



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques

# MÉMOIRE DE MASTER

Science de la Nature et de la Vie  
Sciences Agronomiques  
Hydro pédologie

Réf. : ...

---

Présenté et soutenu par :  
**BENHAMZA Hayet**

Le : mercredi 03 juillet 2019

## Effet de l'acide salicylique sur la germination et la croissance de l'orge en milieu salé

---

### Jury :

Dr.	GUIMEUR K	MCB	Université de Biskra	Président
Dr.	MASMOUDI A	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Mr.	BENSMINE B	MAA	Université de Biskra	Examineur

## *Dédicace*

*Avant tout je remercie mon Dieu le tout puissant qui m'a donné  
la ténacité pour achever ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail à:*

*Mes très chers parents qui m'ont encouragée, et toujours  
soutenue; durant les moments les plus pénibles de ce long chemin*

*Mes frères et ma sœur*

*A tous mes enseignants*

*La promotion de hydro pédologie*

*Enfin, le dédie ce travail à ma famille et à tous ceux qui me  
connaissent de près ou de loin.*

## Remerciement

En premier lieu, nous remercions Dieu le tout puissant de nos avoir accordée le courage et la force de mener à bien ce modeste travail.

Avant d'exposer ce modeste travail, il m'est agréable de remercier vivement tous ceux qui permis la réalisation de ce travail, c'est grâce à leur aide précieuse.

Au terme de cette étude, mes reconnaissances respectueux vont d'abord à D<sup>r</sup>. MASMOUDI A Maître de conférences au département des sciences d'Agronomie à l'université de Biskra, pour nous avoir acceptés de nous encadrer ainsi que pour ses précieux conseils et orientations, sa disponibilité, sa modestie et pour l'intérêt bienveillant manifesté pour notre travail.

Nous remercions D<sup>r</sup>. GUIMEUR K Maître de conférences au département des sciences d'Agronomie et chef de département des sciences d'Agronomie à l'université de Biskra, qui a accepté de présider le jury de cette mémoire.

Nous remercions également M<sup>r</sup>. BENSMAINE B Maître assistant au département des sciences d'Agronomie à l'université de Biskra l'examineur de ce jury.

Je tiens à remercier tous les enseignants du département d'agronomie pour la formation qu'ils nous ont donnée durant l'année 2018-2019 sans oublier tous les étudiants de Master2 hydro pédologie.

Il est agréable d'exprimer nos profondes gratitude et nous plus vifs remerciements envers toute personne qui loin ou de près a contribué à la réalisation de ce travail.



## Liste des tableaux

<b>Tableau 01:</b> Composition moyenne des grains de l'orge (en % de la MS) .....	3
<b>Tableau 02:</b> Structure de la production d'orge en % de production totale .....	7
<b>Tableau 03:</b> Les chiffres suivants sont le plus souvent admis, pour un extrait saturé .....	11
<b>Tableau 04:</b> Les eaux sont classées en quatre catégories établies sur les valeurs de conductivité électrique .....	11
<b>Tableau 05:</b> Analyse de la variance du taux de germination chez la variété d'orge des différents traitements .....	31
<b>Tableau 06:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour le taux de germination .....	32
<b>Tableau 07:</b> Analyse de la variance de la partie aérienne chez la variété d'orge des différents traitements .....	34
<b>Tableau 08:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour hauteur de la tige (partie aérienne) .....	34
<b>Tableau 09:</b> Analyse de la variance de la partie racinaire chez la variété d'orge des différents traitements .....	36
<b>Tableau 10:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour longueur de la racine (partie racinaire) .....	36
<b>Tableau 11:</b> Analyse de la variance de biomasse fraîche chez la variété d'orge des différents traitements .....	38
<b>Tableau 12:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la biomasse fraîche .....	39

<b>Tableau 13:</b> Analyse de la variance de biomasse sèche chez la variété d'orge des différents traitements .....	41
<b>Tableau 14:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la biomasse sèche .....	41
<b>Tableau 15:</b> Analyse de la variance de la teneur en Na <sup>+</sup> chez la variété d'orge des différents traitements .....	44
<b>Tableau 16:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la teneur en Na <sup>+</sup> .....	44
<b>Tableau 17:</b> Analyse de la variance de la teneur en Cl <sup>-</sup> chez la variété d'orge des différents traitements .....	46
<b>Tableau 18:</b> Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la teneur en Cl <sup>-</sup> .....	46

## Liste des figures

<b>Figure 01:</b> Les principales parties d'orge .....	3
<b>Figure 02:</b> Formule de l'acide salicylique .....	18
<b>Figure 03:</b> Biosynthèse de l'acide salicylique .....	20
<b>Figure 04:</b> Protocole expérimentale pour l'orge (Hordeum vulgare) .....	24
<b>Figure 05:</b> Schéma représentatif du dispositif expérimental pour l'orge .....	26
<b>Figure 06:</b> Taux de germination des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	32
<b>Figure 07:</b> Hauteur de la tige des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	35
<b>Figure 08:</b> Longueur de la racine des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	37
<b>Figure 09:</b> Biomasse fraîche des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	39
<b>Figure 10:</b> Biomasse sèche des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	42
<b>Figure 11:</b> Teneur en Na <sup>+</sup> des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	44
<b>Figure 12:</b> Teneur en Cl <sup>-</sup> des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique .....	47

## Liste des photos

<b>Photo 01:</b> Les solutions préparées pour l'irrigation .....	24
<b>Photo 02:</b> Les grains préparée pour la germination .....	25
<b>Photo 03:</b> Dispositif expérimental pour l'orge .....	26
<b>Photo 04:</b> Mesure de la longueur des tiges et les racines .....	28
<b>Photo 05:</b> Mesure de la matière fraîche .....	28
<b>Photo 06:</b> Mesure de la matière sèche .....	28

## Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des photos

Introduction

### Partie I

#### Synthèse bibliographique

#### Chapitre I: Généralités sur l'orge

I.1- Caractéristiques botaniques de l'orge .....	1
I.1.1- Historique .....	2
I.1.2- Les principaux groups de céréales .....	2
I.1.3- Description de la plante .....	2
I.1.4- Classification .....	2
I.2- Grain de céréales .....	3
I.2.1- Structure du grain d'orge .....	3
I.2.1.1- L'embryon .....	4
I.2.1.2- L'endosperme .....	4
I.2.1.3- Péricarpe- testa .....	4
I.2.1.4- Les glumelles .....	4
I.2.1.5- La couche à aleurones .....	5
I.2.1.6- La paroi externe .....	5
I.2.2- Le cycle de développement .....	5
I.2.2.1- La période végétative .....	5
I.2.2.2- La période reproductive .....	6
I.2.2.3- La maturité complète .....	6
I.3- Orge .....	6
I.4- Production mondiale .....	7
I.5- Production nationale .....	7

## **Chapitre II: Généralités sur la salinité**

II.1- Définition de la salinité .....	8
II.2- Mécanismes de la salinité .....	8
II.2.1- Salinisation primaire .....	8
II.2.2- Salinisation secondaire .....	9
II.3- L'impact de la salinité sur la plante .....	9
II.3.1- Effet de la salinité sur la germination .....	10
II.3.2- Effet de la salinité sur la croissance et le développement .....	10
II.4- Sols salins .....	10
II.5- Origines de la salinité .....	11
II.6- Correction des sols salins .....	12
II.7- Définitions de stress salin .....	12
II.7.1- Les contraintes abiotiques .....	13
II.7.2- Mécanismes de réponses des plantes au stress .....	13
II.7.2.1- Tolérance des plantes au stress salin .....	13
II.7.2.2- D'adaptation à la salinité .....	14
II.7.3- Les différents types de stress abiotique .....	14
II.7.3.1- Le stress hydrique .....	14
II.7.3.2- Le stress thermique .....	14
II.7.3.3- Stress salin .....	15
II.8- Déroulement de la germination .....	15
II.8.1- Conditions de la germination .....	15
II.8.1.1- Conditions internes de la germination .....	15
II.8.1.2- Conditions externes de la germination .....	16
II.8.2- Physiologie de la germination .....	17

## **Chapitre III: Généralités sur l'acide salicylique**

III.1- Acide salicylique .....	18
III.2- Historique .....	18
III.3- L'acide salicylique et la résistance aux pathogènes .....	19
III.4- Biosynthèse de l'acide salicylique .....	19
III.5- Rôle de l'acide salicylique .....	20
III.6- Relation entre l'acide salicylique avec la salinité .....	21

## Partie II

### Etude expérimentale

#### Chapitre VI: Matériel et méthodes

I- Objectif de l'étude .....	22
II- Matériel et méthodes .....	22
II-1- Matériel végétal .....	22
II-2- matériel utilisés .....	22
II-2-1- Boite de pétri .....	22
II-2-2- Le sel utilisé .....	22
II-2-3- Matériel de laboratoire .....	22
III-Techniques et méthodes .....	23
III-1- Protocole expérimentale .....	23
III-1-1- Préparation de solutions d'irrigations .....	23
III-1-2- Préparation des graines .....	25
III-2- Dispositif expérimental .....	25
III-3- Paramètres étudiés .....	27
III-3-1- Le paramètre physiologique .....	27
III-3-1-1- Le taux de germination .....	27
III-3-2- Les paramètres de croissance .....	27
III-3-2-1- La longueur des tiges et des racines .....	27
III-3-2-2- Matière fraîche .....	28
III-3-2-3- Matière sèche .....	28
III-4- Dosage des éléments minéraux (Na <sup>+</sup> , Cl) .....	29
VI- Analyse statistique .....	29

## Partie III

### Etude expérimentale

#### Chapitre V: Résultats et discussion

I- Paramètres de croissance .....	30
I-1-Taux de germination .....	30
I-1-1- Action de la salinité .....	30
I-1-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	31
I-2- Hauteur de la tige (partie aérienne) .....	33
I-2-1- Action de la salinité .....	33
I-2-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	34
I-3- Longueur de la racine (partie racinaire) .....	35
I-3-1- Action de la salinité .....	35
I-3-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	36
I-4- Matière fraîche .....	37
I-4-1- Action de la salinité .....	37
I-4-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	38
I-5- Matière sèche .....	39
I-5-1- Action de la salinité .....	40
I-5-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	40
II- La teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux (Na <sup>+</sup> et Cl <sup>-</sup> ) .....	42
II-1- La teneur des plantes de l'orge en (Na <sup>+</sup> ) .....	42
II-1-1- Action de la salinité .....	42
II-1-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	43
II-2- La teneur des plantes de l'orge en (Cl <sup>-</sup> ) .....	45
II-2-1- Action de la salinité .....	45
II-2-2- Action combinée salinité - acide salicylique .....	46
Conclusion	
Références bibliographiques	
Annexes	

# *Introduction*

## Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie (**Djermoun, 2009**). La culture des céréales est fort ancienne en Algérie; le blé et l'orge tiennent une place de premier ordre parmi les plantes cultivées (**Chouaki, 2006**). La culture de l'orge domine la production céréalière nationale. Elle occupe plus de 40% de superficie emblavée en céréales, et assure environ 45% de la production de céréales, soit plus de 2 millions de tonnes annuellement (**Belaid, 2016**). L'orge, largement connu comme " céréale à grain" riche en fibres, en vitamines et en minéraux essentiels, est l'une des cultures céréalières à grain les plus tolérantes au sel. Elle a de multiples utilisations nutritives et peut également être converti en malt ou utilisée pour le fourrage (**Masmoudi, 2015**).

La salinisation constitue une grave menace, en particulier pour les pays à climats arides et semis arides. Plus de 1,5 million d'hectares de terres agricoles sont perdus chaque année en raison de la salinité et on estime que jusqu'à 20% des terres arables de la planète sont affectées par la salinité (**Masmoudi, 2015**). En Algérie, 3,2 millions d'hectares de terres agricoles sont menacés par la salinité (**Djerah et Oudjehih, 2015**).

La salinité est définie par la quantité totale des éléments dissous dans l'eau. Le chlorure de sodium (NaCl) est souvent le sel majoritaire parmi ceux qui constituent la salinité mais il n'est jamais le seul (**Jean-Nicolas et al 2011**). La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes. Chez les céréales, l'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (**Bouaouina et al, 2000**). La tolérance au sel d'une culture varie en fonction de plusieurs facteurs dont principalement: le stade de développement, l'aridité du climat, la fertilisation, le mode d'irrigation, l'espèce et la variété (**Slama, 2004**).

La sécheresse et la salinité sont, parmi les contraintes abiotiques, celles qui limitent le plus la croissance et la productivité des plantes. Ces deux contraintes provoquent une diminution du potentiel hydrique de la solution du sol, limitant ainsi l'absorption de l'eau. D'autre part, les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  ou d'autres sels présents en fortes

concentrations perturbent le métabolisme cellulaire. Les mécanismes d'adaptation des plantes aux contraintes abiotiques résultant d'un ensemble de stratégies, non exclusives, qui sont de nature développementale, morphologique, anatomique, métabolique et/ou physiologique. La mise en place de ces mécanismes contribue au maintien des fonctions vitales et de l'équilibre hydrique (**Morot-Gaudry et al, 2009**).

L'acide salicylique est un produit naturel chez de nombreuses plantes, intervenant dans le contrôle de plusieurs processus physiologiques. Sa capacité à augmenter la résistance du Tabac aux infections virales. Cette propriété se rencontre chez de nombreuses espèce (Mono-Dicotylédones) et vis-à-vis aussi bien de virus que de champignons ou de bactéries pathogènes (**Heller et al, 2000**). L'acide salicylique induit la SAR (résistance systématique acquise). Le niveau endogène de l'acide salicylique (SA) augmente localement et d'une manière systématique lors de l'immunisation. SA est un signal endogène essentiel pour l'immunisation des plantes (**Mazliak, 1998**).

Afin de limiter les effets néfastes de la salinité, et de renforcer les mécanismes de tolérance au stress, l'acide salicylique joue un rôle important dans la défense des plantes contre le stress biotique et abiotique (**Ünlü et al, 2009; Vazirimehr et Rigi, 2014**). Son application exogène sous différents stress a été étudiée par plusieurs chercheurs, et son rôle dans l'activation de la germination, la croissance sous stress salin a été signalé chez le blé (**Arfan et al, 2007**), l'orge (**El-Tayeb, 2005**) et le maïs (**Gunes et al, 2007**).

Dans le cadre de cette approche, nous avons étudié l'influence de l'interaction de l'acide salicylique et la salinité sur la réponse la croissance de l'orge afin de comprendre les différents mécanismes d'adaptations mises en place. Nous avons cherché à évaluer l'impact de la salinité sur la production de biomasse végétale, la tolérance de cette variété au sel pendant 15 jours de son développement. La première partie de ce travail aborde une partie bibliographique sur l'espèce étudiée, la salinité et l'acide salicylique. Dans la deuxième partie de ce mémoire décrit le matériel biologique et l'ensemble des méthodes utilisées dans notre étude. Les étapes suivies dans l'exploitation de nos résultats ainsi que leur discussion sont présentées dans la troisième partie. Et enfin une conclusion.

# *Partie I*

## *Synthèse bibliographique*

*Chapitre I*  
*Généralités sur l'orge*

### **I.1- Caractéristiques botaniques de l'orge:**

Les céréales et leurs dérivés constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. Ils occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole (**Cherif et Ben Jemâa, 2014**). Les céréales occupent souvent le tiers des superficies cultivables dans le pays, soit un million et demi d'hectares annuellement. Le blé dur occupe à lui seul, aux environs de 850.000 hectares. L'orge est emblavée sur un demi-million d'hectares et le blé tendre à un degré moindre, 150.000 hectares (**El felah et Gharbi, 2014**).

Les poacées ou graminées sont des plantes herbacées et généralement de faible dimension. Cette famille, parmi toutes celles du règne végétal, occupe une place à part, non seulement par le nombre de ses espèces, 9000 mais encore par son ubiquité, sa répartition et son intérêt humain, historique comme économique (**Dupont et Guignard, 2007**).

Chez les céréales de la famille des graminées, le grain, qui est un caryopse, est soit nu ou vêtu:

**Les grains vêtus:** on parle d'un grain vêtu lorsque ses enveloppes restent attachées ou soudées au grain après battage (orge, riz, avoine, sorgho et millet) ;

**Les grains nus:** On parle d'un grain nu lorsqu'il a perdu ses enveloppes (glumes et glumelles) au battage (blé, seigle et maïs) (**Doumandji et al, 2003**).

On y distingue deux types selon la forme de leur épi:

- **L'orge à 2 rangs ou l'orge distique:** à un épi aplati composé de 2 rangées d'épillets fertiles, un sur chaque axe du rachis, entouré de 4 épillets stériles. Dans ce type existent surtout des variétés de printemps.
- **L'orge à 6 rangs ou orge hexastique:** encore appelé escourgeon, à une section rectangulaire, sur chaque axe du rachis les 3 épillets sont fertiles. Dans ce type n'existent pratiquement que des variétés d'hivers (**Soltner, 2005**).

L'orge: C'est une plante annuelle des régions tempérées du globe, cultivée sur sols calcaires aux labours profonds. On distingue des orges d'hiver et des orges de printemps (**Clerget, 2011**).

### **I.1.1- Historique:**

L'orge considérant les découvertes archéologiques dans les premiers villages du Croissant Fertile, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la première céréale à être domestiquée dans cette région. Les fouilles archéologiques effectuées depuis le début du siècle en Syrie et en Iraq ont dévoilé la présence de caryopses d'orge provenant d'épis modifiés par le processus de domestication. Ces épis datent d'environ 10000 ans (**Sorgho, 2001**).

### **I.1.2- Les principaux groupes de céréales:**

La plupart des céréales appartiennent à la famille des Graminées (ou Poacées). Ce sont: le blé, l'orge, l'avoine, le seigle, le maïs, le riz, le millet, le sorgho (**Moule, 1971**).

Il existe trois groupes de céréales:

- Un premier grand groupe de céréales est formé par le blé, l'orge, le seigle et l'avoine;
- Un deuxième grand groupe est formé par le maïs;
- Un troisième grand groupe ordonné autour du riz (**Clerget, 2011**).

### **I.1.3- Description de la plante:**

L'orge (*Hordeum vulgare* L.) est une plante annuelle, autofécondée très semblable au blé dans la morphologie de ses organes végétatifs et floraux. Où l'on retrouve plusieurs niveaux de ploïdie, l'orge spontanée et l'orge cultivée sont des espèces diploïdes possédant le même nombre chromosomique ( $2n = 14$ ) (**Sorgho, 2001**).

### **I.1.4- Classification:**

D'après **Chadefaud et Emberger (1960), Prats (1960) et Feillet (2000) in Belarbi, 2016**, l'orge cultivée est appartenue à la classification suivante:

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Liliopsida
<b>S/Classe</b>	Commelinidae
<b>Ordre</b>	Poale

<b>Famille</b>	Poaceae
<b>S/Famille</b>	Hordeoideae
<b>Tribu</b>	Hordeae (Hordées)
<b>S/Tribu</b>	Hordeinae
<b>Genre</b>	Hordeum
<b>Espèce</b>	Hordeum vulgare L.

**Tableau 01:** Composition moyenne des grains de l'orge (en % de la MS) (Soltner, 2005)

	Protéines	Lipides	Cendres	Matières cellulosiques	Glucides
Orge	13,0	2,1	2,7	6,1	76,1

## I.2- Grain de céréales:

La graine de céréale est un fruit ne comportant qu'un seul cotylédon. Elle est constituée par le germe qui donne la plantule, l'amande appelée endosperme ou albumen, tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires pour sa croissance et les enveloppes protectrices ou son, composées par la paroi de la graine (testa) et par la paroi du fruit (péricarpe) (Doumandji et al, 2003).



**Figure 01:** Les principales parties d'orge  
(Zibouche et Grimes, 2016)

### I.2.1- Structure du grain d'orge:

L'orge est une graine vêtue: les glumelles adhèrent au grain et ne s'en séparent pas au battage.

Les principales parties constituant un grain d'orge sont, de l'intérieur vers l'extérieur:

- L'embryon (plantule complète) ;
- L'endosperme (réserve de matières nutritive) ;
- La couche à aleurone, périphérique (réservoir enzymatique) ;
- Le péricarpe-testa (membrane semi-perméable) ;
- Et la paroi externe.

#### **I.2.1.1- L'embryon:**

L'embryon est formé principalement par une radicule, une tigelle et une plumule. Situé principalement sur la face dorsale du grain, il est séparé de l'endosperme par le scutellum qui a une fonction de sécrétion et permet la diffusion des enzymes hydrolytiques de l'embryon vers l'endosperme.

Les principaux sucres de l'embryon sont le saccharose et le raffinose. Ils représentent 25% du poids sec de l'embryon.

#### **I.2.1.2- L'endosperme:**

L'albumen (endosperme) représente l'organe de réserve de l'orge. Il est constitué de cellules mortes remplies de granules d'amidon entourés de protéines.

#### **I.2.1.3- Péricarpe- testa:**

Le péricarpe est séparé de l'enveloppe par une couche cireuse et est soudé à la testa par une couche de cellules à parois lignifiées. Le péricarpe est composé majoritairement de cellulose (20%) mais contient également 6% de protéines, 2% de cendres, 0,5% de lipides et de pentosanes.

#### **I.2.1.4- Les glumelles:**

La glumelle dorsale ou lemma possède une paroi épaisse, alors que la glumelle ventrale ou palea a une paroi plus fine. Les glumelles protègent la plumule qui va se développer au cours de la germination et constituent donc un avantage pour l'orge par rapport à d'autres graines qui n'ont pas d'enveloppes. Les glumelles sont très riches en celluloses et hémicelluloses, et représentent 10 à 20% du poids sec de la graine.

### **I.2.1.5- La couche à aleurones:**

La couche à aleurones renferme, dans sa partie la plus externe, de l'amidon et des protéines, et dans sa partie interne, des lipides (30%), des protéines (20%), de l'acide phytique, des vitamines du groupe B, de la cellulose, des pentosanes, des B-glucanes dans les parois cellulaires, mais pas d'amidon.

### **I.2.1.6- La paroi externe:**

La paroi externe entoure complètement le grain sauf aux 2 extrémités. Elle doit être intacte pour permettre une absorption d'eau homogène lors du trempage, pour protéger l'embryon des infections pendant la germination (**Guiga, 2006**).

### **I.2.2- Le cycle de développement:**

Le cycle de développement d'une céréale comprend trois grandes périodes:

- La période végétative qui va de la germination aux premières manifestations de l'allongement de la tige principale, c'est-à-dire au début de la montée ;
- La période reproductrice allant du début de la montée à la fécondation ;
- La période de maturation allant de la fécondation à la maturité complète du grain (**Moule, 1971**).

#### **I.2.2.1- La période végétative:**

**La germination:** La germination de ces semences désigne l'ensemble des processus qui vont du début de la réhydratation de la graine à la sortie de la radicule (**Soltner, 2007**).

**La levée:** La levée fait suite à la germination, avec la croissance de la radicule, de l'axe hypocotylé (Dicotylédones) ou du coléoptile (Monocotylédones) et de la gemmule, ou de la première feuille (**Soltner, 2007**).

**Le tallage:** Dès que la première feuille a percé l'extrémité du coléoptile, celui-ci s'arrête de croître et peu à peu se dessèche. Cette première feuille fonctionnelle s'allonge, puis apparaît une deuxième, puis une troisième, puis une quatrième feuille. Chacune d'elles est imbriquée dans la précédente, partant toutes d'une zone proche de la surface du sol et constituée de l'empilement d'un certain nombre d'entre-nœuds: le plateau de tallage (**Moule, 1971**).

### **I.2.2.2- La période reproductive:**

**La montaison:** Ce stade est repérable une fois l'ébauche de l'épi du brin maître, atteint 1cm de hauteur. Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle (stade gonflement) (**Giban et al, 2003 in Zibouche et Grimes, 2016**).

**L'épiaison:** est la période allant de l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis hors de la gaine de la dernière feuille (**Giban et al, 2003 in Zibouche et Grimes, 2016**).

**La floraison:** est la sortie des premières étamines hors des épillets au milieu de l'épi sur 50% des épis la formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement. Ils se développent en deux stades:

- Le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux atteint cette dimension définitive; (le grain contient encore 50% d'humidité et le stockage des protéines touche à sa fin).
- Le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement; (le grain a perdu son humidité et l'amidon a été constitué).

### **I.2.2.3- La maturité complète:**

La teneur en humidité atteint environ 20%; le grain est mûr et prêt à être récolté, c'est alors la période des moissons (**Zibouche et Grimes, 2016**).

## **I.3- Orge:**

L'orge cultivée est représentée par un petit nombre d'espèces et de variétés mais par de nombreuses sortes dont certaines donnent de très beaux grains.

Nous pouvons citer

- Les orges Carrées d'Algérie N°26, 42 et 48 ;
- L'orge noire a été essayée à différentes époques depuis le milieu du siècle dernier, mais vers les années 30, elle était très peu cultivée et ne se rencontrait déjà qu'en mélange avec l'orge carrée ;
- L'orge nue ou céleste (Chairennebi), cultivée depuis longtemps, n'existe déjà en 1937 que dans quelques fermes de l'Ouest du pays ;

- Les orges à deux rangs (*H. distichum* L.) recherchées par la malterie ;
- L'orge Saida (six rangs) et l'orge Tichedrett (six rangs) qui ont fait l'objet de sélection durant la période colonial et qui se sont maintenues jusqu'à nos jours grâce à leur adaptation et à leur utilité (utilisation à double fin: pâturage et production de grain et de paille) ;
- Dans les Aurès, il existe certains cultivars de terroir à paille assez courte et épis assez grand (**Chouaki, 2006**).

#### **I.4- Production mondiale:**

En 2001, la production mondiale d'orge était estimée à 141,2 MTM, répartie dans 99 pays sur une superficie d'environ 54,3 millions d'hectares. Les neuf principaux pays producteurs étaient la Fédération Russe (19,5 MTM), l'Allemagne (13,6 MTM), le Canada (11,3 MTM), l'Ukraine (10,2 MTM), la France (9,8 MTM), le Royaume-Unis (6,7 MTM), la Turquie (6,6 MTM), l'Espagne (6,2 MTM) et les Etats-Unis (5,4 MTM). Le rendement moyen par hectare était de 2,60 TM, certains pays comme la Hollande et l'Allemagne produisaient plus de 6 TM/Ha, la Canada suivant avec une production de 2,85 TM/ha La Jordanie, l'Irak et la Bolivie produisent, par contre, moins que 0,7 TM/ha (**Sorgho, 2001**).

#### **I.5- Production nationale:**

Filière céréales: En Algérie, la production enregistrée au titre de la campagne 2014/2015 est de 37,6 millions de quintaux dont : 20,2 millions de q de blé dur, 6,4 millions de q de blé tendre, 10,3 millions de q d'orge et 0,7 millions de q d'avoine (**Anonyme, 2016**).

**Tableau 02:** Structure de la production d'orge en % de production totale (**Djermoun, 2009**)

	63/67	68/72	73/77	78/82	83/87	88/92	86/95	2001	2002	2003	2004
Orge	27,01	25,55	24,84	29,43	40,13	45,31	40,12	21,62	21,32	28,65	30,06

## *Chapitre II*

### *Généralités sur la salinité*

## II.1- Définition de la salinité:

La salinité est la quantité globale des sels solubles contenus dans l'eau d'irrigation ou dans la solution du sol (**Slama, 2004**). De ce fait, la salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol. La salinisation a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres. Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Il est estimé que le monde perd au moins 3 ha de terres arables chaque minute à cause du phénomène de salinisation des sols (**IPTRID, FAO, CISEAU, 2006**).

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires (**Couture, 2004**).

## II.2- Mécanismes de la salinité:

### II.2.1- Salinisation primaire:

La salinisation primaire résulte du processus d'altération des roches et la migration, et le dépôt des sels dissous dans l'eau dépendent des caractéristiques du milieu naturel et des précipitations. Dans les régions arides ou semi arides, le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol. Dans les régions côtières l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau de mer provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols (**Lallemant-Barrés, 1980**), 80% des terres salinisées ont une origine naturelle, due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou des apports naturels externes (**IPTRID, FAO, CISEAU, 2006**).

### **II.2.2- Salinisation secondaire:**

Des sols irrigués due à l'accumulation des sels solubles dans le sol. Elle résulte de divers facteurs dont l'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage inefficace, un taux important d'évaporation, des remontées du niveau des nappes (**Lallemand-Barrés, 1980**), 20% des terres salinisées, soit près de 15 Mha sur le continent Africain, ont une origine anthropique, induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles en particulier à l'irrigation (**IPTRID, FAO, CISEAU, 2006**).

### **II.3- L'impact de la salinité sur la plante:**

Le stress salin a un triple effet sur la plante: il réduit leur potentiel hydrique, il cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique, il provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et à la limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique, l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (**Snoussi et Abbad, 2012**).

**Eléments toxiques :** Certains éléments de l'eau d'irrigation peuvent être directement toxiques à la culture. Établir des limites de toxicité pour l'eau d'irrigation est compliqué de par les réactions qui peuvent se passer quand l'eau atteint le sol. Les éléments potentiellement dangereux de l'eau peuvent être inactivés par des réactions chimiques ou bien s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre des niveaux de toxicité pour les plantes. Le bore, le sodium et le chlore sont à surveiller (**Couture, 2004**).

**Toxicité des sels:** effet spécifique de certains sels qui s'ajoute à l'effet de la pression osmotique (NaCl est plus toxique que Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> qui est plus toxique que Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>); effet indirect par modification du milieu (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> augmente le pH qui induit le blocage des oligo-éléments). Le bore, qui est un élément indispensable à la croissance des plantes, a un seuil de carence voisin du seuil de toxicité (environ 1.5 ppm) (**Montoroi, 1993**).

### **II.3.1- Effet de la salinité sur la germination:**

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure. La salinité il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif .Cet effet dépend de la nature de l'espèce, de l'intensité du stress salin. La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination (**Hajlaoui et al, 2007**).

### **II.3.2- Effet de la salinité sur la croissance et le développement:**

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (**Bouaouina et al, 2000**). En effet, les sels accumulés dans le sol ou dans l'eau d'irrigation peuvent limiter ou arrêter complètement la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et ou à l'effet toxique spécifique des éléments (**Arbaoui et al, 1999**). La salinité influence également la croissance et la qualité des fruits (**Levigneron et al, 1995**).

Ralentissement de la croissance dû à l'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol: la disponibilité en eau diminue car le végétal ne peut exercer une force de succion suffisante: baisse de rendement des cultures, jaunissement voire mort des végétaux (**Montoroi, 1993**). A très faible concentration, certains sels présents à l'état naturel dans le sol sont absorbés comme éléments nutritifs par les végétaux. Cependant, à des concentrations plus élevées, les sels soluble peuvent empêcher les racines d'absorber l'eau et les éléments nutritifs et, ainsi, restreindre la croissance des plantes cultivées, d'où un rendement plus faible (**Wiebe et al, 2001**).

### **II.4- Sols salins:**

La salinité des sols peut avoir trois origines: la mer, les roches salines, l'eau d'irrigation. Parmi les principales causes:

- Apports par marins, soit par la surface (embruns,...) soit par le sous-sol, suite à des pompes excessifs dans la nappe phréatique côtière ;
- Apports par le vent ;

- Remontée capillaire d'un sous-sol riche en sels dissous ;
- Accumulation à partir d'une irrigation mal conduit avec des eaux légèrement salines ;
- Destruction de la végétation naturelle (feu, surpâturage, production de charbon de bois, culture itinérante...) ;

**Tableau 03:** Les chiffres suivants sont le plus souvent admis, pour un extrait saturé (Gabriel, 2003):

Salinité du sol	Non salé	Légèrement salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
microhoms	2,000	3,000	5,000	9,000	16,000

**Tableau 04:** Les eaux sont classées en quatre catégories établies sur les valeurs de conductivité électrique (Lallemand-Barrés, 1980):

Teneur en sel g/l	Conductivité électrique micro mhos/cm à 25°C	Classification américaine
< 0,2	< 250	C1 Eaux faiblement salines
0,2-0,5	250-750	C2 Salinité moyenne
0,5-1,5	750-2250	C3 Salinité forte
1,5-3	> 2250	C4 Très forte salinité

## II.5- Origines de la salinité:

Selon Slama (2004), les origines de la salinité sont:

**Roche mère:** Les matériaux qui forment les assises géologiques du sol dont les marnes du Crétacé et l'Eocène, les argiles et sables plus ou moins gypseux du Miopliocène, et les formations gypseuses et salées du Trias, renferment des quantités plus ou moins importantes de sels solubles. L'eau en passant au contact de ces roches s'enrichit en sels, les transporte et les ré pond avec le temps.

**Nappe phréatique:** La nappe phréatique salée et peu profonde provoque une salinisation de l'horizon de surface du sol par la remontée capillaire.

**Minéralisation de la matière organique:** Comme tout amendement organique, le fumier, lors de son application, peut augmenter la salinité du sol. La qualité du fumier et son pouvoir salinisant variant avec l'espèce animale.

**Engrais minéraux:** Les engrais minéraux influencent la salinité du sol par l'action spécifique de chacun de leurs ions, ainsi que par les quantités solubilisées c'est-à-dire ionisées.

**Produits de traitement:** Les produits de traitement de la terre et des plantes: herbicides, fongicide et insecticides agissent aussi sur la salinité du sol.

**Eau d'irrigation chargée:** La principale source de salinisation des sols. Plus de 30% des ressources en eau du pays ont une teneur en sels soluble supérieure à 3 gramme par litre.

#### **II.6- Correction des sols salins:**

- ✓ Décomposition, afin d'améliorer le taux d'infiltration des eaux de pluie et l'efficacité des irrigations de lessivage ;
- ✓ Installation ou réfection du drainage, suivie de fortes irrigations afin de lessiver les sels soluble ;
- ✓ Apport de gypse puis fortes irrigations afin d'éliminer le sodium du complexe ;
- ✓ Paillage ou binage, afin de réduire l'évaporation ;
- ✓ Si le sol est très calcaire: apport de soufre ou de pyrite (à justifier auprès du groupe certificateur: accord préalable nécessaire) ;
- ✓ Toutes les pratiques agricoles visant à réduire le compactage et améliorer la structure du sol ;
- ✓ Cultiver des espèces tolérantes (**Gabriel, 2003**).

#### **II.7- Définitions de stress salin:**

Stress terme qui désigne l'ensemble des perturbations biologiques de l'organisme en réaction à des modifications de l'environnement biotique (agression par des parasites) et abiotique (manqué d'eau, excès de froid ou de chaleur par exemple) (**Morot-Gaudry et al, 2009**). La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter

sans grand dommage pour leur culture varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (**Levigneron et al, 1995**).

Le stress exercé par le sel perturbe de façon sévère l'homéostasie cellulaire chez les plantes supérieures. Les différences entre les concentrations intra- et extra-cellulaires d'ions inorganiques (majoritairement  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ), engendre une sortie d'eau et une réduction du volume cellulaire (**Jean-Nicolas et al, 2011**).

L'altération de la salinité du milieu externe (une diminution ou une augmentation de la salinité) influence l'homéostasie intracellulaire de trois manières:

- Le stress osmotique causé par une entrée d'eau à travers la membrane cellulaire semi-perméable engendre un changement du potentiel hydrique cellulaire ;
- Un stress ionique peut être causé par la perte passive et l'entrée d'ions inorganiques (principalement,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) ;
- Des changements de la composition ionique intracellulaire peuvent être causés par la perméabilité sélective de la membrane aux ions (**Jean-Nicolas et al, 2011**).

### **II.7.1- Les contraintes abiotiques:**

Le terme « stress abiotiques » est un terme général qui comprend de multiples contraintes telles que la chaleur, le froid, la sécheresse, l'excès de lumière, le rayonnement UV-B (rayonnement Ultra-violet de longueur d'onde moyenne entre 315 et 280 nm), l'excès d'eau, la salinité, les blessures occasionnées par les ravageurs et les pratiques culturales, l'exposition à l'ozone, et le choc osmotique ; on estime que 90% des terres arables sont soumises aux stress abiotiques. Certaines de ces contraintes, telles que la sécheresse, les températures extrêmes et la haute salinité limiteraient fortement la productivité des cultures (**Dita et al, 2006**).

### **II.7.2- Mécanismes de réponses des plantes au stress:**

#### **II.7.2.1- Tolérance des plantes au stress salin:**

La tolérance exige que l'organisme soit en équilibre thermodynamique avec le stress, ce qui signifie que les conditions qui règnent dans la plante sont en équilibre avec les conditions de l'environnement externe. La tolérance à la sécheresse, par exemple, implique que l'organisme survive à une dessiccation qui n'endommage pas

son protoplasme et qu'il conserve la capacité de reprendre une croissance normale lorsque le protoplasme sera réhydraté (**Hopkins, 2003**).

### **II.7.2.2- Adaptation à la salinité:**

En physiologie, une distinction importante existe entre acclimatation et adaptation. L'acclimatation osmotique correspond à la réaction immédiate d'un organisme suite à un stress ionique et osmotique. Cette réaction implique le re-établissement de l'homéostasie cellulaire à travers des processus de transport et la production d'osmolytes. L'adaptation osmotique correspond à une évolution à travers des différences inter-générationnelles dans le sens où il s'agit d'une sélection des individus les plus performants pour assurer une reproduction efficace. L'adaptation osmotique se manifeste donc au niveau génétique (**Jean-Nicolas et al, 2011**).

### **II.7.3- Les différents types de stress abiotique:**

#### **II.7.3.1- Le stress hydrique:**

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure, d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol et, d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence (**Levigneron et al, 1995**).

#### **II.7.3.2- Le stress thermique:**

Pour effectuer sa croissance et son développement, chaque plante exige une gamme bien particulière de températures. Chaque plante possède une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites, supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue, et au-delà elle s'annule (**Hopkins, 2003**).

### **II.7.3.3- Stress salin:**

La concentration en sels dans l'environnement d'une plante varie énormément, elle peut être insuffisante ou excessive. Bien qu'elle constitue pratiquement un stress induit par de faibles concentrations salines, une carence en un ion se manifeste généralement sous la forme d'un problème nutritionnel. En fait, le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (**Hopkins, 2003**).

Un stress salin peut limiter la croissance des végétaux, en modifiant le bilan entre la disponibilité et les besoins. Le fort éclaircissement et la rareté des pluies dans les régions arides et semis arides, accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (**Hajlaoui et al, 2015**).

### **II.8- Déroulement de la germination:**

On considère souvent qu'une semence a germé quand elle a donné naissance à une jeune plante. Mais il s'agit d'une définition agronomique de la germination, qui ne tient pas compte des processus physiologiques mis en jeu.

En 1957, Evenari a proposé une définition beaucoup plus restrictive de ce phénomène: la germination est un processus dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le début de la croissance de la radicule. C'est actuellement la définition adoptée par les physiologistes. Tous s'accordent à considérer que la germination d'une semence est terminée quand la radicule perce les enveloppes ou, s'il s'agit d'un embryon isolé, dès que la radicule commence à s'allonger. L'évolution ultérieure est un phénomène de croissance. En réalité, le début de l'allongement de la radicule, qui constitue le critère de fin de germination, fait déjà partie de ce phénomène de croissance (**Mazliak, 1998**).

#### **II.8.1- Conditions de la germination:**

##### **II.8.1.1- Conditions internes de la germination:**

**Maturité:** C'est-à-dire que toutes ses parties constitutives: enveloppes séminales (tégument + éventuellement péricarpe) et amande (tissus de réserves + embryon), soient complètement différenciées morphologiquement.

**La longévité** des semences, durée pendant laquelle elles restent vivantes et gardent leur pouvoir germinatif, varie considérablement selon les espèces.

#### **II.8.1.2- Conditions externes de la germination:**

**L'eau** est évidemment indispensable et doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante mais aussi sous des liaisons suffisamment faibles pour que la graine puisse l'absorber. C'est ainsi que le blé peut germer sur une terre légère ayant une teneur en eau de 0,52%, alors que sur du terreau de jardinière, il faut une humidité d'au moins 19%. Une élévation de la pression osmotique du sol gêne considérablement la germination (exemple: une addition de 1g de NaCl par kg de terre, qui abaisse son potentiel hydrique (élève sa pression osmotique) de 1 à 10 bar, abaisse le taux de germination de la Luzerne de 84 à 54%, de l'orge de 95 à 20%). Mais, sauf pour les plantes aquatiques (ou semi-aquatiques: riz), l'immersion totale, asphyxique, est inhibitrice (**Heller et al, 2000**).

**Oxygène:** Selon l'espèce, le besoin en oxygène est variable. Il existe des teneurs optimales pour une germination maximum. Seul l'oxygène dissous dans l'eau d'imbibition est utilisé par l'embryon pour ses besoins métaboliques. Ce gaz est très peu soluble dans l'eau, sa solubilité est inversement proportionnelle à la température. (**Bacchetta G et al, 2007**). En effet, la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue quand la température s'élève. Si bien que plus la germination s'effectue à température fraîche, plus la graine utilise l'oxygène dissous dans l'eau. Et plus la température de germination est élevée, plus la graine a besoin de l'oxygène atmosphérique (**Soltner, 2007**).

**Température:** La température intervient directement en agissant sur la vitesse des réactions biochimiques. C'est la raison pour laquelle on suppose souvent qu'il suffit d'élever la température pour stimuler la germination. Mais cela n'est vrai que s'il n'existe aucun autre facteur limitant, en particulier si l'oxygène ne fait pas défaut. Or la température joue un grand rôle dans la germination en agissant sur la solubilité de l'oxygène et en réglant l'apport de ce gaz à l'embryon à travers les enveloppes (**Mazliak, 1998**). La température nécessaire à la germination est variable suivant les graines. Le cresson (*Nasturtium officinale*, R. Br., Brassicaceae), par exemple, germe entre 1,8 et 48°C, mais la température optimum est de 31°C; l'orge (*Hordeum vulgare*

L. Poaceae) germe entre 5 et 37,7°C, son optimum est 28,7°C; le maïs (*Zea mays* L. Poaceae) germe entre 9,5 et 46,2°C, son optimum est 33,7°C (**Laberche, 2010**).

**Lumière:** La lumière favorise la germination de la plupart des grains qui, par conséquent, sont dites à photosensibilité positive. D'autres ne germent par contre qu'à l'obscurité (ex: *Cyclamen*) et sont donc dites à photosensibilité négative. D'autres encore sont indifférentes (**Bacchetta et al, 2007**).

### **II.8.2- Physiologie de la germination:**

#### **Les phases de la germination:**

La germination débute lorsque la graine est imbibée d'eau. Au cours de cette phase, l'eau pénètre dans la graine par capillarité à travers l'enveloppe. Les cellules se gonflent et la graine commence à prendre du volume. L'enveloppe devient de en plus perméable et commence à s'ouvrir permettant à l'oxygène d'atteindre les cellules. Cette phase de trempage s'étend sur une période de 1 à 8 heures (**Colbert, 2008**).

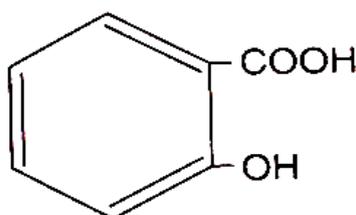
Après l'imbibition, commence la seconde phase, considérée comme la plus importante parce qu'elle détermine le développement de la graine. C'est un stade d'intense activité métabolique pour l'expression des gènes et la synthèse d'enzymes qui hydrolysent des réserves nutritives destinées au développement de la plantule. La troisième phase correspond à l'émergence de la radicule qui précède l'établissement des plantules. Cette phase nécessite la diminution de la résistance mécanique des tissus de couverture et l'augmentation de la force interne provenant de l'expansion de l'embryon. L'apparition de la radicule marque la fin du processus de germination (**Bewley, 1997; Foottit et al, 2006; Finkelstein et al, 2008 in Aya et al, 2011**).

## *Chapitre III*

### *Généralités sur l'acide salicylique*

### III.1- Acide salicylique:

L'acide salicylique (acide o-hydroxybenzoïque,  $M_r = 138$ ), libre ou conjugué, est un produit phénolique naturel présent en abondance dans l'écorce et les feuilles de Saule (*Salix alba*), dont les propriétés analgésiques sont connues depuis l'Antiquité. Isolé en 1838 à partir de son conjugué (salicine) et synthétisé au laboratoire en 1874, il est un constituant de l'aspirine (acide acétylsalicylique) (Heller et al, 2000).



**Figure 02:** Formule de l'acide salicylique

### III.2- Historique:

L'acide salicylique est découvert en 1828 quand Johann Buchner a isolé, à partir de l'écorce de saule, le glucoside d'alcool salicylique (salicine). Le nom de l'acide salicylique (AS) a été donné par Raffaele Piria en 1838. La première production commerciale d'AS synthétique a débuté en 1874 en Allemagne. Son dérivé l'acide acétylsalicylique a été introduit sous le nom commercial d'aspirine en 1898 (Raskin, 1992). La production de l'acide salicylique lors de l'établissement de la résistance systémique chez le concombre et le tabac, beaucoup d'efforts ont été déployés pour élucider le rôle de cette molécule dans cette résistance (Métraux et al, 1990 ; Malamy et al, 1990 ; Raskin, 1992 ; Delaney et al, 1994).

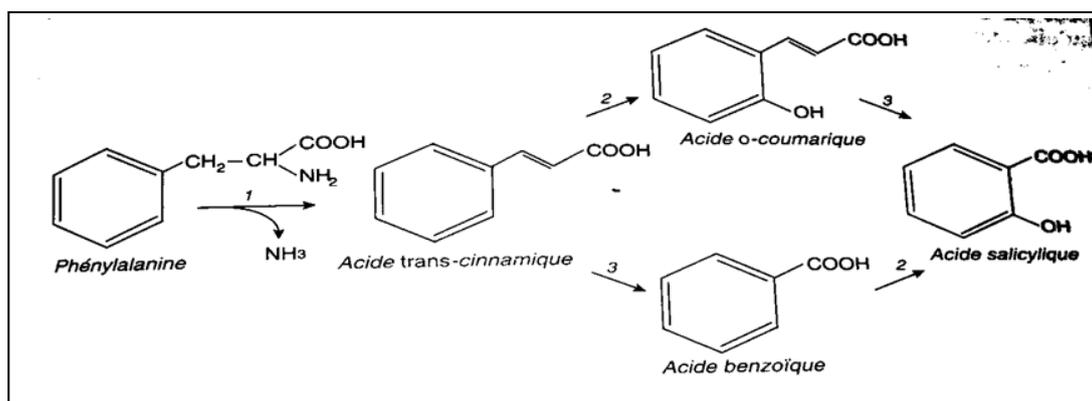
Le développement de la SAR (résistance systémique acquise) est encore mal connu, mais l'une des composantes de la voie de signalisation serait l'acide salicylique. L'acide salicylique (acide 2-hydroxybenzoïque) est un métabolite secondaire naturel possédant des propriétés analgésiques. Les indiens d'Amérique et les eurasiens utilisaient depuis longtemps les écorces de saule (*Salix sp.*) qui est la source du glycoside de l'acide salicylique, la salicine, pour soulager leurs maux et leurs douleurs (Hopkins, 2003).

### III.3- L'acide salicylique et la résistance aux pathogènes:

La relation entre l'acide salicylique et la résistance aux pathogènes n'était pas évidente jusque dans les années 1990, époque à laquelle il a été observé que l'acide salicylique et son dérivé acétylé (l'aspirine), appliqués sur des plants de tomate, induisaient l'expression de gènes codant pour des protéines PR et augmentaient la résistance au virus de la mosaïque du tabac (TMV). Depuis lors, il a été montré chez de nombreuses plantes, qu'une infection est suivie d'un accroissement de la concentration en acide salicylique à la fois localement et dans des régions distales de la plante (**Hopkins, 2003**). Lorsque des plants de tabac sont par exemple, inoculés par du TMV, la concentration en acide salicylique des feuilles inoculées augmente 20 fois, et celle des feuilles non inoculées 5 fois. De plus, l'apparition de protéines PR augmente parallèlement à celle de l'acide salicylique. Généralement l'augmentation des concentrations d'acide salicylique précède l'apparition de la SAR (**Hopkins, 2003; Malamy et al, 1990**). En effet, les travaux de **Rasmussen et al (1991)**, réalisés sur les feuilles de concombre (*Vucumis spp.*) excisées 6h après l'inoculation de la bactérie *Pseudomonas syringae*, (c'est-à-dire avant que l'acide salicylique ne s'accumule dans le phloème) ont montré qu'une RSA s'exprimait au niveau de la plante. Ainsi, des dosages de l'acide salicylique ont montré que sa concentration augmentait considérablement (X100) chez plusieurs plantes à la suite d'une attaque par un agent pathogène. Par ailleurs, plusieurs chercheurs ont montré qu'un traitement exogène d'acide salicylique était capable d'induire la RSA, même en l'absence d'infection (**Benhamou et Rey, 2012**).

### III.4- Biosynthèse de l'acide salicylique:

L'acide salicylique résulte de la  $\beta$ -oxydation et de l'hydroxylation de l'acide trans-cinnamique, un dérivé de la phénylalanine. Le passage de la phénylalanine à l'acide trans-cinnamique est une désamination catalysée par la phénylalanine-ammoniac lyase (PAL). Deux autres réactions: hydroxylation par une monooxygénase à cytochrome P<sub>450</sub>,  $\beta$ -oxydation, interviennent ensuite, sous deux modalités différentes selon les matériels, pour donner l'acide salicylique (**Heller et al, 2000**).



**Figure 03:** Biosynthèse de l'acide salicylique

### III.5- Rôle de l'acide salicylique:

L'isolement de l'acide salicylique chez le saule date du dix-neuvième siècle. La synthèse ultérieure du dérivé acétylé, l'aspirine, est à l'origine de nombreuses applications thérapeutiques. Chez les plantes, l'acide salicylique fait partie d'une famille diversifiée de composés phénoliques. Ces composés ont longtemps été supposés des métabolites secondaires, c'est-à-dire non essentiels, alors qu'ils jouent un rôle clé chez les plantes: ils interviennent dans la synthèse de la lignine, composant structural important des parois. Les phytoalexines contribuent à la défense des plantes contre les microbes, les insectes, les herbivores. Certains composés phénoliques sont des substances allélopathiques: synthétisée par une plante, ils affectent la germination et la croissance des plantes environnantes. Ce sont les signaux intervenant dans les communications plantes-bactéries, comme l'acétosyringone qui stimule les gènes de virulence des agro-bactéries, ou les flavonoïdes qui stimulent les gènes nod des rhizobiées (Mazliak, 1998).

La réaction hypersensible est un mécanisme de défense qui joue un rôle capital chez les plantes, qui est induite quelques minutes après l'attaque par un agent pathogène biotique ou même un stress abiotique (métaux lourds, UV etc.). Dans certains cas, une résistance systématique acquise est observée. Consécutivement à une attaque bactérienne, fongique ou virale conduisant à une réaction hypersensible ou à une maladie, une activation de gènes PR (Pathogenesis Related) entraîne une résistance à d'autres attaques bactériennes, fongiques ou virales (Morot-Gaudry et al, 2009).

**III.6- Relation entre l'acide salicylique avec la salinité:**

L'effet de l'acide salicylique (AS) sur la tolérance au sel a été examiné chez la tomate; des jeunes plantes issues de semis ont été cultivées pendant douze jours en serre climatisée sur des milieux nutritifs enrichis en NaCl 100 mM et contenant ou non de l'acide salicylique 0,1mM. La croissance pondérale des organes aériens est réduite de 36% en présence de NaCl et seulement de 21% lorsque l'AS est ajouté au milieu. Les racines restent peu sensibles à NaCl. Chez les plantes cultivées en milieu salin, la teneur en  $K^+$  des différents organes est diminuée. L'addition d'AS atténue le déficit en  $K^+$  et diminue l'accumulation de  $Na^+$  et  $Cl^-$  dans les organes aériens. Ces résultats suggèrent que l'AS améliore la tolérance au sel chez la tomate en assurant une meilleure alimentation en  $K^+$  et en ralentissant le transport de  $Na^+$  et  $Cl^-$  vers les feuilles (**Ben ahmed et al, 2010**).

## *Partie II*

### *Etude expérimentale*

# *Chapitre VI*

## *Matériel et méthodes*

## **I- Objectif de l'étude**

Notre objectif est de déterminer l'action de l'acide salicylique sur la germination et la croissance des graines de l'orge (*Hordeum vulgare*) dans un milieu salé pour connaître certains mécanismes liés à l'adaptation aux contraintes salines et étudier la variabilité de leur réponse à la salinité en présence et en absence de l'acide salicylique. Dans ce contexte on va essayer d'identifier d'éventuels indices de croissance et de nutrition minérale susceptibles de prédire et/ou d'évaluer le degré de tolérance de la variété d'orge vis-à-vis de la contrainte saline.

## **II- Matériel et méthodes**

### **II-1- Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé est constitué d'une seule variété d'orge (*Hordeum vulgare*): Saida.

**Saida:** orge à 6 rangs d'origine locale, variété de bonne valeur agronomique (**Benmahammed et al, 2004**).

Les graines de l'orge se trouvaient au niveau du laboratoire de département d'agronomie.

L'expérimentation est effectuée dans des conditions ambiantes, au département d'agronomie à l'université de Biskra où la culture de variété est conduite dans la boîte de Pétri pendant 15 jours sous serre vitrée.

### **II-2- Matériel utilisés**

**II-2-1- Boîte de Pétri :** L'essai est réalisé dans des boîtes de pétri en plastique de 4.5cm de diamètre, un papier filtre est posé sur la base de chaque boîte.

**II-2-2- Le sel utilisé :** le sel utilisé dans cette expérimentation pour préparer les solutions d'irrigation est : NaCl, avec les concentrations (6, 9 et 12 g/l), combinées avec des doses (0, 0.25, 0.5 ,1 ,1.5 mM) d'acide salicylique.

### **II-2-3- Matériel de laboratoire**

Le matériel de laboratoire utilisé pour effectuer l'expérimentation est le suivant:

Boîtes de Pétri, Bécher, Firole, Agitateur, Eau distillée, NaCl (chlorure de sodium), HCl, Acide salicylique (AS), Etuve, Four à moufle, Photomètre à flamme, Papier filtre, Pipette, Balance de précision, Burette.

### III- Techniques et méthodes

#### III-1- Protocole expérimentale

Le travail a déroulé en laboratoire en deux parties, la première partie sur :

- La germination et la croissance de l'orge: Taux de germination, partie aérienne (l'hauteur), partie racinaire (la longueur), biomasse (poids humide et poids sec) ;

La deuxième partie sur :

- Les analyses chimiques des plants de l'orge pour déterminer la teneur de ses plantes en  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  ;

#### III-1-1- Préparation de solutions d'irrigations

**Solutions utilisées:** Pour réaliser l'essai, nous avons préparées de solution combinées de chlorure de sodium(NaCl) et l'acide salicylique (AS).

- Solution d'acide salicylique: nous avons utilisé cinq dose à base d'acide salicylique 0; 0,25; 0,5; 1 et 1,5 mM d'AS.
- Solution de chlorure de sodium: pour réaliser des solutions salées de chlorure de sodium on a choisi trois concentrations à 6,9 et 12 g/l.

Deux types de solutions sont constitués, l'une contient uniquement le NaCl avec trois concentration. L'autre est obtenue par l'addition des trois concentrations de NaCl à quatre concentrations d'AS.

Les traitements appliqués sont:

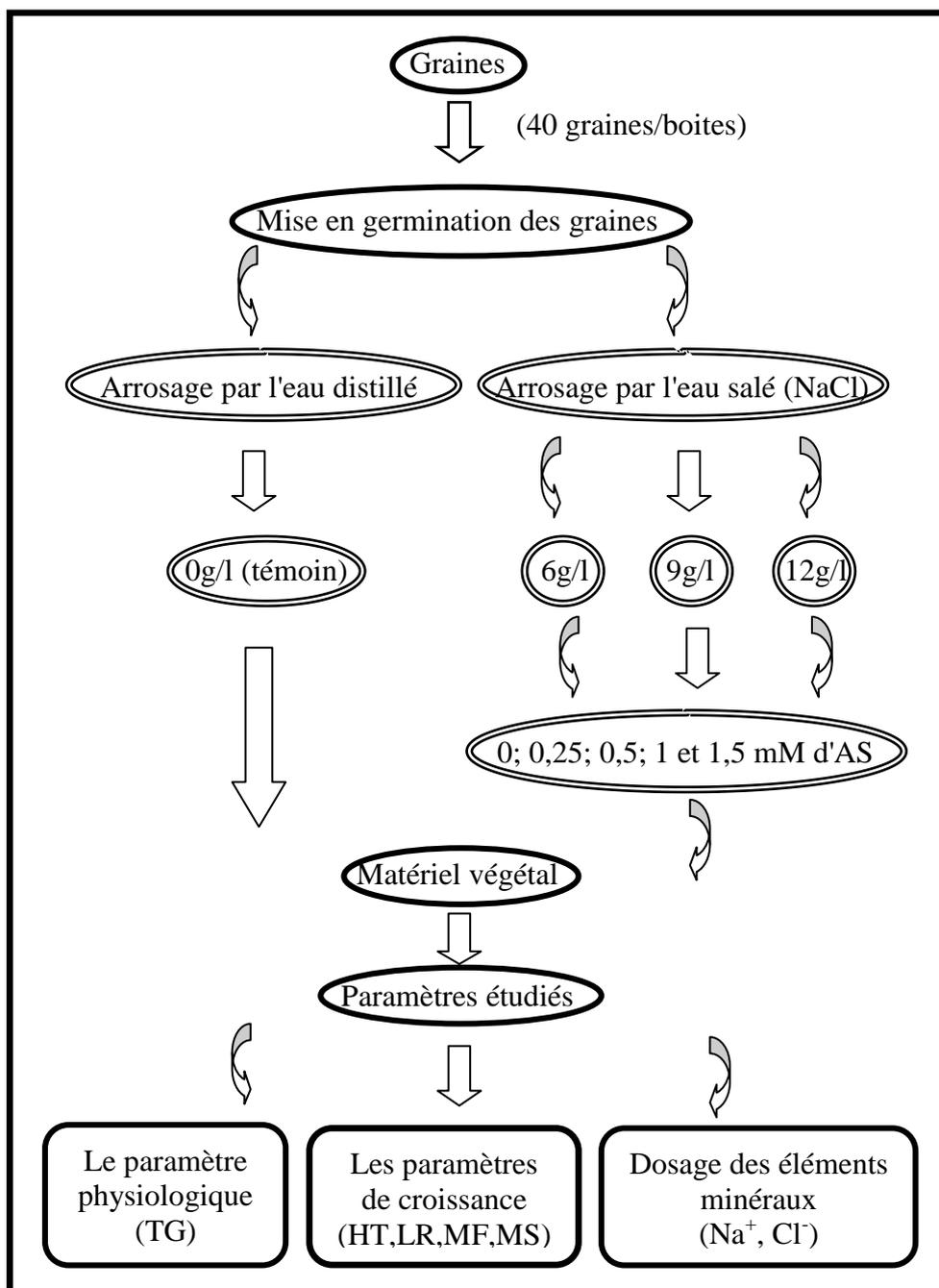
- ❖ Solution contenant 0 g d'AS (0 mM) + 6 g de NaCl ;
- ❖ Solution contenant 0,0345 g d'AS (0,25 mM) + 6 g de NaCl ;
- ❖ Solution contenant 0,069 g d'AS (0,5 mM) + 6 g de NaCl ;
- ❖ Solution contenant 0,138 g d'AS (1 mM) + 6 g de NaCl ;
- ❖ Solution contenant 0,207 g d'AS (1,5 mM) + 6 g de NaCl ;

Même chose est fait, pour les doses 9 et 12 g/l.

Donc l'essai comporte 15 solutions d'irrigation. Les solutions sont met dans des bouteilles en plastique avec étiquettes bien lavées et rincées avec l'eau distillée.



**Photo 01:** Les solutions préparées pour l'irrigation



**Figure 04:** Protocole expérimentale pour l'orge (*Hordeum vulgare*)

### III-1-2- Préparation des graines

Les graines sont d'abord nettoyées et désinfectées par trempage dans une solution aqueuse de l'eau de javel à 1 % pendant 10 minutes de façon à éliminer les bactéries et les spores de champignons adhérant à leur surface. Elles ont ensuite été rincées par l'eau distillée. Nous avons compté 40 graines que nous avons placées sur le papier filtre dans les boîtes de Pétri. Ces boîtes sont auparavant étiquetées.



**Photo 02:** Les grains préparée pour la germination

### III-2- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé est de type split plot comprend 15 traitements avec 03 répétitions et témoin avec l'eau distillée, Les boîtes sont disposées aléatoirement. Chaque dose de sel NaCl (6, 9 et 12 g/l), combiné avec les différentes doses de l'acide salicylique (0, 0.25, 0.5, 1 et 1.5 mM).

L'arrosage se fait chaque jour, avec une dose de 5 à 10 ml selon le besoin observé avec la solution spécifique d'irrigations pour chaque traitement.

Le dispositif est subdivisé en trois blocs comme suite :

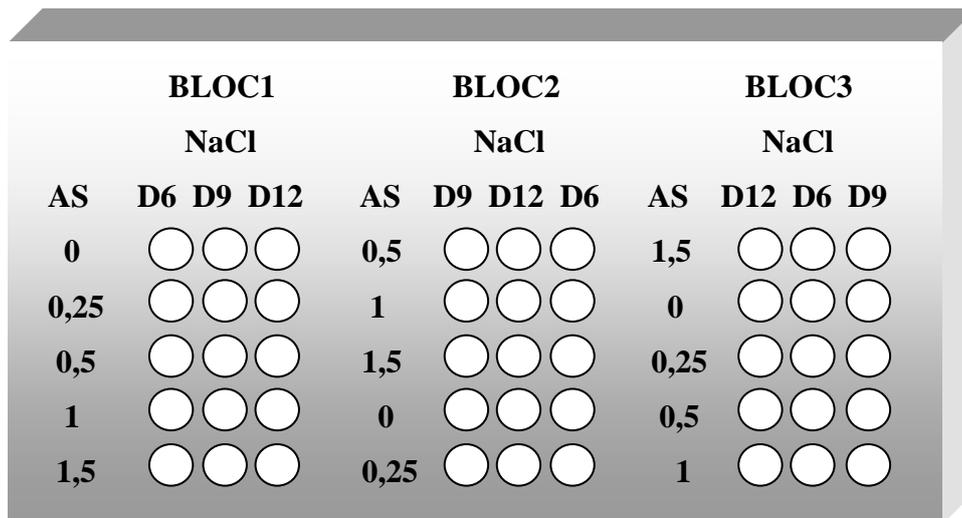


Figure 05: Schéma représentatif du dispositif expérimental pour l'orge

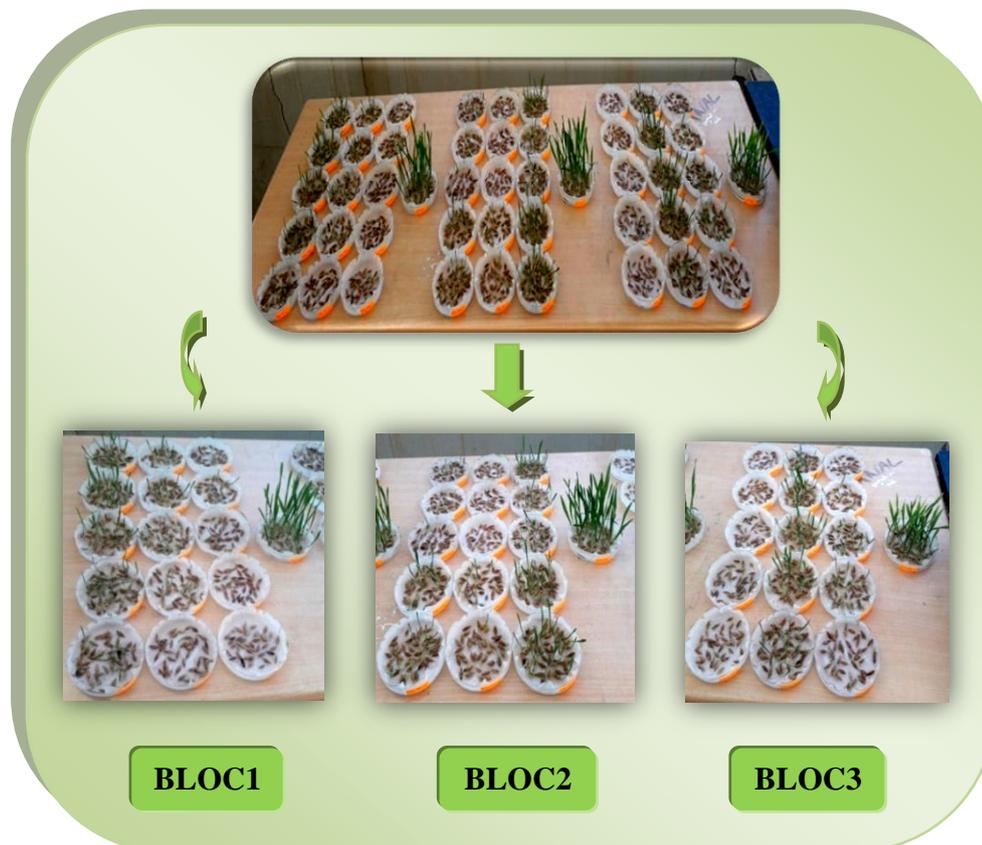


Photo 03 : Dispositif expérimental pour l'orge

### **III-3- Paramètres étudiés**

Afin de déterminer l'effet des différents traitements de NaCl seul et associé avec l'AS sur la variété étudiée, des paramètres de physiologie et de croissance ont été mesurés.

Nous avons mesurés deux paramètres :

#### **III-3-1- Le paramètre physiologique**

##### **III-3-1-1- Le taux de germination**

Le taux de germination final, ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines. Il est exprimé par le rapport de nombre des graines germées sur le nombre total des graines.

Le taux de germination final a été déterminé à la fin des 15 jours selon la formule suivante:

**Le taux de germination % = (Nombre de graines germées/ 40) \*100**

La capacité de germination est le pourcentage de germination maximal, ou taux de germination maximal, obtenu dans les conditions choisies par l'expérimentateur. Elle dépend des conditions de germination et des traitements préalablement subis par les semences. Dans tout essai de germination, il est donc nécessaire de bien définir les conditions expérimentales et l'origine des semences (**Mazliak, 1998**).

#### **III-3-2- Les paramètres de croissance**

##### **III-3-2-1- La longueur des tiges et des racines**

Pour évaluer la croissance de la plante vis-à-vis du stress salin nous avons mesuré la hauteur de la tige et les racines. Avant prélèvement de matériel végétal nous avons mesuré la hauteur de la tige et racine en centimètres (cm) à l'aide d'une règle graduée. On a choisi cinq plantules représentatives de chaque traitement. Les valeurs données sont les moyennes obtenues des cinq plantes parmi trois répétitions. Nous renseigne sur l'effet du stress sur la croissance des plantes stressées comparativement au témoin.



**Photo 04:** Mesure de la longueur des tiges et les racines

### III-3-2-2- Matière fraîche

Après 15 jours de l'expérience, on a pesé les plantules de chaque traitement, avec élimination des graines non germées.



**Photo 05:** Mesure de la matière fraîche

### III-3-2-3- Matière sèche

Les plantes ont été mises dans une étuve réglée à 105 °C durant 24 heures. Après séchage les échantillons sont pesés pour déterminer le poids sec de chaque traitement, exprimé en (g).



**Photo 06:** Mesure de la matière sèche

### III-4- Dosage des éléments minéraux ( $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ )

Les analyses des éléments minéraux ont été effectuées sur les plantules de l'orge ont porté sur la détermination des teneurs en sodium et chlore.

Après dessiccation, les échantillons (tiges et racines) sont réduits en poudre fine au moyen d'un broyeur, le broyage assure une homogénéité des échantillons qui feront l'objet des différentes analyses.

500 mg du matériel végétal sont introduits dans des capsules en porcelaines. Les capsules sont placées dans un four dont la température est augmentée progressivement jusqu'à 200°C et qui est ainsi maintenue jusqu'à la fin du dégagement de fumées puis on l'augmente la température jusqu'à 500°C et on la maintient pendant 3 heures.

Ouvrir la porte de four à moufle avec précaution pour un refroidissement rapide. Faire sortir les porcelaines avec précaution.

Dissoudre le contenu dans 5 ml de HCl (2N), agiter avec un barreau plastique. Après 15-20 min rajouter au volume de l'eau distillé compléter jusqu'à 50ml, agité énergiquement pendant 30 minute, puis filtrer dans une fiole de 50 ml à l'aide d'un papier filtre (George et al, 2013).

Dosage de sodium se fait par photométrie à flamme.

Dosage de chlore est réalisé par la titration avec  $\text{AgNO}_3$  (0,01 N).

### VI- Analyse statistique:

Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT. L'analyse de la variance effectuée est à deux critères de classification (facteur NaCl et AS). Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Fisher.

# *Chapitre V*

## *Résultats et discussion*

## I- Paramètres de croissance

La salinité a un effet sur la croissance et le développement des végétaux. Dans notre étude, nous nous sommes intéressés d'abord à l'effet des différentes doses de NaCl (6, 9 et 12 g/l) sur la croissance et le développement d'orge (*Hordeum vulgare* L.) variété Saida ensuite, nous avons déterminé l'action de l'acide salicylique sur la tolérance à la salinité. Pour cela, nous avons mesuré de paramètres physiologiques et de croissance (le taux de germination (TG), la hauteur de la tige (HT) et la longueur de la racine (LR), la matière fraîche (MF) et sèche (MS) de la partie aérienne et racinaire) et de nutrition minérale sodium ( $\text{Na}^+$ ) et chlore ( $\text{Cl}^-$ ).

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA.

### I-1- Taux de germination

La figure 06 représente le taux de germination des plantes stressées par les différents traitements comparés au témoin. La figure 06 montre que, quelle que soit le traitement, le taux de germination des grains stressés est réduit comparativement au témoin.

Les résultats obtenus montrent que les traitements avec les doses faibles de NaCl seul ou associé avec 0,25 et 0,5 mM d'AS ont un effet positif sur le taux de germination chez l'orge (figure 06), le plus important a été obtenu pour le traitement associé (6g/l NaCl + 0,25 mM) par rapport aux autres traitements.

Les résultats des doses associées avec 0,25 et 0,5 mM d'AS sont plus élevés par rapport aux traitements à sel seul sauf pour le traitement D12AS0,5.

#### I-1-1- Action de la salinité

A travers l'analyse statistique (tableau 05 et 06), on observe que la dose de sel a un effet significatif. La dose 6g/l présente le taux de germination le plus élevé (92,5%), cependant la dose 12 g/l présente le taux de germination le plus faible (38,33%), en effet le taux de germination de graine de l'orge diminue avec l'augmentation des doses de sels dans le milieu; confirmant ainsi d'autres travaux de (Masmoudi et al, 2014; Djerah et Oudjehih, 2015) qui a montré un effet similaire du stress salin sur la germination.

La salinité agit sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus la semence aux risques, et en diminuant plus ou moins fortement son taux selon la concentration en sels dont NaCl, Elle intervient vraisemblablement par deux effets, l'un osmotique et l'autre toxique. L'effet osmotique se traduit par la difficulté que trouve l'embryon à absorber une quantité d'eau suffisante pour déclencher les processus métaboliques de la germination. L'effet toxique résulte de l'envahissement de l'embryon par  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  (Slama, 2004).

### I-1-2- Action combinée salinité - acide salicylique

L'essai est significatif caractérisé par sept groupes homogènes (tableau 06). Le taux de germination la plus élevée est observé chez les traitements (6g/l NaCl + 0,25 et 0,5 mM AS) avec une moyenne de (95,83%, 95% respectivement) et le taux la plus faible chez les traitements 12g/l NaCl+1,5 mM AS (figure 06). Le traitement D9AS0,5 présente une différence significatif par rapport au même traitement sans AS. Donc la présence de l'AS dans le milieu a un effet positif sur le taux de germination de l'orge par contre son absence ou sa concentration élevée diminues le taux de germination.

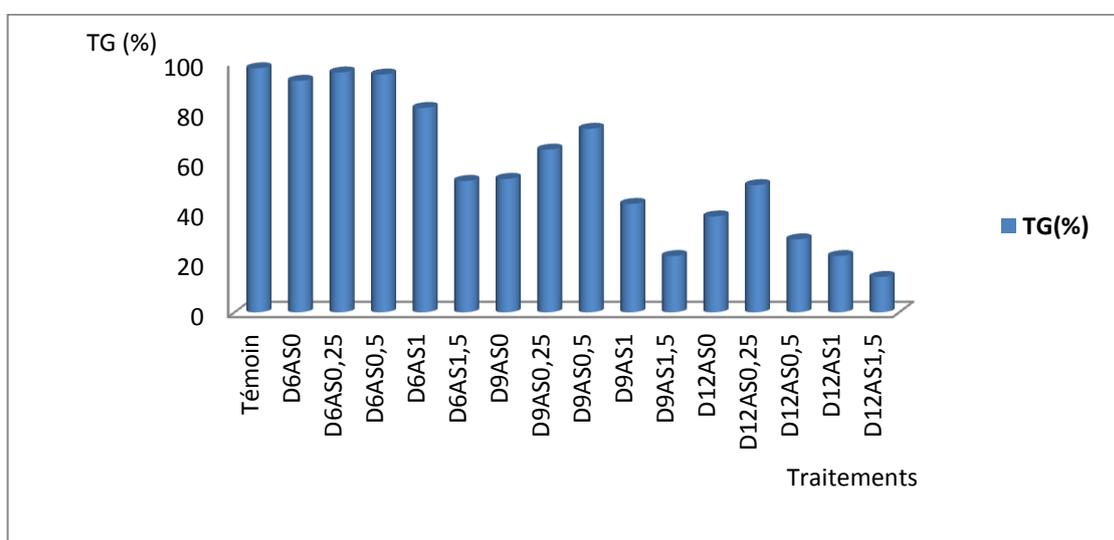
D'après **Zidane Djerroudi (2016)**, les traitements 0,5mM d'AS combiné à 600meq/l et 1mM d'AS+300meq/l NaCl ont permis d'éliminer les effets inhibiteurs de la salinité et ont amélioré la germination finale des graines de l'Atriplex.

**Tableau 05:** Analyse de la variance du taux de germination chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	15	37120.703	2474.714	21.259	< 0,0001
Erreur	32	3725.000	116.406		
Total corrigé	47	40845.703			

**Tableau 06:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour le taux de germination

Modalité	Moyenne estimée	Groupes						
T	97.500	A						
D6AS0,25	95.833	A						
D6AS0,5	95.000	A						
D6AS0	92.500	A						
D6AS1	81.667	A	B					
D9AS0,5	73.333		B					
D9AS0,25	65.000		B	C				
D9AS0	53.333			C	D			
D6AS1,5	52.500			C	D			
D12AS0,25	50.833			C	D			
D9AS1	43.333				D	E		
D12AS0	38.333				D	E	F	
D12AS0,5	29.167					E	F	G
D12AS1	22.500						F	G
D9AS1,5	22.500						F	G
D12AS1,5	14.167							G



**Figure 06:** Taux de germination des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

## I-2- Hauteur de la tige (partie aérienne)

La figure 07 présente les valeurs moyennes de la hauteur de la tige des plantes stressées par les différents traitements comparés au témoin. L'impact des différentes concentrations en NaCl appliquées (6, 9 et 12 g/l) sur la variété Saida a montré qu'en absence de sel les plantes présentent un meilleur développement des parties aériennes.

Les résultats obtenus montrent que les traitements avec NaCl seul ou associé à 0,25 et 0,5 mM d'AS ont un effet positif sur la croissance chez l'orge (figure 07) par rapport aux traitements associés à 12g/l NaCl + 1 et 1,5 mM d'AS.

L'application de différents traitements salins en présence de l'AS (6g/l NaCl+0,25 et 0,5 mM) induit une augmentation de l'hauteur de tige par rapport aux plantes stressées aux NaCl seul. L'allongement le plus important (3,95 cm) a été obtenu pour le traitement associé (6g/l NaCl+0,5 mM).

### I-2-1- Action de la salinité

La dose de sel a un effet significatif entre les traitements (tableau 08). Pour les plantes traitées uniquement à la salinité; l'hauteur enregistrée la plus élevée (3,51 cm) pour le traitement 6 g/l NaCl, elle est plus faible par rapport à celle des plantes témoins (9,2 cm).

L'hauteur de la tige diminue en fonction de l'élévation de la concentration de la salinité du milieu, celle-ci est de 3,51 et 2,55 cm respectivement pour les traitements 6 et 9 g/l NaCl. Néanmoins; sous 12g/l NaCl de salinité ce paramètre a sensiblement diminué en comparaison avec les dose 6 et 9 g/l NaCl et le témoin 9,2 cm, présente la plus courte partie aérienne (1,34cm).

Nos résultats concordent avec **Houimli et al (2011)** qui ont montré que les plantes de piment répondent aux différentes concentrations de NaCl par une réduction de la hauteur de la partie aérienne d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée et comme les résultats obtenus par **Djerah et Oudjehih (2015)** sur l'orge.

**I-2-2- Action combinée salinité - acide salicylique**

L'analyse de la variance, suivie du test de Fisher, montre que des différences qui sont significatives caractérisé par cinq groupes homogènes (tableau 07 et 08). En fait, il ressort que l'hauteur moyenne de la tige la plus longue partie aérienne (3,90 et 3,95 cm) est notée pour les plantes stressées à 6 g/l NaCl + 0,25 et 0,5 mM AS, et la plus courte (0,88 cm) pour le traitement combiné 12 g/l NaCl +0,5 mM AS. Donc l'ajout de 0,25 et 0,5 mM au milieu salin a favorisé la croissance de la plante.

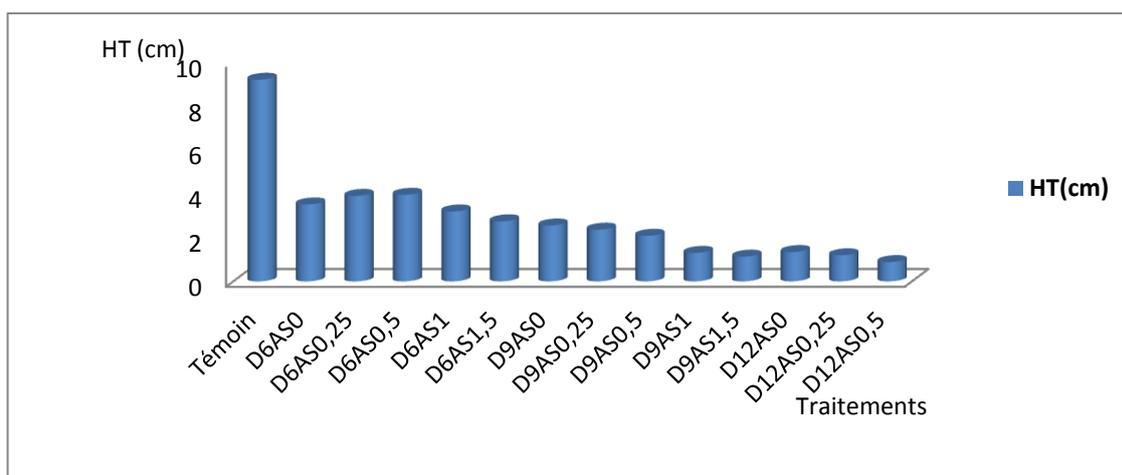
**Gunes et al (2007)** mentionnent que l'application exogène d'AS a augmenté la croissance des plantes de manière significative dans des conditions salines et non salines.

**Tableau 07:** Analyse de la variance de la partie aérienne chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	13	175.068	13.467	84.213	< 0,0001
Erreur	28	4.478	0.160		
Total corrigé	41	179.546			

**Tableau 08:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour hauteur de la tige (partie aérienne)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes					
T	9.200	A					
D6AS0,5	3.953		B				
D6AS0,25	3.907		B				
D6AS0	3.513		B	C			
D6AS1	3.193			C	D		
D6AS1,5	2.740				D	E	
D9AS0	2.553				D	E	
D9AS0,25	2.367					E	
D9AS0,5	2.080					E	
D12AS0	1.347						F
D9AS1	1.303						F
D12AS0,25	1.193						F
D9AS1,5	1.130						F
D12AS0,5	0.880						F



**Figure 07:** Hauteur de la tige des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

### I-3- Longueur de la racine (partie racinaire)

La figure 08 présente les valeurs moyennes de la longueur de la racine des plantes stressées par les différents traitements comparés au témoin. Les plantes traitées au chlorure de sodium ou associés à d'AS, montrent une diminution de la longueur des racines en fonction de l'intensité du stress et une baisse par rapport au témoin.

L'application de l'AS 0,25 mM combiné à 6 et 9 g/l NaCl favorise la croissance des racines en comparaison à celle des plantes stressées au NaCl seul et les autres traitements associé à d'AS.

#### I-3-1- Action de la salinité

Pour les plantes qui ont subies le traitement salin, la longueur des racines varie en fonction de la concentration du sel. L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives exprimées par trois groupes homogènes selon les résultats obtenus (tableau 10).

Les résultats montrent que longueur moyenne la plus longue de la partie racinaire (2,61cm) et marquée aussi chez les plantes traitées à 6 g/l NaCl, par contre la plus courte (2,18 cm, 1,28 cm) est mesurée pour les plantes stressées sous 9 g/l NaCl et sous 12 g/l NaCl respectivement. Donc plus la concentration augmente, la longueur des racines de la plante diminue. C'est ce que **Djerah et Oudjehih (2015)**, ont signalés sur l'orge.

**I-3-2- Action combinée salinité - acide salicylique**

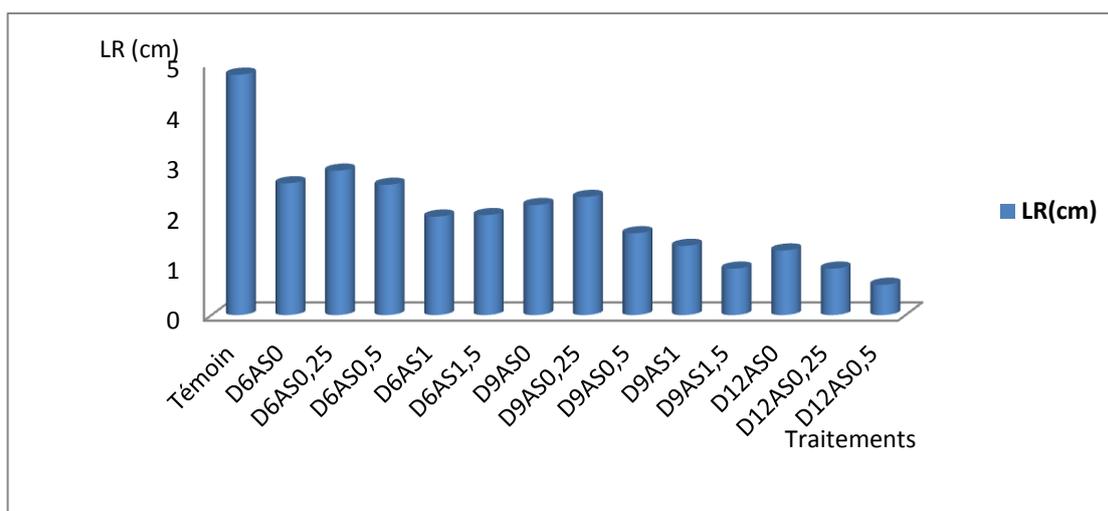
D'après l'étude statistique, on remarque qu'il y a des différences significatives exprimées par sept groupes homogènes (tableau 10). L'AS influe aussi sur la croissance en longueur de la partie racinaire (figure 08). En effet, l'ensemble des traitements combinés ont provoqué un important allongement des racines est de l'ordre de 2,86, 2,58 cm respectivement sur milieu 6 g/l NaCl + 0,25, 0,5 mM AS excepté le traitement 12 g/l NaCl +0,5 mM AS) qui montre une valeur la plus faible (0,6 cm). Donc l'AS peut alléger l'effet inhibiteur de NaCl et contribue en conséquence à l'amélioration de la croissance des racines (surtout le traitement 6 et 9 g/l NaCl +0,25 mM AS par rapport au sel seul).

**Tableau 09:** Analyse de la variance de la partie racinaire chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	13	43.853	3.373	20.343	< 0,0001
Erreur	28	4.643	0.166		
Total corrigé	41	48.497			

**Tableau 10:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour longueur de la racine (partie racinaire)

Modalité	Moyenne estimée	Groupes							
T	4.767	A							
D6AS0,25	2.867		B						
D6AS0	2.613		B	C					
D6AS0,5	2.587		B	C					
D9AS0,25	2.347		B	C					
D9AS0	2.180			C	D				
D6AS1,5	1.987			C	D	E			
D6AS1	1.953			C	D	E	F		
D9AS0,5	1.620				D	E	F		
D9AS1	1.377					E	F	G	
D12AS0	1.280						F	G	H
D12AS0,25	0.927							G	H
D9AS1,5	0.917							G	H
D12AS0,5	0.600								H



**Figure 08:** Longueur de la racine des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

#### I-4- Matière fraîche

Les résultats de la biomasse fraîche des plantes enregistrés dans la figure 09, représentent les valeurs moyennes en fonction des traitements appliqués comparées au témoin. Nous enregistrons une augmentation du poids frais remarquable chez le témoin par rapport au poids frais des plantes traitées uniquement au sel et sous l'apport de l'AS. Ainsi les poids frais des plantes traitées sous l'apport de 0,25 et 0,5 mM AS associé à 6 et 9 g/l NaCl sont plus élevés que les plantes traitées uniquement au sel correspondant 6 et 9 g/l NaCl. Ceci peut s'expliquer par l'effet d'AS qui allège l'effet négatif de la salinité.

##### I-4-1- Action de la salinité

L'analyse de la variance indique qu'il y a des différences significatives exprimées par trois groupes homogènes selon les résultats obtenus (tableau 12). La biomasse fraîche diminue sous la salinité croissante du milieu; en effet, les poids frais obtenus varient entre 2,04, 1,11 et 0,83 g sous le traitement 6, 9 et 12 g/l NaCl, il semble que la forte salinité du milieu n'a pas favorisé la croissance des plantes.

Donc l'augmentation de la salinité diminue la production de la matière fraîche de l'orge. Ce qui illustre l'effet néfaste des doses élevées de NaCl sur la production de matière fraîche.

L'augmentation de la concentration de NaCl influe négativement sur la biomasse pondérale fraîche (**Masmoudi et al, 2014**).

#### **I-4-2- Action combinée salinité - acide salicylique**

L'analyse statistique de ce tableau 12, montre une différence significative entre les traitements, en effet, le test de Fisher, forme un sept groupes homogène. En ce qui concerne les traitements combinés, nous notons que les traitements 6g/l NaCl associé à 0,25 et à 0,5 mM AS provoque une élévation de la matière fraîche (2,19 à 2,31 g) par rapport aux autres plantes traitées avec NaCl associé à 0,25 et à 0,5 mM AS. Le plus faible poids est enregistré chez le traitement D12AS0,5. Donc l'apport de l'AS favorise la biomasse fraîche des plantes en comparaison aux plantes traitées à l'NaCl seul (6 et 9g/l NaCl associé à 0,25 et à 0,5 mM AS), c'est-à-dire l'AS a un effet significatif sur la production de la matière fraîche.

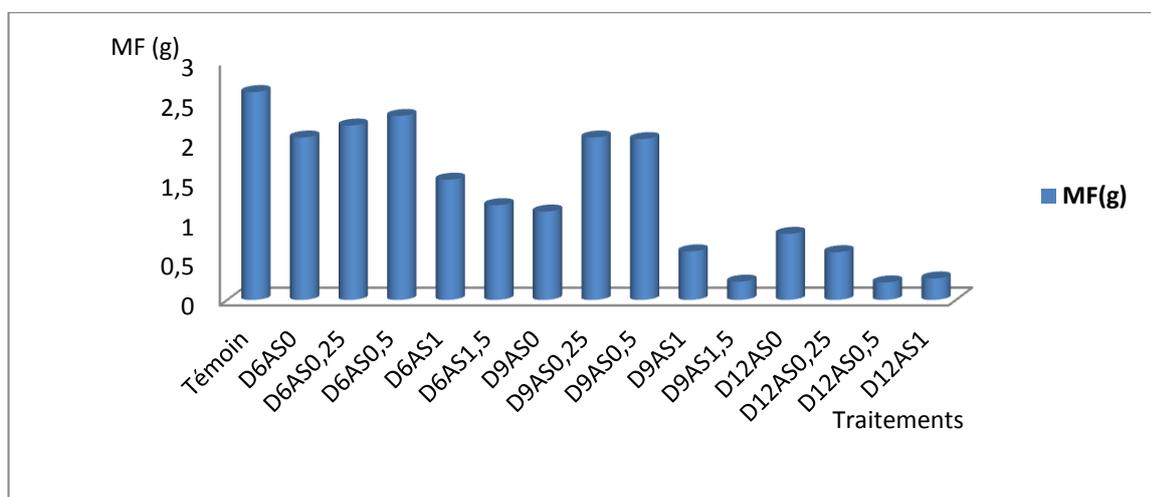
Selon **Zidane Djerroudi (2016)**, l'ajout de 0,5 mM d'AS a permis d'améliorer le poids frais et sec; il a donc atténué l'effet de la salinité surtout lorsque le stress est moins intense (300 meq/l) en comparant aux plantes ayant été stressées uniquement au NaCl seul. Ainsi que **El-Tayeb (2005)** ont trouvé que le prétraitement à l'AS a augmenté les poids frais et secs, chez les plantules stressées et amélioré de la croissance des plantes.

**Tableau 11:** Analyse de la variance de biomasse fraîche chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	13	24.888	1.914	16.417	< 0,0001
Erreur	28	3.265	0.117		
Total corrigé	41	28.153			

**Tableau 12:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la biomasse fraîche

Modalité	Moyenne estimée	Groupes								
T	2.617	A								
D6AS0,5	2.313	A	B							
D6AS0,25	2.197	A	B	C						
D6AS0	2.043		B	C	D					
D9AS0,5	2.023		B	C	D					
D9AS0,25	1.713			C	D	E				
D6AS1	1.517				D	E	F			
D6AS1,5	1.193					E	F	G		
D9AS0	1.117						F	G	H	
D12AS0	0.830							G	H	
D9AS1	0.617								H	I
D12AS0,25	0.603								H	I
D9AS1,5	0.237									I
D12AS0,5	0.220									I



**Figure 09:** Biomasse fraîche des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

### I-5- Matière sèche

La figure 10 représente les résultats de l'effet de la salinité et de l'AS sur la biomasse sèche des plantes. Au niveau biomasse sèche, la figure 10 montre que quelque soit le traitement appliqué, le témoin a produit également la production en matière sèche la plus élevée.

Nous notons que les traitements 6 g/l NaCl associé à 0,25 mM AS et 9 g/l NaCl associé à 0,25 et 0,5 mM AS provoque une élévation de la matière sèche par rapport aux plantes traitées uniquement à 6 et 9 g/l NaCl.

L'ajout de 0,25 et 0,5 mM d'AS a permis d'améliorer le poids sec; il a donc atténué l'effet de la salinité surtout lorsque le stress est moins intense (6 g/l) en comparant aux plantes ayant été stressées uniquement au NaCl seul.

### **I-5-1- Action de la salinité**

L'analyse de la variance relative à la production de matière sèche (tableau 13 et 14) révèle, un effet significatif des traitements.

La biomasse sèche de variété testée a été significativement réduite par la salinité (Figure 10). Le test statistique indique qu'il y a deux groupes homogènes (tableau 13). Ces réductions ont été d'autant plus importantes que la concentration en sel était élevée.

Par ailleurs, la comparaison entre doses a montré que sous les traitements 6 g/l NaCl (1,04 g) a produit la production plus élevée en matière sèche comparativement à 9 et 12 g/l NaCl (0,55, 0,41 g). Nos résultats sont en accord avec ceux de **Djerah et Oudjehih (2015)** qui ont montré un effet net du stress salin sur la matière sèche aérienne et racinaire; en montrant que plus la concentration du NaCl augmente, plus la matière sèche aérienne et racinaire diminue pour toutes les variétés étudiées.

### **I-5-2- Action combinée salinité - acide salicylique**

L'analyse de la variance relative à la production de matière sèche (tableau 13 et 14) révèle, un effet significatif des traitements. Le test statistique indique qu'il y a cinq groupes homogènes (tableau 14). La production la plus élevée est marquée chez le traitement (6 NaCl+0,25 mM AS) avec une moyenne de (1,12 g) et la production de la matière sèche la plus faible chez le traitement (12 NaCl+0,5 mM AS) avec une moyenne (0,11 g).

Ces résultats témoignent d'une aptitude plus grande chez le traitement (6 NaCl+0,25 mM AS) à exploiter les éléments nutritifs du milieu pour la production de matière sèche.

Il est à noter que les traitements D9AS0,5 et D9AS0,25 présentent une différence significative par rapport au même traitement sans AS.

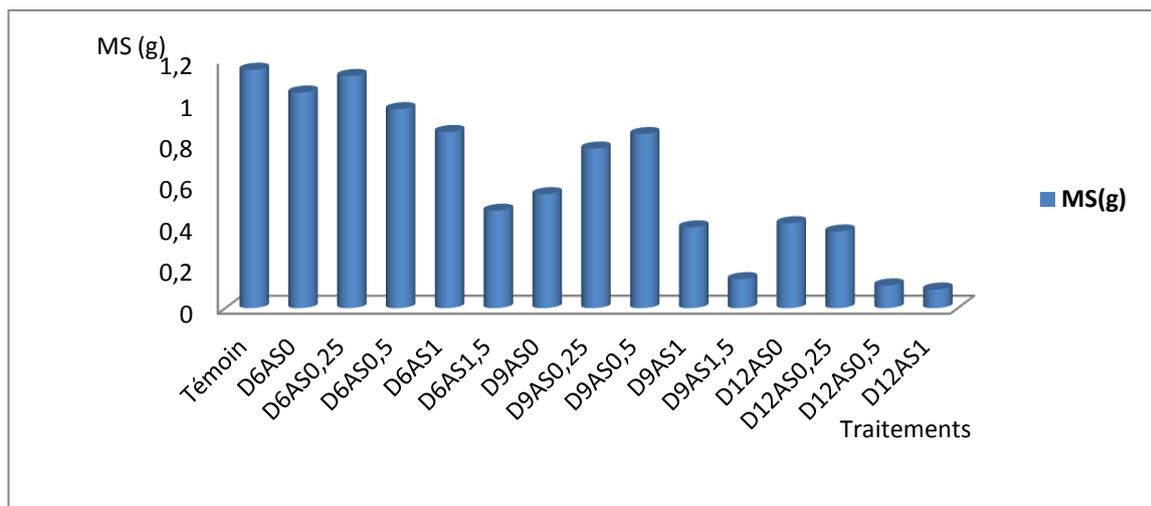
**Arfan et al (2007)** rapportent que les niveaux les plus efficaces pour favoriser la croissance et le rendement en grains étaient respectivement de 0,75 et 0,25 mM AS dans des conditions normales et salines.

**Tableau 13:** Analyse de la variance de biomasse sèche chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	13	4.842	0.372	21.958	< 0,0001
Erreur	28	0.475	0.017		
Total corrigé	41	5.317			

**Tableau 14:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la biomasse sèche

Modalité	Moyenne estimée	Groupes				
T	1.153	A				
D6AS0,25	1.123	A				
D6AS0	1.047	A	B			
D6AS0,5	0.967	A	B	C		
D6AS1	0.857		B	C		
D9AS0,5	0.840		B	C		
D9AS0,25	0.777			C		
D9AS0	0.557				D	
D6AS1,5	0.477				D	
D12AS0	0.413				D	
D9AS1	0.397				D	
D12AS0,25	0.377				D	
D9AS1,5	0.140					E
D12AS0,5	0.110					E



**Figure 10:** Biomasse sèche des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

## II- La teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux ( $\text{Na}^+$ et $\text{Cl}^-$ )

Les résultats de la teneur des plantes de l'orge en éléments minéraux ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) obtenus ont fait l'objet d'une analyse ANOVA pour déterminer l'effet de la dose de sel et l'effet de l'AS sur la nutrition en ces éléments.

### II-1- La teneur des plantes de l'orge en ( $\text{Na}^+$ )

Les teneurs en sodium déterminées au niveau des plantes traitées au chlorure de sodium en présence ou en absence de l'acide salicylique sont représentées dans la figure 11. D'après les résultats de cette figure 11, le témoin est plus pauvre en sodium que sous les conditions de stress, par contre l'application de l'AS combinée au NaCl, induit une augmentation de la teneur en  $\text{Na}^+$  par rapport aux plantes traitées au sel seul.

On note qu'une forte augmentation du sodium est obtenu avec le traitement 12 g/l NaCl + 0.5 mM AS par rapport aux autres traitements.

#### II-1-1- Action de la salinité

L'analyse de variances consignées dans les tableaux 15 et 16 montre qu'il y a un effet significatif de la dose de sel sur la teneur de l'orge en sodium exprimé par trois groupes homogènes. En effet les teneurs les plus faibles des plantes en sodium ( $\text{Na}^+$ ) sont enregistrés chez les doses (6g/l et 9g/l) avec une moyenne de (0,044% et 0,055%

respectivement). On constate que la teneur en ( $\text{Na}^+$ ) augmente avec l'augmentation de la dose de sel dans le milieu. Cependant la teneur les plus élevée sont enregistrés chez les doses (12g/l) (0,066%) (figure 11). Donc la présence du NaCl dans le milieu d'arrosage provoque une accumulation de  $\text{Na}^+$  dans la plante (**Haouala et al, 2007**).

**Touraine et Ammar (1986)** mentionnent ainsi que l'orge se comporte comme une inclusive, parallèlement à l'augmentation de la teneur en sodium des tissus de l'orge, lorsque l'on ajoute NaCl à la solution de culture; l'orge rétablit son équilibre hydrique en accumulant des sels sodiques mais cette glycophyte est alors confrontée à un déséquilibre nutritionnel qui se traduit par une diminution de croissance pour chaque élévation de la concentration externe de NaCl. En revanche les résultats obtenus par **Zid et Grignon (1991)** montrent que certaines glycophytes, comme le cotonnier ou l'orge, transportent et accumulent de grandes quantités de  $\text{Na}^+$  dans leurs feuilles et associe la résistance à la salinité et l'aptitude à transporter de grandes quantités de NaCl dans les feuilles. Il semble que ces comportements résultent d'une bonne compartimentation cellulaire de  $\text{Na}^+$ .

### II-1-2- Action combinée salinité - acide salicylique

L'analyse statistique de la variance de la teneur en  $\text{Na}^+$  de plante (tableau 15 et 16), montre un effet très hautement significatif entre le témoin et les différents traitements. Le test Fisher a révélé six groupes homogènes (tableau 15). Les résultats acquis pour le stress salin combiné à l'AS montre que les teneurs en  $\text{Na}^+$  sont élevés (0,074%) pour les plantes traitées à 12 g/l NaCl + 0,5 mM AS par rapport au 6 g/l NaCl + 1 mM AS qui montre une teneur de 0,049%. Donc l'addition de l'AS augmente de l'accumulation de  $\text{Na}^+$  en fonction de l'intensité du NaCl. Il semble que cette augmentation de la teneur de  $\text{Na}^+$  induite par AS a pour but d'établir un équilibre hydrique en accumulant de  $\text{Na}^+$ .

A 6, 9 et 12g/L NaCl + 0,5 mM AS, ce sont qui se classent en première position et en dernier lieu on trouve les concentrations 6 et 9 g/l NaCl +1 mM AS en comparaison par chaque dose.

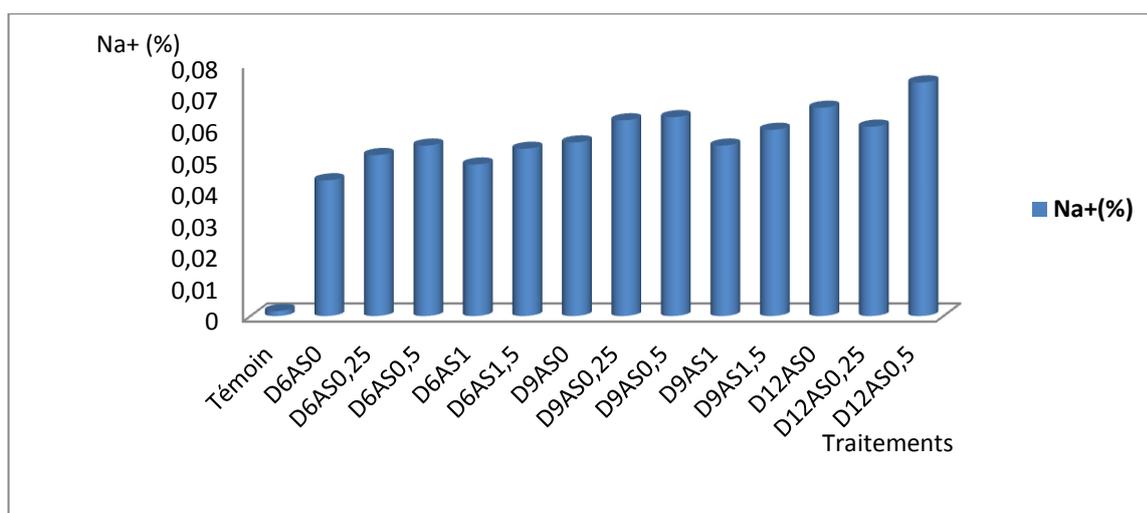
Par contre **El-Tayeb (2005)**, signalent que l'application exogène d'AS, fait que la teneur en  $\text{Na}^+$  nettement réduits sous stress salin avec l'AS qu'au dehors.

**Tableau 15:** Analyse de la variance de la teneur en  $\text{Na}^+$  chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	13	0.011	0.001	29.913	< 0,0001
Erreur	28	0.001	0.000		
Total corrigé	41	0.012			

**Tableau 16:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la teneur en  $\text{Na}^+$ 

Modalité	Moyenne	Groupes								
D12AS0,5	0.074	A								
D12AS0	0.066	A	B							
D9AS0,5	0.063		B	C						
D9AS0,25	0.063		B	C	D					
D12AS0,25	0.060		B	C	D	E				
D9AS1,5	0.059		B	C	D	E	F			
D9AS0	0.055			C	D	E	F	G		
D9AS1	0.054				D	E	F	G		
D6AS0,5	0.054				D	E	F	G		
D6AS1,5	0.053					E	F	G		
D6AS0,25	0.051						F	G	H	
D6AS1	0.049							G	H	
D6AS0	0.044								H	
T	0.002									I

**Figure 11:** Teneur en  $\text{Na}^+$  des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

## II-2- La teneur des plantes de l'orge en (Cl<sup>-</sup>)

Les résultats concernant la teneur des plantes de l'orge en chlore en fonction de la dose de sel et l'AS sont représentés sur la figure 12. On remarque que la teneur la plus faible est enregistrée chez le témoin que sous les conditions de stress.

Pour les plantes qui ont subies le traitement salin, la dose (12g/l) a fait baisser la teneur en chlore, cependant chez la dose combiné la teneur en chlore varie en fonction de la concentration d'AS, la plus faible est marquée chez la dose (6g/l combiné de 0.5 mM l'AS).

### II-2-1- Action de la salinité

D'après l'étude statistique on remarque qu'il y a un effet significatif moyen exprimé par trois groupes homogènes (tableau 18). En effet les teneurs les plus faibles des plantes en chlore (Cl<sup>-</sup>) sont enregistrés chez les doses (6g/l et 12g/l) avec une moyenne de (0,13% et 0,11% respectivement). Cependant la teneur les plus élevée sont enregistrés chez les doses (9g/l) (0,17%) (figure 12), donc la présence du NaCl (9g/l) dans le milieu provoque une accumulation de Cl<sup>-</sup> dans la plante.

L'élévation des doses de NaCl dans l'eau d'arrosage charge clairement ces organes en Cl<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> est de manière générale plus représenté dans les tissus foliaire et racinaire que Na<sup>+</sup> (**Haouala et al, 2007**).

Même chez les espèces résistantes au sel, comme l'orge, la résistance apparaît fortement liée à la capacité d'exclusion de Cl<sup>-</sup> des parties aériennes.

En milieu salé, Cl<sup>-</sup> inhibe l'absorption et le transport à longue distance des anions indispensables à la croissance (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en particulier). Il en résulte un déficit d'alimentation de ces organes en anions qui peut être estimé par la différence entre la teneur globale en cations majeurs (Ca<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + Na<sup>+</sup>) et la teneur en Cl<sup>-</sup>. (**Zid et Grignon, 1991**). En effet, les mécanismes de tolérance au sel sont de trois types distincts chez les plantes: celles qui tolèrent le stress osmotique, celles qui excluent le Na<sup>+</sup> et le Cl<sup>-</sup> de leurs tissus et celles qui tolèrent l'accumulation de Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans leurs tissus (**Munns et Tester, 2008**).

### II-2-2- Action combinée salinité - acide salicylique

Le tableau (18) de l'analyse de variance indique qu'il y a des différences significatives moyennes exprimées par six groupes homogènes selon les résultats obtenus. Les résultats acquis pour le stress salin combiné à l'AS présente les teneurs en  $\text{Cl}^-$  les plus élevés (0,19%) pour les plantes traitées à 12 g/l NaCl + 0,25 mM AS par rapport au 6 g/l NaCl + 0,5 mM AS qui présente une teneur de 0,12%. Donc les teneurs de la plante en chlore atteignent une valeur maximale chez les plantes traitées à 12 g/l NaCl + 0,25 mM AS.

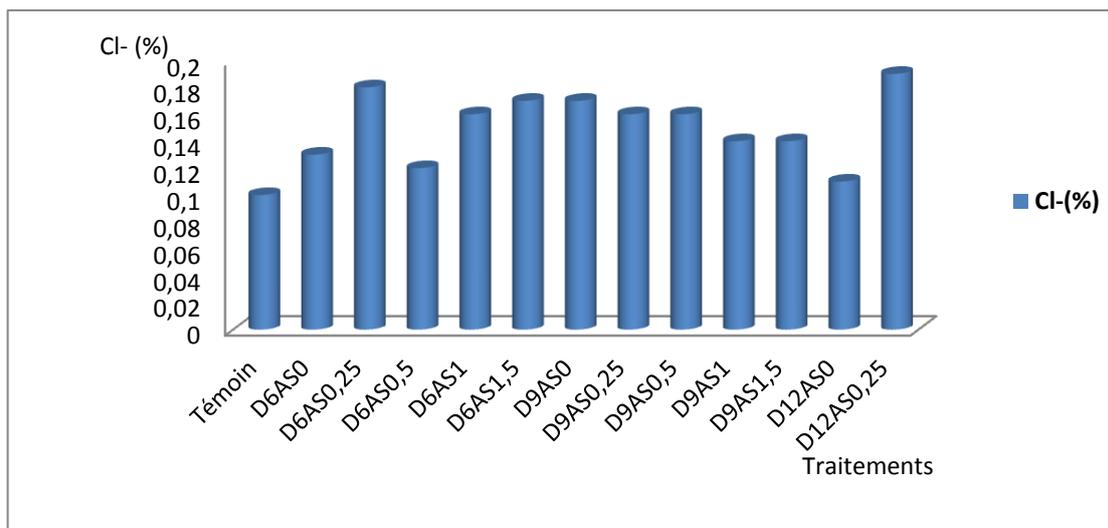
Les résultats obtenus par **Gunes et al (2007)** montrent que l'AS a fortement inhibé l'accumulation de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , sur le maïs.

**Tableau 17:** Analyse de la variance de la teneur en  $\text{Cl}^-$  chez la variété d'orge des différents traitements

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	12	0.030	0.003	11.982	< 0,0001
Erreur	26	0.005	0.000		
Total corrigé	38	0.036			

**Tableau 18:** Classification de variété d'orge en groupes homogènes, selon le test de Fisher pour la teneur en  $\text{Cl}^-$

Modalité	Moyenne estimée	Groupes					
D12AS0,25	0.190	A					
D6AS0,25	0.183	A	B				
D6AS1,5	0.177	A	B				
D9AS0	0.170	A	B				
D9AS0,25	0.167	A	B				
D6AS1	0.167	A	B				
D9AS0,5	0.160		B	C			
D9AS1,5	0.140			C	D		
D9AS1	0.140			C	D		
D6AS0	0.130				D	E	
D6AS0,5	0.120				D	E	F
D12AS0	0.110					E	F
T	0.100						F



**Figure 12:** Teneur en Cl<sup>-</sup> des plantes d'orge stressées par NaCl seul et combinée avec l'acide salicylique

# *Conclusion*

## Conclusion

L'objectif de cette expérience, vise à comprendre l'effet de l'interaction entre l'acide salicylique et le stress salin chez une plante orge, soumises aux stress salin avec trois concentrations de sel (6,9 et 12g/l) enrichis ou non par cinq doses de l'acide salicylique 0;0,25; 0,5; 1; et 1,5 mM.

A la fin de ce travail, que nous avons mené sur la réponse de l'orge soumise à différents doses 6,9 et 12g/l NaCl, dans le but de déterminer l'effet du stress salin seul et associé à l'acide salicylique sur le paramètre physiologique et de croissance. Il ressort que le stress salin exerce a un effet négatif pour la majorité des paramètres étudiés. Néanmoins l'acide salicylique inhibe cet effet néfaste et favorise le développement de la plupart de ces derniers (surtout la dose 0,5 et 0,25 combiné avec les faibles doses de sel par rapport au sel seul). L'ensemble de ses paramètres sont souvent traduits négativement avec l'intensité du stress. Le degré de sensibilité ou tolérance dépend de l'intensité du stress. Les paramètres étudiés ont subit une variation, soit en diminuant ou augmentant par rapport au stress salin appliqué dans le sens où on notée.

Nos résultats ont montré que l'augmentation des doses de sel a un effet dépressif sur tous les paramètres étudiés de l'orge: diminution du taux de germination, réduction de la croissance de la partie aérienne et racinaire et une chute de la production de la matière fraîche et sèche. La dose la plus faible 6g/l a donné les meilleurs résultats. Concernant l'effet d'AS, on a observé que les doses 0,25 et 0,5 mM sont les meilleurs pour la germination des semences d'orge, cependant, les doses 1et 1,5 mM donnent les moins résultats pour le développement de la plante. Les doses 0,25 et 0,5 mM ont un effet très remarquable et significatif par rapport au traitement non combiné sur la partie aérienne, racinaire et la production de la matière fraîche et sèche en allégeant l'effet inhibiteur des sels surtout avec le faible dose.

L'étude de la germination et la croissance d'orge en milieu salin a permis de conclure que:

- ✓ Les résultats ont montré que les conditions optimales de la germination sont réalisées en milieu non salé par rapport aux solutions salines et cela est dû à la facilité de la réhydratation en absence de sel. Le stress salin réduit significativement les paramètres de croissance ;

- ✓ Ces résultats montrent un effet dépressif de sel sur les différents paramètres étudiés (Le taux de germination, la hauteur des plantules, la longueur des racines, le poids frais et sec) ;
- ✓ L'étude de l'effet du stress salin révèle que l'évolution de la concentration de chlorure de sodium (NaCl) provoque une diminution significative de taux de germination à des fortes doses ;
- ✓ Les graines d'orge arrivent à germer même à une concentration en NaCl de 12g/l avec un taux de germination de 38,33% ;
- ✓ Les concentrations élevées en NaCl entravent d'une façon significative la croissance et la productivité de l'appareil végétatif ;
- ✓ La partie aérienne semble être plus touchée par le stress salin que la partie souterraine ;
- ✓ Nous avons noté que pour les plantes traitées uniquement à la salinité ou combiné à l'AS les paramètres de croissance diminuent par rapport à celle des plantes témoins ;
- ✓ D'autre part, nos résultats montrent que l'AS à 0,25 et 0,5 mM améliore le taux de germination avec toutes les concentrations salines sauf la dose 12g/l combiné à 0,5 mM AS et également favorise la croissance de la plante aux faibles doses de sel par rapport au sel seul ;
- ✓ L'utilité de l'AS dépend de la concentration et de l'état de développement de la plante. Les concentrations 0,25 et 0,5 mM d'AS semblent la plus efficace sur les paramètres de croissance de la plante d'orge alors que pour les autres concentrations 1 et 1,5mM d'AS qui se montre moins efficace ;
- ✓ Les analyses des résultats  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  sous l'effet de la salinité, montrent que la teneur en sodium et chlore s'accumule chez l'orge ;
- ✓ Le contenu en  $\text{Na}^+$  augmente dans la plante lorsque la dose en NaCl augmente dans le milieu ;

Enfin, il est possible de suggérer d'autres tests expérimentaux faisant usage de concentrations plus faibles que 0,25 et 0,5 mM d'AS accompagnées d'étude biométrique pour mieux comprendre les réponses des plantes d'orge sous les contraintes salines. Les nouvelles informations permettraient de situer le niveau de tolérance et/ou de résistance de cette espèce à ces stress.



## *Références bibliographiques*

## Références bibliographiques

**Anonyme., 2016.** Contribution du secteur a l'élaboration d'un nouveau modèle de croissance économique 2016-2019, 36p.

**Arbaoui M., Benkhelifa M et Belkhodja M., 1999.** Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la Salinité au stade juvénile. Options méditerranéennes, pp: 167-169.

**Arfan M., Athar H R and Ashraf M., 2007.** Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress. Plant physiol, 164(6): 685-94.

**Aya A. N.N'Dri., Irie Vroh-Bi., Patrice L. Kouame et Irié A. Zoro Bi., 2011** Bases génétiques et biochimiques de la capacité germinative des grains: implications pour les systèmes semenciers et la production alimentaire, Sciences & Nature Vol. 8N°1: 119-137 (2011).

**Bacchetta G., Belletti P, Brullo S., Cagelli L., Carasso V., Casas J L., Cervelli C., Escribà M C., Fenu G., Gorian F., Güemes J., Mattana E., Nepi M., Pacini E., Pavone P., Piotto B., Pontecorvo C., Prada A., Venora G., Vietto L et Virevaire M., 2007.** Manuel pour la récolte l'étude, la conservation et la gestion ex situ du matériel végétal, 217p.

**Belaid D., 2016.** Valorisation de l'orge et des triticales en alimentation volatile, Collection brochures agronomiques, 14p.

**Belarbi A., 2016.** Cycle biologique et productivité d'une poacée cultivée (orge: *Hordeum vulgare* L.) dans la region de Tlemcen, Thèse Master, Université de Tlemcen, 88p.

**Benhamou N et Rey P., 2012.** Stimulateurs des défenses naturelles des plantes: une nouvelle stratégie phytosanitaire dans un contexte d'écoproduction durable. Principe de la résistance induite, phytoprotection, 92: 1-23.

**Ben ahmed H., Mimouni H., Manaa A et Zid E., 2010.** L'acide salicylique améliore la tolérance de la tomate cultivée (*Solanumlycopersicum*) à la contrainte saline, *Acta botanica gallica*, vol 157:pp361-368.

**Benmahammed A., Bouzerzour H., Djekoune A et Hassous k L., 2004.** Efficacité de la sélection précoce de la biomasse chez l'orge (*Hordeum vulgare L.*) en zone semi-aride. *Sciences & Technologie*, N°22. pp. 80-85.

**Bouaouina S., Zid E et Hajji M., 2000.** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum L.*). *Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens*; n. 40, pp : 239- 243.

**Charonat C et Deblay S., 2005.** Croissance et développement des plantes cultivées, domaine technologique et professionnel, Educagri éditions, 97p.

**Cherif A et Ben Jemâa J M., 2014.** La cécidomyie du blé *Mayetiola destructor* (Diptera: Cecidomyiidae): distribution des infestations et importance des dégâts, Journée Nationale sur la valorisation des résultats de la Recherche dans le domaine des Grandes Cultures. Tunis, le 17 avril 2014, 120 p.

**Chouaki S., 2006.** Deuxième rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques. INRAA/Juin 2006, 11p.

**Clerget Y., 2011.** Biodiversité des céréales Origine et évolution, 16p,

**Colbert C., 2008.** Des graines de citrouilles géantes, La germination, Potirothon, 2p.

**Couture I., 2004.** Analyse d'eau pour fin d'irrigation, MAPAQ Montérégie-Est, AGRI-VISION 2003-2004, 8p.

**Delaney T P., Uknes S., Vernooij B., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gaffney T., Gut R M., Kessmann H., Ward E and Ryals J., 1994.** A central role of salicylic acid in plant disease resistance. *Science* 266: 1247-1250.

**Dita M A., Rispaïl N., Prats E., Rubiales D and Singh K B., 2006.** Biotechnology approaches to overcome biotic and abiotic stress constraints in legumes. *Euphytica* 147: 1-24.

**Djermoun A., 2009.** La production céréalière en Algérie: les caractéristiques, Revue nature et technologie, n° 01, p45 à 53.

**Djerah A et Oudjehih B., 2015.** Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.), Courrier du savoir-N°20, Décembre, pp.47-56.

**Doumandji A., Doumandji S et Doumandji M B., 2003.** Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock, cours de technologie des céréales, 67p.

**Dupont F et Guignard J L., 2007.** Botanique Systématique moléculaire. 14 Ed révisée Elsevier Masson Paris, 285p.

**El felah M et Gharbi M S., 2014.** Les céréales en Tunisie: Historique, contraintes de développement et perspectives, Journée Nationale sur la valorisation des résultats de la Recherche dans le domaine des Grandes Cultures. Tunis, le 17 avril 2014, 120p.

**El Tayeb M A., 2005.** Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant growth regulation* 45(3):215-224.

**Gabriel G., 2003.** Mémento, d'agriculture biologique. 2<sup>e</sup> édition. ISBN. 416p.

**George E., Rolf S and John R., 2013.** Methods of Soil, Plant, and Water Analysis: A manual for the West Asia and North Africa region. ICARDA. 243p.

**Guiga W., 2006.** Identification des inhibiteurs de la germination de l'orge et mise au point d'un procédé de traitement des eaux de trempage en malterie en vue de leur recyclage, Thèse Doctorat de l'institut national polytechnique de Lorraine, 198p.

**Gunes A., Inal A., Alpaslan M., Eraslan F., Bagci E G and Cicek N., 2007.** Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *J Plant Physiol*, 164(6):728-36.

**Hajlaoui H., Denden M et Bouslama M., 2007.** Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination. *Tropicultura*. PP: 168-173.

**Hajlaoui H., Maatallah S et Denden M., 2015.** Effet du stress salin sur l'efficience d'utilisation d'azote et les bilans ioniques chez deux variétés de maïs (*Zea mays* L.) fourragères, *Journal of Animal and Plant Sciences*, Vol.24, Issue 3:3787-3801.

**Haouala F., Ferjani H et Beb El Hadj S., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) et du chlore ( $\text{Cl}^-$ ) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 11(3), 235-244.

**Heller R., Esnault R et Lance C., 2000.** *Physiologie végétale 2. Développement* 6<sup>e</sup> édition de l'Abrégé, 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> cycles, DUNOD, Paris, 366p.

**Hopkins G W., 2003.** *Physiologie végétale*, Traduction de la 2<sup>e</sup> édition américaine par Serge Rambour, Révision scientifique de Charles-Marie Evard, De Boeck, Bruxelles, 514p.

**Houimli S I M., Denden M., Dridi- Mouhandes B et Ben Mansour-Gueddes S., 2011.** Caractéristiques de la croissance et de la production en fruits chez trois variétés de piment (*Capsicum annum* L.) sous stress salin, *Tropicultura*, 29, 2, 75-81.

**Iptrid., FAO., CISEAU., 2006.** Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation, 12p.

**Jean-Nicolas B., Marie-Christine P et Philippe U P., 2011.** Impact de la pollution saline sur la biocénose aquatique de la Moselle, *LIEBE*, 60p.

**Laberche J C., 2010.** *Biologie végétale*, 3<sup>e</sup> édition, DUNOD, Paris, 305p.

**Lallemand-Barrés A., 1980.** Aménagement des sols salés irrigation avec des eaux salées étude documentaire. Bureau de recherches géologiques et minières service géologique national, 34p.

**Levigner A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P et Casse - Delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers agricoles*; 4: 263-73.

**Malamy J., Carr J P., Klessig D F and Raskin I., 1990.** Salicylic acid a likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science*, 250: 1002-1004.

**Masmoudi K., 2015.** Mécanismes moléculaires impliqués dans la tolérance de l'orge à la salinité, Centre international pour l'agriculture biosaline (ICBA), 2p.

**Masmoudi A., Hemeir A et Benaissa M., 2014.** Impacts de la concentration et du type de sel sur le potentiel germinatif et la production de biomasse chez l'orge (*Hordeum vulgare*), Courrier du savoir-N°18, Mars 2014, pp.95-101.

**Mazliak P., 1998.** Physiologie végétale II croissance et développement Nouvelle édition, HERMAN, EDITEURS DES SCIENCES ET DES ARTS. Paris, 575p.

**Métraux J P., Signer H., Ryals J., Ward E., Wyss-Benz M., Gaudin J, Raschdorf K., Schmid E., Blum W and Inverardi B., 1990.** Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250: 1004-1006.

**Montoroi J P., 1993.** Cours "Les sols sales", Département eaux continentales de l'ORSTOM, Université de Paris, BONDY, Janvier 1993, 55p.

**Morot-Gaudry J F., Prat G., Bohn-Courseau I., Jullien M, Parcy F., Perrot-Rechenmann C., Reisdort-Cren M., Richard L et Savouré A., 2009.** Biologie végétale croissance et développement, Dunod,Paris, 241p.

**Moule C., 1971.** Céréales Phytotechnie spécial Tome II, La maison rustique, Paris, 95p.

**Munns R and Tester M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651-681.

**Raskin I., 1992.** Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of plant physiology and plant molecular Biology.* 43:439-463.

**Rasmussen J B., Hammerschmidt R and Zook M N., 1991.** Systematic induction of salicylic acid accumulation in cucumber after inoculation with *Pseudomonas syringae* pv *syringae*. *Plant physiol.* 97(4):1342-1347.

**Slama F., 2004.** La salinité et la production végétale, Centre de publication universitaire, Tunisie, 163p.

**Snoussi S A et Abbad M., 2012.** Impact de la salinité sur quelques paramètres organoleptiques des fruits de tomate cultivée en zone aride, *Revue agrobiologia*; 2: 09-16.

**Soltner D., 2005.** Les grandes productions végétales. 20<sup>ème</sup>. Ed. CSTA, 472p.

**Soltner D., 2007.** Les bases de la production végétale, Tome III la plante et son amélioration, 5<sup>e</sup> édition, CSTA, 304p.

**Sorgho L., 2001.** Statistiques de production pour l'orge (FAOSTAT 2001, révisé), 23 p.

**Touraine B et Ammar M.; 1986.** Etude comparée de la sensibilité au sel d'un triticale et d'une orge, *Agronomie*, EDP Sciences, 5 (5), pp.391-395.

**Ünlü H., Altindal N., Özdamar Ünlü H., Altindal D and Padem H., 2009.** Effect of salicylic acid on salinity stress in cowpea. In: 1<sup>st</sup> international symposium on sustainable development. Sarajevo. Bosnia-Herzegovina, pp61-65.

**Valles V., Valles A M et Dosso M., 2016.** Méthode actuelles d'étude des problèmes de salinité liés à l'irrigation, VSNA- Mission ORSTOM Tunisie, 78p.

**Vazirimehr M R and Rigi K., 2014.** Effect of salicylic acid in agriculture. *International journal of plant, animal and environmental sciences*, Vol 4: pp291-296.

**Wiebe B H., Eilers R G., Eilers W D et Brierleyq JA., 2001.** Salinité du sol, p6.

**Zibouche M et Grimes C., 2016.** Contribution à l'étude des flavonoïdes et de l'activité antioxydant de l'orge: *Hordeum vulgare*, Thèse Master, Université de Constantine, 88p.

**Zidane Djerroudi O., 2016.** Caractérisation morpho-physiologique d'une halophyte, atriplex, aux conditions arides, Thèse Doctorat, Université d'Oran, 80p.

**Zid E et Grignon C., 1991.** Tests de sélection précoce et résistance des plantes aux stress. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF, UREF. John Libbey. Eurotext, Paris, 98-102.

# *Annexes*

## Annexes

## Stades culturaux des céréales (échelle de Feekes) (Charonat et Deblay, 2005)

Stade	Echelle de Feekes	Caractéristiques
Levée	1	Début germination
Début tallage	2	Formation de la première talle
Plein tallage	3	2 à 3 talles
Fin tallage	4	redressement
Début montaison (épis à 1 cm)	5	Début d'allongement des entrenœuds sommet de l'épi distant à 1 cm du plateau de tallage
Montaison 1-2 nœuds gonflement	6	Elongation de la tige
	7	
	8	Apparition de la dernière feuille
	9	Ligule juste visible
	10	Gaine de la dernière feuille sortie
Epiaison	10-1	Premiers épis justes visible
	10-2	1/4 épiaison
	10-3	1/2 épiaison
	10-4	3/4 épiaison
	10-5	Tous les épis sortis
Floraison	10-5-1	Début floraison
	10-5-2	Floraison extrémité épi
	10-5-3	Floraison base épi (fin floraison)
Formation et maturation du grain	10-5-4	Grain formé
	11-1	Grain laiteux
	11-2	Grain pâteux
	11-3	Grain jaune
	11-4	Grain mûr, paille morte

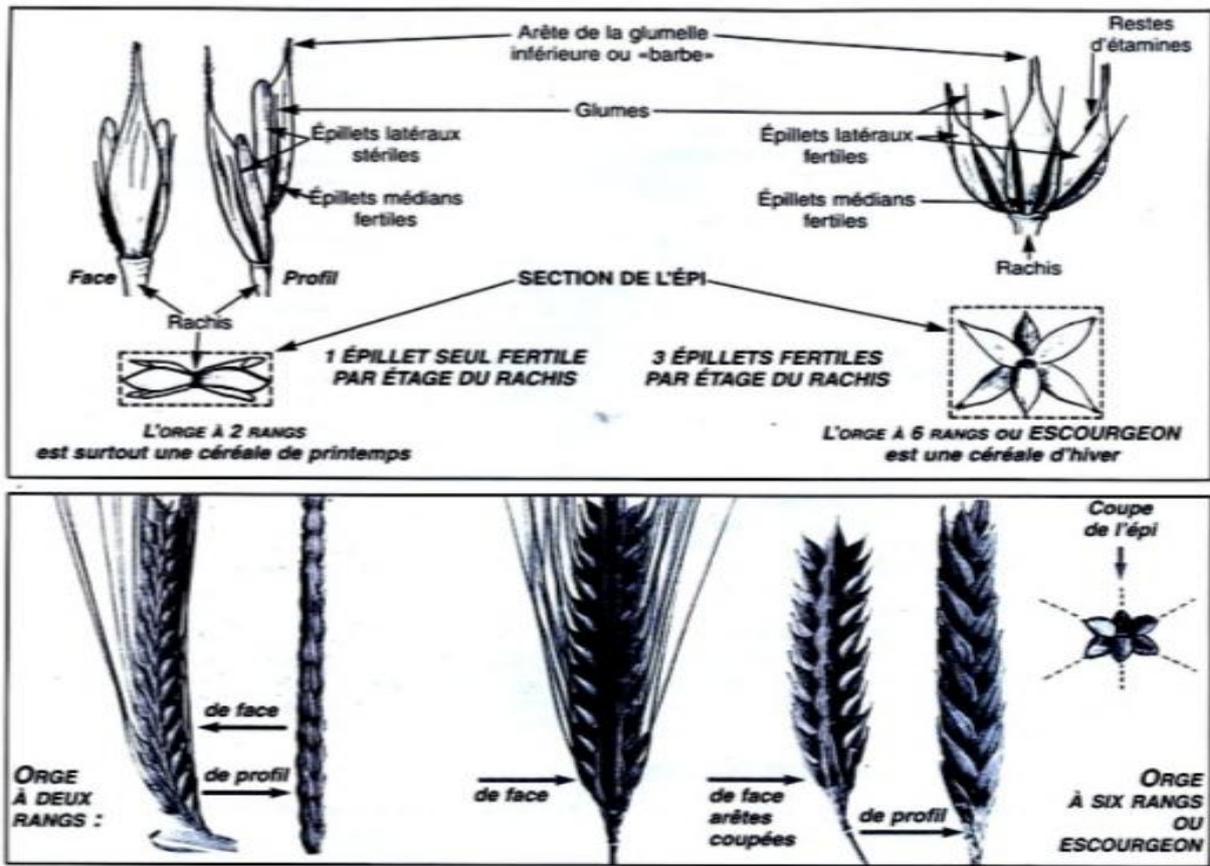
### Table de tolérance des cultures

Baisse de rendement à prévoir pour certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation quand on emploie les méthodes usuelles d'irrigation de surface

Cultures de plein champ

Cultures	0 %	10 %	25 %	50 %	MAXIMUM
	CEe	CEe	CEe	CEe	CEe
Orge <i>Hordeum vulgare</i>	8,0	10	13	18	28
Coton <i>Gossypium hirsutum</i>	7,7	9,6	13	17	27
Betterave sucrière <i>Beta vulgaris</i>	7,0	8,7	11	15	24
Blé <i>Triticum aestivum</i>	6,0	7,4	9,5	13	20
Caethame <i>Carthamus tinctorius</i>	5,3	6,2	7,6	9,9	14,5
Soja <i>Glycine max</i>	5,0	5,5	6,2	7,5	10
Sorgho <i>Sorghum bicolor</i>	4,0	5,1	7,2	11	18
Arachide <i>Arachis hypogaea</i>	3,2	3,5	4,1	4,9	6,5
Riz (paddy) <i>Oryza sativa</i>	3,0	3,8	5,1	7,2	11,5
<i>Sesbania Sesbania exaltata</i>	2,3	3,7	5,9	9,4	16,5
Maïs <i>Zea mays</i>	1,7	2,5	3,8	5,9	10
Lin <i>Linum usitatissimum</i>	1,7	2,5	3,8	5,9	10
Grosse fève <i>Vicia faba</i>	1,6	2,6	4,2	6,8	12
Haricot dolique <i>Vigna unguiculata</i>	1,3	2,0	3,1	4,9	8,5
Haricot <i>Phaseolus vulgaris</i>	1,0	1,5	2,3	3,6	6,5

CEe désigne la conductivité électrique de l'extrait de pâte de sol saturé, exprimée en millimhos par centimètre, à 25° C (Valles et al, 2016).



L'orge *Hordeum vulgare* et deux types: à 2 et à 6 rangs (Soltner, 2005)



Photomètre à flamme



Etuve



Balance de précision



Agitateur

## ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة تأثير ملوحة NaCl بتركيزات مختلفة (6, 9 و 12 غ/ل) بوجود أو بدون تراكيز حمض الساليسيليك (SA) 0؛ 0.25؛ 0.5؛ 1 و 1.5 مل مول)، على مؤشر النمو و التغذية المعدنية والتي يمكن تقييم درجة التحمل الشعير إلى الإجهاد الملح. تتكون المادة النباتية من الشعير (*Hordeum vulgare*): سعيدة. يتم إجراؤها في علب بيتري لمدة 15 يوما. القياسات التي تمت دراستها هي معدل الإنبات و ارتفاع النباتات و طول الجذر و الوزن الرطب و الجاف و محتوى النبات من  $Na^+$  و  $Cl^-$ . و يتم الحصول على أقصى إنبات بالماء المقطر (الشاهد) (0 غ/ل). أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الزيادة في الملوحة تضر بالمعايير المذكورة: تخفيض معدل الإنبات و تقليل نمو الجزء الهوائي و الجذر، و انخفاض إنتاج المادة الرطبة و الجافة. و قد لوحظ أن تطبيق تراكيز عالية SA (1 و 1.5 مل مول) لا يمنح الكثير من تحمل الملوحة مقارنة مع تركيز أقل (0.25 و 0.5 مل مول) على التوالي التي ثبت أنها تماما فعالة لتحسين نمو الشعير، ومقارنة مع تراكيز الملح NaCl وحده، و خاصة مع أقل تركيز. كما لوحظ تراكم  $Cl^-$  و  $Na^+$  في النباتات المجهدة بالنسبة إلى الشاهد.

**الكلمات المفتاحية:** الشعير، التركيز، كلوريد الصوديوم، حمض الساليسيليك، النمو، التحمل.

## Résumé

Le but de cette étude est de déterminer l'impact de la salinité de NaCl avec des doses différentes (6, 9 et 12g/l) en présence ou absence des doses l'acide salicylique (AS 0 mM; 0,25 mM; 0,5 mM; 1 mM et 1,5 mM), sur l'indices de croissance et de nutrition minérale susceptibles d'évaluer le degré de tolérance la plante d'orge vis-à-vis de la contrainte saline. Le matériel végétal est constitué de variété d'orge (*Hordeum vulgare*): Saida. La culture de variété est conduite dans la boîte de Pétri pendant 15 jours. Les paramètres étudiés sont le taux de germination, la hauteur des plantules, la longueur des racines, le poids frais et sec et la teneur de  $Na^+$  et  $Cl^-$  du végétal. Le maximum de germination est obtenu avec l'eau distillée (témoin) (0g/l). Les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la salinité est néfaste sur les paramètres cités: diminution du taux de germination, réduction de la croissance de la partie aérienne et racinaire et une chute de la production de la matière fraîche et sèche. Il a été observé que l'application de AS à doses plus élevés (1 et 1,5mM) ne conférait pas beaucoup de tolérance au stress par rapport aux doses plus faibles (0,25 et 0,5mM) qui se sont révélés assez efficaces pour améliorer la croissance d'orge, respectivement et par rapport aux doses de sel seul, surtout avec le faible dose. Une accumulation de  $Na^+$  et  $Cl^-$  sont aussi observés chez les plantes stressées par rapport au témoin.

**Mots clé:** L'orge, dose, NaCl, acide salicylique, croissance, tolérance.

## Summary

The aim of this study is to determine the impact of NaCl salinity with different doses (6, 9 and 12g/l) in the presence or absence of salicylic acid doses (SA 0 mM, 0,25 mM, 0,5 mM, 1 mM and 1,5 mM), on the growth and mineral nutrition index, which can evaluate the degree of tolerance of the barley plant to salt stress. The plant material consists of a variety of barley (*hordeum vulgare*): Saida. The variety culture is conducted in the Petri dish for 15 days. The parameters studied are germination rate, seedling height, root length, fresh and dry weight and the content of  $Na^+$  and  $Cl^-$  of the plant. The maximum germination is obtained with distilled water (control) (0g/l). The results obtained show that the increase in salinity is detrimental to the mentioned parameters: reduction of the germination rate, reduction of the aerial and root growth and a fall in the production of fresh and dry matter. It was observed that the application of high dose SA (1 and 1,5 mM) did not confer much stress tolerance compared to the lower doses (0,25 and 0,5 mM) which proved to be quite effective to improve barley growth, respectively and compared to single doses salt, especially with the low dose. An accumulation  $Na^+$  and  $Cl^-$  are also observed in stressed plants relative to the control.

**Key words:** Barley, dose, NaCl, salicylic acid, growth, tolerance.