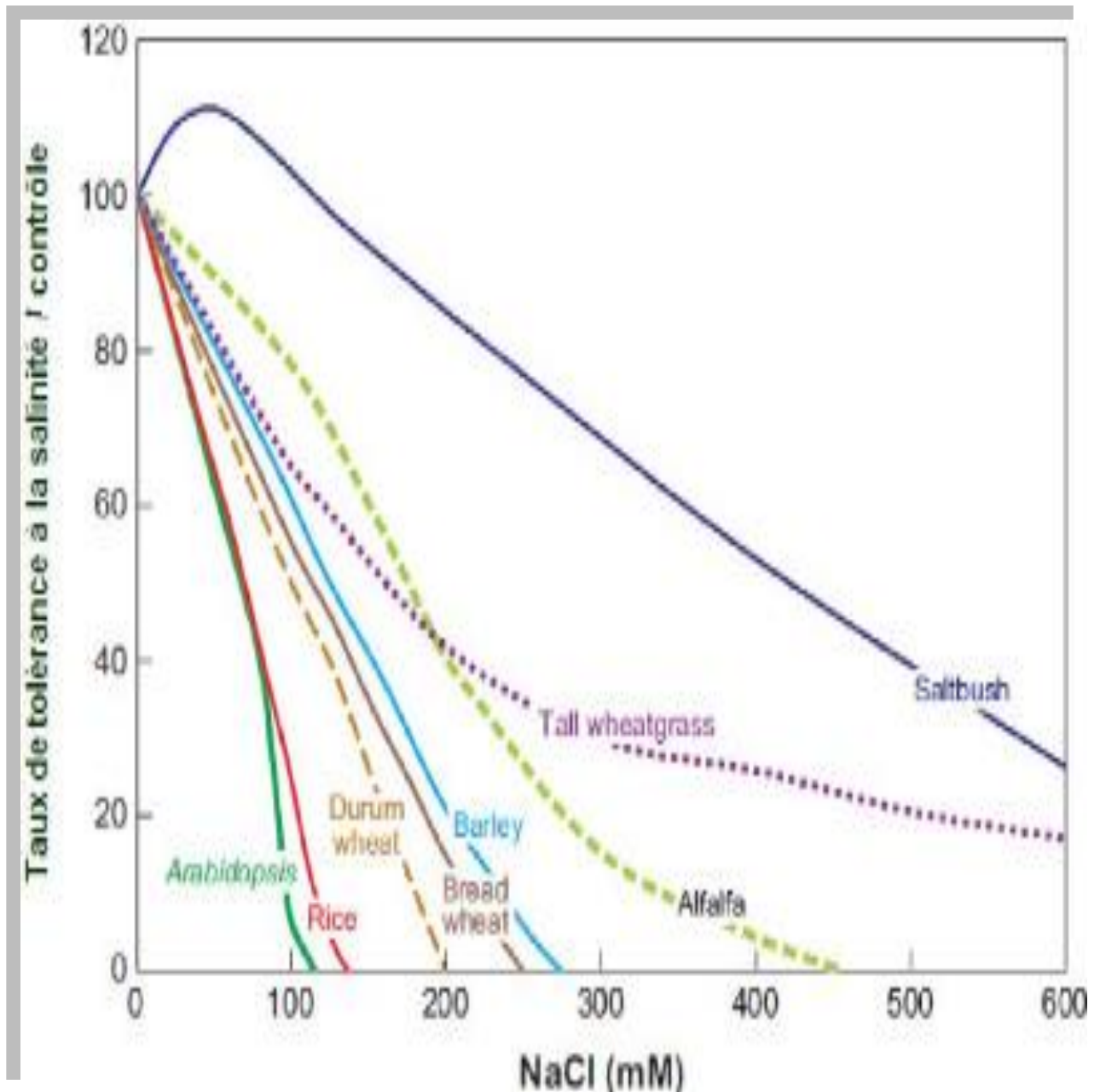


Figure 4 : Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel (Munns et Tester, 2008).

Suivant la production de biomasse des végétaux en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées:

- **Les halophytes vraies:** dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions
- **Les halophytes facultatives :** montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels (*Plantago maritima*, *Aster tripolium*... (Calu, 2006))
- **Les non-halophytes :** résistantes, supportant de faible concentration de sel(*Hordeum sp.*...(Calu, 2006))
- Les glycophytes :** sensibles à la présence de sel(*Phaseolus vulgaris*, *glycine max.*...)

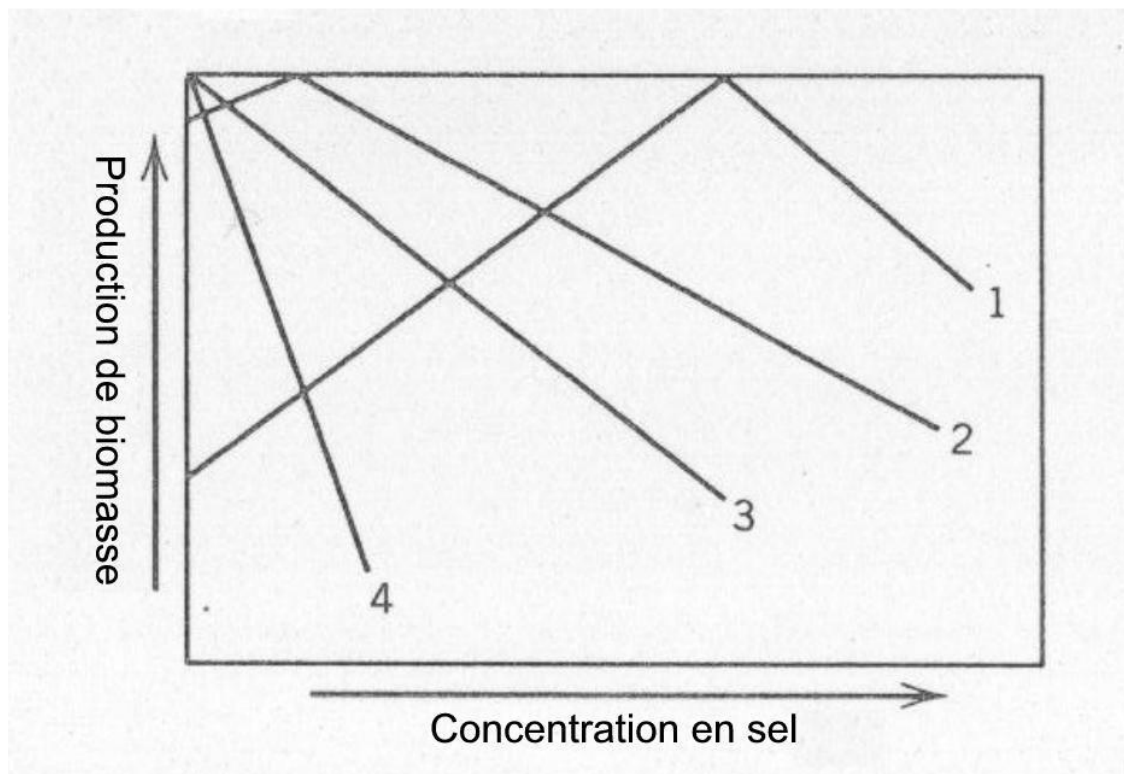


Figure 5 : Le graphique , est adapté par Hagemeyer (1996), présente la production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité.

1. Les Halophytes vraies, 2. Les Halophytes facultatives, 3. Les Non-Halophytes résistantes,
4. Les Glycophytes ou Halophobes,

1.2.9 Mécanismes de tolérance des plantes à la salinité

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant une forte concentration de sel soluble. La réponse à la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par un effet dépressif sur la croissance et le développement (Munns et *al.*, 1999). Cette réponse varie considérablement en fonction du genre, de l'espèce et même de l'écotype ou de la variété (Epstein et *al.*, 1980 ; Cramer et *al.*, 1994). Selon le degré de la salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Ben Naceur et *al.*, 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez et *al.*, 2007).

Les plantes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent: l'accumulation sélective ou l'exclusion des ions, le contrôle de l'absorption racinaire des ions et leur transport dans les feuilles, la compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de toute la plante, la synthèse de solutés compatibles, le changement dans le chemin de la photosynthèse, l'altération de la structure membranaire, l'induction des enzymes antioxydatives et l'induction des hormones végétales.

1.2 .9.1 La régulation ionique et compartimentation :

Les plantes qu'elles soient glycophytes ou halophytes, ne peuvent tolérer une grande quantité de sel dans le cytoplasme, et par conséquent sous des conditions de salinité, elles limitent l'excès de sel dans la vacuole ou compartimentent les ions dans différents tissus pour faciliter leurs formes métaboliques (Zhu, 2003).

L'homéostasie ionique cellulaire est un mécanisme essentiel et vital pour tous les organismes (Mahajan et *al.*, 2008). La plupart des cellules parviennent à maintenir un niveau élevé de potassium et une faible proportion de sodium dans le cytoplasme à travers la coordination et la régulation de ce trafic par les différents transporteurs et canaux (Blumwald et *al.*, 2004). Il existe deux principales stratégies que les plantes utilisent pour faire face à la salinité : la compartimentation des ions toxiques dans la vacuole et leur exclusion hors de la cellule (Apse et Blumwald, 2007). D'autre part, les plantes modifient la composition de leur sève en accumulant les ions Na^+ et Cl^- pour ajuster le potentiel hydrique des tissus, car, l'ajustement de ce dernier est indispensable pour la croissance (Munns, 2005). Cette accumulation doit être

compatible avec une tolérance métabolique de la concentration résultante ou avec une compartimentation entre les divers composants de la cellule.

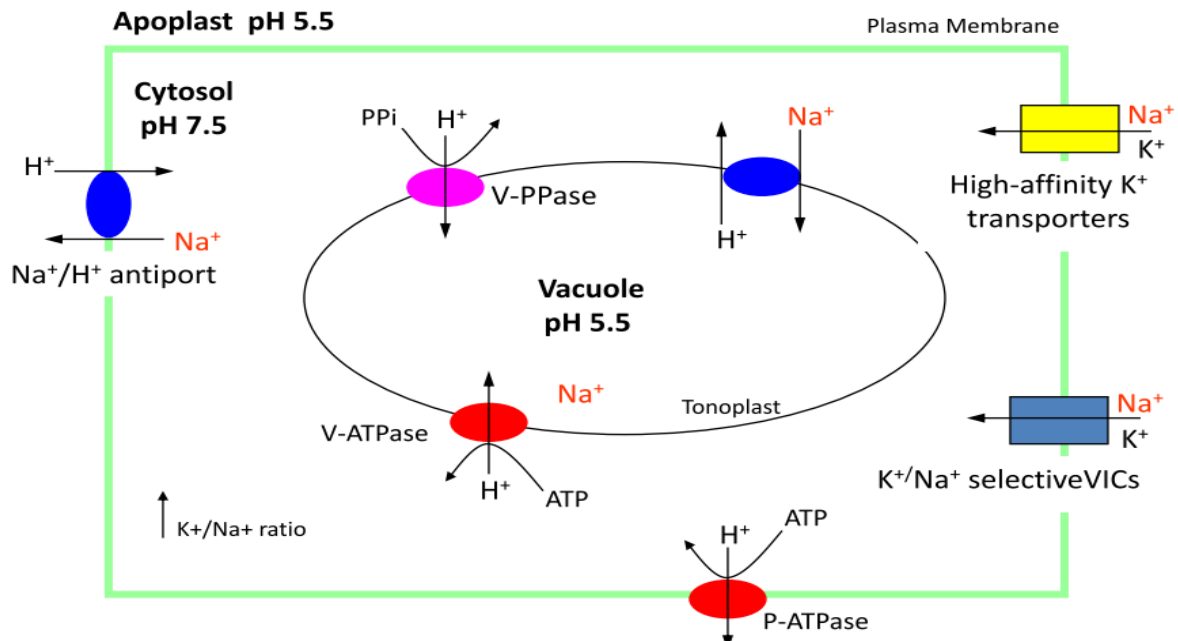


Figure 6 : Les mécanismes d'exclusion et de compartimentation des ions Na^+ d'après Mansour et *al.* (2003).

1.2.9.2 Synthèse des antioxydants

Les plantes produisent des espèces réactives de l'oxygène ou ROS (Reactive Oxygen Species) comme les radicaux superoxydes (O_2^-), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxy (OH) en réponse à un stress salin (Hernandez et *al.*, 2000). Les ROS causent d'importants dommages aux lipides membranaires, aux protéines et aux acides nucléiques. La détoxification des ROS constitue alors, un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques y compris le salin. Parmi ces systèmes enzymatiques nous retrouvons le superoxyde dismutase (SOD) qui catalyse la réaction de dismutation de l'ion superoxyde O_2^- en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 et O_2 , la catalase (CAT), le Glutathion Réductase (GR) et les peroxydases qui détoxifient le H_2O_2 (Boucher, 2009). Parmi les systèmes non enzymatiques on retrouve le glutathion, l'ascorbate, les peroxyrédoxines et les tocophérols (vitamine E) qui vont également limiter la formation et l'accumulation des différentes espèces réactives d'oxygène (Mittova et *al.*, 2003).

1.2.9.3 Synthèse de solutés compatibles

L'ajustement osmotique est l'une des réponses cellulaires vitales au manque d'eau engendré par la sécheresse, la salinité ou la basse température, connu chez toutes les plantes halophytes et glycophytes (Chinnusamy et *al.*, 2004). Ce processus contribue au maintien de la turgescence cellulaire malgré la baisse du potentiel hydrique comme il contribue à l'absorption de K^+ et la compartimentation des ions Na^+ et Cl^- dans les vacuoles ou à la synthèse des solutés compatibles comme la proline, la glycinebétaine, les polyols et les sucres... etc (Ashraf, 1994). Ces solutés sont appelés osmolytes compatibles car ils sont non toxiques même à des concentrations relativement élevées. Ils ont un poids faible et sont très solubles, ils protègent les plantes contre le stress en maintenant la turgescence cellulaire et enfin, ils jouent un rôle dans la désintoxication des cellules des ROS. Le rôle principal de ces solutés consiste à maintenir un faible potentiel hydrique à l'intérieur des cellules afin de générer une force de succion au niveau des cellules qui leur permet l'absorption de l'eau (Carpenter et *al.*, 1990). Les différents solutés compatibles sont synthétisés selon les espèces, la glycinebétaine à titre d'exemple, est considérée parmi les substrats organiques majeurs qui s'accumulent dans des conditions hypersalines chez une cyanobactérie halotolérante (*Spirulina subsalsa*) au niveau de cette espèce, il a été montré que ce composé protège spécifiquement l'activité enzymatique de type déshydrogénase glucose-6-phosphate qui demeure en pleine activité en présence de NaCl (Gabbay et *al.*, 1988). L'accumulation de la glycinebétaine a été également signalée dans des conditions de stress salin chez l'orge et l'Atriplex (Shen et *al.*, 2002). D'ailleurs, Ayliffe et *al.* (2005) avaient noté la présence de la proline chez les céréales et ont montré l'importance de son accumulation et son implication dans les mécanismes de tolérance aux stress abiotiques notamment la sécheresse et la salinité.

1.2.9.3.1 Accumulation de sucres solubles

L'accumulation des sucres solubles chez la majeure partie des plantes est une réponse normale à la salinité ou au stress hydrique. Selon Mehouchi, 1993, La variabilité des teneurs en carbohydrates reflète la capacité des plantes à s'adapter à diverses conditions écologiques comme les divers stress. Les sucres solubles non structuraux ainsi que les cyclitols contribuent à plus de 50 % du potentiel osmotique des glycophytes soumises à des conditions de stress salin (Cram, 1976). Les sucres solubles sont des indicateurs du degré de stress à cause de leur importante augmentation dans les tissus des plantes en état de stress. Les sucres

métaboliques notamment le glucose, le galactose, le saccharose et le fructose, jouent un rôle primordial dans la résistance aux différents types de stress abiotiques y compris la salinité (Zerrad *et al.*, 2006). Les hydrates de carbones s'accumulent sous le stress salin (Parida *et al.*, 2002). Chez la plupart des plantes supérieures, les premiers produits de la photosynthèse sont le saccharose et l'amidon ; ces deux glucides sont généralement stockés au niveau foliaire pendant la journée, chez d'autres espèces les alditols (sorbitol) aussi sont synthétisés et stockés avec ces deux derniers sucres (Annick *et al.*, 1992). Par ailleurs, il a été signalé qu'une synthèse des sucres (saccharose) et des polyols a été stimulée par stress salin chez de jeunes plants de pois chiche cultivés en présence de NaCl. Karmous *et al.*, (2005) ont rapporté que l'accumulation de glucose au niveau foliaire chez le blé dur évoque une aptitude à réaliser une osmorégulation chez la plante dans les conditions de stress salin. Chez le riz, Amirjani, (2011) a montré que la teneur en sucres solubles réducteurs a significativement augmenté dans les feuilles et dans les racines des plantes du cultivar 'Tarom Azmoon' exposées à 200 mM de NaCl.

1.2.9.3.2 Les polyols

Les polyols sont classés parmi les solutés compatibles impliqués dans l'osmorégulation. Ils jouent un rôle essentiel dans la tolérance des plantes à la salinité. (Bohnert et Shen, 1999). Ainsi, les polyols existent sous les deux formes : cyclique et acyclique et sont largement distribuées au sein du règne végétal. Les polyols les plus dominants chez les plantes sont ceux qui sont sous forme acyclique, comme le mannitol, le glycérol, le sorbitol et le pinitol. Ces composés s'accumulent en général dans le cytoplasme de certains halophytes pour atténuer les troubles osmotiques causés par la concentration élevée des ions inorganiques compartimentés dans la vacuole. L'accumulation des polyols entraîne une augmentation du potentiel osmotique du cytoplasme ce qui permet une plus grande compartimentation de sodium dans la vacuole. De plus, ces polyols agissent probablement en tant qu'osmoprotecteurs des membranes et des protéines en éliminant les radicaux libres d'oxygène (Hanana *et al.*, 2011).

1.2.9.3.3 Synthèse de protéines

D'une manière générale, le sel induit des modifications quantitatives et qualitatives sur la synthèse des protéines. L'accumulation des protéines a été observée au niveau de tous les stades de croissance des plantes de plusieurs espèces exposées à un stress salin (Verbruggen et Hermans, 2008). Toutefois, chez certaines espèces, le chlorure de sodium induit l'augmentation de la teneur en protéines. Tandis que chez d'autres la salinité est à l'origine de sa réduction (Taffouo et *al.*, 2009 ; Eryilmaz, 2006). Agastian et *al.*, (2000) avaient rapporté que chez le mûrier, les protéines solubles augmentent face aux concentrations de sels relativement faibles et diminuent par contre, en réponse aux concentrations plus élevées. Parvais et Satywati, (2008) avaient mentionné que des teneurs élevées en protéines solubles sont observées chez des cultivars d'orges et de tournesols tolérants à la salinité.

D'autre part, Pareek et al. (1997) rapportent que le chlorure de sodium provoque la synthèse de plusieurs types de protéines dont certains ont été identifiés chez plusieurs espèces végétales comme l'orge à titre d'exemple.

Des teneurs élevées en protéines solubles ont été observées chez des cultivars de tournesol, de mil et de riz tolérants à la salinité (Ashraf & Harris, 2004). Bien qu'Ashraf & Tufail (1995) aient démontré que les accessions de tournesol tolérantes et sensibles au sel ne diffèrent pas significativement par rapport à leurs teneurs en protéines foliaires, d'ailleurs plusieurs auteurs s'accordent sur la diminution de la teneur en protéines solubles, en réponse à la salinité. Chez les mangroves, la teneur en protéines foliaires diminue en réponse à la salinité (Parida et al., 2002).

Les protéines qui s'accumulent dans les plantes dans des conditions de stress salin peuvent fournir une forme de stockage de l'azote qui sera utilisé plus tard (Singh et al. 1987) et peuvent également jouer un rôle dans l'ajustement osmotique.

Chez un certain nombre d'espèces, le stress osmotique induit la synthèse de plusieurs types de protéines dans les tissus végétatifs qui sont en relation avec les protéines LEA (Late –embryogenesis Abundant).

En revanche, Rao et *al.* (2006) pensent que la synthèse de protéines est souvent perturbée par la prolifération de l'acide abscissique (ABA) qui s'accumule graduellement avec l'intensité du stress salin.

1. 2.9.3.4. Synthèse et Accumulation de La proline

Parmi les réponses aux différents stress hydrique et osmotique chez les plantes, la synthèse et l'accumulation de la proline reste l'une des manifestations les plus remarquables (Belkhodja et Bidai, 2004). Son rôle d'osmoticum a en effet été rapporté par de nombreux auteurs (Stewart & Lee, 1974 ; Kauss, 1977). Hassani *et al.*, (2008) ont noté chez l'orge que l'accumulation de proline est positivement corrélée avec la salinité et il ressort de leur étude que la réponse au stress salin des génotypes est plutôt une accumulation de proline que de sucre. Khadi-Mounaye, (2006), en travaillant sur la fève dans des conditions de stress salin, avait expliqué la résistance de la fève au stress salin par une accumulation de la proline au niveau des différents organes de la plante.

L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : stimulation de sa synthèse (Boggess *et al.*, 1976), inhibition de son oxydation (Rayapati et Stewart, 1991) et/ou altération de la biosynthèse des protéines (Stewaert *et al.*, 1977). La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5carboxylique-1-pyrroline (P5C). Il peut être synthétisé également via l'arginine et l'ornithine (Lignowski & Slittstoesser, 1971) (Figure 7).

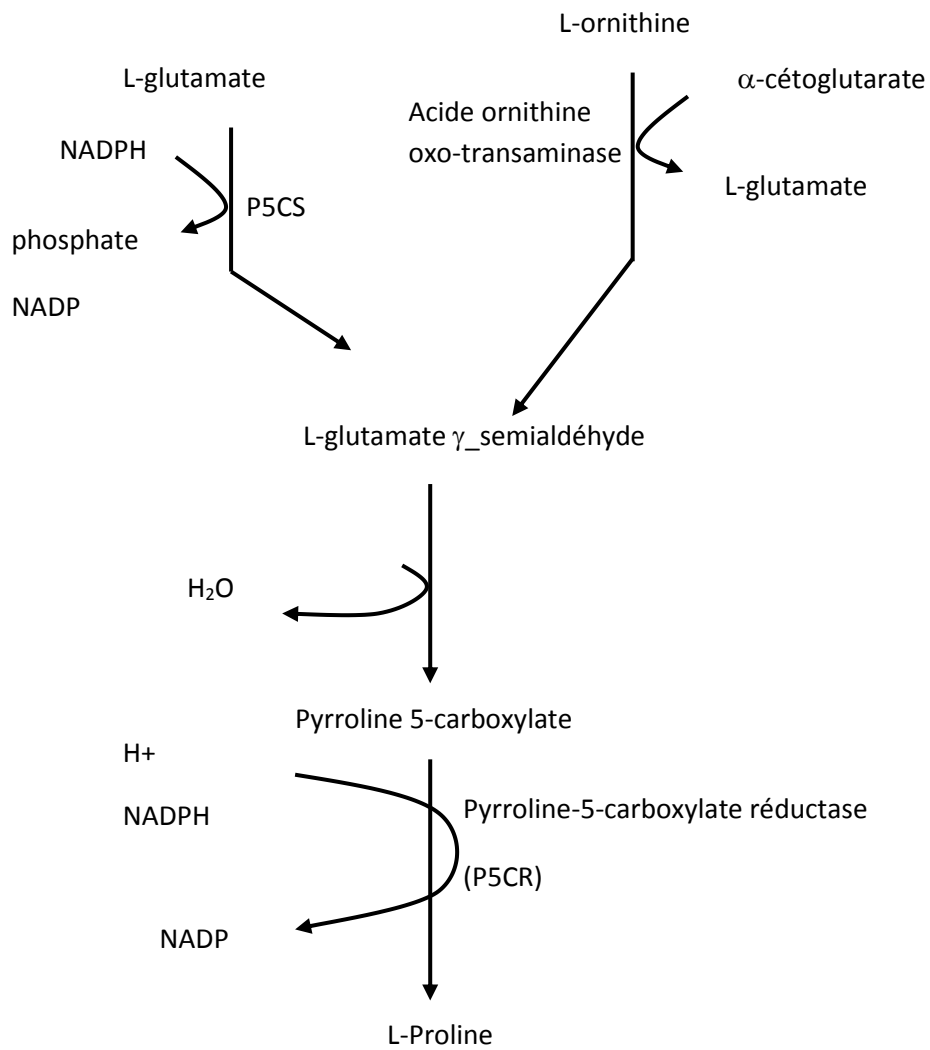


Figure 7 : Voie de biosynthèse de la proline

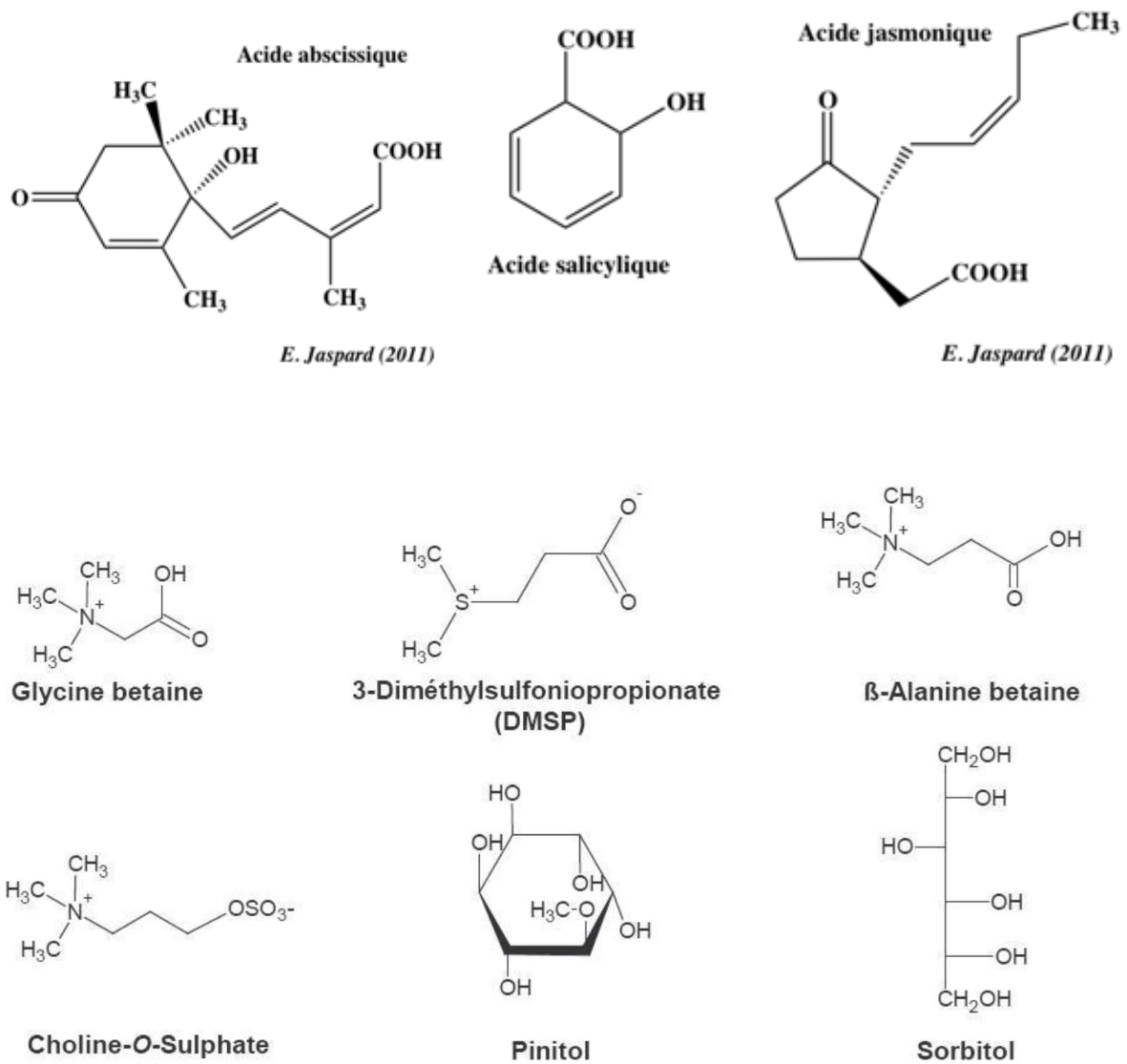


Figure 8 : exemples d'osmoregulateurs synthétisés par les végétaux (d'après LARHER,1996)

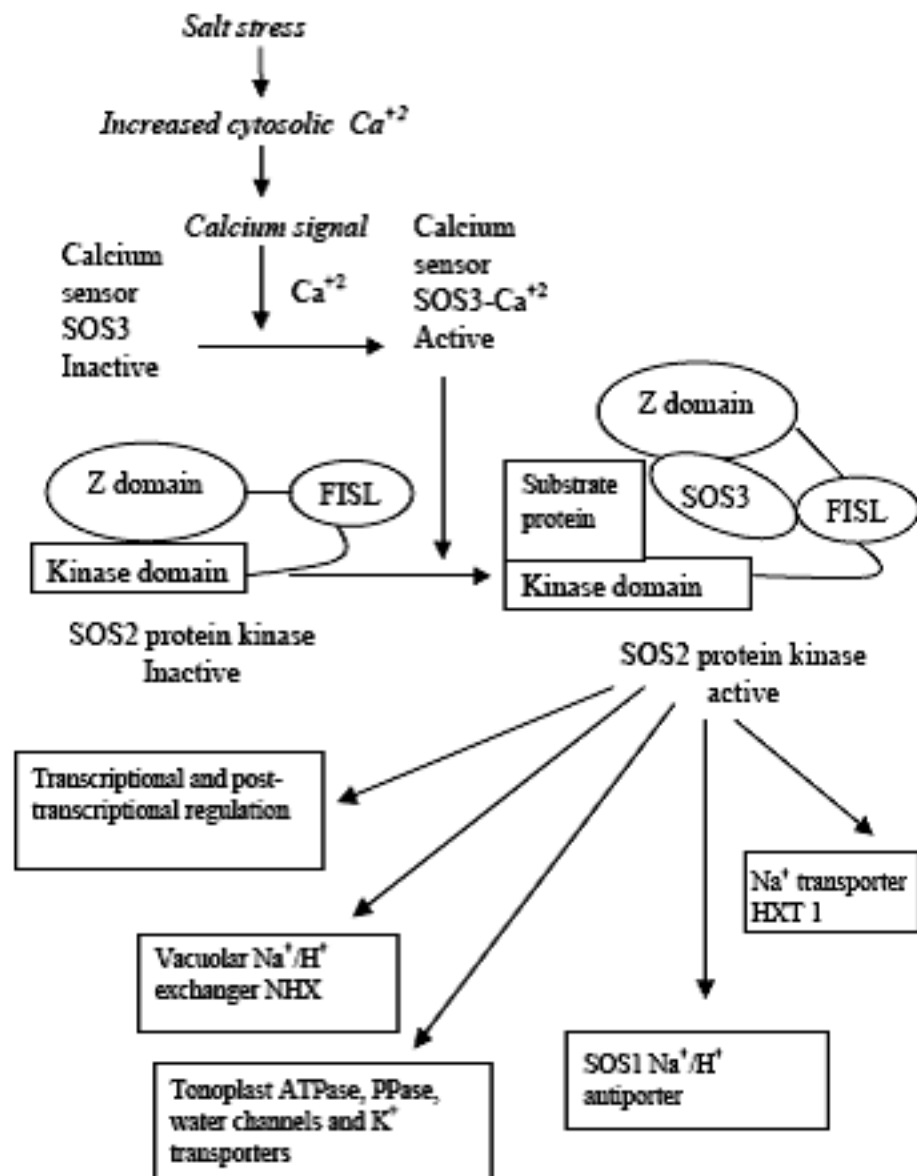


Figure 9: les voies qui montrent l'activation des protéines kinase SOS, SOS3 et la régulation de l'homéostasie ionique. (Kaur et Gupta, 2005)

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

Au cours de ce chapitre, seuls les méthodologies et les itinéraires techniques qui ont été adaptés au cours de l'installation des cultures et l'échantillonnage pour les paramètres évalués sont présentés.

2.1. L'effet de NaCl sur les premiers stades phénologiques de trois variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en milieu hydroponique

2.1.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé au cours de cette expérience est constitué par des plantules, au stade 3 feuilles, des trois variétés de riz (*Oryza sativa* L.) parmi les plus utilisées pour les emblavures rizicoles en Mauritanie : IR 28, Sahel 108 et sahel 201. Les semences de ces variétés ont été fournies par le laboratoire de Grandes Cultures de l'Institut Supérieur de l'Enseignement Technologique (ISET) de Rosso- Mauritanie.

2.1.2. Milieu et conditions de culture

En milieu hydroponique les plantules issues de germination et âgées de 5 jours ont été repiquées dans des bacs en plastique remplis de solution nutritive dont les compositions chimiques sont les suivantes: (Tableau 6)

Tableau 6 : la composition chimique de la solution nutritive selon Jemal et *al.*, (2005)

Eléments minéraux	Concentration
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	1,5 mM
MgSO ₄ 7H ₂ O	0,5 mM
KNO ₃	1 mM
KH ₂ PO ₄	1 mM

CaSO ₄ 7H ₂ O	1 µM
H ₃ BO ₄	30 µM
Fe-EDTA	50 µM
MnSO ₄	10 µM
ZnSO ₄ 7H ₂ O	1 µM

Les solutions sont aérées régulièrement, ainsi les plantules ont été incubées dans une chambre de culture de type BINDER dans des conditions de température diurne de 30°C et de 25°C pour les nocturnes avec une humidité relative moyenne de 60% et une photopériode de 12h jour /nuit. Après 5 jours de culture et après avoir renouvelé la solution nutritive, ces dernières ont été enrichies par des doses croissantes (0, 3 et 6 g/l) de NaCl et ceci durant une période de 5 jours. La récolte et la séparation de plantules en partie aérienne et partie racinaire ont eu lieu à la fin de l'expérience pour effectuer les mesures de paramètres morphologiques et les analyses biochimiques.

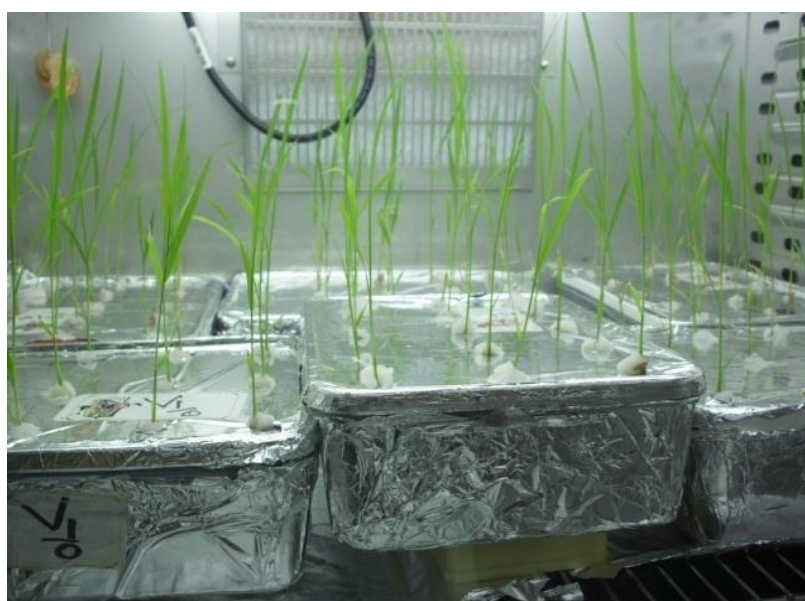


Photo 1 : les plantules de riz en culture hydroponique (source : Soukeyna)

2.1.3. Paramètres évalués

2.1.3.1 Test de germination

Après avoir désinfecté les graines avec l'eau de javel 5%, les graines ont été étalées dans des boîtes de Pétri tapissées de rondelles de papier filtre imbibées soit par de l'eau distillée (témoin), soit par la solution saline concentrée à 3g/L ou 6g/L à raison de quinze graines par boîte et quatre répétitions par traitement. Les boîtes ont été incubées à l'obscurité et à 25°C pendant 72h durant lesquelles le nombre de graines germées est compté toutes les 24 heures.



Photo 2 : Test de germination (source : Soukeyna)

2.1.3. 2 Mesure de croissance

La croissance a été estimée par les mesures de la hauteur de la partie aérienne et la longueur de la partie radiculaire ainsi que leur poids frais, en utilisant trois répétitions pour chaque accession et chaque traitement (Témoin et régime salin). Les longueurs des racines et des feuilles (cm) ont été déterminées à l'aide d'un mètre millimétrique appliqué sur les deux extrémités de chaque organe. Les poids des deux parties ont été déterminés à l'aide d'une balance électronique de précision Model-Citizen XK3190-A7

2.1.3.3 Indice de Stress Salin

L'évaluation de l'Indice de Stress Salin (ISS) a été faite selon la formule :

ISS =LPR/LPA

ISS : Indice de Stress Salin

LPR : Longueur de Partie Radiculaire

LPA : Longueur de Partie Aérienne

2.1.3.4. Teneur en pigments chlorophylliens

Le dosage des pigments chlorophylliens a nécessité leur extraction dans l'acétone 80%.

100mg de matière végétale fraîche issue des plantes conduites dans les solutions enrichies en NaCl et du témoin ont été broyées dans 5 ml d'acétone. Les extraits issus de cette opération ont été passés à travers un filtre de type Wattman.

La lecture de densité optique des filtrats a été faite à l'aide d'un spectrophotomètre de « Thermo Scientific » réglé aux longueurs d'ondes : 663 nm et 646 nm pour déterminer la teneur de chlorophylle a et chlorophylle b et à 470 nm pour déterminer la teneur de caroténoïdes.

Pour la détermination des concentrations des différents pigments on a adopté la formule de Mc Kinney et *al.* 1949 :

Chlorophylle a = $[(12.21 \times A_{663}) - (2.81 \times A_{646})] \times V / P$

Chlorophylle b = $[(12.21 \times A_{646}) - (2.81 \times A_{663})] \times V / P$

Chlorophylle totale = $[(8.02 \times A_{663}) + (20.2 \times A_{645})] \times V / P$

Avec :

A : densité optique de l'échantillon mesuré à 663 nm ou 646 nm

V : volume de l'extrait.

P : poids frais de l'échantillon.

2.1.3.5 Extraction et dosage des sucres

Ce paramètre a été évalué aux niveaux foliaires et radiculaires.

2.1.3.5.1. Extraction des sucres totaux :

L'extraction des glucides a été faite par la méthode d'éthanol à 80%. Pour chaque variété, 200mg de matière végétale fraîche (feuilles ou racines) ont été broyées et ceci a concerné les plantes menées dans les conditions de salinité et leur témoin. Chaque poids de matière fraîche a subi les opérations suivantes :

- Mettre dans 5 ml d'éthanol à 80%
- Centrifuger le mélange à 5000trs/min pendant 10 min à l'aide d'une centrifugeuse de type « Thermo Scientific Ci3 multifonction »
- Récupérer le surnageant dans un autre tube à essai
- Incuber la solution à 80°C pendant 24H pour faire évaporer l'éthanol
- Compléter le volume de solution à 5 ml avec de l'eau distillée

2.1.3.5.2. Dosage des sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs a été déterminée par la méthode colorimétrique à l'acide dinitrosalicylique (Miller, 1959) dont le principe :

En milieu alcalin et à chaud, l'acide 3,5-dinitrosalicylique (3,5-DNS) de couleur jaune est réduit par les sucres réducteurs en acide 3-amino 5-nitrosalicylique de couleur rouge orangée, suivant la réaction ci-dessous :

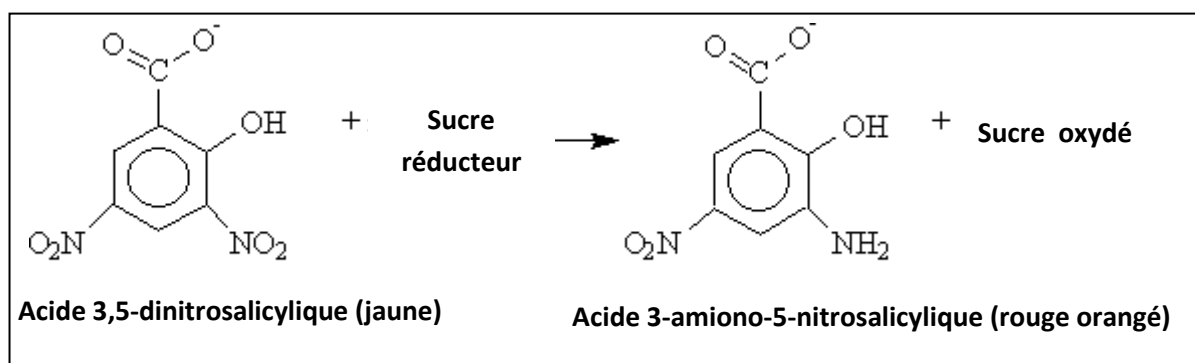


Figure 10 : réaction de réduction de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (3,5-DNS) par les sucres réducteurs en acide 3-amino 5-nitrosalicylique.

La chimie de la réaction est complexe et la réaction d'oxydoréduction avec les glucides n'est pas stoechiométrique, les courbes d'étalonnage ne passent pas toujours par l'origine. La technique peut également être utilisée pour doser des glucides non réducteurs (saccharose), après hydrolyse.

Pour le dosage des sucres réducteurs issus de plantes on a procédé comme suit :

- Mettre dans un tube à essai respectivement 1 ml de l'extrait végétal,
- Ajouter à chaque tube 3 ml du réactif au DNS (dont la composition et le mode de préparation sont donnés en annexe y)
- Porter les tubes au bain marie bouillant pendant 5 min
- Laisser refroidir
- Ajouter, aux tubes, un volume égal d'eau distillée
- Lire les densités optiques des tubes à 540 nm

Parallèlement, on prépare une gamme étalon à partir d'une solution standard de glucose et de fructose à 0,005 mol/L.

La concentration en sucres réducteurs est calculée en se reportant à la droite obtenue à partir de la gamme étalon et exprimée en gramme/100 grammes de MF.

-Sucres non réducteurs

La teneur en sucres non réducteurs principalement le Saccharose a été déterminée par hydrolyse enzymatique du saccharose puis dosage des sucres réducteurs par la méthode du DNS décrite précédemment. Le protocole suivi est celui décrit par Cerning-Beroard (1975) modifié.

Brièvement, Les sucres non réducteurs (saccharose) dans l'hydrolysats sont déduits en soustrayant la concentration des sucres réducteurs après hydrolyse de leur concentration avant hydrolyse.

-Sucres totaux

La teneur en sucres totaux exprimée en g de sucres pour 100 g de matière fraîche, est calculée comme étant la somme des teneurs en sucres réducteurs et en sucres non réducteurs déterminées précédemment.

$$\% \text{ sucres totaux} = \% \text{ sucres non réducteurs} + \% \text{ sucres réducteurs}$$

2.1.3.6. Teneur en proline

La proline a été dosée selon le protocole décrit par Eljaafari, (1993) avec quelques modifications. Le principe de cette technique est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

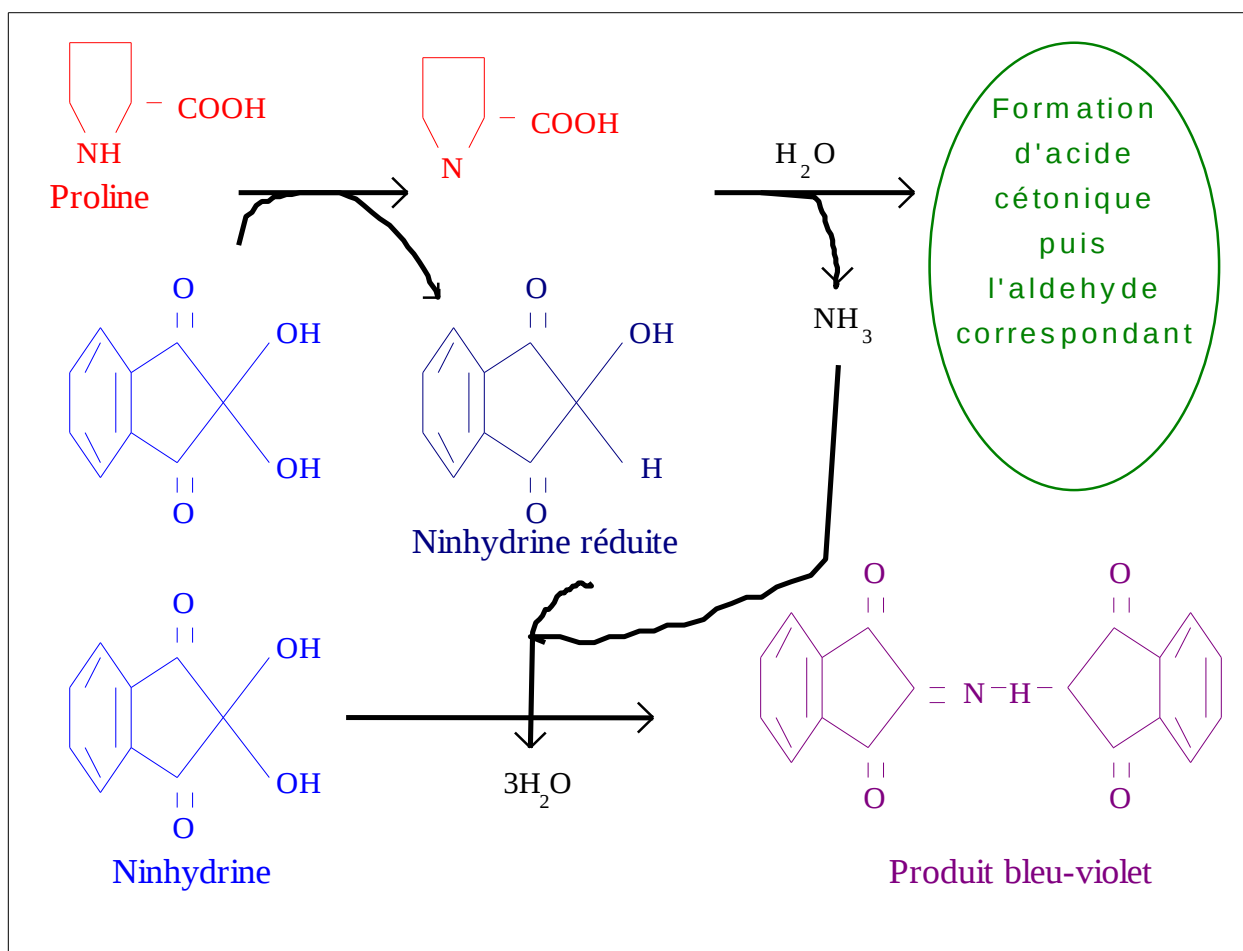


Figure 11 : Réaction de la proline avec la ninhydrine en milieu acide à 100 °C

On a broyé 100 mg de matière fraîche végétale (feuilles et racine) dans 5 ml d'éthanol 40 %. Le broyat est mis dans des tubes à essai couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) qui sont portés à ébullition à 85 °C pendant 30 minutes. Après refroidissement, 1 ml de la solution a été prélevé de chaque tube et mis dans de nouveaux tubes auxquels, nous avons ajouté 1 ml de mélange ninhydrique (préparé par dissolution de 1,25 g de ninhydrine en 30 ml d'acide acétique et 20 ml d'acide phosphorique 6M), 1 ml d'acide orthophosphorique et 1 ml d'acide acétique. On porte les tubes à essai à ébullition durant 30 minutes. Après refroidissement des solutions, on ajoute 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation les tubes ont été passés sur un vortex, deux phases apparaissent. On prélève la phase supérieure contenant la proline. On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde 520 nm.

La concentration en proline dans les feuilles et les racines des plantes analysées est déterminée en se reportant à une droite étalon (annexe III) établie à partir d'une gamme étalon de proline sur la base des concentrations suivantes : 5, 10, 15, 20 et 25 µg/ml de proline par tube.

2.1.3.7. Teneur en protéines

La teneur en protéines dans les feuilles a été déterminée selon la méthode décrite par Bradford et *al* (1976); cette méthode est basée sur la réaction entre le bleu de Coomassie et les protéines qui donne une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de protéines présentes dans l'échantillon.

20 mg d'échantillons foliaires issus de chaque concentration sont broyés dans 1 ml de solution physiologique (0.9% NaCl). Le broyat est alors centrifugé à 20 000 x G et à 4°C pendant 10 min. Le dosage est réalisé en mélangeant 50 µl du surnageant avec 4 ml de bleu de Coomassie. Après 20 min d'incubation à température ambiante, nous procédons à la lecture de la densité optique à 595 nm. Le détail de la démarche expérimentale est donné en annexe I.

La teneur en protéines est déterminée en se référant à une gamme étalon réalisée avec une solution de BSA à 0,2 mg/ml sur la base des quantités suivantes 0, 10, 20, 40, 80, 160 µg par tube.

2.1.3.8 Dosage des éléments minéraux (K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺, Cl⁻) au niveau des racines

Les éléments, minéraux radiculaires dosés sont le potassium, le calcium, le magnésium et le chlore. Ces éléments ont été évalués par la méthode colorimétrique en utilisant une mallette d'analyse des éléments minéraux selon la méthode de la Motte compagny-2011. Kit de type Mallette (photo 3).

La préparation des échantillons nécessite :

- Séchage des échantillons à l'étuve 95°C / 48h
- Pesage de 200mg de l'échantillon
- Incubation dans la solution d'extraction pendant 15 minutes avec agitation
- Filtration de la solution
- Filtrat est récupéré pour test des éléments minéraux selon les kits et réactifs destinés à sa révélation



Mallette d'analyse des éléments minéraux



Solutions et réactifs pour dosage du Potassium



Solutions et réactifs pour dosage du



Solutions et réactifs pour dosage du

Calcium	Magnesium
---------	-----------

Photo 3 : Mallette d'analyse des éléments minéraux (source : Soukeyna)

2.1.3.9 Analyses statistiques

L'analyse statistique des données a été faite selon un modèle factoriel par un logiciel S.P.S.S.pour window version 17.0

2.2 Effets de NaCl sur la croissance et le rendement de quatre variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en Mauritanie

2.2.1. Matériel végétal

Cette expérience a été menée en plein champs au niveau du site de l'ISSET de Rosso Mauritanie (16°31'28"N ; 15°46'36"O) qui est une zone rizicole et elle a concerné quatre variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en Mauritanie

Tableau 7 : Principales caractéristiques des variétés de riz étudiées

Variété : NERICA –S-44	
Origine : Philippines	
Cycle : 100 à 122j	
Rendement en T/ha : 12	
Tallage : Bon	
Variété : Sahel 108	
Origine : Philippines	

Cycle : 105 à 117J Rendement en T/ha : 6 à 10 Tallage : Bon	
Variété : Sahel 201	
Origine : Seri Lanka Cycle : 121 à 141J Rendement en T/ha : 7 à 11 Tallage : Bon	
Variété : IR28	
Origine : Philippines Cycle : 115-120 j Rendement en T/ha : 6 à 10 t/ha Tallage : Bon à fort	

2.2.2. Conduite de la culture

La culture a été conduite en plain champ au niveau de l'enclos d'Institut Supérieur d'Enseignement Technologique de Rosso (ISET- Mauritanie) entre avril et juillet (contre saison) 2012. Après l'ameublissement du sol par le labour l'analyse du sol a porté sur le pH et la salinité. La parcelle expérimentale a été subdivisée en 36 unités parcellaires.





a) Terrain après travaux de sol (Offsetage)



b) Unités parcellaires (36 unités)

Photo 4 : a) Terrain après travaux de sol (Offsetage), b) Unités parcelles (source : Soukeyna)

2.2.2.1 Analyse physicochimique du sol et de l'eau d'irrigation

L'analyse du sol a été effectuée sur 6 échantillons prélevés aléatoirement sur toute la zone expérimentale. Cette analyse a porté sur le pH, la conductivité électrique à l'aide d'un pH-mètre De même le faciès physicochimique des eaux d'irrigation (eau du fleuve Sénégal) a été déterminé par l'analyse des cations et anions en plus du pH et CE (annexe 4).

2.2.2.2 Système d'irrigation

L'installation du système d'irrigation a été adoptée pour les trois blocs. Chaque bloc représente un niveau de salinité et contient 12 unités parcellaires élémentaires ayant des dimensions $2\text{m} \times 4\text{m}$ espacées les unes des autres de $0,5\text{m}$.



Installation du système d'irrigation (tuyauterie et vannes)



Bassin d'irrigation



Installation et montage des bacs (1 m^3) qui vont contenir les eaux enrichies en NaCl destinées à l'irrigation des parcelles



Submersion des parcelles

Photo 5 : Composantes du système d'irrigation (source : Soukeyna)

2.2.2.3 : Dispositif expérimental

La culture a été menée aux niveaux des blocs qui sont espacés de 2m . Chaque variété est répétée trois fois par bloc. Le premier bloc est un bloc témoin où aucune dose de sel n'a été ajoutée à l'eau d'irrigation. Alors que deux doses de NaCl 1 g/L et 2 g/L ont été administrées aux eaux d'irrigation utilisées respectivement pour le bloc2 et 3



Photo 6: disposition des parcelles (source : Soukeyna)

2.2.2.4. Semis des parcelles et désherbage

Le mode de semis utilisé est le semis à la volée avec une dose de semis de 120g/parcelle (8m²). Un épandage d'une dose de 100g/m² d'urée a été réalisé au stade végétatif et au stade reproducteur des plants. .

Un désherbage manuel a été assuré d'une façon périodique selon le degré d'envahissement des parcelles par les mauvaises herbes.



Parcelles envahies par les adventices



Parcelles après désherbage

Photo 7 : Parcelles avant et après désherbage (source : Soukeyna)

2.2. 3 Paramètres évalués

Lors des différents stades, de développement des échantillons foliaires et racinaires de chaque variété ont été collectés pour les analyses des variations des paramètres évalués en fonction de la dose de NaCl appliquée.

2.2.3.1. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau dans les feuilles et les racines a été estimée selon la méthode décrite par Barrs,(1968) avec quelques modifications.

- 200 mg MF (feuilles et racines) sont pesées (PF = Poids Frais).
- 200 mg de PF ont été mis par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée
- Les tubes ont été placés à 4°C pendant 24h
- Les échantillons (feuilles et racines) ont été retirés des tubes puis passés dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface,
- Les échantillons ont été pesés de nouveau pour obtenir le poids de la Pleine Turgescence (PT).
- Les échantillons ont été placés à l'étuve réglée à 80°C pendant 48h et pesés pour avoir leur Poids Sec (PS).

La Teneur Relative en Eau a été calculée par la formule suivante :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF}-\text{PS}) / (\text{PT}- \text{PS})].100$$

2.2.3.2: La croissance des plantes

La croissance a été estimée par les mesures de la hauteur de la partie aérienne et la longueur de la partie racinaire ainsi que leur poids frais. Ce paramètre a été estimé pour dix-huit répétitions pour chaque variété et chaque traitement (Témoin et régime salin) et ceci au stade végétatif et stade reproductif des plantes.

2.2.3.2.1. Croissance de la hauteur des plantes

Ce paramètre a été évalué par simple mesure de longueur par un mètre ruban de la partie aérienne des plantes aux stades végétatif et reproducteur.

2.3.2.2. Croissance de la longueur des racines plantes

Ce paramètre a été évalué par simple mesure de longueur par un mètre ruban de la partie souterraine des plantes aux stades végétatif et reproducteur.

2.3.2.3. Mesures de Poids frais de la partie aérienne des plantes

Ce paramètre a été évalué par simple pesée de la partie aérienne des plantes aux stades végétatif et reproducteur.

2.3.2.4. Mesures de Poids frais de la partie souterraine des plantes

Ce paramètre a été évalué par simple pesée du système racinaire des plantes aux stades végétatif et reproducteur.

2.3.3. Les paramètres de rendement

Le rendement a été estimé à travers l'évaluation de plusieurs paramètres.

2.3.3.1. Le nombre de talles

Le nombre de talle par plante a été évalué par simple comptage du nombre de talle.

2.3.3.2. Le nombre de panicules

Ce paramètre a été estimé par le comptage de panicule au niveau de chaque plante.

2.3.3.3. Le rendement global en paddy

Le rendement en paddy a été estimé en g/m^2 pour chaque variété avec trois répétitions par parcelle.

2.3.3.4. Le poids de mille graines

Le poids de 1000 graines de paddy issu de chaque traitement a été évalué par simple pesage.

2.3.4. Analyses statistiques

L'ensemble des données obtenues ont été soumises à différentes méthodes statistiques en utilisant le logiciel SPSS Statistics 17.0 : analyse de variance à un ou deux facteurs de classification. Les moyennes sont comparées selon le test de Duncan, Chaque moyenne est affectée d'une lettre et les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

L'analyse de variance a été appliquée pour tester les différences entre les variétés de riz. Cette analyse dont le but est de comparer les moyennes des paramètres étudiés chez plusieurs groupes, permet de connaître la part de la variance due aux différences entre les groupes de celle due à l'hétérogénéité du milieu. L'hypothèse nulle d'égalité des moyennes est acceptée si la valeur de F observée à $K_1 = p-1$ et $K_2 = p(n-1)$ ddl pour l'effet variétés est inférieure à F théorique lue sur la table de Fisher-Snedecor aux seuils de 5 % ou 1 % (avec p = nombre de variétés ; n = nombre d'individu par variétés).

Par contre, si l'un des caractères montre un effet significatif (test F significatif au seuil de 5 %) ou hautement significatif (test F significatif au seuil de 1 %), l'hypothèse d'homogénéité des moyennes est rejetée. Dans ce cas, on peut conclure qu'il existe une différence significative entre les variétés.

Chapitre 3: L'effet de NaCl sur les premiers stades phénologiques de trois variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en milieu hydroponique

3.1. Introduction:

La salinité est une contrainte majeure pour la croissance et le développement des plantes. Elle affecte tous les paramètres de croissance et le métabolisme chez les plantes ce qui se traduit le plus souvent par une diminution des rendements des cultures. La croissance des plantes est souvent perturbée voire même inhibée par la présence de concentrations salines dans les sols et/ ou dans les eaux d'irrigation. Cet effet néfaste du chlorure de sodium (NaCl) en particulier, affecte tous les stades de développement de la plante (Dolatabadian, 2011). Selon Yacubu et *al.* (2010), la salinité peut perturber l'équilibre physiologique normal de la graine et peut même entraîner la mort prématurée de celle-ci. L'aptitude d'une graine à germer dans un milieu salin, de ses cotylédons d'émerger sur la surface du sol, de sa plantule à survivre dans des conditions salines, est une étape cruciale de l'établissement des plantes

dans les sols salins (Omani et Hammes, 2006). La germination des graines est l'une des phases les plus importantes du cycle de vie de la plante responsable de son existence et de sa survie dans tel environnement (Saritha et *al.*, 2007). L'étude de la tolérance des plantes aux sels au stade germinatif et aux stades précoces de développement, est l'un des éléments clés pour la détermination des limites de tolérance à la salinité à chaque phase de développement de la plante (Zapata et *al.*, 2004). L'interaction de l'effet spécifique des ions toxiques de Na^+ et Cl^- et l'effet osmotique entraîne la réduction du pourcentage de germination et induit le ralentissement de sa vitesse de germination (Pasa et Yaver, 2009). La toxicité de Na^+ et Cl^- , pourrait être une conséquence de leur mauvaise compartimentation dans les vacuoles. Elle pourrait être également due à l'incapacité de la plante de rejeter l'excès de sels afin de maintenir son équilibre osmotique normal. L'influence de la salinité sur la croissance des plantes se traduit par une réduction de la capacité photosynthétique ce qui affectera par la suite la production de la biomasse (Al-Busaidi et *al.*, 2009). la longueur des tiges et des jeunes feuilles et des feuilles mûres ainsi que d'autres paramètres de croissance diminuent simultanément en présence de sel (Shookampaeng et *al.*, 2007). La salinité agit principalement sur la croissance des plantes par l'induction d'un effet osmotique, ou en altérant la nutrition minérale de la plante, ce qui engendre par conséquent, un déséquilibre de la balance ionique suite à l'augmentation des ions toxiques tels que Na^+ et Cl^- dans le milieu. Selon Marschner, (1995) les dégâts observés sur la végétation exposée au stress salin sont dus à la toxicité des ions chlorures (Cl^-) et non aux ions sodium (Na^+). Selon d'autres auteurs (Long et *al.*, 2010 ; Esfandiari, 2011 ; Zörb et *al.*, 2004), la tolérance d'une espèce ou d'une plante au stress salin réside d'une part, dans sa capacité de limiter l'accumulation de Na^+ et Cl^- dans ses organes et plus particulièrement, dans ses organes aériens. Et d'autre part, le maintien de concentrations optimales de K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dans ces conditions exceptionnelles de stress, témoigne de son pouvoir de résister au flux d'ions toxiques. Selon Manaa et *al.* (2011) la réduction de la croissance des plantes est consécutive à la durée de leur exposition aux sels ainsi qu'à l'intensité du stress salin. Selon le degré de la salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Ben Naceur et *al.*, 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez et *al.*, 2007). Afin d'explorer l'effet de la salinité sur les premiers stades phénologiques de trois variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en milieu hydroponique, le comportement variétal à travers l'évaluation de paramètres physiologiques, biochimiques et de croissance (pourcentage de germination, longueurs et poids des parties aériennes et radiculaires, indice

de stress salin, la teneur en proline foliaire et la teneur en sucres .) a été étudié en présence des concentrations de 0, 3 et 6 g/L de chlorure de sodium (NaCl).

3.2. Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination

Les résultats portés sur la figure 12 montrent qu'en absence de la salinité (0 g/l NaCl), les variétés ont un comportement variable en ce qui concerne la germination. En effet, après 24h (figure 12a), la variété sahel 108 a donné 95% de germination alors que les variétés IR28 et Sahel 201 ont donné 40% et 33,33% respectivement. Cependant en présence de NaCl à 3g/l les variétés Sahel 108, IR28 et Sahel 201 ont montré respectivement des diminutions de 5%, 23,33% et 16,67% et à la dose 6g/l de NaCl, les variétés Sahel 108 et Sahel 201 ont donné respectivement 36,66 et 11,66 % de germination alors que IR 28 n'a pas montré de germination à cette dose. Après 48H (figure 12 b) et en présence ou non de NaCl les variétés testées ont donné un pourcentage de germination de plus de 80%, à l'exception d'IR 28 qui a donné seulement 73% de germination. Quoiqu'il en soit les résultats obtenus montrent d'une manière générale que le pourcentage de germination diminue avec l'augmentation de la concentration de NaCl. L'analyse de variance à un facteur montre une différence significative entre les traitements (0, 3 et 6 g/l) et distribue les variétés en différentes classes selon le traitement avec un maximum de trois classes à la dose 6g/l de NaCl et ce après 24H de l'application de la dite dose. La variété IR28 paraît la plus sensible à l'augmentation de la salinité au stade de germination vu qu'elle a donné un pourcentage de germination nulle après 24 h et 73 % de germination après 48 h en présence de 6g/L de NaCl dans la solution d'irrigation(Figure 12 a et b).

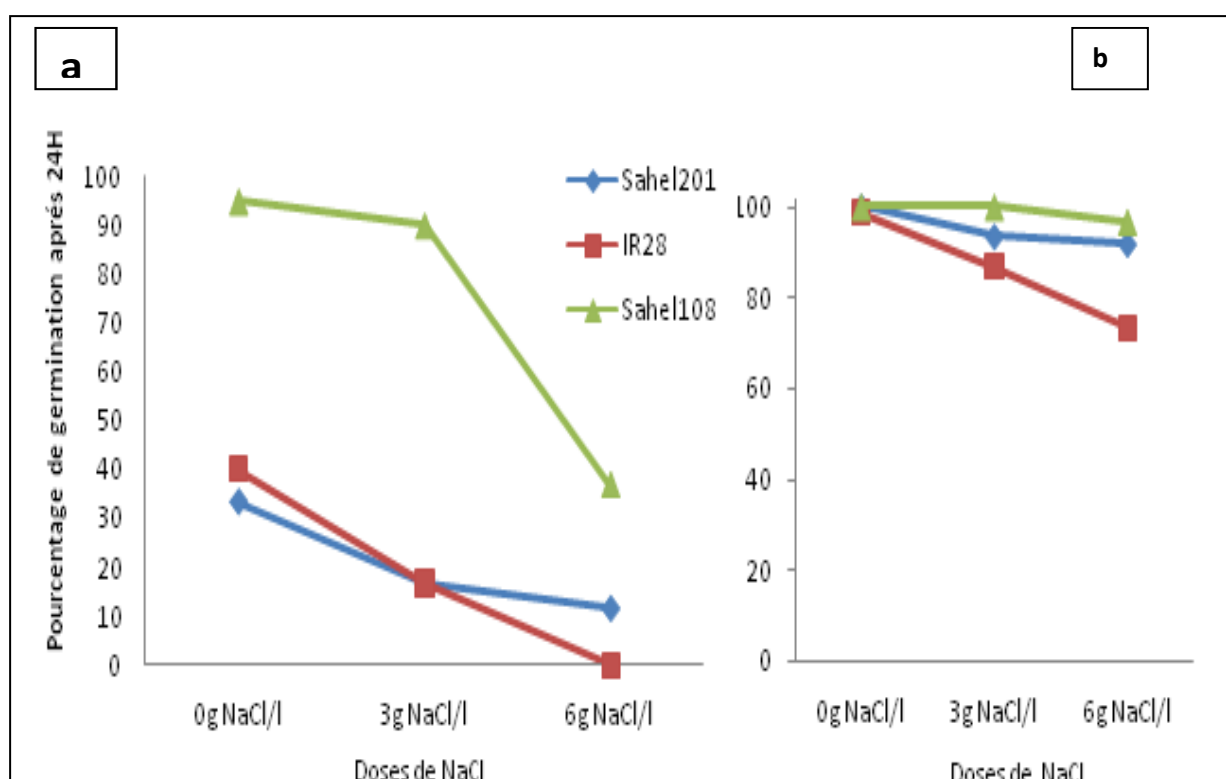


Figure12 : variation du pourcentage de germination après 24h (a) et 48H (b) des graines de variétés de riz testées en fonction de doses de NaCl appliquées.

Ainsi il ressort que les variétés de riz testées se comportent différemment selon les concentrations de NaCl appliquées. Ce résultat est comparable à celui de Benderradji et *al.*, (2010) qui ont observé une diminution progressive du taux de germination, en présence des concentrations croissantes de NaCl, chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et Rejili et *al.*, (2006) qui ont remarqué que la présence de sel dans le milieu de culture réduit différemment la capacité germinative chez deux populations de lotier (*Lotus corniculatus* L.). Dans le même ordre d'idée, Jamil et *al.* (2006) en travaillant sur quatre espèces légumières ont signalé que les concentrations élevées de NaCl provoquent la réduction du potentiel hydrique dans le milieu, ce qui limite l'absorption de l'eau par les graines, influençant le pouvoir germinatif des graines et conduit par conséquent à la réduction du pourcentage de leur germination. Hajlaoui et *al.*, (2007) ont rapporté une diminution du pouvoir germinatif chez le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) aux conditions salines qu'ils ont expliqué par une augmentation de la pression osmotique au niveau de la solution du sol ce qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination. La salinité perturbe également les systèmes enzymatiques impliqués dans les différentes fonctions physiologiques de la graine en germination tels que la diminution de l'activité de l'amylase (Khemiri et *al.*, 2004) et des peroxydases (Iraida et *al.*, 1999).

Belaaziz et *al.* (2009) étudiant l'effet d'une gamme de concentrations (0, 50, 100, 150, 200 mM) de NaCl et des températures (15, 20 et 25°C) sur la germination des graines de *Thymus maroccanus* Ball. ont montré qu'à partir de 50 mM de NaCl, le pourcentage de germination de cette espèce a connu des réductions significatives. Des résultats similaires ont été observés chez quelques cultivars de tournesol (Bajehbaj, 2010), 14 cultivars de blé (Khan et *al.*, 2005), ainsi que 4 cultivars d'olivier (Soleimani et *al.*, 2010).

Maas et Grattan, (1999) avaient rapporté que la plupart des plantes sont plus tolérantes au stress salin au stade germinatif qu'à l'émergence et aux premiers stades de croissance. De ce fait, l'étude de la germination sous la contrainte saline ne paraît pas suffisante pour détecter des génotypes tolérants au sel. Il serait donc impératif de la compléter par des travaux portant sur les stades plus avancés de croissance, voire même à la fructification. La germination des graines est l'un des multiples critères de sélection pour la tolérance à la salinité. Et malgré que cette dernière n'est pas forcément corrélée avec les stades ultérieurs de croissance (Bazzigalupi et *al.*, 2008) elle reste toujours un critère non négligeable pour l'évaluation de la tolérance des plantes à la salinité et plus particulièrement chez les espèces à semis direct où, la salinité peut empêcher leur installation sur le terrain (Shannon et Grieve, 1999). Selon Oudija et Ismaili (2002), le comportement variable des variétés de blé testées vis-à-vis du stress salin, plaiderait en faveur de l'utilisation de la capacité de germination comme critère de sélection. L'utilisation du test de germination dans le screening de la tolérance des génotypes à la salinité est l'une des méthodes les plus utilisées par les sélectionneurs. Ce test fait l'unanimité de la plupart des auteurs comme étant un test fiable pour l'évaluation de la tolérance de plusieurs espèces dont le blé tendre (Ashraf et Foolad, 2007), le blé dur (Roghayyeh et *al.*, 2011) et l'orge (El Madidi et *al.*, 2003), chez lesquelles la tolérance au stade germinatif est corrélée à la tolérance à la salinité aux stades ultérieurs de croissance. En revanche, les espèces forestières sont relativement tolérantes à la salinité au stade germinatif, beaucoup plus sensibles après leur émergence et au cours du stade jeune plantule, mais deviennent progressivement plus tolérantes en atteignant le stade adulte (Shannon, 1997).

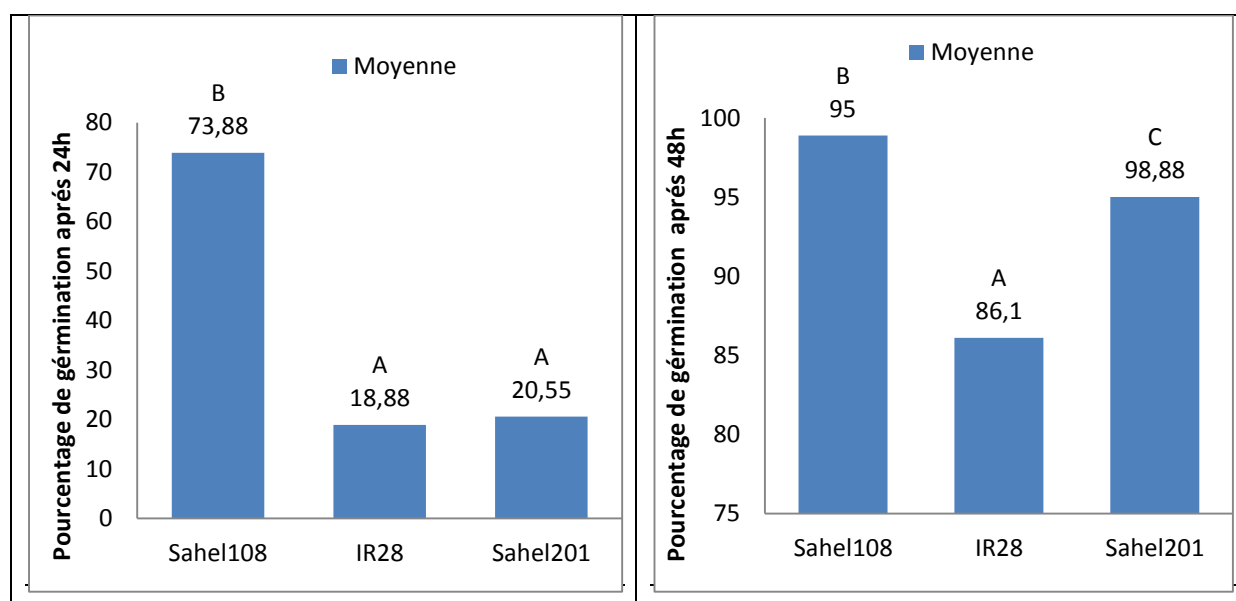


Figure 13 : Classement des moyennes relatives aux pourcentages de germination des les variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

3.3. Effet du chlorure de sodium sur la croissance des variétés de Riz

L'évaluation de l'effet de NaCl sur la croissance (Tableau 8) a montré que d'une manière générale que la longueur des plantes diminue avec l'augmentation de la concentration de NaCl. La variété Sahel 201 et la variété IR28 ont enregistré les mêmes diminutions de la longueur des leurs parties aériennes, Il faut signaler que ces diminutions en comparaison avec le témoin ont atteint 13,79% et 24,13% respectivement pour les doses 3 et 6 g/l NaCl alors que la diminution de longueur de la partie aérienne chez la variété Sahel 108 à la dose 3g/l a été légèrement plus faible par rapport à la valeur trouvée lors de l'application de 6g/l NaCl dans la solution nutritive. La comparaison des moyennes de la longueur de la partie aérienne a permis de classer les variétés de riz testées, sous les traitements 3 et 6 g/l de NaCl, en deux groupes l'un formé par les variétés Sahel 201 et IR28, l'autre par la variété Sahel 108. L'examen du comportement de la partie racinaire vis-à-vis du stress salin (Tableau1) montre que l'application d'une dose de 3 g/l NaCl provoque une diminution de la longueur des racines, le pourcentage de réduction par rapport au témoin a été de 23% sauf chez Sahel 108 où on a enregistré une augmentation de 18,18%. Par contre en présence de la dose 6 g/l NaCl les accessions ont affiché une augmentation de longueur de leurs racines par rapport à l'application de la dose 3 g/l NaCl, exception faite pour Sahel 108. Cependant pour la dose modérée (3 g/l NaCl) nous avons enregistré des réductions des poids radiculaires chez les accessions sauf Sahel 201 où on a une augmentation de 21,23% par rapport au témoin, lorsque la dose est plus sévère (6 g/l NaCl) les variétés sahel 201 et sahel 108 ont enregistré des diminutions de pourcentage de l'ordre de 13% en comparaison avec les témoins, alors que IR28 a enregistré une augmentation de 11% par apport au témoin. La comparaison des moyennes du paramètre de longueur de la partie racinaire (Lpr) a donné, pour les traitements 0 et 3 g/l, deux groupes (Sahel 108 et Sahel 201) et (IR28) et trois groupes pour la dose 6 g/l.

Tableau 8 : variation des paramètres de croissance chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.

Variété	NaCl (g/l)	Lpa	Lpr	Ppa	Ppr
Sahel 201	0	29,3 a,b,c	13 b	0,2 a	0,11 a,b
	3	25 c,d	10,3 c,d	0,17 a,b	0,14 a
	6	22 d	16,2 a	0,1 c	0,1 a,b
IR28	0	30,3 a,b	12,3 b,c	0,2 a	0,08 a,b
	3	26 a,b,c,d	9,8 c,d	0,13 b,c	0,07 b
	6	23,5 d	12,3 b,c,d	0,11 c	0,1 a,b
Sahel 108	0	31 a	9,6 d	0,21 a	0,15 a
	3	30 a,b,c	11 b,c,d	0,21 a	0,13 a,b
	6	25,6 b,c,d	9,8 c,d	0,1 c	0,11 a,b

Les valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement les unes des autres au seuil de 5% selon le test de Duncan.

Lpa : Longueur de la partie aérienne ; Lpr : Longueur de la partie radiculaire ; Ppa : poids frais de la partie aérienne ; Ppr : poids frais de la partie radiculaire ; Cm :Centimètre ; g :Gramme

En ce qui concerne le poids foliaire, les résultats portés sur le tableau 8 montrent globalement la même tendance observée pour la longueur foliaire avec des diminutions significatives des poids foliaires chez les plantes cultivées dans la solution à 6 g/l NaCl comparés aux plantes témoins. Ces diminutions ont atteint 47%, 43% et 50% respectivement chez les variétés Sahel 201, IR28 et Sahel 108. Par ailleurs, Bounaqba (1998) a observé que la réduction de la croissance des organes aériens sous l'effet du sel se traduit par une réduction de la surface foliaire causée par un ralentissement des divisions cellulaires et une diminution de l'extension foliaire. Dans le même ordre d'idées, Dali et *al.* (1996) ont également souligné, chez la tomate, que la présence de sels dans la solution nutritive affecte considérablement le niveau foliaire et la biomasse; ce qui se manifeste par une réduction de la surface foliaire, une chute des feuilles et une diminution des poids frais et sec des feuilles. Bouaouina et *al.*, (2000) en travaillant sur le blé dur (*Triticum turgidum* L.) ont constaté que le NaCl diminue la croissance de la plante entière et retarde l'émergence des nouvelles feuilles. Selon Manaa et *al.*, (2011) la réduction de la croissance des plantes est consécutive à la durée de leur

exposition et de l'intensité du stress salin. L'influence de la salinité sur la croissance des plantes se traduit par une réduction de la capacité photosynthétique ce qui affectera par la suite la production de la biomasse (Al-Busaidi et *al.*, 2009). En présence de la salinité, le nombre de feuilles, la longueur des tiges, des jeunes feuilles et des feuilles mûres diminuent simultanément (Yilmaz et *al.*, 2004 ; Shookampaeng et *al.*, 2007).

3.4. Indice de stress salin (ISS)

L'évaluation de l'indice de stress salin montre qu'en présence ou non de NaCl, ce paramètre varie selon la variété testée (Figure 14). Ces modifications ont donné selon le test de Duncan au seuil de 5% trois groupes dont chacun est représenté par l'une des variétés testées.

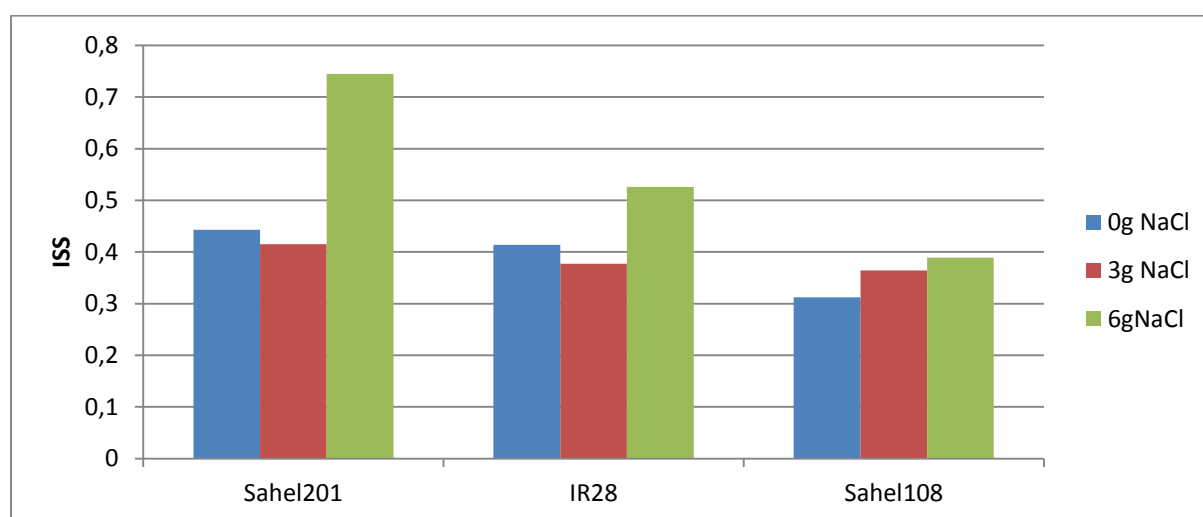


Figure14 : Évaluation de l'Indice de stress salin ISS en fonction de doses de NaCl dans les solutions nutritives

Lorsque la dose appliquée est de 3 g/l NaCl le changement d'ISS n'est pas important comparativement au témoin, alors que pour le stress sévère (6g/l NaCl), on a enregistré des pourcentage d'augmentation de l'ordre de 68,17%, 27% et 24,67% respectivement pour Sahel 201, IR28 et Sahel 108 en comparaison aux témoins respectifs (Figure 14). L'élévation de l'ISS en fonction de la dose de NaCl montre une chute remarquable de la longueur aérienne des plantes par rapport à la longueur racinaire. Des résultats comparables ont été signalés par Benderradji (2010) chez le blé (*Triticum aestivum* L.). Ben Khaled et *al.* (2003) chez des plantules de trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) ont mentionné que la croissance n'a été

affectée qu'à partir de 4 g/L de NaCl, alors que la croissance pondérale de la partie aérienne a été réduite de 20% à 4 g/L et de 44% à 6 g/L.

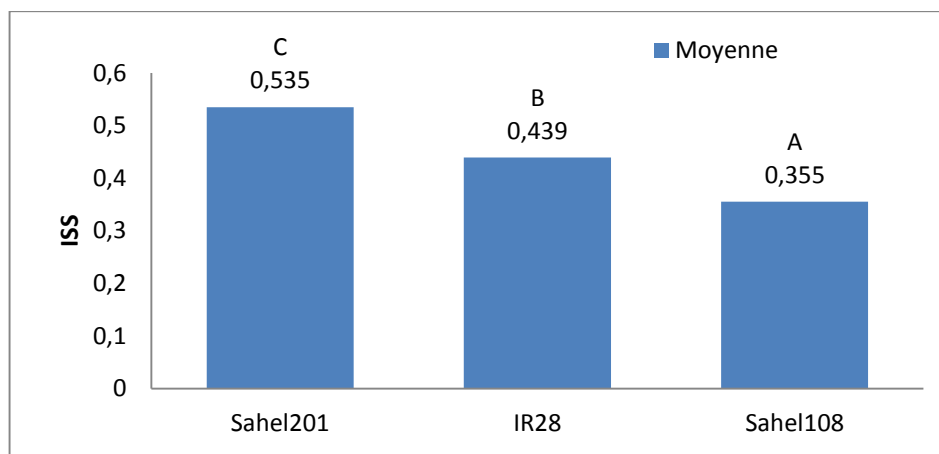


Figure 15 : Classement des moyennes relatives à l'indice de stress salin des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%

3.5. Effets de NaCl sur la teneur radiculaire en éléments minéraux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Cl^-) dans les racines

L'évaluation de la teneur en éléments minéraux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Cl^-) montre une grande diversité de réponse au niveau de différents traitements salins au sein des variétés de riz étudiées d'une part et des éléments testés d'autre part. En effet les teneurs en K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} dans les racines des plantules ont enregistré des diminutions significatives avec l'augmentation de la salinité dans le milieu nutritif. Par contre Cl^- s'accumule d'une manière spectaculaire dans les racines chez toutes les variétés en fonction de l'augmentation de NaCl (Tableau 9). L'analyse de la variance a montré que l'interaction traitement (NaCl) x variété n'est pas significative au seuil de 5% selon le test de Duncan bien que l'effet du traitement pris à part paraît hautement significatif ($P < 0.001$) pour tous les éléments minéraux testés quelque soit la variété.

La teneur de Ca^{2+} à la dose 3g de NaCl a enregistré une chute de 27,6% et 20,6% chez les variétés Sahel108 et Sahel 201 en comparaison avec les témoins respectifs. Alors que chez les plantes exposées à la solution enrichie jusqu'à 6 g/L de NaCl les réductions de la teneur de Ca^{2+} ont atteint 38, 2 %, 32,4% et 29,4 % chez les variétés Sahel 201, Sahel 108 et IR28 respectivement. Pour Mg^{2+} la dose 6g/L a enregistré des pourcentages de diminutions de l'ordre de 68%, 63% et 44,5% respectivement pour Sahel 201, IR28, Sahel 108 en comparaison aux témoins respectifs. Cependant le K^+ a subi une réduction chez toutes les

variétés en fonction de l'augmentation de concentration de NaCl. Ces diminutions ont atteint 11%, 22% et 37,6 % respectivement chez les variétés Sahel 108, IR28 et Sahel 201 et ceci à la dose 3g/L de NaCl en comparaison avec leurs témoins. Alors que à la dose 6g/L Sahel 201 a enregistré la diminution maximale observée qui est de l'ordre de 44,6%.

Les résultats enregistrés pour les variations de Cl^- au niveau radiculaire (Tableau 9) montrent que la concentration de cet ion a 3 fois et 4 fois doublé en comparaison avec le témoin respectivement à la dose 3 et 6g/L de NaCl chez la variété Sahel 108. Alors que chez IR28 ces augmentations ont été de l'ordre de 4 et 5 fois plus que le témoin de même chez Sahel 201 elles sont de l'ordre de 5 et 6 fois en comparaison au témoin.

Tableau 9 : variation des paramètres de la teneur en éléments minéraux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Cl^-) chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.

Variété	NaCl (g/l)	Ca^{2+} en ppm	Mg^{2+} ppm	K^+ ppm	Cl^- ppm
Sahel 108	0	1333,33	8,33	90	166,6
	3	966,6	4,16	80	450
	6	900	2,66	61,66	666,6
IR28	0	1133,33	9,16	96,66	133,33
	3	900	4,33	75	633,3
	6	800	3,33	68,33	700
Sahel 201	0	1133,33	6	93,33	133,33
	3	900	4,33	58,33	600
	6	700	3,33	51,66	800

Ces résultats dénotent aussi que la concentration en Mg^{++} paraît la plus affectée par le NaCl car les fortes diminutions accompagnent l'augmentation de la salinité (NaCl) au niveau de la solution nutritive ce qui affecte probablement l'activité photosynthétique vu l'importance de cet élément minéral pour la constitution des chlorophylles.

Les résultats trouvés sont corroborés par ceux de Munns, (2005) qui signalent que les plantes modifient la composition de leur sève en accumulant les ions Na^+ et Cl^- pour ajuster le potentiel hydrique des tissus, car, l'ajustement de ce dernier est indispensable pour la croissance. Cette accumulation doit être compatible avec une tolérance métabolique de la concentration résultante ou avec une compartimentation entre les divers composants de la cellule. De même Chartzoulakis et Klapaki (2000) soulignent que l'augmentation de la concentration de ions Na^+ et Cl^- dans le milieu affecte négativement le stade de développement des plantes.

D'autre part, Zid et Grignon (1991) mentionnent que le chlorure du sodium est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels (Potassium, Calcium), soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire, de même Bouaouina et al, (2000) en travaillant sur le blé dur (*Triticum turgidum L.*) ont constaté que le NaCl limite l'accumulation de K^+ et Ca^{2+} au niveau des organes de la plante.

3.6 Effets de NaCl sur la teneur en pigments chlorophylliens

L'analyse de la variance a montré que l'effet du traitement (NaCl) est hautement significatif ($P < 0.001$) pour les pigments chlorophylliens quelque soit la variété, en effet les résultats portés sur la figure16 montrent l'influence négative des traitements salins sur la teneur en chlorophylle totale. Toutes les variétés testées avaient diminué d'une manière significative leurs teneurs chlorophylliennes en fonction de la concentration de NaCl. Les plus fortes réductions étaient autour de 38,2 et 53 % affichées respectivement au niveau des concentrations salines 3g/l et 6g/l pour la variété IR 28.

Les teneurs en chlorophylle *a*, ont diminué d'une manière significative avec l'augmentation de la concentration du NaCl chez toutes les variétés montrant une diversité de réponse au stress salin existant entre les variétés d'une part et entre les traitements salins d'autre part. En absence du NaCl dans la solution nutritive les variétés Sahel 108 et Sahel 201 disposent d'une teneur en Chlorophylle *a* plus importante par rapport au IR28. Cependant la présence de NaCl par une concentration 3g/l au niveau de la solution nutritive a provoqué des réductions de chlorophylle *a* de l'ordre de 27,9%, 38,7% et 65% respectivement pour Sahel 201, Sahel 108 et IR28 en comparaison aux témoins. On signale qu'en présence de 6g/l

de NaCl la variété IR 28 avait confronté la contrainte saline par une importante diminution (91%) de chlorophylle *a* (Figure 16). Cependant, les variétés Sahel 201 et IR 28 n'avaient pas accusé de réduction significative de leurs chlorophylles *b* alors que Sahel 108 a réduit ce paramètre de 30,2% et 20,9 % respectivement à 3g/l et 6g/l de NaCl. D'autre part, le classement des moyennes en teneur des pigments chlorophylliens totaux par le test de Duncan au seuil de 5% (Figure 17, page 69), a classé les variétés en 2 groupes. Le premier groupe (a) est représenté par IR28 et Sahel201 qui présentent les teneurs moyennes respectives de 0,33 et 0,67mg/g de MF. Alors que le groupe (B) est représenté par Sahel 108 qui présente 1,22 et 67mg/g de MF.

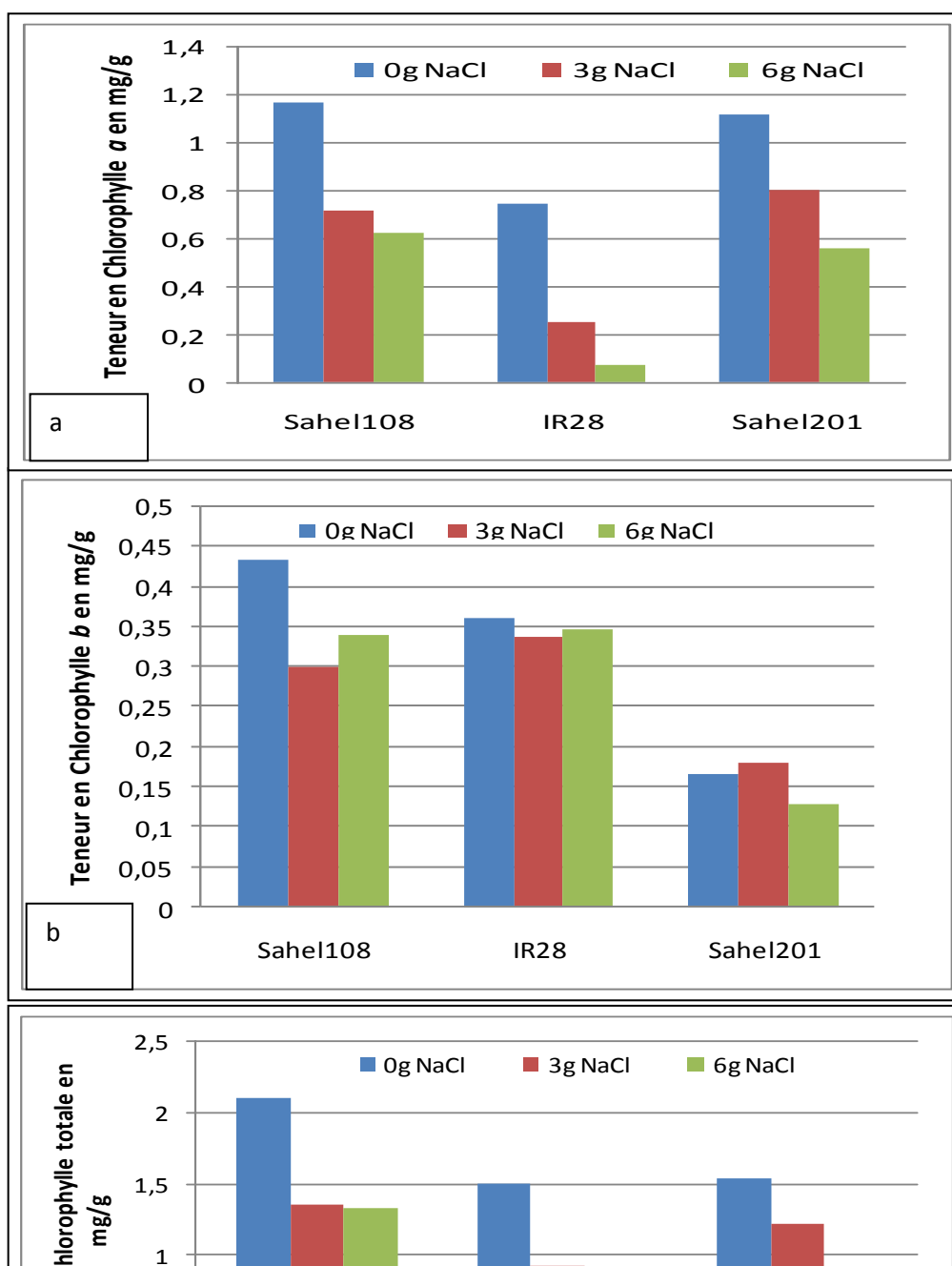
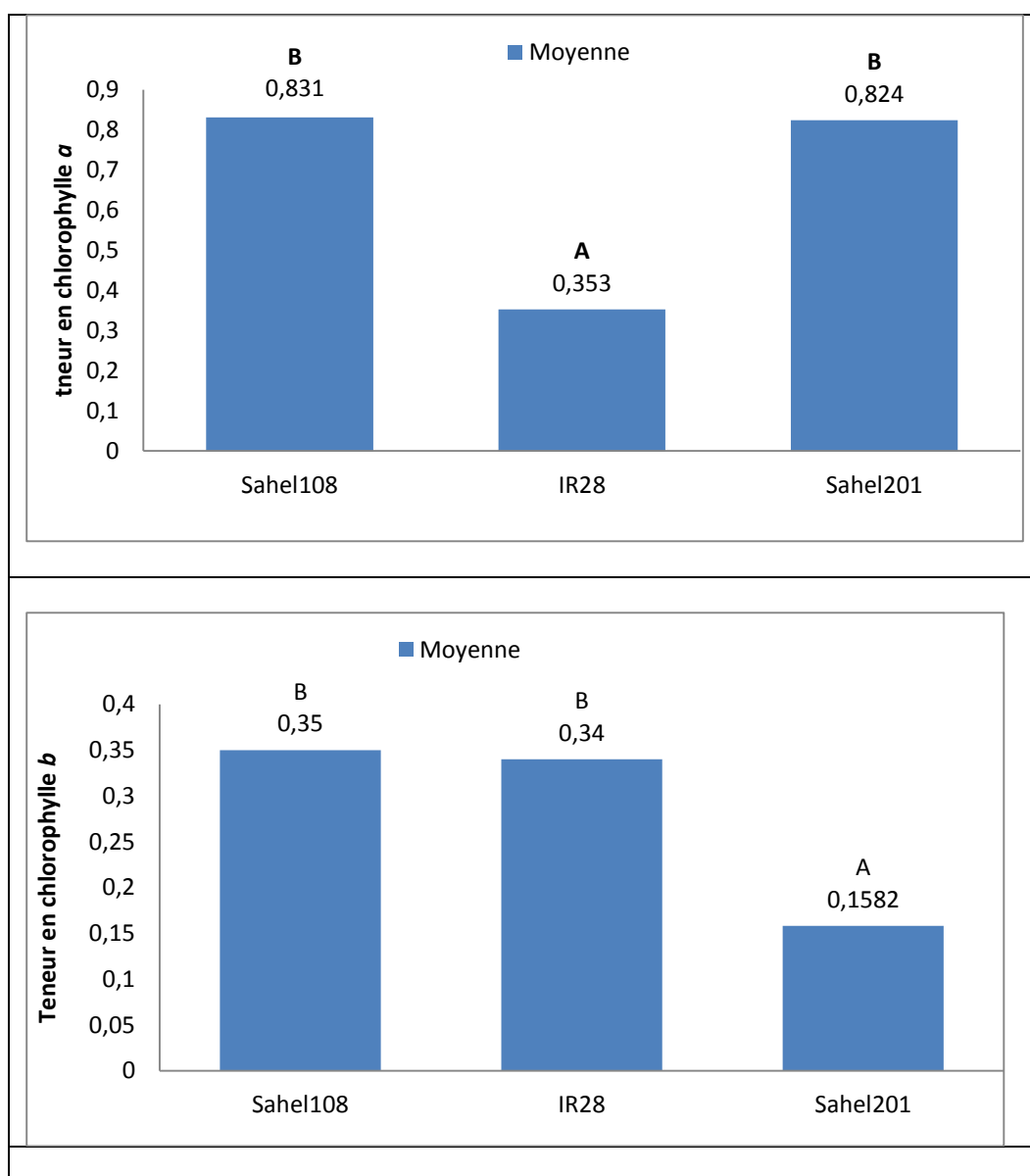


Figure 16: Évaluation de teneur chlorophylle *a*(a), chlorophylle *b*(b) et en chlorophylle totale (t), en



fonction de doses de NaCl dans les solutions nutritives.

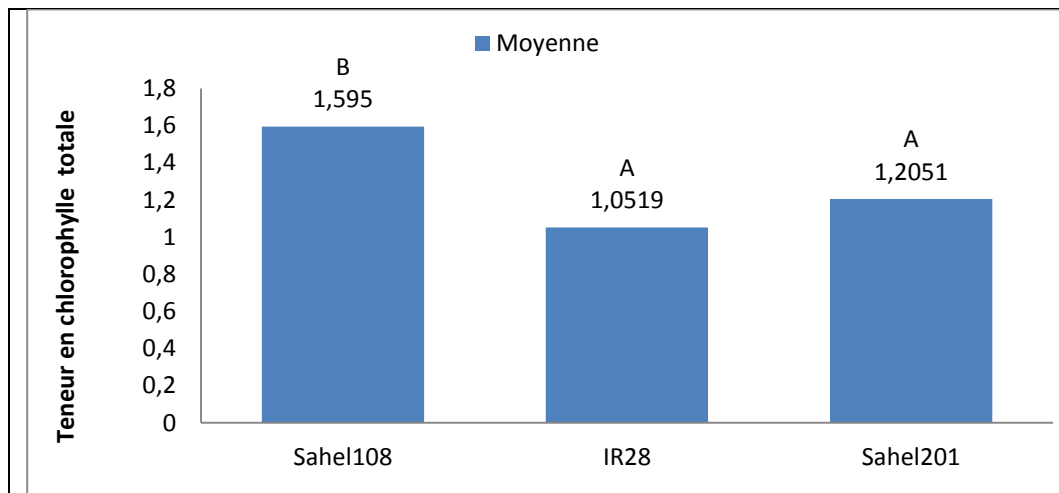


Figure 17 : Classement des moyennes relatives aux teneurs en pigments chlorophylliens des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

Ces constations sont en accord avec les résultats de El Housseine et *al.* (1998) qui ont obtenu une diminution de pigments chlorophylliens suite à un stress salin chez trois variétés de blé et de Shaheena et *al.*, (2005) qui ont noté une diminution des concentrations des chlorophylles au niveau des feuilles de moutarde cultivée sous condition de stress salin. Par contre, Wang et Nil (2000) ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus sp.*, cependant plusieurs auteurs (Tort et Turkyilmaz, 2004 ; Misra et *al.*, 2006; Murillo-Amador et *al.*, 2006 ; Taffouo et *al.*, 2010 et Mohameden et *al.* 2012), avaient montré que la salinité réduit substantiellement la teneur en pigments photosynthétiques chez plusieurs espèces végétales.

3.7. Effets de NaCl sur la teneur foliaire en protéines solubles :

Les résultats portés sur la figure18 montrent que la présence du chlorure de sodium dans la solution nutritive a entraîné des baisses significatives ($P=0,023$) des contenus foliaires en protéines solubles chez toutes les variétés étudiées. Suite à l'application d'une dose de 6g/L de NaCl, les Sahel 108 et Sahel 201 ont enregistré des diminutions de 45% et 35% respectivement et ceci en comparaison avec leurs témoins.

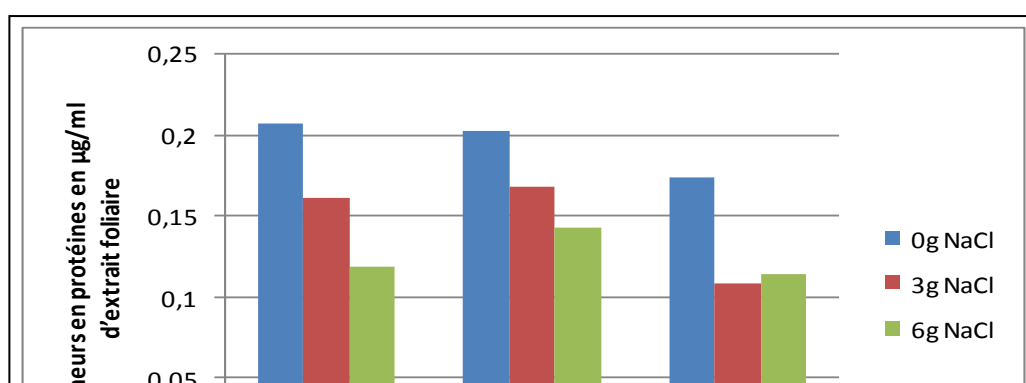


Figure 18 : Évaluation de la teneur en protéines solubles en fonction de doses de NaCl dans les solutions nutritives

Ces résultats s'accordent avec ceux de Manaa et *al.* (2011), qui ont rapporté que chez le cultivar de tomate Roma (moyennement tolérant), le stress salin a induit une réduction significative de la teneur en protéines. De même, Malik et *al.* (2010), ont constaté que des concentrations graduelles de NaCl ont provoqué des réductions significatives de la teneur en protéines solubles chez des cultivars de concombre tolérants et d'autres sensibles. De même Ashraf et Tufail (1995) avaient prouvé que les accessions de tournesol tolérantes et sensibles au sel ne diffèrent pas significativement par rapport à leurs teneurs en protéines foliaires, d'ailleurs plusieurs auteurs s'accordent sur la diminution de la teneur en protéines solubles, en réponse à la salinité en effet chez les mangroves, la teneur en protéines foliaires diminue en réponse à la salinité (Parida et *al.*, 2002). Des résultats controversés mentionnant que les protéines solubles s'accumulent chez des cultivars d'orge, de tournesol, de mil et de riz tolérants à la salinité sont signalés par Parvaiz et Satiwati, (2008).

3.8 Effets de NaCl sur la teneur foliaire et racinaire en proline

L'étude de la variation de la teneur en proline dans les conditions de salinité montre qu'en présence de 3g/l de NaCl, les feuilles des plantules de riz accumulent d'une manière significative, des quantités de proline variant entre 16,03 pour Sahel 108 et 148,86 µg/ml pour IR 28 (figure 19 a), alors que la variation de l'accumulation de la proline au niveau des racines des plantules de riz soumises à la même concentration (3 g/l) n'a été que de 2,84 chez Sahel 201 et 3,34 µg/ml chez Sahel 108 (Figure19 b). Lorsque le stress est plus accentué (6g/l NaCl), toutes les accessions étudiées ont montré une augmentation significative de leurs teneurs en proline, à l'exception de IR28 qui a enregistré une teneur en proline foliaire

légèrement plus faible par rapport au stress modéré. En effet, cette augmentation était de 76,5% et 92% respectivement chez les variétés Sahel 201 et Sahel 108. L'analyse de variance à un facteur a confirmé cette tendance ($F = 27,6$ pour la proline radiculaire, et $F = 36753,8$ pour la proline foliaire). Ainsi, à la concentration 6 g/l de NaCl les variétés testées sont nettement individualisées par rapport à leur teneur en proline foliaire.

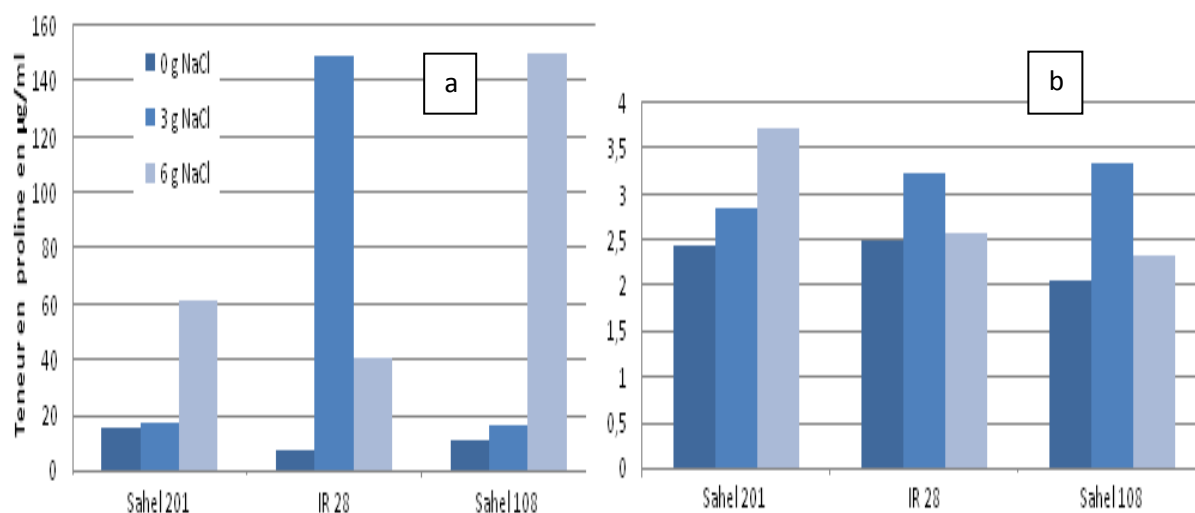


Figure 19 : variations de la teneur en proline foliaire (a) et radiculaire (b) chez les variétés de riz en fonction de doses de NaCl appliquées.

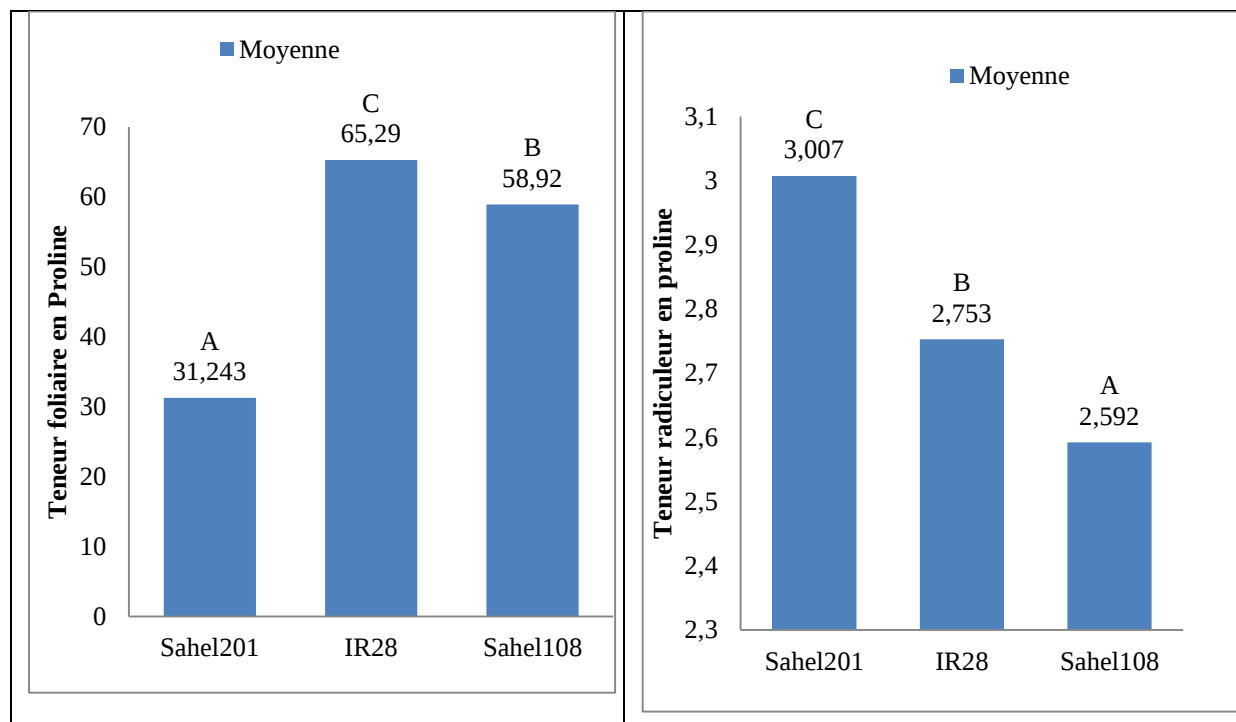


Figure 20 : Classement des moyennes relatives aux teneurs en Proline foliaire et racinaire des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

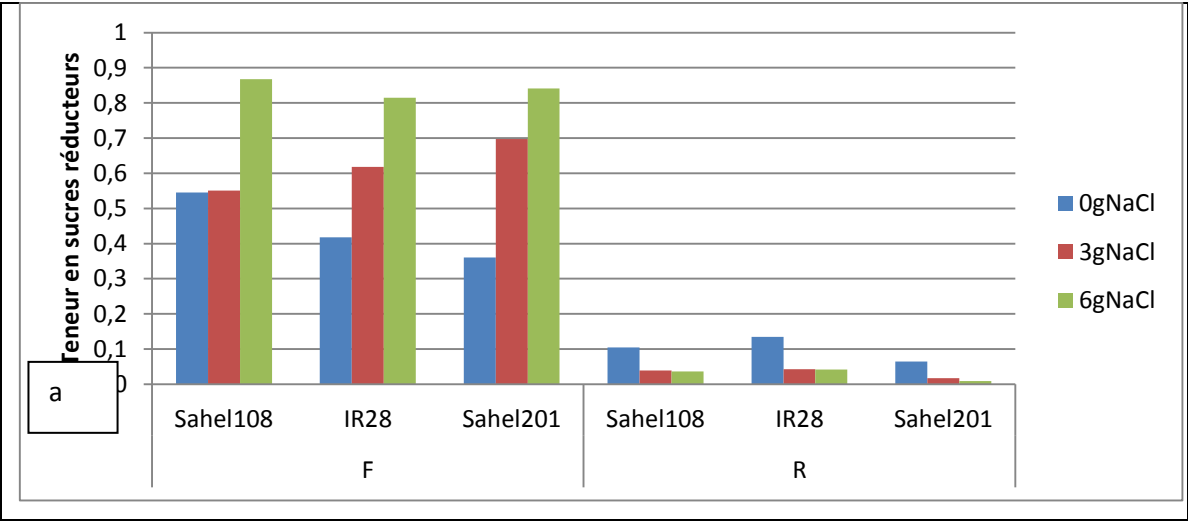
Ces résultats montrent que la présence de NaCl dans les solutions nutritives induit une augmentation de la proline foliaire. Cette accumulation de la proline dans les plantes prouve, une aptitude de tolérance à la salinité chez le riz. Ces constatations sont en accord avec les résultats de De-Lacerda et *al*, 2001 qui ont souligné que l'exposition de deux génotypes de sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) l'un sensible et l'autre tolérant à 100 mM de NaCl, provoque une augmentation de la concentration de la proline au niveau de toutes les parties des plantes et plus particulièrement au niveau foliaire.

Hassani et *al.*, (2008) ont trouvé une accumulation de la proline comme une réponse au stress salin chez l'orge. La proline en particulier, s'accumule chez la plupart des espèces de plantes supérieures exposées au stress salin (Abraham et *al.*, 2003). Ketchum et *al.*, (1991) ont souligné que l'accumulation dans le cytosol joue un rôle majeur dans l'ajustement osmotique du cytoplasme, car elle est osmotiquement très active et contribue également à la stabilité de la membrane plasmique en atténuant l'effet du NaCl (Mansour, 1998). Chez les céréales et notamment le blé dur, Carillo et *al.* (2008) avaient rapporté que la proline contribue à plus de

39% dans l'ajustement osmotique du cytoplasme des cellules des feuilles âgées des plantules soumises à des concentrations croissantes de NaCl.

3.9 Effets de NaCl sur la teneur foliaire et racinaire en sucres

L'évaluation de la teneur en sucres montre d'une manière générale que toutes les variétés avaient confronté l'application de la salinité par une accumulation des teneurs en sucres solubles totaux dans leurs feuilles à l'exception de la variété Sahel 201 dont la teneur foliaire en sucres non réducteurs a été réduite. Alors qu'au niveau racinaire la teneur en sucres solubles a été réduite en fonction de l'augmentation de la concentration de NaCl dans le milieu de culture à l'exception de IR28 à la dose 6g NaCl/l qui a enregistré une légère augmentation de sa teneur en sucres non réducteurs (Figure 21 b, page 75). Des résultats similaires ont été rapportés chez le riz par Nemati et *al.* (2011). Ces auteurs avaient constaté que des concentrations de NaCl variant entre 0 et 100 mM, étaient suffisantes pour induire des augmentations significatives de sucres solubles dans les feuilles des plantules des deux cultivars IR651 et IR29. Chez le fraisier, Rahimi et Biglarifard, (2011) avaient montré qu'une concentration de 90 mM de NaCl a provoqué une augmentation significative de sucres solubles chez le cultivar « Camarosa ». Cependant, les concentrations salines de 30 et 60 mM n'avaient pas eu un effet significatif sur la teneur en sucres solubles. Dans ce même contexte, Alizadeh et *al.* (2010), avaient également mentionné que les quantités de sucres solubles accumulées en réponse au stress étaient plus importantes chez des porte-greffes de vigne tolérants que chez des cultivars sensibles. Chez l'orge, Hassani et *al.* (2008), avaient signalé une forte accumulation de sucres solubles dans les feuilles des plantes de deux cultivars de la même espèce, recevant une salinité égale ou supérieure à 150 mM de NaCl. D'autres auteurs avaient révélé que les sucres solubles s'accumulent en réponse à la contrainte saline chez plusieurs espèces telles que le sorgho (Almodares et *al.*, 2007), la tomate (Shookhampeang et *al.*, 2008 ; Khelil et *al.*, 2007) et l'aubergine (Abbas et *al.*, 2010).



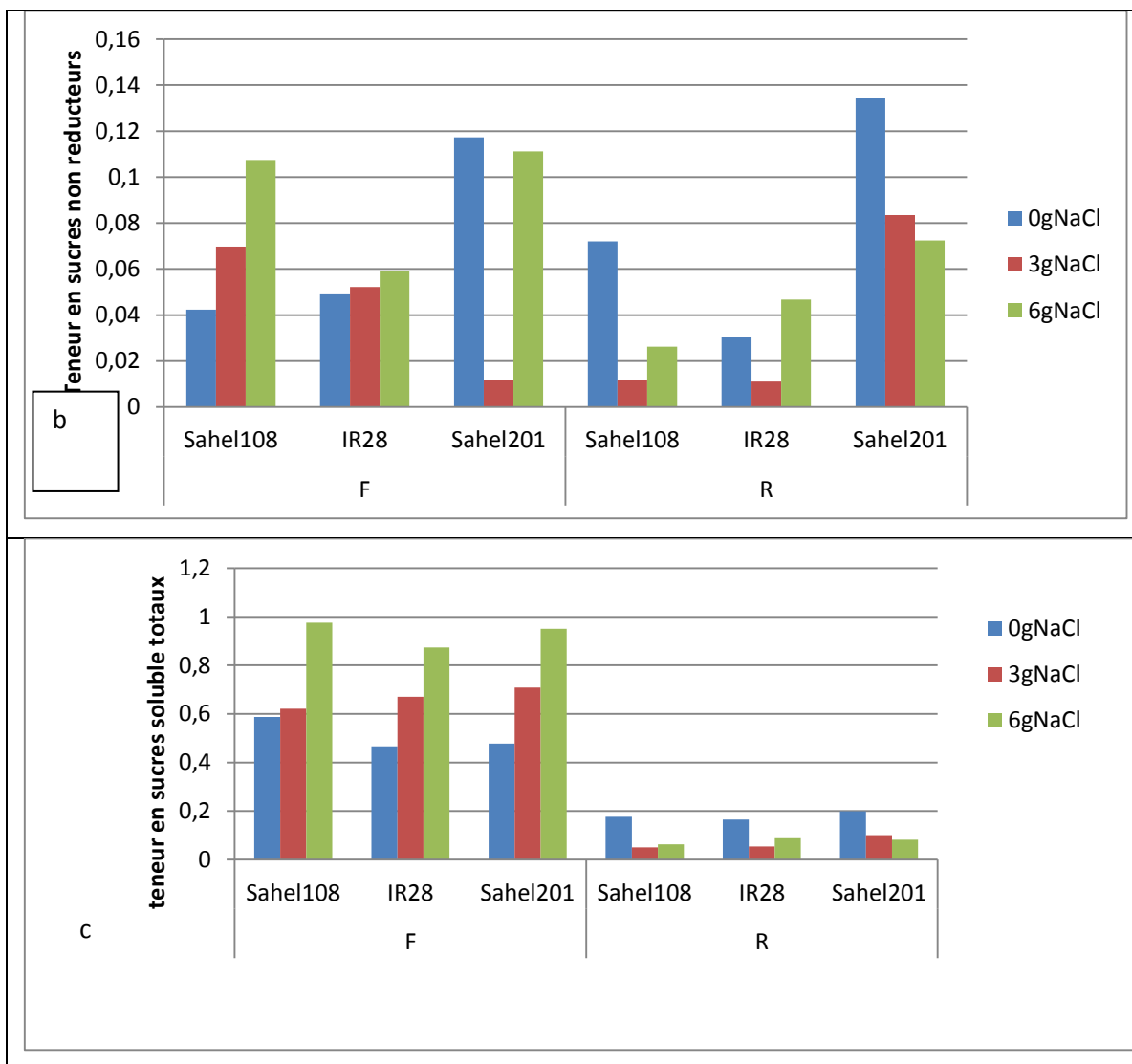


Figure 21 : variations de la teneur foliaire et racinaire en Sucres réducteurs (a), non réducteurs (b) et totaux (c) chez les variétés de riz en fonction de doses de NaCl appliquée.

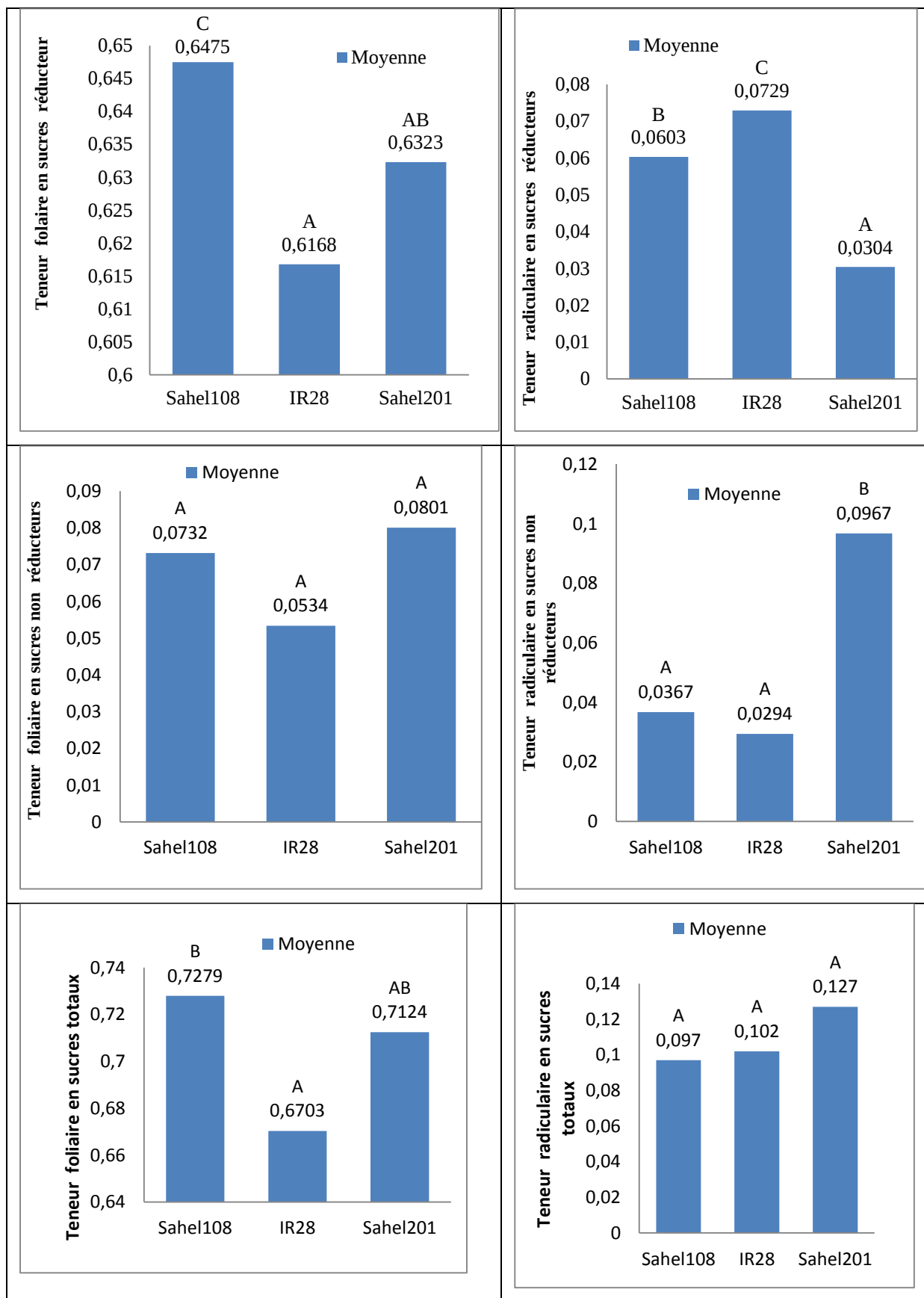


Figure 22 : Classement des moyennes relatives aux teneurs en sucres foliaires et radiculaires des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

3.10 Analyse de la variance

L'analyse de variance à deux facteurs (effet variété et traitement) présentée dans le tableau 10 montre un effet hautement significatif pour plusieurs des paramètres étudiés au stade trois feuilles en hydroponique.

Tableau10 : Analyse de variance à facteurs (effet variété et traitement) des différents paramètres étudiés

paramètres	Type III somme des carrés	Carré moyen	F	Sig.
Longueur de partie aérienne	11,370	2,843	,372	,825
Longueur de partie racinaire	41,111	10,278	5,415	,005
Indice de stress salin	,081	,020	3,324	,033
Poids de partie aérienne	,005	,001	1,722	,189
Poids de partie racinaire	,006	,002	1,119	,379
Pourcentage de germination	405,556	101,389	9,125	,000
Teneur en pigments chlorophylliens a	,038	,010	,382	,818
Teneur en pigments chlorophylliens b	,019	,005	,462	,763
Teneur en pigments chlorophylliens totale	,155	,039	1,143	,368
Teneur en protéines foliaires soluble	,002	,001	,226	,920
Teneur en Ca ⁺⁺ racinaire	2,815	,704	,241	,912
Teneur en Mg ⁺⁺	12,093	3,023	1,227	,334
Teneur en K ⁺	522,222	130,556	9,400	,000
Teneur en Cl ⁻	5,481	1,370	1,663	,202
Teneur en Proline foliaires	49484,699	12371,17	825,314	,000
Teneur en Proline racinaire	3,368	,842	64,504	,000
Teneur en sucres réducteurs foliaires	,084	,021	18,819	,000
Teneur en sucres réducteurs racinaires	,002	,000	8,313	,001
Teneur en sucres non réducteurs foliaires	,017	,004	1,278	,315
Teneur en sucres non réducteurs	,005	,001	1,117	,379
Teneur en sucres totaux foliaires	,039	,010	3,831	,020
Teneur en sucres totaux racinaires	,003	,001	,659	,629

Chapitre 4: Effets de NaCl sur la croissance et le rendement de quatre variétés de riz (*Oryza sativa* L.) cultivées en plein champ

4.1. Introduction

Le riz (*Oryza sativa* L.) est la culture céréalière la plus importante dans le monde en développement et il constitue la denrée alimentaire de base de plus de la moitié de la population du globe (Juliano, 1994). En Asie et en Afrique, le riz constitue la principale source de calories pour les populations rurales et urbaines (Sasaki et Burr, 2000). Cependant le développement de cette culture est confronté à plusieurs problèmes dont notamment la salinité des terres et des eaux d'irrigation. En Mauritanie, la sécheresse des années 70, en faisant périlcliter l'agriculture traditionnelle, a favorisé l'émergence d'une agriculture irriguée avec un accent particulier sur la riziculture dans les régions de la rive droite du fleuve Sénégal. Le rendement national en paddy a évolué de 70 mille tonnes au cours des années 90 à 103, 9 mille tonnes en 2013 (ONS, 2014) vu les encouragements de l'état mauritanien pour cette spéculation vitale.

Bien qu'une amélioration nette dans les conditions des aménagements hydro agricoles particulièrement ceux qui touchent la riziculture, plusieurs contraintes ont vu le jour telle que l'abandon des parcelles rizicoles suite à une salinisation qui est signalée comme étant un défi qui prend de l'ampleur du jour au jour (Rapport annuel de l'ADRAO, 1999). Chez les céréales, la résistance à la présence de sel, tel le chlorure de sodium, est une qualité recherchée, afin d'élargir la culture aux régions difficiles. Chez ce groupe de plantes, l'effet dépressif des sels se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Kingsbury et *al.* 1984). Une concentration élevée de sel dans le sol est un facteur principal qui limite le rendement des cultures agricoles (Munns et Tester, 2008). Selon Katerji et *al.* (2006) l'effet du sel se traduit généralement par une réduction de la croissance en hauteur. Pour les céréales, l'effet majeur de la salinité sur la partie aérienne se traduit par une réduction du nombre de talles et de feuilles (El-Hendawy et *al.*, 2005). Parida et Das, (2005) ont montré que la salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité. Houshmand et *al.* (2005) ont signalé que tous les paramètres de rendement chez le blé dur subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

L'objectif de ce travail est d'explorer l'effet de la salinité sur la croissance et le rendement de quatre variétés de riz cultivées en Mauritanie afin de dégager la ou les variétés le mieux adaptée aux conditions salines.

4.2. Effet de NaCl sur la Teneur Relative en Eau foliaire (TREf) et radiculaire (TREr)

Les résultats portés sur la figure 23 montrent que les Teneurs Relatives en Eau foliaire (TREf) et radiculaire (TREr) ont diminué relativement en fonction de l'augmentation de concentration du NaCl dans l'eau d'irrigation chez toutes les variétés étudiées à l'exception de Sahel 201 à la dose 2 g/L de NaCl où la teneur relative en eau foliaire enregistrée est supérieure à celle du témoin.

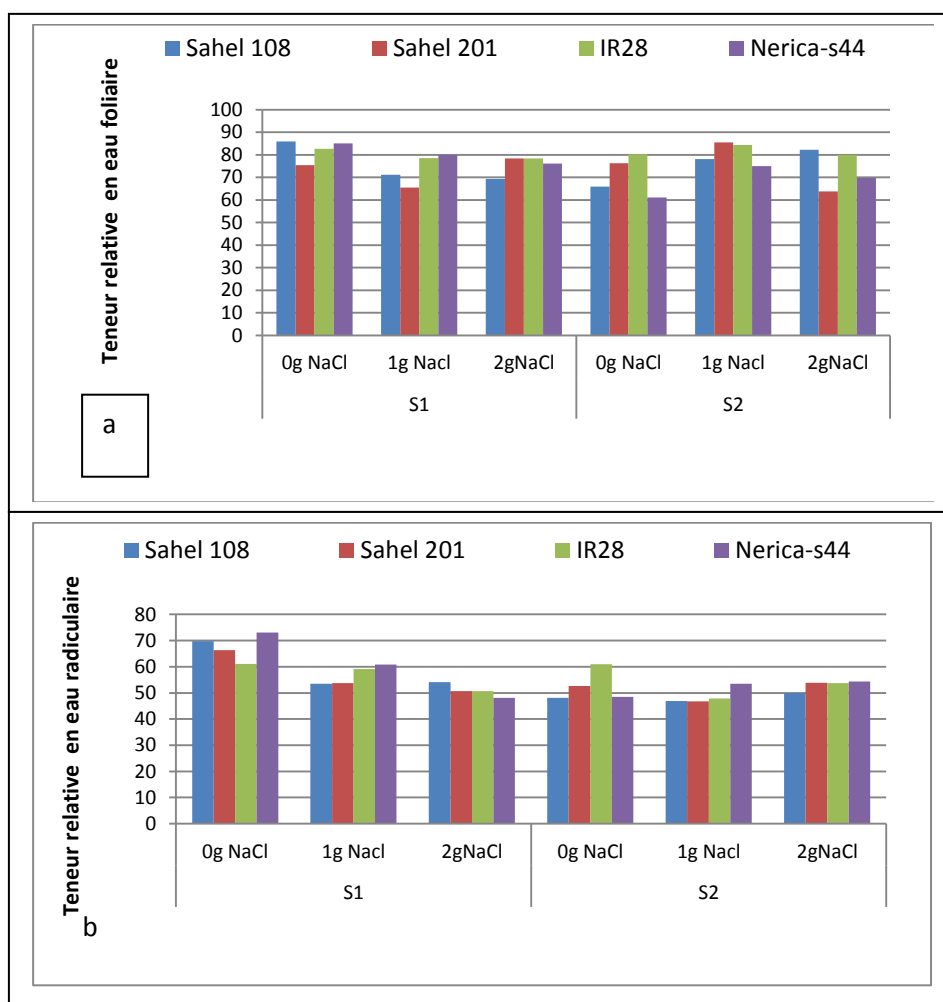


Figure 23 : Effet de la concentration de NaCl sur la Teneur relative en eau foliaire (A) et radiculaire (B) au stade végétatif(S1) et stade reproductif(S2) des plantes.

D'autre part, la comparaison des moyennes de teneur relative en eau foliaire par le test de Duncan au seuil de 5% (figure 24 a), a classé les variétés en 4 groupes. Les deux premiers groupes (A et AB) sont représentés par Sahel108 et Sahel 201 qui présentent les teneurs moyennes respectives de 72,43 et 74,11. Alors que les groupes (B) et (D) sont représentés par Nerica-S44 et IR28 avec les moyennes respectives de 74,4 et 80. Cependant le classement des moyennes de teneur relative en eau racinaire (Figure 24 b), a subdivisé les variétés en 2 groupes. Le premier groupe (A) est composé de Sahel108 et Sahel 201 avec les moyennes respectives de 53,7 et 53,9. Alors que le groupe (B) est formé de Nerica-S44 et IR28 avec des teneurs moyennes respectives de 56,3 et 57,6.

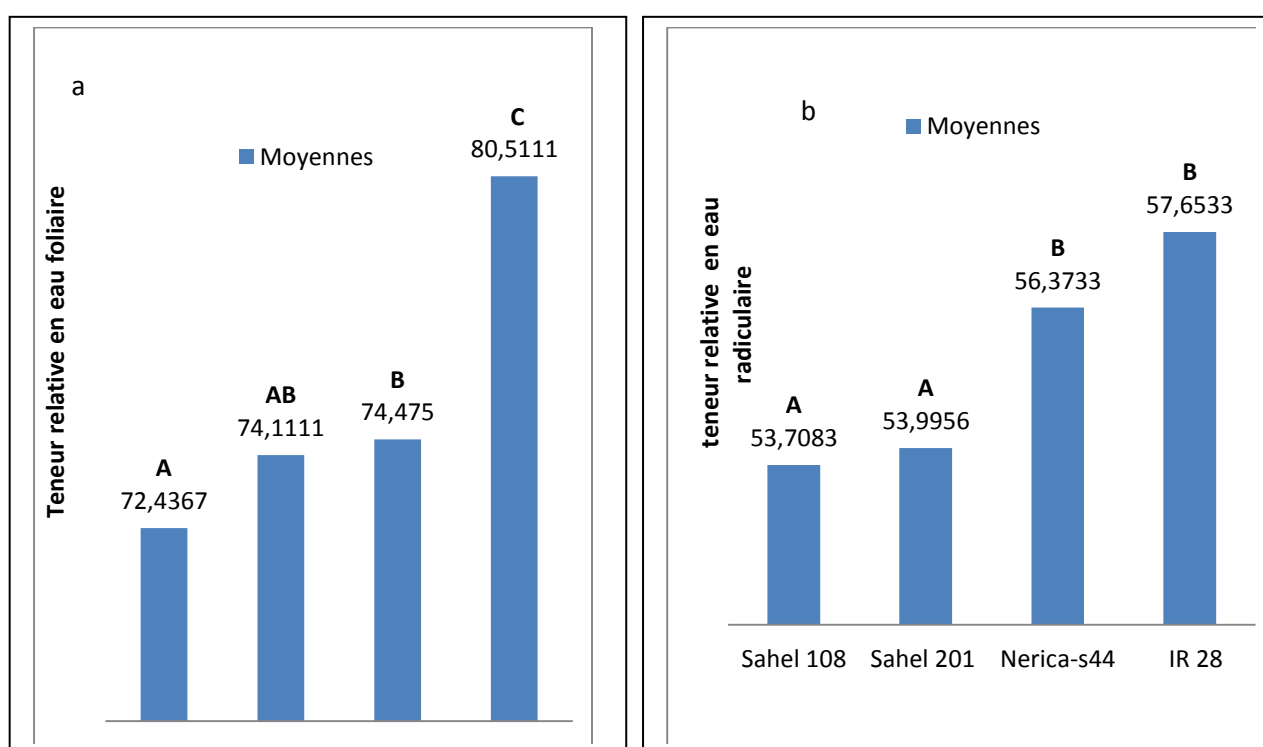


Figure 24 : Classement des moyennes relatives aux teneurs relatives en eau foliaire (a) et racinaire (b) des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

Les résultats montrent d'une manière générale une tendance de diminution du CRE au niveau foliaire et racinaire, cette diminution paraît clairement pour le stade végétatif et surtout chez les plantes irriguées par les eaux enrichies en NaCl jusqu'à 1g/L. Des résultats semblables ont été soulignés par Hassani et *al.* (2008) qui en travaillant sur l'effet de la salinité de l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*) ont prouvé que le Contenu Relatif en Eau (CRE) est un bon indicateur de l'état hydrique chez la plante et qu'il diminue légèrement chez les génotypes menés sous stress salin. D'autres investigations

soulignent que le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romeroaranda et *al.*, 2001 in Parida et Das, 2005). Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu et *al.*, 2002 in Parida et Das, 2005). L'augmentation de la concentration des cations dans le sol réduit l'afflux d'eau dans la racine. Le déficit résultant en eau est similaire à des conditions de sécheresse et, en outre aggravée par la présence d'ions Na⁺ (Bohnert, 2007).

4.3. Paramètres de croissance :

Les résultats de paramètres de croissance montrent que la longueur des parties aériennes diminue avec l'augmentation de la concentration de NaCl. Cet effet est plus remarquable chez les plantes irriguées par la solution à 2g NaCl/L comparées aux plantes témoins (figure 25, A).

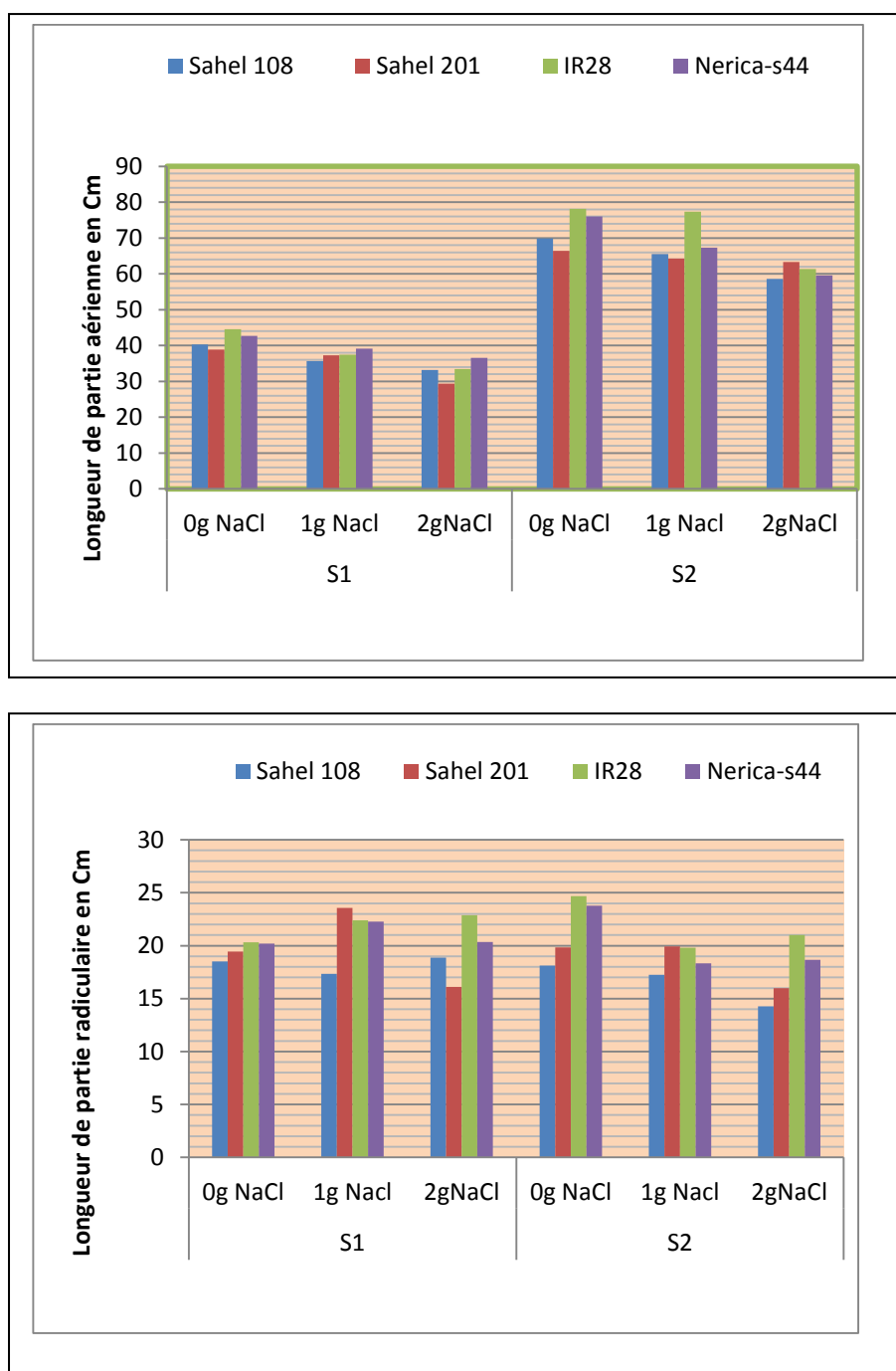


Figure 25 : Variation de la hauteur de la partie aérienne(A) et de la longueur des racines(B) à différentes doses de NaCl au stade végétatif (S1) et stade reproductif(S2) des plantes

En ce qui concerne le poids de la partie aérienne les résultats présentés au niveau de la figure 26(A) montrent une chute de ce poids chez toutes les variétés sauf Sahel 201 à la dose de 1g /L. L'examen du comportement de la partie raculaire vis-à-vis de la salinité montre que l'application d'une dose de 1 g/l NaCl provoque une légère augmentation de la longueur des racines, sauf chez Sahel 108 où on a enregistré une diminution de ses racines. Par contre en présence de la dose 2 g/L de NaCl les accessions ont affiché une diminution des longueurs et poids de leurs racines par rapport au témoin. On signale que la longueur a été plus affectée négativement au stade végétatif de la culture alors que le poids a montré plus de sensibilité surtout au stade reproducteur.

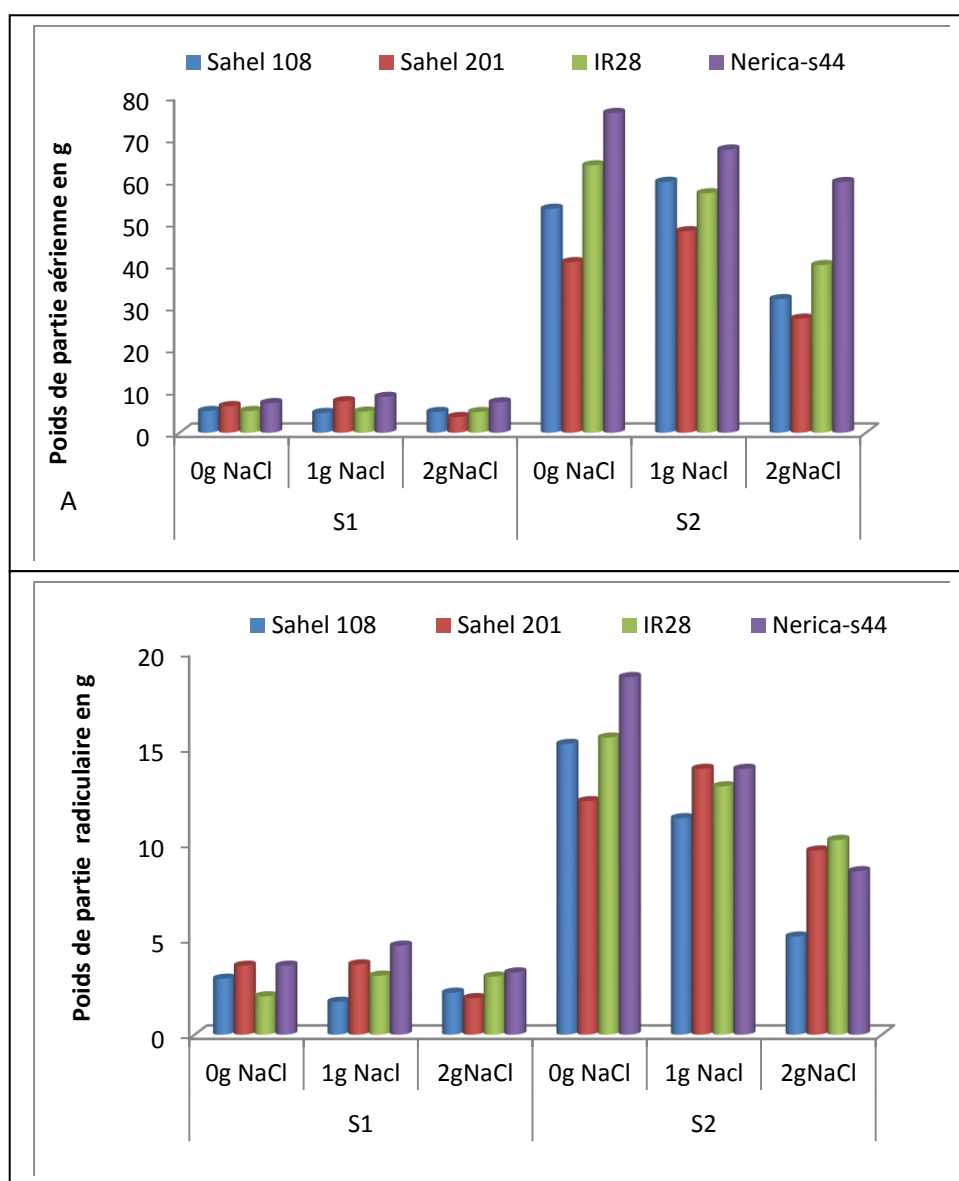


Figure 26 : Variation de poids de partie aérienne(A) et de poids des racines(B) à différentes doses de NaCl au stade végétatif(S1) et stade reproductif(S2) des plantes.

La comparaison des moyennes de la longueur des parties aériennes (Figure 27, a) a permis de classer les variétés testées en trois groupes homogènes. Le groupe (A) est représenté par Sahel 201 et Sahel 108 présentant les longueurs moyennes respectives de 49,9 et 50,5 cm alors que les deux groupes (B et c) sont représentés par les variétés Nerica-S-44 et IR28 présentant les longueurs moyennes respectives de 53,5 et 55,3 cm qui étaient les plus élevées.

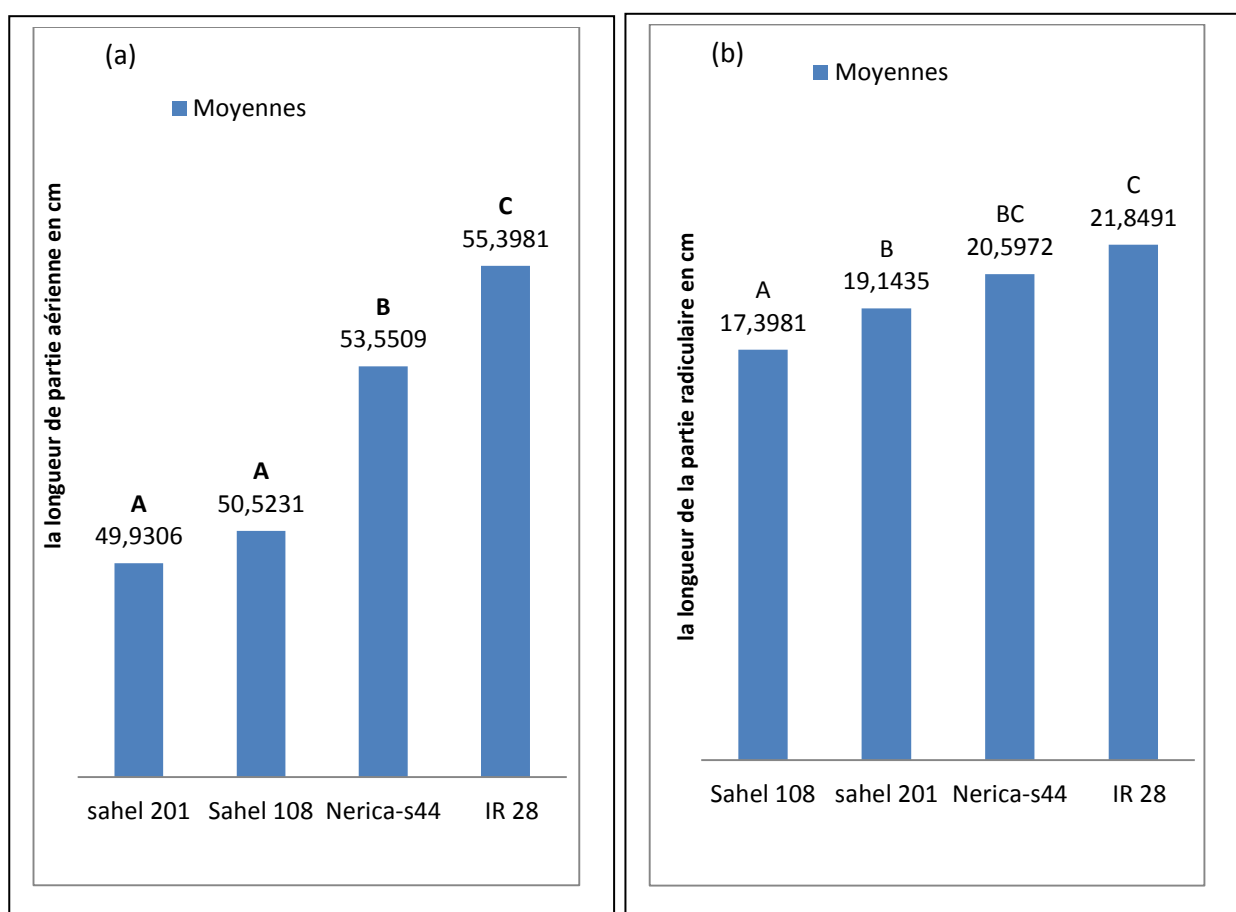


Figure 27 : Classement des moyennes relatives de la longueur de la partie aérienne(a) et de la partie racinaire (b) des variétés de riz selon le test de Duncan.

Par ailleurs la comparaison des moyennes de longueur de la partie racinaire a ordonné les variétés en quatre groupes homogènes où, les deux premiers (A et B) sont représentés respectivement par Sahel 108 et Sahel 201 qui présentent les moyennes respectives de 17,3 et 19,1cm tandis que les deux derniers groupes (BC et C) sont représentés par Nerica-S-44 et IR28 dont les longueurs moyennes respectives étaient de 20,5 et 21,8 cm (Figure 27, b). La

même tendance a été enregistrée pour les poids des parties aérienne et radiculaire (Figure 28). Ces résultats montrent que Sahel108 semble la plus affectée par les conditions salines.

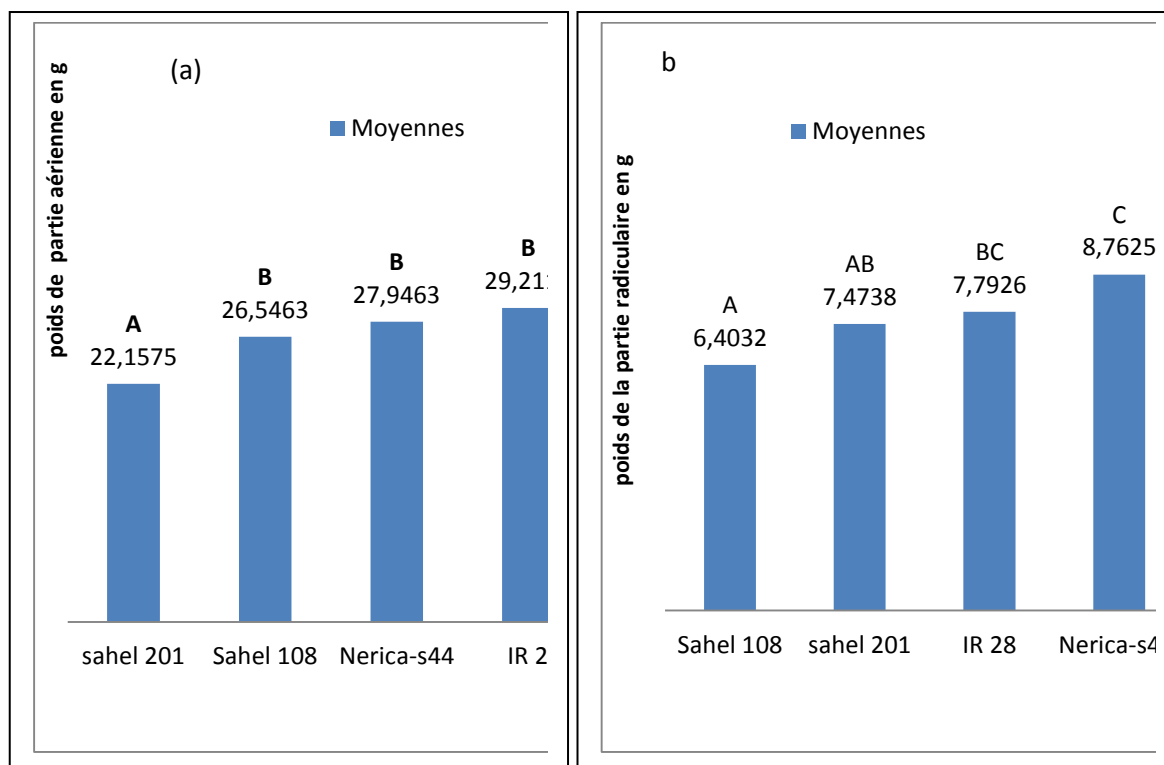


Figure 28 : Classement des moyennes relatives au poids des parties aérienne (a) et radiculaire (b) des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%

Les effets néfastes de NaCl se manifestent au niveau de la plante entière, mais également ils sont plus perceptibles sur les feuilles. L'excès des ions Na^+ et Cl^- dans les tissus foliaires perturbe l'ensemble des processus physiologiques de la plante et induit par conséquent une restriction de la croissance des parties aériennes et celle des racines. En plus des symptômes visuels tels que le jaunissement, les brûlures etc., la morphologie des feuilles subit des modifications relatives à l'intensité du stress dans le milieu. Selon Alam et al. (2004), la réduction de la hauteur des plantes exposées aux stress salins, pourrait être liée à la diminution de l'intensité photosynthétique, ce qui va réduire la synthèse des glucides indispensables à la croissance d'une part, et d'autre part, il est possible que la salinité réduise la croissance des feuilles et des racines en diminuant la turgescence cellulaire dans les tissus, ce qui aboutira par conséquent à une baisse remarquable du potentiel hydrique dans le milieu.

Enfin, il est possible que la salinité induise un déséquilibre des réserves minérales par excès ou par déficit suite aux variations des concentrations des ions Na^+ et Cl^- dans le milieu, ce qui affecte directement la croissance des plantes. Blumwald, (2000) suggère que l'inaptitude de la plante à compartimenter les ions Na^+ et Cl^- dans ces vacuoles, la contraint de les compartimenter au niveau du cytoplasme, ce qui pourra inhiber par conséquent les réactions enzymatiques du métabolisme cellulaire et provoque par la suite, un dessèchement des feuilles consécutif à une perte d'eau cellulaire et à une réduction générale de la croissance.

Selon Bounaqba (1998) la réduction de la croissance des organes aériens sous l'effet du sel se traduit par une réduction de la surface foliaire causée par un ralentissement des divisions cellulaires et une diminution de l'extension foliaire. Dans le même ordre d'idées, Dali et *al.*, (1996) ont également montré que la présence de sels dans la solution nutritive affecte considérablement le niveau foliaire et la biomasse; ce qui se manifeste par une réduction de la surface foliaire, une chute des feuilles et une diminution des poids frais et sec des feuilles. Yilmaz et *al.*, (2004) ; Shookampaeng et *al.*, (2007) ont souligné qu' en présence de la salinité, le nombre de feuilles, la longueur des tiges, des jeunes feuilles et des feuilles mûres diminuent simultanément.

Ben Khaled et *al.* (2003), chez des plantules de trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) ont mentionné que la croissance pondérale de la partie aérienne a été réduite de 20% à 4 g/L et de 44% à 6 g/L. Selon Katerji et *al.* (2006) l'effet du sel se traduit généralement par une réduction de la croissance en hauteur. Pour les céréales, l'effet majeur de la salinité sur la partie aérienne se traduit par une réduction du nombre de talles et de feuilles (El-Hendawy et *al.*, 2005). Bouaouina et *al.*, (2000) en travaillant sur le blé dur (*Triticum turgidum* L.) ont constaté que le NaCl diminue la croissance de la plante entière et retarde l'émergence des nouvelles feuilles

4.4 Paramètres de rendement

Les résultats portés dans le tableau 13 montrent qu'en absence de la salinité (0 g/l NaCl), les variétés ont un comportement variable en ce qui concerne les paramètres de rendement. En effet, les variétés Nerica-S44 et Sahel 108 ont enregistré des meilleurs résultats en terme de tallage, du nombre de panicule et du poids de mille grains par rapport aux variétés IR 28 et Sahel 201 (Tableau 11) .

Tableau 11 : Variation des paramètres de rendement chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.

Variété	NaCl(g/L)	Nt	Np	Rp/ m ²	Pmg
Sahel 108	0	14,33	12,66	645,11	21,6
	1	11,44	10,88	563,77	18,52
	2	10,33	8,66	371,44	16,41
Sahel 201	0	9,44	8,77	586,44	23,12
	1	8,44	8,22	494,44	22,44
	2	8,44	8	406,44	20,3
IR28	0	9,77	9,22	423 ,11	21,07
	1	9,33	8,44	387,55	18,63
	2	8,77	8 ,11	308,44	18,26
Nerica-s44	0	15,11	14,11	529,22	27,54
	1	13,11	12,44	519,11	25,57
	2	14,77	13,11	422,11	25,42

(Nt) Nombre de talle, Nombre de panicule (Np), (Rp/m²) Rendement de paddy en g /m² et Pmg : poids de mille grains

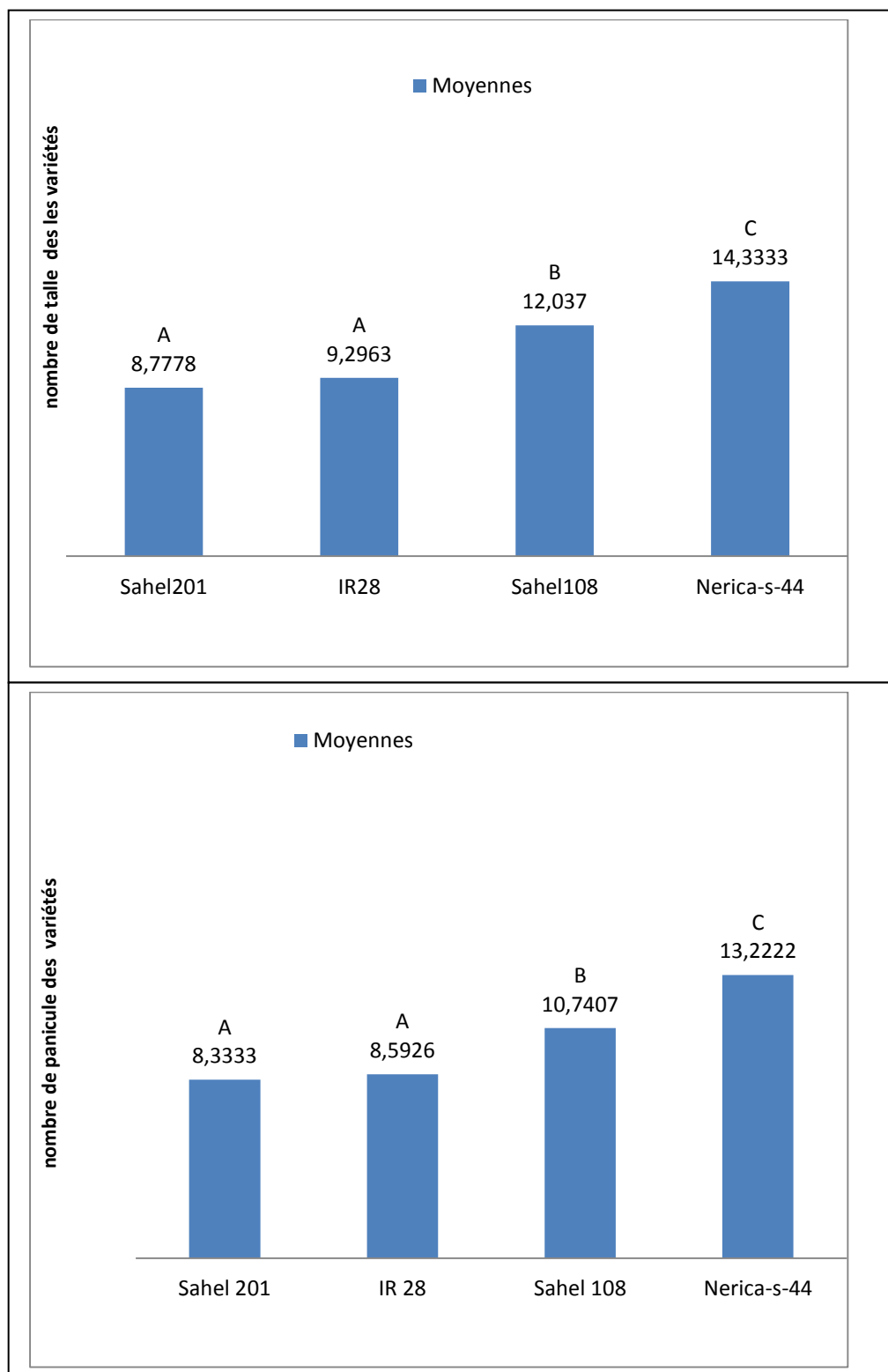


Figure 29: Classement des moyennes relatives de nombre de talle et nombre de panicule des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

Le classement des moyennes de nombre de talle et nombre de panicule par le test de Duncan au seuil de 5% mentionné dans les figure 29, a permis la distinction de trois groupes homogènes de variétés testées. Le groupe (A) est représenté par Sahel 201 et IR 28 alors que les groupes (B et C) sont représentés respectivement par Sahel108 et Nerica-s-44 et présentant les moyennes les plus élevées.

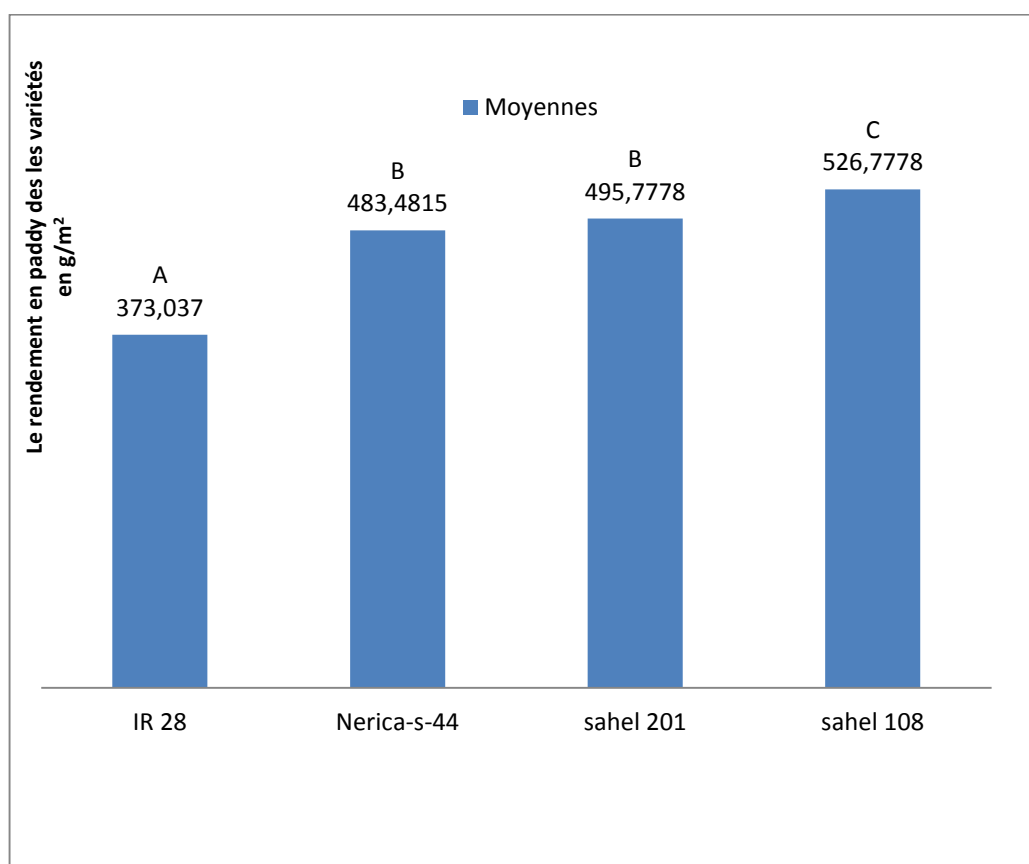


Figure 30: Classement des moyennes relatives de rendement des variétés de riz selon le test de Duncan au seuil de 5%.

La comparaison de moyennes de rendement en paddy selon le même test a permis de classer les variétés en trois groupes homogènes. Le groupe (A) comprend uniquement IR 28 avec le rendement moyen en paddy, le plus faible (383g/m²), groupe (B) incluant les variétés Nerica –S-44 et Sahel 201 présentant les moyennes de 483 et 495g/m². Enfin, le groupe (C) englobe la variété Sahel 108 ayant le rendement moyen en paddy le plus élevé 526,7 g/m² (figure 30).

L'évolution du rendement chez les différentes variétés a illustré que les doses de NaCl utilisées ont induit une diminution du rendement en paddy chez toutes les variétés testées à des degrés différents. On signale que la variété Nerica- S44 a donné le meilleur rendement particulièrement sous la dose 2g/l de NaCl, suivi de Sahel201 et Sahel 108, tandis que IR28 a enregistré le plus faible rendement sous ces conditions (figure 31).

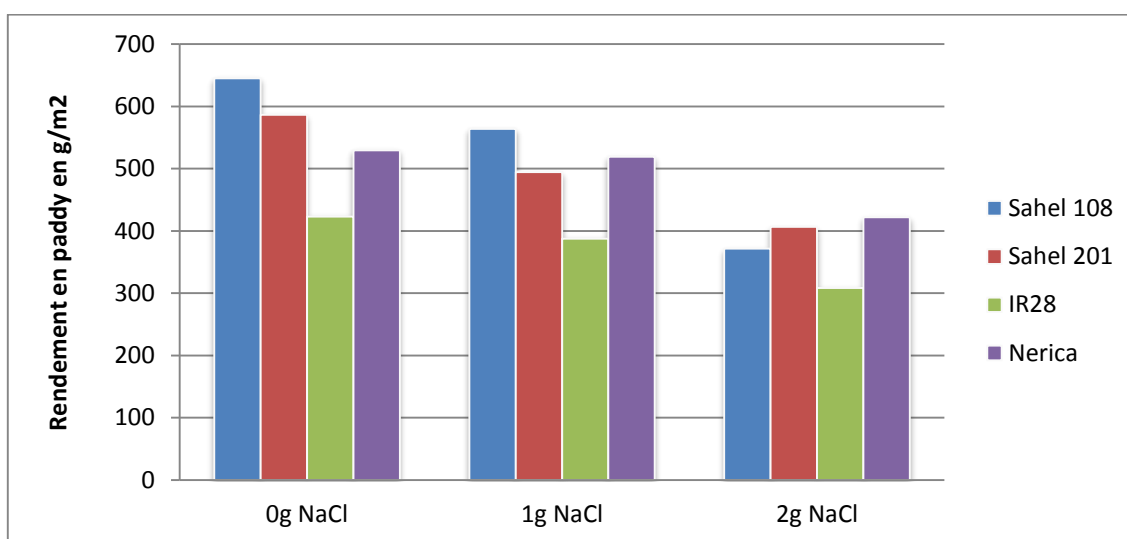


Figure 31: Variation de rendement chez les variétés étudiées à différentes doses de NaCl.

Ces résultats sont comparables à celui de Saadollah Houshmand et *al.*, (2005) qui ont montré que tous les paramètres de rendement chez le blé dur subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit.

De même, les travaux de Hamdy et *al.* (2005) ont montré que le rendement en grains et le poids des grains sont significativement affectés aussi bien chez le blé que chez l'orge en condition d'irrigation avec une eau saumâtre et que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains. Cette réduction du rendement en grains est principalement attribuée au déclin du poids de l'épi et du poids de 1000 graines (Saadollah et *al.*, 2005). Chez les céréales, le poids de mille grains (PMG) est un paramètre qui décrit la capacité d'accumulation des substances de réserves en conditions environnementales optimales. Le remplissage des grains se fait essentiellement

par les assimilats récemment photosynthétisés. Les limitations qui apparaissent à ce niveau (remplissage du grain) sont liées beaucoup plus à la capacité des grains au stockage (puits), qu'aux capacités photosynthétiques (Meynard, 1987).

Au stade reproducteur la salinité affecte le développement de l'épi et baisse le rendement (Maas et Grieve, 1990). Lorsque le blé est soumis à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains (Munns et Rawson, 1999). La salinité diminue le rendement plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets (El-Hendawy et al., 2005). Par conséquent Maas et Grieve (1990) ont conclu que la salinité doit être évitée avant et pendant le développement de l'épillet pour atteindre le plus haut potentiel de rendement.

Grieve et al. (2001) ont constaté que les rendements des céréales ont été maximisés lorsque le stress salin a été retardé jusqu'après la formation de l'épi terminal ou par le retrait du stress à la fin du stade première feuille au stade de double crête. El Midaoui et al 2007 ont montré que chez le Tournesol (*Helianthus annuus* L.) les composantes du rendement sont les meilleurs indicateurs du fonctionnement de la plante après la floraison. Celles ci ont été significativement affectées par l'effet prolongé de la salinité et c'est quelle que soit la concentration de NaCl employée. Néanmoins, les réductions les plus importantes ont été repérées au niveau de 100 mM NaCl, occasionnant ainsi une perte moyenne de rendement, par rapport au témoin, de l'ordre de 80%. Ces résultats vont dans le même sens que ceux rapportés par Abdul-Halim et al. (1988) sur blé, Day et Elmigri (1986) sur l'orge, et Zeng et Shannon (2000) sur le riz.

4.5. Analyse de la variance

L'analyse de la variance a montré que l'effet du traitement (NaCl) est hautement significatif ($P < 0.001$) pour tous les paramètres étudiés quelque soit la variété et le stade de développement montrant une sensibilité de la plante de riz vis-à-vis de stress salin. L'effet variétal est significatif ($P < 0.001$) pour toutes les variables ce qui montre une variabilité du comportement selon l'accession. Des interactions significatives traitement x variétés sont observées pour la plupart des variables ce qui signifie que le comportement des accessions varie en fonction de la dose de NaCl appliquée (tableaux 12 et 13).

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs (effet variété, effet stade et effet dose de NaCl de teneur relative en eau et des paramètres de croissances chez les différentes variétés de riz testées.

	TRE	Lpa	Ppa	Lpr	Ppr
Traitement	47,068***	83,771***	24,477***	5,771***	26,132***
Variété	7,956***	15,831***	3,887**	13,357***	4,989**
Stade	142,749***	2134,38***	701,44***	2,83 ^{sn}	456,16***
V*T	7,395***	4,427***	2,733*	1,320 ^{ns}	2,567 ^{sn}
S*T	102,13	35,669	3,371	20,740	7,555
S*T*V	42,901	14,644	4,441	1,701	1,609

TRE : teneur relative en eau, Lpa : Longueur de la partie aérienne, Ppa : Poids de partie aérienne,

Lpr : Longueur de partie racinaire, Ppr : Poids de partie racinaire, V : variété, T : Traitement et S : Stade

Tableau 13: Résultats de l'analyse de variance à deux facteurs pour les paramètres de rendement

	NT	NP	Rend/m²
Traitement	13,587***	13,380***	235,647***
Variété	81,210***	66,562***	112,447***
V*T	3,595*	2,995*	16,456***

NT : nombre de talles, NP: nombre de panicule, Rend/m²: Rendement

5.6. Corrélation entre paramètres étudiés

Des corrélations positives très élevées respectivement de 0.96, 0.81, 0.75 et 0.70 ont été obtenues respectivement entre les paramètres : Nombre de panicule (Np) et Nombre de talle (Nt), Longueur de la partie aérienne (Lpa) et Poids de la partie aérienne (Ppa), Poids de la partie aérienne (Ppa) et Poids de la partie racinaire (Ppr) et (Lpa et Ppr) sous condition

de traitements salins (tableau 14) . Cependant la teneur relative en eau des feuilles (TREF) a été négativement corrélée à tous les paramètres à l'exception de la longueur de la partie racinaire (Lpr). Munns (2002) a signalé que la salinité abaisse le potentiel hydrique des racines, et ceci cause rapidement des réductions de taux de croissance. Les effets négatifs de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel 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 (Winicov 1998; Munns 2002; Tester et Davenport 2003; Yamaguchi et Blumwald 2005). De ce fait, la salinité influence plusieurs aspects de la croissance y compris la floraison, la pollinisation, le développement du fruit, la quantité et la qualité des rendements. D'après Ashrafuzzaman et *al.* (2002), les concentrations élevées de NaCl dans le milieu avaient provoqué une réduction significative de tous les paramètres de croissance tels que la surface foliaire, la longueur des feuilles et le poids des parties aériennes et celle des racines des plantules de quelques cultivars de Maïs. L'effet nocif de NaCl sur la croissance des plantes ne se limite pas uniquement à la diminution du nombre de feuilles mais il influence également les autres paramètres de croissance OULD MOHAMDI et *al* (2012). Le stress de sel affecte différemment les propriétés de croissance des variétés de riz (Mint El Moukhtar et *al.*, 2015)

Tableau 14 : Coefficients de corrélations entres les différents paramètres.

Variable	Lpa	Ppa	Lpr	Ppr	Nt	Np	Pr	TREf	TREr
Longueur de partie aérienne(Lpa)	1								
Poids de partie aérienne(Ppa)	,812***	1							
longueur de partie radiculaire (Lpr)	,004 ^{sn}	,115*	1						
Poids de partie radiculaire (Ppr)	,709***	,757***	,201***	1					
Nombre de talle (Nt)	,054 ^{sn}	,058 ^{sn}	,004 ^{sn}	,068 ^{sn}	1				
Nombre de panicule (Np)	,060 ^{sn}	,067 ^{ns}	,002 ^{ns}	,084 ^{ns}	,962***	1			
Rendement en paddy /m ² (Ren/m ²)	,065 ^{sn}	,065 ^{sn}	-,050 ^{sn}	,09 ^{sn}	,243***	,281***	1		
Teneur relative en eau dans les feuilles (TREf)	-,125***	-,159***	,013 ^{sn}	-,191***	-,198***	-,194***	-,190***	1	
Teneur relative en eau dans les racines (TREr)	-,310***	-,329***	,063 ^{sn}	-,268***	,038 ^{sn}	,036 ^{sn}	,086 ^{sn}	,282***	1

Conclusion générale

Cette étude a été conduite avec comme objectif principal le choix judicieux des variétés les plus productives dans les zones de remontée saline à travers l'exploration des différents aspects de l'effet du chlorure de sodium sur un certain nombre de paramètres physiologique, biochimique et agronomique de quatre variétés de riz cultivées en Mauritanie,

Les résultats obtenus ont mis en évidence des inégalités des niveaux de tolérance à la salinité des variétés expérimentées dans les différents stades. En effet les variétés testées ont montré un comportement physiologique, métabolique et agronomique variable vis-à-vis des doses de NaCl appliquées.

Au niveau de la germination, nos résultats montrent qu'en présence de NaCl, le pourcentage de germination avait connu des réductions significatives. Les capacités germinatives ainsi que la vitesse de germination des variétés sont affectées à des degrés différents. La variété IR28 paraît la plus sensible à l'augmentation de la salinité au stade de germination suivie par Sahel 201 alors que la variété Sahel108 paraît la plus tolérante à ce stade. Nos résultats soulignent qu'en présence de NaCl à 3g/l les variétés Sahel 108, Sahel 201 et IR28 ont montré respectivement des diminutions de 5%, 16,67% et 23,33%. Cependant à la dose 6g/l de NaCl, après 24 heures les variétés Sahel 108 et Sahel 201 ont donné respectivement 36,66 et 11,66 % de germination alors que IR 28 n'a pas montré de germination à cette dose.

Au stade trois feuilles en culture hydroponique l'évaluation de l'effet de NaCl sur les paramètres de croissance montre que les doses de NaCl appliquées ont affecté considérablement la croissance des plantules surtout la partie aérienne à la dose 6g/L où les diminutions des poids foliaires ont atteint les 47%, 43% et 50% respectivement chez les variétés Sahel 201, IR28 et Sahel 108 en comparaison avec leurs témoins respectifs. D'ailleurs, en ce qui concerne les paramètres biochimiques les différentes accessions ont montré que les doses de NaCl utilisées ont induit des perturbations métaboliques chez la plante de riz. En effet les pigments chlorophylliens et les protéines solubles foliaires ont diminué en fonction de l'augmentation de la concentration en NaCl. Cet effet est plus remarquable chez IR28 et Sahel 108 vu que les plus fortes réductions de teneur en chlorophylle totale étaient autour de 38,2 et 53 % affichées respectivement au niveau des

concentrations salines 3g/l et 6g/l pour la variété IR 28. Cependant à 6g/l de NaCl la variété IR 28 avait confronté la contrainte saline par une importante diminution (91%) de chlorophylle *a*. Suite à l'application d'une dose de 6g/L, Sahel 108 a enregistré la plus forte réduction (45%) de la teneur en protéine foliaire. Egalement les teneurs racinaires en éléments minéraux essentiels tels que Ca^{2+} et Mg^{2+} avaient été plus affectées par l'augmentation de la salinité chez les plantules de ces deux variétés. D'ailleurs les deux variétés avaient d'une part, accumulé les plus faibles quantités de proline radicalaire et de sucres totaux foliaires

Cependant en culture de plein champ et au niveau des stades plus avancés les accessions testées ont montré qu'en présence de NaCl les teneurs relatives en eau foliaire et raculaire des variétés ont été affectées à des degrés différents. La variété Sahel 108 paraît la plus affectée pour ces paramètres. L'évaluation des paramètres de croissance (longueur et poids des plantes) a révélé que la longueur a été plus affectée négativement durant les deux stades, végétatif et reproducteur alors que le poids a montré plus de sensibilité au chlorure de sodium au stade reproducteur. L'évolution du rendement chez les différentes variétés a montré que les doses de NaCl utilisées ont induit une diminution du rendement en paddy chez toutes les variétés testées à des degrés différents. La variété Sahel108 malgré qu'elle enregistre le meilleur rendement en absence de salinité, paraisse très affectée en terme de croissance et de rendement par les conditions salines, alors que la variété Nerica-S44 a donné le meilleur rendement en paddy ($422,11\text{g/m}^2$) sous la dose de 2g/l suivi de Sahel 201 ($406,44\text{g/m}^2$) tandis que IR28 ($308,44\text{g/m}^2$) a enregistré le plus faible rendement sous ces conditions.

Comme perspectives à ce travail il est important de revoir ces résultats dans les conditions salines :

- au niveau des différentes régions en Mauritanie où la riziculture est praticable;
- sur un nombre de variétés plus grand ;
- voir le comportement du chargement des grains en réserves.

Références bibliographiques

- Abraham E., Rigo G., Szekely G., Nagy R., Koncz C. and Szabados L. 2003.** Light-dependent induction of proline biosynthesis by abscisic acid and salt stress is inhibited by brassinosteroid in Arabidopsis. *Plant Mol. Biol.*, 51: 363–372.
- Agastian P., Kingsley S.I. & Vivekanandian M. 2000** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthesis* 38: 287-290
- Al Garni SM. 2006.** Increasing NaCl salt tolerance of halophytic plant (*Phragmites australis*) by mycorrhizal symbiosis. *American-Eurasian J. Agric & Environ Sc.*, 1(2): 119-126.
- Al-Busaidi A., Al-Rawahy S., Ahmed M. 2009.** Response of different tomato cultivars to diluted seawater salinity. *Asian Journal of Crop Science*, 1: 77–86.
- Alian, A. ; Altman, A. et Huer, B. ; 2000.** Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant Sci.*, 152: 59-65
- Alem C., Labhilili M., Brahimi K., Jlibene M., Nasrallah N., and Filali-Maltouf A., 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, Vol. 325 :1097-1109.
- Allen R.D., 1995.** Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 107:1049-1054.
- Amirjani MR. 2011.** Effect of NaCl on some physiological parameters of rice. *E.J.B.S.*, 3 (1): 06-16.
- Anonyme 2008** - Nerica : The New Rice for Africa , a compendium. African Rice Center (WARDA), Somado EA, Guei RG and Keya SO (eds.), 195p.
- Apse MP. and Bumwald E. 2007.** Na⁺ transport in plants. *FEBS, Lett*, 581(12): 2247-2257.
- Asch F. and Wopereis MSC. 2000.** Yield Responses of Irrigated Rice to Salinity depend on development stage and stress level. The 3rd International Crop Science Congress in Hamburg, August 17th - 22, 2000.
- Ashraf M. & Hariss P.J.C 2004-** Potential biochemical medications of salinity tolerance in plants. *Plant Sci*, 166:3-16.

- Ashraf M. & Tufail M. 1995.** Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). J. Agron. Crop Sci., 174: 351–362.
- Ashraf M. 1994.** Organic substances responsible for salt tolerance in *Eruca sativa*. Biol. Plant., 36: 255–259.
- Ayliffe M., Mitchell H., Deuschle K. and Pryor A., 2005.** Comparative analysis in cereals of a key proline catabolism gene. Mol Gen Genomics. 274: 494-505.
- Bartels, D. et Nelson, D. ; 1994.** Approaches to improve stress tolerance using molecular genetics. Plant Cell Environ., 17: 659-667.
- Bayuelo-Jiménez J., Debouck D.G., Lynch J.P.(2002).** Salinity tolerance in Phaseolus species during early vegetative growth. Crop Science. Pp.2184.
- Belkhodja M. et Bidai Y. 2004.** Réponse de la germination des graines d’Atriplex halimus L. sous stress salin. Revue Sécheresse, 4 (15) : 331-335.
- Ben Khaled L., Gomes A.M, Honrubia M. & Oihabi A., 2003** - effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium, Agronomie 23: 553-560.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Maddah M., Selmi M. (2001)** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sécheresse 12 (3) : 167-174.
- Benderradji L., Bouzerzour H., Kellou K., Brini F. Masmoudi K. et Djekoun A. 2010.** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) soumises à un stress salin. Sciences & Technologie, 32 : 23-30.
- Bennes, S., .2003** - Irrigation with saline water. Minimizing the impact proper management. New Ag. International pp. 40-42.
- Bogges, S-F., Aspinall, D. & Paleg, L-G. 1976** - Stress metabolism. IX. The significance of end product inhibition of proline synthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. Aust. J. Plant Physiol., 3: 513-525.
- Bohnert HJ. & Shen B. 1999.** Transformation and compatible solutes. Scientia Horticulturae, 78: 237-260.

- Bouaouina S., E. Zid & Hajji, M. 2000.** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.), Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 8 : 239-243
- Boucher V. 2009.** Caractérisation fonctionnelle de MtPM25, une protéine LEA (Late Embryogenesis Abundant), et implication dans la qualité germinative des graines de *Medicago truncatula*, Thèse de Doctorat, Université d'Angers, pp 25.
- Bounaqba S., 1998** - Analyse des déterminants de tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale, et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Thèse de doctorat de biologie, Uni Tunis 230p.
- Calu G. 2006.** Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles: *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. *Trends in Plant Science*: 1-8.
- Carillo P., Mastrolonardo G., Nacca F., Parisi D., Verlotta A. & Fuggi A. 2008.** Nitrogen metabolism in durum wheat under salinity: accumulation of proline and glycine betaine. *Functional Plant Biology*, **35** (5): 412-426.
- Carpenter JF., Crowe LM. and Arakawa T. 1990.** Comparison of solute-induced protein stabilization in aqueous solution and in the frozen and dried states. *J. Dairy Sci.*, **73** (12): 3627–3633.
- Chartzoulakis K., Klapaki G. 2000.** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.*, **86**: 247–260.
- Cha-um S., Mosaleeyanon K., Supaibulwatana K. and Kirdmanee C. 2004.** Physiological responses of Thai neem (*Azadirachta siamensis* Val.) to salt stress for salt-tolerance screening program. *Science Asia*, **30**: 17-23.
- Cheverry C., 1995** - Comportement des plantes dans un milieu salé. Comptes rendus de Vég. P18.
- Chinnusamy V., Schumaker K. and Zhu J. K., 2004.** Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *J of Experimental Botany*. 55: 225-236.
- Cram WJ. 1976.** Negative feedback regulation of transport in cells. The maintenance of turgor, volume and nutrient supply. In: Lüttge U., Pitman M.G. (eds.): *Encyclopaedia of plant physiology*, New Series, Vol. 2. Springer-Verlag, Berlin.

- Dagnelie P. 1975** Théorie et Méthodes statistiques Vol. I et II. Gembloux, Presse Agron. pp 371-378.
- Dali, N., Ben Ghanem, H & Mougou, A. 1996-** Effet du stress salin sur la répartition entre amidon et sucre solubles dans les feuilles de deux lignées de tomate. Revue de l'INAT.11 :2.
- Danecette C., 1999-** Les principaux systèmes de riziculture irriguée de la zone d'intervention du PSU. Activités de recherches conduites et résultats. Actes du séminaire, DAKAR (Sénégal) 30 Nov-3 Décembre.
- De-Lacerda C.F.D., Cambraia J., Oliva Cano M.A., Ruiz H.A., 2001-** Plant growth and solute accumulation and distribution in two sorghum genotypes, under NaCl stress. R. Bras. Fisiol. Veg. Vol. 13, No. 3: 270-284
- Devron J. and Sifi B., 2003.** Fixation symbiotique de l'azote et développement durable dans le bassin méditerranéen. Editions Quae,417 p.
- Durand, M. et Lacan, D. ; 1994.** Sodium partitioning within the shoot of soybean .Physiol. Plant, 91: 65-71.
- El Houssine TAHRI, Abdelmajid BELABED et Khadija SADKI,1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, 1997-1998, n°21, pp. 81-87.
- El-Hendawy SE., Yakout HY., Awad A., Hafiz SE. and Schmidhalter U. 2005.** Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters, Europ. J. Agronomy, 22: 243-253.
- Epstein E., Norlyn J.D. , Ruch D.W. , Kinsbury R.W. , Cunningham A.F. , Wrona A.F., 1980.** Saline culture of crops: a genetic approach, Science (2310) 399-404.
- Eryilmaz F.2006.** The relationships between salt stress and anthocyanin content in higher plants. *Biotechnol. & Biotechnol. Eq.* **20**(1): 47-52. **EsfandiarI E., Enayati V. and Abbasi A. 2011.** Biochemical and physiological changes in response to salinity in two durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes. *Not Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, **39** (1):165-170.
- Essington M.E., 2004.** Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA.

- Farhoudi R., Saeedipour S. and Mohammadreza D. 2011.** The effect of NaCl seed priming on salt tolerance, antioxidant enzyme activity, proline and carbohydrate accumulation of Muskmelon (*Cucumis melo* L.) under saline condition. *African Journal of Agricultural Research*, **6** (6): 1363-1370.
- Flowers, T.J.; Troke, P.F. et Yeo, A.R.; 1977.** The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, **28**: 89-121.
- Ford, C.W. et Wilson, J.R. ; 1981.** Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. *Aust. J. Plant Physiol.*, **8**: 77-91.
- Gabbay-Azaria R., Telor E. and Schönfeld M. 1988.** Glycinebetaine as an osmoregulant and compatible solutes in the marine cyanobacterium *Spirulina subsalsa*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, **264**: 333–339.
- Gama PBS., Inanaga S., Tanaka K. and Nakazawa R. 2007.** Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress, *African Journal of Biotechnology*, **6** (2):79-88.
- Ghorbanli M., Ebrahimzadeh H., Sharifi M. 2004.** Effects of NaCl and mycorrhizal fungi on antioxidative enzymes in soybean. *Biol. Plant.*, **48**: 575-581.
- Greenway H., and Munns R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes, *Ann. Rev. Plant Physiol.* **31** (1980) 149-190.
- Grennan A. K., 2006.** High Impact Abiotic Stress in Rice. An «Omic» Approach; *Plant Physiology*, April 2006, Vol. 140, pp. 1139-1141.
- Hachicha M. and Abdelgawed G. 2003.** Aspects of Salt-affected soil in the Arab world SALTMED Workshop Cairo, 8-10/12/2003.
- Hajlaoui H., Denden M. & Bouslama M., 2007** - Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*, **25**(3) : 168-173.
- Hamdy A. 1995.** Saline water use and management for sustainable agriculture in the Mediterranean region. Workshop 'on farm sustainable use of saline water in irrigation: Mediterranean experiences'. INAT, CIHEAM/IAM-B, CRGR, Hammamet, Tunisia.
- Hamza, M. ; 1980.** Réponses des végétaux à la salinité. *Physiologie Végétale*, **18**(1) : 69-81.

Hanana M., Hamrouni L., Cagnac O. et Blumwald E. 2011. Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Dossiers environ.*, 19:121-140.

Hassani A., Dellal A., Belkhdja M. & Kaid-Harche M. 2008 – Effets de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum vulgare*). *Eur J. Scient. Reser.* 23(1): 61-69.

Hernandez J., Jimenez A., Mullineaux P. and Sevilla F. 2000. Tolerance of pea plants (*Pisum sativum*) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant Cell Environ.*, 23: 853–862.

Hillel D., 2000. Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C.

Iannucci, A.; Russo, M. ; Fonzo, N.D. et Martiniello, P;. 2000. Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. *European Journal of Agronomy*, 16: 111-122.

IPTRID. (2006): conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation.p2, 11.

Iraida A., Miguel AB., Paul MH., Miguel AQ. & Victoriano V. 1999. Improved germination under osmotic stress of tobacco plants overexpressing a cell wall peroxidase. *FEBS Letters*, 457: 80-84.

Ishitani, M.; Takabe, T. et Kojima, K.; 1993. Regulation of glycine-betaine accumulation in the halotolerant Cynobacterium *Aphanothece halophytica*. *Aust. J. Plant Physiol.*, 20: 693-703.

Jamil M., Lee DB., Jung KY., Ashraf M., Lee SC. and Rha ES. 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *Journal of Central European Agriculture*, 7 (2): 273-281.

Jemal F., Tray B., Ghorbal MH. 2005. Synthèse et dégradation dans les racines de piment traité par le cadmium. *Proceeding of Euro-Mahgrebin Symposium on Biological, Chemical Contaminants and Safety in Food*. Fez, Morocco, pp 508-515.

Jones, M.M.; Osmond, C.B. et Turner, N.C.; 1980. Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflowers in response to water deficits. *Aust. J. Plant Physiol.*, 7: 193-205.

- Juan M., Rivero RM., Romero L. and Ruiz JM. 2005.** Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 54: 193-201.
- Juliano B.O., 1994** – Le riz dans la nutrition humaine. Collection FAO: Alimentation et nutrition n° 26. FAO, Rome, 184p.
- Kafkai U., 1991.** Root growth under stress. In: Waisel Y., Eshel A. & Kafkafi U., eds. Plant roots: the hidden half. New York, USA: Marcel Dekker, 375-391.
- Karmous C., 2007.** Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis : 211p.
- Karmous, C., H. S. Amara, R.Besbes et A. Daaloul, 2005.** Etude de quelques critères physiologiques et biochimiques de selection pour la tolerance à la salinité chez le blé dur (T. durum Desf.). Revue de l'INAT, Vol 20 N°1.
- Kaur N., Gupta A. K. (2005):** Signal transduction pathways under abiotic stress in plants. Current Science, Vol.88, N°11, pp.1771-1779
- Kauss, H. 1977-** Biochemistry of regulation. In Northcote (Ed): International Review of Biochemistry, II, . 119-139.
- Kenfaoui A. 1997.** Synthèse bibliographique: La salinité des eaux d'irrigation – ENGREF, Montpellier, pp.1-10.
- Ketchum REB., Warren RC., Klima LJ., Lopez-Gutierrez F., Nabors MW. 1991.** The mechanism and regulation of proline accumulation in suspension cultures of the halophytic grass (*Distichlis spicata* L.). *J. Plant Physiol.*, **137**: 368–374.
- Khemiri H., Belguith H., Jridi T., Ben El Arbi M. & Ben Hamida, J. 2004.** Caractérisation biochimique d'une amylase active au cours du processus germinatif des graines de colza (*Brassica napus* L.). Enzymologie et métabolisme, pp.: 146-149. Congrès International de Biochimie. Marrakech.
- Khöl, K.L. ; 1997.** The effect of NaCl on growth, dry matter allocation and ion uptake in salt marsh and inland populations of *Armaria maritima*. *New Phytol.*, 135: 213-225.

- Kramer, D. ; 1983.** The possible role of transfer cells in the adaptation of plants of salinity. *Physiol. Plant.*, 58: 549-555.
- Legros JP. 2009.** La salinisation des terres dans le monde, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, <http://academie.biu-montpellier.fr/>. Consulté le 20/4/2010.
- Lignowski, E.M. & Splittstoesser, W.E. 1971** - Arginine synthesis, proline synthesis and related process. In John & Thompson (Eds): *The Biochemistry of plants*, 25: 225-229.
- Li, N.; Chen, S.; Zhou, X.; Li, C.; Shao, J. ; Wang, R. ; Chen, E.; Huttermann, A.H. et Polle, A.; 2008.** Effect of NaCl on photosynthesis, salt accumulation and ion compartmentation in two mangrove species, *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorhiza*. *Aquatic Botany*, 88: 303-31.
- Maalej-Mallek E., Boulesnam F. and Ben Salem M., 1998.** Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. *Cahiers Agricultures* 1998 ; 2 : 153-6.
- Maas E.V., Poss J.A., 1989a.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. *Irrig. Sci.* 10:29-40.
- Maggio A., Raimondi G, Martino A., Pascale S. 2007.** Salt response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 276-282.
- Mahajan S., Pandey GK., Tuteja N. 2008.** Calcium- and salt-stress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway. *Arch Biochem Biophys.*, **471**:146 -158.
- Maillard J. 2001.** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001. 35 p.
- Manaa A., Ben Ahmed H., Valot B., Bouchet JP. Aschi-Smiti S., Causse M. and Faurobert M. 2011.** Salt and genotype impact on plant physiology and root proteome variations in tomato. *Journal of Experimental Botany*, pp 1 -17 doi:10.1093/jxb/erq460.
- Mane AV., Karadge BA. and Samant JS. 2010.** Salinity induced changes in photosynthetic pigments and polyphenols of *Cymbopogon nardus* L. *J. Chem. Pharm. Res.*, **2** (3):338-347.
- Mansour MMF. 1998.** Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. *Plant Physiol. Biochem.*, **36**: 767–772.
- Mansour MMF. 2003.** Transport proteins and salt tolerance in plants. *Plant Sci.*, **164**: 891-900.

- Martinez JP., Silva H., Ledent JF., and Pinto M., 2007.** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *European journal of agronomy*. Jan., Vol. 26,1,p. 30-38.
- M'Barek B., Rahmoune C., Sdiri H., Medahi ML., Salmi M, 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grain de quelques variétés maghrébines de blé. *Science et changements planétaires sécheresse*. 12; 3: 167-174.
- MDR , 2003.** Ministère de Développement Rural de la Mauritanie.
- Mehouachi, T., 1993.** Evaluation de la croissance ecophysiologique de la pomme de Terre en relation avec le stress nutritif. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. Université Geant-Belgique -203p.
- Mint El Mokhtar S., SAMB A., Ould Moufid A., Ould Mohamed salem Boukhary A., Ould Djeh T.K 2015.** Effect of different levels of salinity on germination and early seedling growth of three rice varieties cultivated in Mauritania. *IJACS*/2015/8/3/346-34.
- Mittova V., Tal M., Volokita M. & Guy M. 2003.** Salt stress induces up-regulation of an efficient chloroplast antioxidant system in the salt-tolerant wild tomato species *Lycopersicon pennellii* but not in the cultivated species. *Physiol. Plant.*, **115**: 393–400.
- Munns R. 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytol.*, **167**: 645-663.
- Munns R. and Tester M. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, **59**:651-681.
- Munns R., 2002,** Comparative physiology of salt and water stress. *PlantCell Environment*, **25**, 239-250.
- Munns R.,Richard A.J, Lauchli A. 2006** - Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.*, **57**(5) : 1025–1043,
- Munns, R. and Rawson H.M., 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* **26**:459-464.
- Munns, R. et Weir, B. ; 1981.** Contribution of sugars to osmotic adjustment in elongating and expanded zones of wheat leaves during moderate water deficits at two light levels. *Aust. J. Plant Physiol.*, **8**: 93-105.

- Naureen G. and Naqvi FN. 2010.** Salt tolerance classification in wheat genotypes using reducing sugar accumulation and growth characteristics. *Emir. J. Food Agric.*, 22 (4): 308-317.
- ONS, 2014.** Office National de Statistique – Mauritanie.
- Orcutt D.M. and Nilsen E.T. ,(2000):** Physiology of plants under stress. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.
- Ould Djeh, T., Dali N., Bettaieb T., Ben Salah A. 2006.** Influence métabolique du CO₂ atmosphérique sur la tomate cultivée en milieu saumâtre. *Cahiers Agricultures*.vol.15(5), 441-447.
- Ould Kankou M. 2004.** Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de deux pesticides, Thèse de Doctorat de l'université de Limoges, PP 29- 30.
- Pareek - Singla S.L., Grover A. 1997-** Salt responsive proteins/genes in crop plants. In: Jaiwal, P.K., R.P. Singh and A. Gulati (eds), *Strategies for Improving Salt Tolerance in Higher Plants*. Oxford and IBH Publication Co., New Delhi, 365-391.
- Parida A., Das A.B., Das P. (2002):** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.*, 45: 28–36.
- Parida A. and Das AB. 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: *A.Rev.Ecotoxicol. Environ. Safety*, **60**: 324-349.
- Parida A., Das A.B., Das P. (2002):** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.
- Petrusa, L.M. et Winicov, I. ; 1997.** Proline status in salt tolerant and salt sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl. *Plant Physiol. Biochem.*, 35: 303-310.
- Pitman, M. G. ; 1981.** Ion uptake. In: *Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants* (Eds. L.G. Paleg and D. Aspinall) pp 71-96. Academic Press: Sydney.
- Price A.H. and Hendry G.A.F., 1991.** Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environ.*14:477-484.

- Qasim MM. Ashraf M., Jamil A., Ashraf MY. and Shafiq-ur-Rehman SRE. 2003.** Water relations and leaf gas exchange properties in some elite canola (*Brassica napus*) lines under salt stress. *Annals App. Biol.*, 142: 307-316.
- Rayapati, P.J. & Stewart, C.R. 1991** - Solubilization of proline dehydrogenase from maize (*Zea mays* L.) mitochondria. **Plant Physiol.**, 95: 787-791.
- Rejili ,M Vadel A.M. Nef., fati .M, 2006.** Comportements germinatifs de deux populations de (*Lotus creticus* L.) en présence du NaCl. *Revue des régions*.17, 65-78.
- Saboury AA. and Karbassi F. 2000.** Thermodynamic studies on the interaction of calcium ion with alpha-amylase. *Thermochemical Act.*, **362**:121-129.
- Sairam, R.K., and Tyagi, A.; 2004.** Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86 : 407–421.
- Sasaki, T. & Burr, B. 2000.** International rice genome sequence project: the effort to complete the sequence of rice genome. *Current Opinion in Plant Biology*, vol. 3, No. 2, 138-141.
- Seeman, J.R. and C.Criteheey, 1985.** Effect of salt stress on the growth, ion content, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*. 164: 151-162.
- Shaheena, A ; Mohamed F., Hayat., S., Siddiqui.M.H, 2005** Exogenous Application of gibberellic Acid counteracts the effect of Sodium Chloride in Mustard. *TurK.J. Biol.* 29: 233-236.
- Shen YG., Du BX., Zhang WK., Zhang JS. and Chen SY. 2002.** AhCMO, regulated by stresses in *Atriplex hortensis*, can improve drought tolerance in transgenic tobacco. *Theor. Appl. Genet.*, **105**: 815-821
- Shookhampeang S., Pattangul W. and Theerakulpisut P. 2007.** Screening some tomato commercial cultivars from Thailand for salinity tolerance. *Asian Journal of plant Sciences*, 6 (5): 788- 794.
- Sibole JV., Cabot C., Poschenrieder C., and Barcelo J., 2003.** Efficient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid-controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes. *Journal of Experimental Botany*. 54: 21112119.

- Singh, N.K., Bracken, C.A., Husegawa, P.M., Hunda, A.K. 1987-** Chara eterisation of osmotin. Athairmatinlike proteine associated with osmotic wljustment in plant cells-plant physiol. 85: 529-536
- Sosa L., Llanes A., Reinoso H., Reginato M., Luna V. 2005.** Osmotic and specific ions effect on the germination of *Prospis strombulifera*. *Annals of Botany* **96**: 261-267.
- Stewart, C.R. & Lee, J.A. 1974** - The role of proline accumulation in halophytes. **Planta**, 120: 273-289.
- Stewart, C.R., Boggess, F., Aspinall, D. & Paleg, I.G. 1977** - Inhibition of proline oxidation by water stress. *Plant Physiol.*, 59: 930-932.
- Stoeva N. and Kaymakanova M. 2008.** Effect of salt stress on the growth and photosynthesis rate of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) *Journal of Central European agriculture*, **9** (3): 385-392
- Szabolcs I. 1994.** Prospect for soil salinity for the 21st century. Paper presented at 15th world congress of soil science, Acapulco, Mexco, Huly 10-16 I: 123-141.
- Taffouo VD., Kemdem J., Tchiengue LM. Ndjeudji BA and Akoa A. 2009.** Effects of salinity stress on growth, ions partitioning and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivars. *Int. J. Bot.*, **5** (2): 135-145.
- Tazuke A., Wada T. and Kanazawa T. 2009.** Effects of NaCl salinity on the sugar metabolism of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. 'tsurunashi marusaya kurosando' fruit grown in solution culture. *J. ISSAAS*, **15** (1): 32-43.
- Termaat A., Munns R. 1986.** Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. *Australian Journal of Plant Physiol.* **13**: 509-522.
- Tester M. & Davenport R. 2003.** Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, **91**: 503–527.
- Trinchant J.C ; Boscari A ; Spennato G, Van de Sype G & Le Rudulier D ; 2004.** Proline Betaine Accumulation and Metabolism in Alfalfa Plants under NaCl Stress. Exploring Its Compartmentalization in Nodules *Plant Physiology*, Vol. 135, pp.1583-594.
- Tuteja N. 2007.** Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology*, **428**: 419-438.

- Ullaha, I.; Ur-Rahman, M.; Ashraf, M. et Yusuf Zafar, Y. ; 2008.** Genotypic variation for drought tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.): Leaf gas exchange and productivity. *Flora*, 203: 105-115
- Van Asten PJ., Abarbiero L., Wopereis MCS., Maeght JL. and Van Der Z. 2003.** Actual and potential salt-related soil degradation in an irrigated rice scheme in the Sahelian zone of Mauritania. *Agric. Water Manag.*, **60**: 13-32.
- Vera-Estrella R., Barkla BJ. Garcia-Ramirez L., Pantoja O. 2005.** Salt stress in *Thellungiella halophila* activates Na⁺ transport mechanisms required for salinity tolerance. *Plant Physiol.*, **139**:1507-1517.
- Verbruggen N. and Hermans C. 2008.** Proline accumulation in plants: A review. *Amino Acids*, **35**: 753-759.
- Vierling E. 2003** – aliments et boissons, filière et produits (2nd eds.). Biosciences et Techniques. 270p.
- Vijayan K. 2009.** Approaches for enhancing salt tolerance in mulberry (*Morus alba* L.) *Plant. Omics Journal*, 2 (1):41-59.
- Waisel, Y. et Ovadia, S. ; 1972.** Biological flora of Israel. 3. Suaeda monoica Forsk. Ex. JF. Gmel. *Israel J. Botany*, 21: 42-52.
- Wang Y. and Nil N. 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase, glycinebetaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75:623–62.
- Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001):** Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Hort* 560: 285-292.
- Wopereis MCS., Ceuppens J., Boivin P., Ndiaye AM. and Kane A. 1998.** Preserving soil quality under irrigation in the Senegal River Valley. *N.J.A.S.*, **589**: 1-8
- Yamaguchi T. & Blumwald E. 2005.** Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends in Plant Science*, 10 (12): 615-620.
- Yilmaz K., Akinci I.E. and Akinci S. 2004.** Effect of salt stress on growth and Na⁺, K⁺ contents of pepper (*Capsicum annum* L.) in germination and seedling stages. *Pakistan journal of Biological Sciences*, 7 (4): 606-610.

- Zerrad W., Hillali S., Mataoui B., El Antri S. Et Hmyene A. 2006.** Etude comparative des mécanismes biochimiques et moléculaires de résistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. Biochimie, Substances naturelles et environnement. *Congrès international de biochimie*. Agadir.
- Zhang, J.; Nguyen, H.T. et Blum, A.; 1999.** Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. J. Exp. Bot., 50: 291-302.
- Zhou S., Wei S., Boone B. and Levy S. 2007.** Microarray analysis of genes affected by salt stress in tomato. African Journal of Environmental Science and Technology, 1 (2):14 -26.
- Zhu JK. 2003.** Regulation of ion homeostasis under stress. *Current. Opin. Plant Biol.*, 6 (5):441- 445.
- Zid E., Grignon C. 1991** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas de stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. pp.91-108.

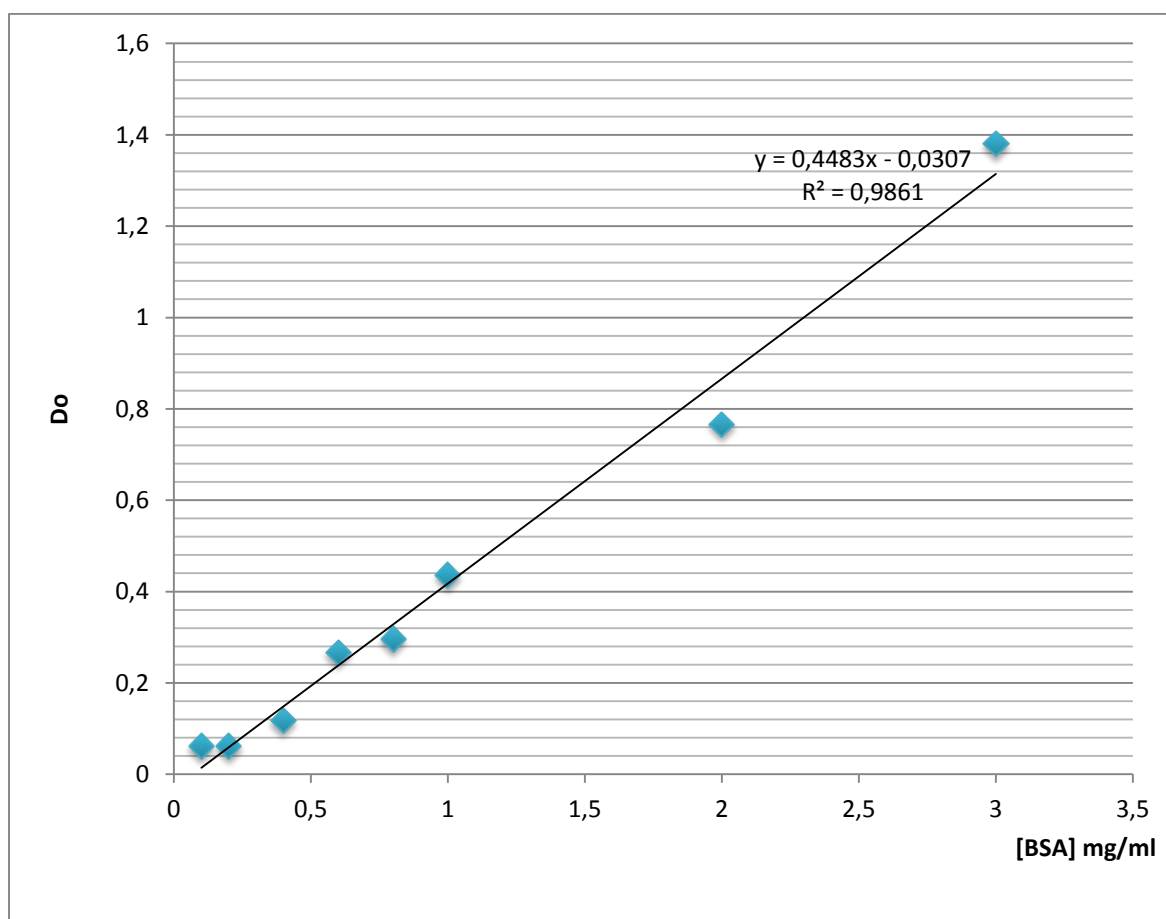
Annexes

Annexe I

1. Préparation du réactif de Bradford

- Bleu de Coomassie (Coomassie brillant bleu G-250) :100mg
- Ethanol 95°: 50 ml
- Acide phosphorique 85 % (poids / volume) : 100 ml
- Eau distillée : Quantité suffisante pour 1000 ml

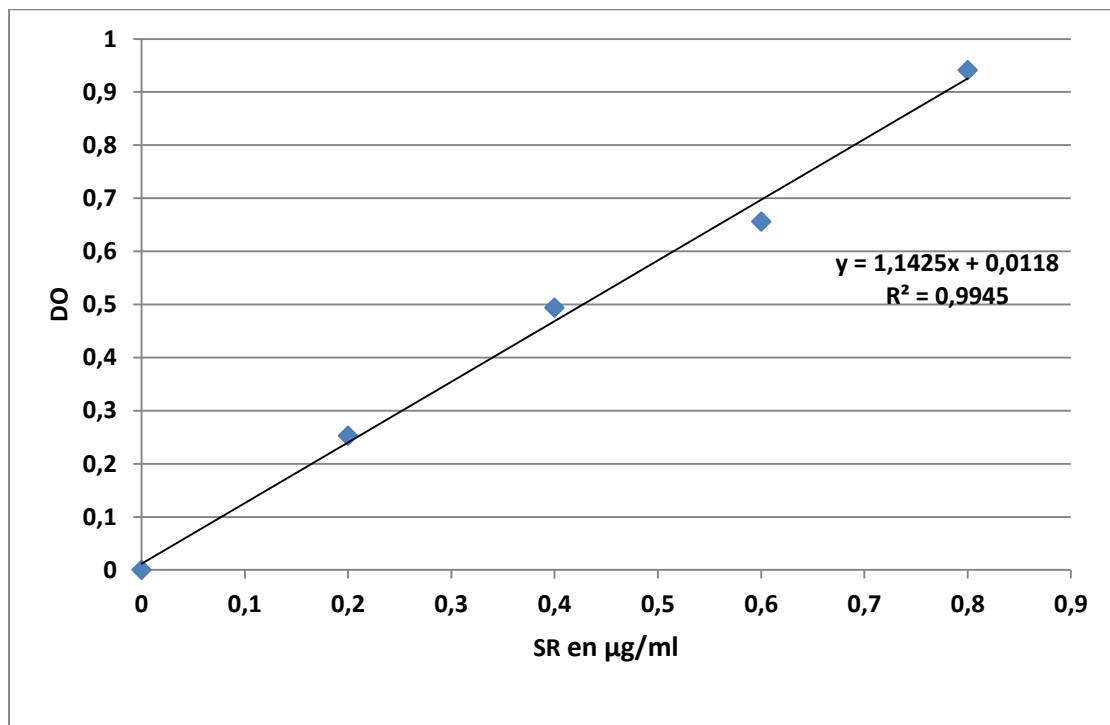
2. Gamme étalon pour le dosage des protéines



Annexe II:

- 1. Préparation du Réactif au DNS :** Mettre 150 g de tartrate double de Na et K dans un flacon de 500 ml. ajouter 8 g de NaOH. Dissoudre complètement le mélange (en chauffant doucement) dans 250 ml d'eau distillée. Ajouter doucement 5 g de DNS. Couvrir avec du papier aluminium et attendre la dissolution du DNS. Laisser refroidir et compléter le volume à 500 ml avec de l'eau distillée. Boucher hermétiquement et conserver à température ambiante et à l'abri de la lumière

2. 2. Le courbe d étalonnage pour le dosage des sucres

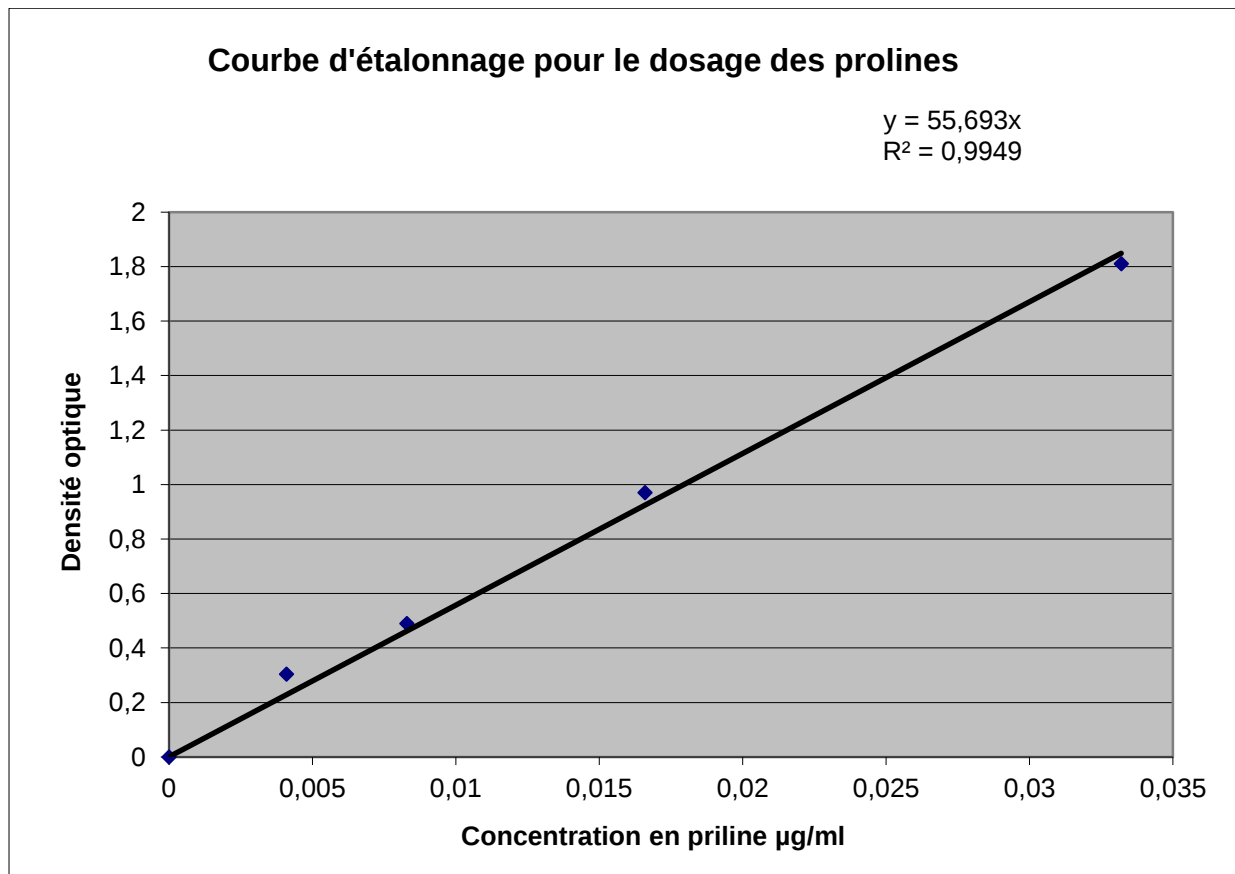


Annexe III

1. Réactif à la ninhydrine

Dissoudre 1.25g de ninhydrine dans 30 mL d'acide acétique glacial, et 20mL d'acide phosphorique 6M. Agiter plusieurs fois pour dissoudre la ninhydrine. (ne se conserve pas plus de 24H).

3. La courbe d'étalonnage pour le dosage de la proline



Annexe IV : Analyse physicochimique du sol et d'eau d'irrigation

Tableau 14: conductivité électrique et PH de l'eau d'irrigation

	CE	PH
E1	1005	6,8
E2	1210	6,6
E3	750	7,3
E4	872	8,1
E5	1450	6,25
E6	1530	7,25

Tableau 15: conductivité électrique et PH de l'extrait de sol

	CE	PH
E1	205,4	7,25
E2	174,1	6,6
E3	143	7,3
E4	170,3	7,28
E5	158	6,25
E6	157	7,25

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE DOCTORALE : Sciences de la Vie, de la Santé et de L'Environnement (ED-SEV)
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
Année académique : 2014-2015

Soukeina MINT ELMOCTAR

Spécialité : Chimie et Biochimie des produits naturels

Résumé

En Mauritanie l'abandon des parcelles rizicoles suite à une salinisation est un fléau qui prend de l'ampleur du jour au jour. Par ailleurs chez les céréales, la tolérance aux sels, tel que le chlorure de sodium, sont des qualités recherchées, afin d'élargir la culture aux zones marginales et d'assurer des rendements dans des conditions à risque de salinisation. Dans l'objectif d'orienter les agriculteurs mauritaniens vers les variétés de riz les mieux adaptées aux conditions de stress salin, les variétés du riz (IR-28, Sahel-108, Sahel-201, Nerica-s44) ont été testées en condition d'hydroponie et en plein champ en présence des concentrations croissantes de NaCl. Le suivi du comportement physiologique, métabolique et agronomique des variétés vis-à-vis des doses de NaCl appliquées a montré des comportements variables aux différents stades phenologiques exprimant des inégalités des niveaux de tolérance à la salinité. Au stade de germination la variété IR28 paraît la plus sensible à l'augmentation de la salinité suivie par Sahel 201 alors que la variété Sahel108 paraît la plus tolérante à ce stade. Les résultats montrent qu'en présence de NaCl à 3g/l les variétés Sahel 108, Sahel 201 et IR28 ont montré respectivement des diminutions de 5%, 16,67% et 23,33%. Cependant à la dose 6g/l de NaCl, après 24 heures les variétés Sahel 108 et Sahel 201 ont donné respectivement 36,66 et 11,66 % de germination alors que IR 28 n'a pas montré de germination à cette dose. L'évaluation de la croissance et des composantes du rendement a montré que la variété Sahel 108 malgré qu'elle enregistre le meilleur rendement en absence de salinité, paraît très affectée en terme de croissance et de rendement par les conditions salines, alors que la variété Nerica-S44 a donné le meilleur rendement en paddy (422,11g/m²) sous la dose de 2g/l suivie de sahel 201 (406,44g/m²) tandis que IR28 (308,44g/m²) a enregistré le plus faible rendement sous ces conditions.

Mots clés : riz, Mauritanie, comportement variétal, salinité,

Abstract

In Mauritania the abandonment of the rice plots as a result of soil salinization is a growing challenge. In addition, salt tolerance (NaCl) in cereals, is a desired trait in order to expand crops cultivation to marginal lands and ensure yields in conditions of risk of salinization. In order to better focus Mauritanian farmers to the well adapted rice varieties to saline conditions, IR-28, Sahel 108, Sahel 201 and Nerica-s44 were tested in hydroponics and in field conditions in the presence of increasing concentrations of NaCl. Physiological behavior, metabolic and agronomic responses vis-a-vis of applied NaCl concentrations showed variable behavior at various phenological stages giving unequal level of salt tolerance in the tested rice varieties. At the stage of germination, IR28 seems more sensitive to the increase in salinity followed by Sahel 201 while Sahel108 variety appears most tolerant at this stage. The results also revealed that at 3g/l of NaCl, Sahel 108, Sahel 201 and IR28 showed a decreases of 5%, 16.67% and 23.33% respectively. However, at the dose of 6g/l NaCl, varieties Sahel 108 and Sahel 201 gave after 24h of incubation a germination rates of 36.66 and 11.66% respectively whereas 28IR showed no germination at this dose. Moreover, evaluation of growth and yield components showed that although the variety Sahel108 recorded the best performance in the absence of salinity, it seems very affected in terms of growth and yield under saline conditions, while the Nerica-S44 variety gave the best yield of paddy (422.11g/m²) under the dose of 2g/l followed by Sahel 201 (406.44g/m²) while IR28 (308,44g/m²) recorded the lowest yield under these conditions.

Keywords: rice, Mauritania, varietal behavior, salinity.