

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المعهد الوطني للعلوم الفلاحة - الحراش - الجزائر  
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE  
EL HARRACH - ALGER

# THESE

Pour l'Obtention du Diplôme de MAGISTER  
en Sciences Agronomiques  
Option : *Pédosphère*

*ETUDE EXPERIMENTALE DE L'INFLUENCE  
DES SELS SOLUBLES  
SUR LE COMPORTEMENT D'*Atriplex halimus* L.*

Présenté par :  
M<sup>r</sup>. BADACHE Abdel Hakim

Devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> . DJILI K.	Professeur	Président
M <sup>me</sup> . BENREBIHA F/Z thèse	Maître de conférences	Directeur de
M <sup>me</sup> . SAIDI F.	Maître de conférences	Examinatrice
M <sup>lle</sup> . CHAOUIA C.	Chargée de cours	Examinatrice

**Année universitaire : 2004 - 2005**

## AVANT – PROPOS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche retenu par l'union européenne (STD 3 et INCO-DC). Son objectif est de contribuer aux efforts d'amélioration de la production fourragère des steppes à base d'*Atriplex halimus* dans le but d'accroître la production animale des régions arides méditerranéennes. Ce projet vise également à protéger ces écosystèmes particulièrement fragiles. Des laboratoires de Tunisie, d'Algérie, de Chili, de France et de Belgique collaborent à ce programme. L'objectif poursuivi sera atteint par le repeuplement de zones dégradées à l'aide de populations homogènes résistantes obtenues par le clonage in vitro d'individus choisis au sein de la diversité biologique de populations naturelles ou créées.

*A ma famille*

## *REMERCIEMENTS*

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Madame F/Z. BENREBIHA, Maître de conférences à la faculté d'Agro-Vétérinaire et Biologie de l'université de Blida, qui m'a confié un sujet de recherche fondamentale passionnant, qui m'a conseillé et guidé tout au long de cette thèse. Ses compétences scientifiques et sa rigueur ont permis de diriger et conduire ce travail à son terme.

Ma gratitude et mes vifs remerciements à Monsieur K. DJILI, Professeur à l'I.N.A. d'El Harrach pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Je remercie Madame F. SAIDI, Maître de conférences à la faculté d'Agro-Vétérinaire et Biologie de l'université de Blida, pour son aide et pour avoir bien voulu faire partie du jury.

Que Mademoiselle C. CHAOUIA, chargée de cours à la faculté d'Agro-Vétérinaire et Biologie de l'université de Blida, trouve ici l'expression de mon respect et ma reconnaissance pour son aide et pour avoir accepté de siéger dans le jury.

Mes remerciements vont également à Monsieur Y. DAOUD, Professeur à l'I.N.A. d'El Harrach, et Monsieur A. REZIG, chargé de cours à la faculté d'Agro-Vétérinaire et Biologie de l'université de Blida, pour toutes les réponses qu'ils ont apportées à mes questions.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Mr. R. AMDOUNE, pour l'aide efficace qu'il m'a apportés durant la réalisation de ce travail.

Mes remerciements ont également à l'égard de : HADJIRA ; SALIMA ; GHANIA ; AMINE ; READ ; SMAIN ; BRAHIM ; LOUNES ; RABAH ; REDWANE, pour leur soutien moral et matériel.

Enfin, de nombreuses personnes, de tout horizon, m'ont aidé, ne serait ce que par un sourire ; qu'ils reçoivent ici le témoignage de ma reconnaissance.

*BADACHE Hakim*

## RESUME

L'effet des concentrations croissantes de deux sels solubles (NaCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sur la germination, la morphogénèse et la composition minérale de l'*Atriplex halimus* dont les graines sont prélevées de la région de Djelfa (Algérie) a été étudié par la mise en œuvre de deux types d'essais *in vitro* (essai avec NaCl, et essai avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Les résultats montrent que les graines d'*Atriplex halimus* sont caractérisées par leur rapidité de germination et leur faible sensibilité aux fortes concentrations de NaCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. La limite de tolérance (à l'égard de ces deux sels solubles), correspondant à une diminution de la germination de 25%, se situe à 12,83 g/l pour NaCl et 15,52 g/l pour Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

La limite (ou le seuil) de tolérance (ou de sensibilité) de la production de matière sèche de la partie aérienne est variable selon le type d'essai. En effet, elle est comprise entre 6 et 8 g/l pour NaCl, et entre 10 et 12 g/l pour Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Les concentrations 6 g/l de NaCl, et 8 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, stimulent la croissance d'*Atriplex halimus* (nombre de paires de feuilles, longueur de la tige et de la racine principale, la matière fraîche et la matière sèche). A partir du 8g/l de NaCl et 12 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, la croissance du végétal diminue considérablement.

L'absorption du chlorure de sodium (NaCl) ou de sulfate de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) par les vitro plants d'*Atriplex halimus* se traduit par un enrichissement des tissus par le sodium (Na<sup>+</sup>) et une diminution du potassium (K<sup>+</sup>), et de calcium (Ca<sup>++</sup>). Cette accumulation du Na<sup>+</sup> dans le végétal provoque une chute de la production de la biomasse.

Ainsi nous avons remarqué qu'il existe une variabilité génétique (polymorphisme) dans la production de biomasse qui peut être utilisée dans une démarche qui vise la sélection des plants performants parmi la biodiversité existante.

Ces résultats, montrent que l'*Atriplex halimus* peut être cultivée dans des milieux salés inadaptés à la majorité des espèces cultivées.

Cette espèce peut constituer notamment dans les régions aride et semi-aride un moyen de mise en valeur et lutte contre la désertification.

**Mots clés :** *Atriplex halimus* ; chlorure de sodium ; sulfate de sodium ; culture *in vitro* ; germination ; croissance ; nutrition minérale.

## الملخص

للملوحة المتزايدة لكلور الصوديوم (NaCl) وكذا كبريتات الصوديوم (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)، تأثير علي انتشار و نمو نبات القطف (*Atriplex halimus*)، و الذي تم الحصول علي بدوره من منطقة المصران بولاية الجلفة (الجزائر)، و الذي قمنا بدراسته من خلال تجربتين (تجربة بالملح NaCl، تجربة بالملح Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

ولقد بينت النتائج المتحصل عليها أن بدور *Atriplex halimus* تتميز بسرعة انتشها و مقاومتها للتراكيز المرتفعة لكلور الصوديوم NaCl و كبريتات الصوديوم Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>، حيث أن عتبة المقاومة بالنسبة للنتاش قدرت ب 12,83 غ/ل بنسبة لتجربة بالملح NaCl، و ب 15,52 غ/ل بنسبة لتجربة بالملح Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>، و هذا ما يعادل 25% من انخفاض في انتشار البذور.

عتبة المقاومة ( أو الحساسية ) بالنسبة لإنتاج المادة الجافة ( الساق+الأوراق) متغيرة بدلالة نوع التجربة. حيث، أنها تتراوح ما بين 6 و 8 غ/ل في التجربة بالملح NaCl، و ما بين 10 و 12 غ/ل في التجربة بالملح Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

إن إضافة مقدار 6 غ/ل من NaCl في الوسط للتجربة ب NaCl، وإضافة 8 غ/ل من Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> في الوسط للتجربة ب Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> يبدو محفزا لنمو نبات *Atriplex halimus* ( عدد أزواج الأوراق، طول الساق، طول الجذر الرئيسي، المادة الرطبة و المادة الجافة). و من جهة أخرى، وانطلاقا من التركيز 8 غ/ل ( بنسبة للتجربة بالملح NaCl ) وتركيز 12 غ/ل ( بنسبة للتجربة بالملح Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> )، لاحظنا أن هناك تأثيرا سلبيا لهد ين الملحين علي نمو هذا الأخير.

إن امتصاص كلور الصوديوم ( NaCl ) أو كبريتات الصوديوم (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)، يؤدي إلي تراكم الصوديوم ( Na<sup>+</sup> ) و نقص البوتاسيوم ( K<sup>+</sup> )، و الكالسيوم ( Ca<sup>++</sup> ) في كل أعضاء النبات. هذا التراكم الكبير للصوديوم ( Na<sup>+</sup> ) في النبات يسبب انخفاضا في إنتاج المادة الجافة.

كما لاحظنا وجود اختلاف كبير في إنتاج المادة الرطبة و الجافة، الذي يرجع إلي قابلية التغير الورثي لهذا النبات، هذه الخاصية يمكن استعمالها في انتقاء النباتات ذات النوعية الجيدة من بين النباتات الموجودة أصلا في الوسط الطبيعي.

هذه النتائج برهنت أن النبات *Atriplex halimus*، يمكن استعماله لاستغلال الأراضي المالحة الغير صالحة للزراعة من جهة. و من جهة أخرى، يمكن استغلاله أيضا في المناطق الجافة و الشبه الجافة لمواجهة زحف الرمال (التصحّر).

الكلمات المفتاحية: *Atriplex halimus*، كلور الصوديوم، كبريتات الصوديوم، الزراعة *in vitro*،

الانتاش، النمو، التغذية المعدنية.

## SUMMARY

The effect of the increasing concentrations of two soluble salts (NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) on the germination, the morphogenesis and mineral composition of the *Atriplex halimus* whose seeds are picked in the region of Djelfa (Algeria) has been studied by the implementation of two types of *in vitro* tests (test with NaCl, and test with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

The results show that the seeds of *Atriplex halimus* are characterized by their speed of germination and their weak sensitivity to the strong concentrations of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The limit of tolerance (with regard to these two soluble salts), corresponding to a reduction of the growth of 25%, is located to 12.83 g of NaCl/l for the NaCl test, and at 15.52 g of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l for the Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> test.

The limit (or threshold) of tolerance (or of sensitivity) of the production of dry matter of the aerial part is variable according to the test type. Indeed, it is comprised between 6 and 8 g of NaCl/l at the level of the test with NaCl, and between 10 and 12 g of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l at the level of the test with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

A concentration that is also variable according to the test type (6 g of NaCl/l for the NaCl test, and 8 g of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l for the Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> test), seems to stimulate the growth of *Atriplex halimus* (number of pairs of leaves, lengths of the stem and the main root, the cool matter and the dry matter). From 8g of NaCl/l (test with NaCl) and 12 g of Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l (test with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), these two soluble salts exercise a depressive effect on the growth of the plant.

The absorption of sodium chloride (NaCl) or of sodium sulphate (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) by the *in vitro* plantations of *Atriplex halimus* is translated by an enrichment of cloths by sodium (Na<sup>+</sup>) and a reduction of potassium (K<sup>+</sup>), and of calcium (Ca<sup>++</sup>). This accumulation of the Na<sup>+</sup> in the plant provokes a fall of the production of the biomass.

So we noticed that a genetic variability exists (polymorphism) in the production of biomass that can be used in a way that aims at the selection of the most performing plants among the existing biodiversity.

These results show that the *Atriplex halimus* can be cultivated in salty milieus unfit for the majority of the cultivated species.

This species can constitute, notably in the arid and semi-arid regions, a means of enhancement and struggle against desertification.

**Key words:** *Atriplex halimus*; chloride of sodium; sulphate of sodium; *in vitro* culture; germination; growth; mineral nutrition.

# SOMMAIRE

	Pages
<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
1- PROBLÈME DE LA SALINITÉ DES SOLS	3
1.1. Définitions	3
1.2. La classification des sols salins	3
1.3. La salinité dans le monde	4
1.4. La salinité en Algérie	5
1.5. Effet des sels sur le sol	6
1.5.1. Effet sur les propriétés physiques	6
1.5.2. Effet sur les propriétés chimiques	6
2- TOLÉRANCE DES PLANTES DANS UN MILIEU SALIN	7
2.1. Définitions	7
2.2. Mécanismes de tolérance	7
3- INFLUENCE DES SELS SUR LE COMPORTEMENT DES PLANTES	8
3.1. Influence des sels sur la germination	8
3.2. Influence des sels sur la croissance	8
3.3. Influence des sels sur la nutrition minérale	9
4- L'ATRIPLEX	10
4.1. Systématique et description de l' <i>Atriplex halimus</i>	10
4.2. Répartition de l' <i>Atriplex</i>	12
4.2.1. Dans le monde	12
4.2.2. En Algérie	12
4.3. Caractéristiques climatiques et édaphiques des zones à <i>Atriplex</i>	14
4.3.1. Caractéristiques climatiques	14
4.3.2. Caractéristiques édaphiques	14
4.3.2.1. Nature de sol	14
4.3.2.2. La salure	14
4.4. Stratégies adaptatives de l' <i>Atriplex halimus</i> dans le milieu salé	14
4.5. Potentiel écologique et économique de l' <i>Atriplex</i>	15
4.5.1. Mise en valeur des sols pauvres	15
4.5.2. Mise en valeur des sols salés	15
4.5.3. Fixation des dunes	15
4.5.4. Intérêt fourrager	16

## CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

1- MATERIELS	17
1.1. Semences	
1.2. Les sels utilisés	
2- METHODES	19
2.1. Essai de germination	
2.2. Milieu de culture	
2.3. Culture in vitro	21
2.4. Paramètres étudiés	
2.5. Mode d'expression des résultats	23

## CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

1- COMPORTEMENT D' <i>Atriplex halimus</i> VIS-A-VIS DU CHLORURE DE SODIUM (NaCl)	24
1.1. Germination des graines	
1.2. Conclusion	29
1.3. Croissance et développement d' <i>Atriplex halimus</i>	31
1.3.1. Nombre de paires de feuilles	
1.3.2. Longueur de la tige	34
1.3.3. Longueur de la racine principale	36
1.3.4. Matière fraîche aérienne	38
1.3.5. Matière fraîche racinaire	40
1.3.6. Matière sèche de la partie aérienne	43
1.3.7. Matière sèche de la partie racinaire	45
1.3.8. Matière sèche totale	47
1.4. Conclusion	47
1.5. Nutrition minérale	49
1.5.1. Le sodium	49
1.5.2. Le potassium	51
1.5.3. Le calcium	53
1.6. Conclusion	55
2 - COMPORTEMENT D' <i>Atriplex halimus</i> VIS-A-VIS DU SULFATE DE SODIUM (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	56
2.1. Germination des graines	56
2.2. Conclusion	62
2.3. Croissance et développement d' <i>Atriplex halimus</i>	63
2.3.1. Nombre de paires de feuilles	63
2.3.2. Longueur de la tige	66
2.3.3. Longueur de la racine principale	68
2.3.4. Matière fraîche aérienne	70
2.3.5. Matière fraîche racinaire	72
2.3.6. Matière sèche de la partie aérienne	74
2.3.7. Matière sèche de la partie racinaire	76
2.3.8. Matière sèche totale	78
2.4. Conclusion	78

2.5. Nutrition minérale	80
1.5.1. Le sodium	80
1.5.2. Le potassium	82
1.5.3. Le calcium	84
2.6. Conclusion	84
3- DISCUSSION GENERALE	86
CONCLUSION GENERALE	90
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	92
ANNEXES	102

## ABREVIATION

**M.S** : matière sèche

**Kg** : kilogramme.

**%** : pourcentage.

**°C** : degré celsius.

**pH** : potentiel hydrique.

**ds** : déci siemens

**m** : mètre.

**l** : litre.

**ml** : millilitre.

**mg** : milligramme.

**g** : gramme .

**cm** : centimètre.

**Pf** : poids Frais.

**Ps** : poids sec.

**HNO<sub>3</sub>** : Acide nitrique.

**NaCl** : chlorure de sodium.

**Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : sulfate de Sodium.

## LISTE DES TABLEAUX

	<b>Pages</b>
<b>Tableau 1</b> : Superficies affectées par la salinité dans le monde	5
<b>Tableau 2</b> : Composition chimique du milieu de culture	20
<b>Tableau 3</b> : Relation entre la concentration en NaCl, la pression osmotique et le potentiel osmotique	24
<b>Tableau 4</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, du pourcentage de germination	26
<b>Tableau 5</b> : Effet des différentes concentration en NaCl sur le pourcentage de germination des graines d' <i>Atriplex halimus</i> en fonction du temps	29
<b>Tableau 6</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, du nombre de paires de feuilles	34
<b>Tableau 7</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la longueur de la tige	36
<b>Tableau 8</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la longueur la racine principale	38
<b>Tableau 9</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière Fraîche de la partie aérienne	40
<b>Tableau 10</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière fraîche de la partie racinaire	42
<b>Tableau 11</b> : Teneur en eau (%) de la matière fraîche	42

<b>Tableau 12</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche de la partie aérienne	43
<b>Tableau 13</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche de la partie racinaire	45
<b>Tableau 14</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche totale	47
<b>Tableau 15</b> : Taux de sodium dans la matière sèche de la plante	49
<b>Tableau 16</b> : Taux de potassium dans la matière sèche de la plante	51
<b>Tableau 17</b> : Taux de calcium dans la matière sèche de la plante	53
<b>Tableau 18</b> : Relation entre la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , la pression osmotique et le potentiel osmotique	56
<b>Tableau 19</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, du pourcentage de germination	58
<b>Tableau 20</b> : Effet des différentes concentrations en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur le pourcentage de germination des graines d' <i>Atriplex halimus</i> en fonction du temps	60
<b>Tableau 21</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, du nombre de paires de feuilles	63
<b>Tableau 22</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la longueur de la tige	66
<b>Tableau 23</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la longueur de la racine principale	68

<b>Tableau 24</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière fraîche de la partie aérienne	70
<b>Tableau 25</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière fraîche de la partie racinaire	72
<b>Tableau 26</b> : Teneurs en eau (%) de la matière fraîche	74
<b>Tableau 27</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche aérienne	74
<b>Tableau 28</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche racinaire	76
<b>Tableau 29</b> : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche totale	78
<b>Tableau 30</b> : Taux de sodium dans la matière sèche de la plante	80
<b>Tableau 31</b> : Taux de potassium dans la matière sèche de la plante	82
<b>Tableau 32</b> : Taux de calcium dans la matière sèche de la plante	84

## LISTE DES FIGURES

	<b>Pages</b>
<b>Figure 1</b> : Répartition des nappes principale d' <i>Atriplex</i>	13
<b>Figure 2</b> : Influence de la concentration en NaCl sur le pourcentage de germination des graines d' <i>Atriplex halimus</i> .	25
<b>Figure 3</b> : Ajustement statistique de la relation entre le pourcentage de des graines d' <i>Atriplex halimus</i> et la concentration germination du milieu en NaCl.	28
<b>Figure 4</b> : Effets de différentes concentrations de NaCl sur le pourcentage de germination de graines d' <i>Atriplex halimus</i> en fonction du temps	30
<b>Figure 5</b> : Influence de la concentration en NaCl sur le nombre de paires de feuilles des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	33
<b>Figure 6</b> : Influence de la concentration en NaCl sur la longueur de la tige des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i> .	35
<b>Figure 7</b> : Influence de la concentration en NaCl sur la longueur de la racine principale des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i> .	37
<b>Figure 8</b> : Influence de la concentration en NaCl sur le poids de la matière fraîche aérienne des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i> .	39
<b>Figure 9</b> : Influence de la concentration en NaCl sur le poids de la matière Fraîche de la partie racinaire des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i> .	41

- Figure 10** : Influence de la concentration en NaCl sur le poids de la matière sèche de la partie aérienne des vitro plants d'*Atriplex halimus* 44
- Figure 11** : Influence de la concentration en NaCl sur le poids de la matière sèche de la partie racinaire des vitro plants d'*Atriplex halimus* 46
- Figure 12** : Influence de la concentration en NaCl sur le poids de la matière sèche totale des vitro plants d'*Atriplex halimus* 48
- Figure 13** : Influence de la concentration en NaCl sur la teneur en sodium de la matière sèche de vitro plants d'*Atriplex halimus* 50
- Figure 14** : Influence de la concentration en NaCl sur la teneur en potassium de la matière sèche de vitro plants d'*Atriplex halimus* 52
- Figure 15** : Influence de la concentration en NaCl sur la teneur en calcium de la matière sèche de vitro plants d'*Atriplex halimus* 54
- Figure 16** : Influence de la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur le pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* 57
- Figure 17** : Ajustement statistique de la relation entre le pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* et la concentration du milieu en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 59
- Figure 18** : Effets de différentes concentrations de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur le pourcentage de germination de graines d'*Atriplex halimus* en fonction du temps 61
- Figure 19** : Influence de la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur le nombre de paires de feuilles des vitro plants d'*Atriplex halimus* 65

<b>Figure 20</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur la longueur de la tige des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	67
<b>Figure 21</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur la longueur de la racine principale des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	69
<b>Figure 22</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur le poids de la matière fraîche aérienne des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i> .	71
<b>Figure 23</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur le poids de la matière fraîche de la partie racinaire des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	73
<b>Figure 24</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur le poids de la matière sèche de la partie aérienne des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	75
<b>Figure 25</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur le poids de la matière sèche de la partie racinaire des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	77
<b>Figure 26</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur le poids de la matière sèche totale des vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	79
<b>Figure 27</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur la teneur en sodium de la matière sèche de vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	81
<b>Figure 28</b> : Influence de la concentration en $\text{Na}_2\text{SO}_4$ sur la teneur en potassium de la matière sèche de vitro plants d' <i>Atriplex halimus</i>	83

- Figure 29** : Influence de la concentration en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sur la teneur en calcium de la matière sèche de vitro plants d'*Atriplex halimus* 85
- Figure 30** : Influence de la pression osmotique de milieu sur le rendement en matière sèche au niveau de l'essai NaCl 88
- Figure 31** : Influence de la pression osmotique de milieu sur le rendement en matière sèche au niveau de l'essai  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  88

## LISTE DES PLANCHES

**Planche 1** : Caractéristiques morphologiques de *Atriplex halimus*

**Planche 2** : Fruits et graines d'*Atriplex halimus*

**Planche 3** : Plantules d'*Atriplex halimus* obtenus après 5 jours de germination de graines traitées à l'hypochlorite de sodium

**Planche 4** : Aspect morphologique de vitro plants d'*Atriplex halimus*, obtenus après un mois de culture sur milieu de **MURASHIGE et SKOOG (1962)**, en présence de différentes concentrations en NaCl

**Planche 5** : Aspect morphologique de vitro plants d'*Atriplex halimus*, obtenus après un mois de culture sur milieu de **MURASHIGE et SKOOG (1962)**, en présence de différentes concentrations en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

## INTRODUCTION

L'accumulation des sels solubles dans le sol constitue, à l'échelle planétaire, l'un des principaux problèmes auquel l'agriculture est confrontée, plus particulièrement dans les régions semi-arides et arides (**Zid et Boukhris, 1977**). Fréquemment associée à la contrainte hydrique, la salinité entraîne une réduction des surfaces cultivables et menace l'équilibre alimentaire mondial (**Kinet et al., 1998**). Tous les continents sont affectés. Plus de 27 % des terres irriguées sont confrontées au problème de la salinité (**Levigneron et al., 1995; Wilson et al., 2000**).

Le lessivage des sols est un moyen efficace de contrôle de la salinité, mais sur le plan hydro-pédologique, nécessite des quantités importantes d'eau d'irrigation (**Roades et Laveday, 1990**). Par contre, sur le plan éco-physiologique, l'introduction et le développement des plantes résistantes aux conditions salines est une approche écologique possible et moins coûteuse (**Winicov, 1998**), pour la valorisation de ces sols marginaux (**Alarcon et al., 1999**).

Les arbustes du genre *Atriplex* sont présents dans toutes les régions du globe où le déséquilibre écologique s'accroît et où le phénomène de désertification prend des dimensions alarmantes (**Kinet et al., 1998**). En l'Algérie dans les régions steppiques centrales, un certain nombre d'espèces d'*Atriplex* sont cultivées avec « succès », occupant ainsi une superficie d'environ 60.000 hectares (**H.C.D.S., 2001**).

Cette plante pérenne de la famille des *Chenopodiaceae* constitue un fourrage apprécié des camélidés et particulièrement des ovins et des caprins dans les contrées arides (**El Hamrouni, 1986 ; Wilson, 1992**), riche en protéine (**Kinet et al., 1998**) et comme plante ornementale (**Forti, 1986 ; Choukr-Allah et al., 1996**). L'*Atriplex halimus* contribue à la désalinisation des sols (**Francllet et Le Houerou, 1971**) et dans la lutte contre la désertification (**Benrebaha, 1987 ; Koocheld, 1992**).

Cependant, le surpâturage, les contraintes climatiques et l'absence de gestion rationnelle des parcours des troupeaux ont conduit à une forte dégradation des Atriplexaies nécessitant la mise en œuvre d'une politique de repeuplement avec des génotypes, à haute production de biomasse et à bonne palatabilité, résistants à la salinité (**Bajji et al., 1997, Kinet et al., 1998**).

C'est dans ce cadre que nous avons entrepris cette étude dont le but est de définir ou de préciser, les limites de tolérances de l'*Atriplex halimus* à l'égard des sels solubles, nous proposons dans ce travail une étude expérimentale, dans des conditions semi-controlées de laboratoire (culture *in vitro*), l'effet de la concentration élevés de deux sels solubles (NaCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sur la germination, l'aptitude à l'enracinement et la croissance de l'*Atriplex halimus*, et aussi voir les variations quantitatives de Na<sup>+</sup>, du K<sup>+</sup>, et du Ca<sup>++</sup> en fonction des concentrations externe du chlorure de sodium (NaCl) et sulfate de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Notre travail comporte trois chapitres. Le premier chapitre est relatif à une synthèse bibliographique qui tente de faire le point sur l'état des connaissances actuelles sur le sujet. Le second chapitre porte sur le matériel et méthodes d'études utilisés. Les résultats obtenus et leur discussion sont présentés dans le troisième chapitre.

# CHAPITRE I.

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHYQUE

### 1. PROBLEME DE LA SALINITE DES SOLS

#### 1.1. Définitions

La salinité du sol est le problème le plus répandu (**Lasram, 1995**). Elle se définit comme toute teneur excessive en ions (**Herrero, 1992**).

Cependant, dans les conditions des régions arides, telles que les faibles précipitations, les fortes évaporations, et le faible lessivage du sol, sont les causes d'une accumulation de quantité excessive des sels solubles, ce qui a pour effet un retard ou une limitation de la croissance des plantes, ces sols sont appelés « sols salés » (**Hudson- Noman, 1987**).

Selon la même source, les sols qui contiennent des sels solubles en excès sont désignés, par le nom de sols salins et ceux qui contiennent en excès de sodium échangeable sont désignés par le nom de sols alcalins ou sodiques.

La salinisation des sols se manifeste par deux voies (**Chretien, 1992**) qui sont :

- *la salinisation primaire*, c'est à dire héritée des conditions naturelles ; liée par exemple à la présence de couches géologiques salées.
- *la salinisation secondaire*, est principalement provoquée par l'irrigation avec une eau de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage déficient, un niveau élevé de la nappe phréatique et une évaporation importante.

#### 1.2. La classification des sols salins

Les sols sont classés en fonction de leur degré de salinité, en prenant compte de leur sodicité. **Koturby. Amacher et al. (1997)**, définissent la sodicité par le taux d'absorption du sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio). Elle est calculée à partir des

mesures effectuées sur l'eau d'extrait du sol. Elle est basée sur la concentration du sodium (Na), calcium (Ca) et le magnésium (Mg) dans l'échantillon. Le calcul de SAR accomode la différence en tension d'absorption.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\text{Na} + \text{Mg}}} / 2$$

Il y a trois catégories des sols salins et sodiques, déterminés par un système de classification établi par le laboratoire américain de la salinité « *Staff* » :

- *sols salins* : ils sont définis par une CE supérieure à 4 ds/m et un SAR inférieur à 13.
- *sols sal-sodiques* : Ils possèdent une CE supérieure à 4 ds/m et un SAR supérieure à 13.
- *sols sodiques* : ils ont une CE inférieure à 4 ds/m et un SAR supérieure à 13.

### **1.3. La salinité dans le monde**

La salinité intéresse principalement les régions arides et semi arides, et touche environ un milliard d'hectares dans le monde (*tableau 1*).

**Tableau 1 : Superficies affectées par la salinité dans le monde (Lasram, 1995)**

Régions	Millions d'hectares	Régions	Millions d'hectares
Afrique	80,5	Australie	357,3
Amérique du sud	15,7	Mexique et Amérique centrale	2,0
Amérique du Nord	129,2	Asie centrale et du Nord	211,7
Asie du Sud	87,6	Asie du Sud Est	20
Europe	50,0		
total	954,8		

#### 1.4. La salinité en Algérie

L'Algérie compte plus d'un million d'hectares de terres salées. Ces derniers sont localisés essentiellement le long de la frontière Algéro-Marocaine sous la forme de pseudo-sables disposés à la surface du sol. Ces sols salés sont également très fréquent dans les basses plaines de l'Oranie, la plaine de la Mina (Relizane). Le sud de Sétif et de Constantine et dans les régions sahariennes (F.A.O, 1974).

Cependant, deux types de salure peuvent être reconnus en Algérie (Drouhin, 1961) :

- la salure de la région tellienne (plaines sub-littorales) et des hautes plaines steppiques où l'élément toxique est constitué essentiellement par le chlorure de sodium (NaCl) ou chlorure de magnésium (MgCl<sub>2</sub>) ou l'association de ces deux composés (salant blanc).
- la salure des vallées et des dépressions sahariennes où le climat est chaud, favorise l'apparition du carbonate de soude (salant noir)

dont la

toxicité est redoutable.

D'après **Daoud et Halitim (1994)** en Algérie, la salinisation secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux diversement minéralisées a entraîné une extension de la salure dans de nombreux périmètres irrigués.

### **1.5. Effet des sels sur le sol**

Les sols salés sont caractérisés par des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables à la croissance des végétaux en raison de la présence de sels solubles, et/ou de sodium échangeable en quantité élevé.

#### **1.5.1. Effet sur les propriétés physiques**

La stabilité structurale d'un sol diminue dès que le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15 % (**Kelly, 1948 in Duthil, 1973**). En effet, **Rhoades et al., (1992)** indiquent que l'accumulation du sodium provoque le gonflement des terres, ce qui aboutit à la séparation des particules d'argiles et de la matière organique (le complexe argilo-humique), ce qui provoque une diminution de la perméabilité.

#### **1.5.2. Effet sur les propriétés chimiques.**

Lorsqu'un sol contenant des ions  $\text{Na}^+$  sur le complexe argilo-humique devient humide (irrigation ou précipitation), le  $\text{Na}^+$  fixé repasse en solution et provoque des réactions qui aboutissent à la libération d'ions  $\text{OH}^-$  qui vont élever le pH du sol (**Djamäi, 1993**). Si l'élévation du pH est forte (jusqu'à 10), elle perturbe la physiologie des plantes et celle des micro-organismes.

## 2- TOLERANCE DES PLANTES DANS UN MILIEU SALIN

### 2.1. Définition

La tolérance des plantes à la salinité est définie comme étant la capacité des cultures à résister aux effets excessifs des sels au niveau de la rhizosphère (**Chretien, 1992 et Hamdy, 2002**). Elle est exprimée par l'aptitude des plantes à survivre dans les sols salins, la réduction de la croissance ou des rendements à différents niveaux de la salinité ou encore par la comparaison de la croissance ou des rendements des cultures en conditions salines et en conditions non salines (**Maas, 1990 ; Rao et al., 1991**).

### 2.2. Mécanismes de tolérance

Les plantes développent plusieurs stratégies ou mécanismes pour limiter l'effet de la salinité. Jusqu'à présent, des chercheurs avaient mis en évidence deux stratégies essentielles (**Galus, 2003**) :

- *l'exclusion* : les racines sont dotées d'une couche interne de cellules qu'est l'endoderme, qui empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles.
- *l'inclusion* : la plante capte le sel, qui parvient aux feuilles avec l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est stocké dans les vacuoles. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux.

Récemment, les travaux des chercheurs d'école nationale supérieure agronomique de Montpellier, en collaboration avec des chercheurs anglais et japonais, ont mis à jour un nouveau type de mécanisme de résistance au sel, intermédiaire entre les deux stratégies d'exclusion et d'inclusion ; le sel parvient jusqu'aux feuilles, mais il est aussitôt « re-pompé » et reconduit par les vaisseaux vers les racines, qui peuvent le ré-excréter (**Berthomieu et al., 2004**).

### 3- INFLUENCE DES SELS SUR LE COMPORTEMENT DES PLANTES

Au niveau de la plante entière, la présence de sels dans le milieu est susceptible d'induire une série de perturbation ou de changements tant physiologique que biochimiques (**Latus et al., 1995**). En effet, ces changements se font sentir dès la phase germinative et se poursuivent tout au long du développement de la plante.

#### 3.1. Influence des sels sur la germination

La salinité est l'un des facteurs environnementaux qui a une influence critique sur la germination des graines des halophytes et des glycophytes (**Katembe et al., 1998**). **Mikhiel et al. (1992)** ; **Debez et al. (1998)**, ont montré que les graines des halophytes ne germent pas lorsqu'elles sont exposées à des niveaux de salinité élevés. Cependant, une fois placées dans l'eau distillée, les graines qui n'ont pas germé à des concentrations élevées atteignent des taux de germination équivalents à ceux des témoins sans sel. Ceci montre que la germination sous l'effet osmotique est réversible (**Zid et Boukhris 1976** ; **Khan et Ungar, 1984** ; **Debez et al., 1997**).

**Benrebiha (1987)** ; **Belkhodja et Bidai (2001)** rapportent que la germination des graines d'*Atriplex halimus* est inhibée dès que la concentration en NaCl dépasse 5g/l.

#### 3.2. Influence des sels sur la croissance

La croissance de l'*Atriplex halimus* est importante en milieu non salé, mais elle est stimulée par la présence de 85 millimoles (mM) en NaCl (**Binet, 1982** ; **Bigot et Binet, 1979**). **Wurtele (1987)** a montré qu'en présence de doses croissante de NaCl, l'*Atriplex canescens* présente un taux de croissance maximal entre 0 et 100 millimoles en NaCl.

Alors que l'*Atriplex griffitii* sa croissance est stimulée par la présence de 90 millimoles de NaCl (**Khan et al., 2000**).

Une augmentation de la concentration du milieu en NaCl au delà de 5 g/l modifie le rythme d'apparition et la morphologie racinaire des boutures d'*Atriplex arenaria*, alors que l'importance de la rhizogenèse diminue dès que la concentration en NaCl dépasse 2,5 g/l pour l'*Atriplex litoralis* (**Thuault, 1984 ; Benrebaha, 2003**).

Par ailleurs, la production maximale en matière fraîche chez l'*Atriplex hortensis* est obtenue avec une forte teneur en sel (correspondant, avec une conductivité électrique de 13,7 ds/m) (**Wilson et al., 2000**).

### **3.3. Influence des sels sur la nutrition minérale**

La présence de fortes concentrations de sels dans le milieu crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire, réduisant ainsi la disponibilité de l'eau du sol pour la plante. A ce déficit hydrique est associé un stress ionique dont l'ampleur dépend du degré de perméabilité des membranes végétales vis à vis des ions et du niveau de toxicité de ces ions pour l'espèce végétale considérée (**Hamza, 1980**).

L'enrichissement du milieu en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> traduit chez l'*Atriplex hymenelytra* une baisse du taux des ions K<sup>+</sup> et Ca<sup>++</sup>, par contre le taux des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> augmente rapidement avec la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (**Soufi et Wallace, 1982**). En présence du NaCl dans le milieu de culture, les mêmes observations ont été signalées, chez de nombreuses espèces du genre *Atriplex* (**Osmond, 1966 ; Billard et Binet, 1975 ; Greenway et Munns, 1980 ; Soufi et Wallace, 1982**).

Par ailleurs, la présence de calcium dans le milieu améliore la croissance en présence de sel en modifiant le rapport K<sup>+</sup>/ Na<sup>+</sup> intra-tissulaire (**Cramer et al., 1990**). L'entrée des ions Na<sup>+</sup> dans la cellule peut, en effet, être limitée par des ions Ca<sup>++</sup> qui régulent la perméabilité membranaire (**Cramer et al., 1987 ; Pourrat et Dutuit, 1993**).

Cependant, l'augmentation de la concentration des ions  $\text{Ca}^{++}$  dans le milieu provoque une diminution de la teneur en ions  $\text{Na}^+$  dans les parties aériennes de l'*Atriplex halimus* cultivée *in vitro* en présence de NaCl (**Dutuit et al, 1995**). Le calcium favorise également l'absorption d'ions  $\text{K}^+$  (**Subbaro et al., 1990**), et rétablit l'élongation des racines, en assurant le maintien du potassium indispensable à l'élongation cellulaire (**Nakamura et al., 1990**).

Dans la plante, les ions peuvent être séquestrés dans des organes spécialisés tels que les poils vésiculeux, similaires à ceux de l'*Atriplex halimus* (**Francllet et Le Houerou, 1971**) chez *Laguncularia racemosa* (**Koyro et al, 1997**).

#### 4. L'ATRIPLEX

##### 4.1. Systématique et description de l'*Atriplex halimus*

Le genre *Atriplex* appartient à la famille des *Chenopodiaceae*, il comprend près de 420 espèces réparties dans les divers régions arides du monde (**Le Houerou, 1993**). Parmi ces espèces citons, l'*Atriplex halimus* (Noms usuels Guetaf, Arroche Halime, Pourpier de mer). C'est une plante vivace pouvant se développer au ras du sol ou prendre un port arbustif très net (*planche 1*), elle peut atteindre jusqu'à quatre mètres de haut (**Negre, 1961**). Les racines sont grosses, d'abords étalés obliques, puis s'enfonçant verticalement jusqu'à une profondeur variable avec le sol et l'âge de la plante. Les tiges de cette plante sont très rameuses d'une couleur blanche grisâtre plus ou moins anguleuse entièrement feuillée (**Negre, 1961**). Les feuilles de l'*Atriplex halimus* sont persistante de 2 à 6 cm de long, alternes, simples, entières, avec un court pétiole, ovales arrondies lorsqu'elles sont jeunes, triangulaire plus ou moins lancéolées en suite, vert argenté et plus ou moins charnues, luisantes couvertes de poils vésiculaires très riches en sel (**Guillonnet et Huon, 1983 et Duperat, 1997**).

Les fleurs sont monoïques jaunâtres se regroupent en panicule allongées terminales (**Duperat, 1997**). Le gynécée, constitué d'un ovaire surmonté de deux styles, est enveloppé de deux bractées (**Kinet et al., 1998**). La floraison et la fructification se déroule de Mai à Décembre, c'est une espèce très polymorphe (**Ben Ahmed et al., 1996**).

L'*Atriplex halimus* comprend deux variétés : *Atriplex Halimus* L. Var. *Halimus* et *Atriplex. Halimus* L. Var. *Schweinfurthii*. La première est généralement plus feuillée et se rencontre en zone semi-aride à humide. La seconde se caractérise par ses valves fructifères à ailes nettement dentées sur la marge, avec des rameaux florifères nus au sommet, cette variété est bien répartie dans les zones arides (**Francllet et Le Houerou, 1971**).

## **4.2. Répartition des *Atriplex***

### **4.2.1. Dans le monde**

Les *Atriplex* se rencontrent dans toutes les parties du monde de l'Alaska à la Patagonie, de la Bretagne à la Sibérie et de la Norvège à l'Afrique du sud (**Francllet et Le Houerou, 1971**). L'espèce *Atriplex halimus* est spontanée à l'intérieur d'une aire relativement vaste englobant les pays du nord de l'Afrique et de proche et moyen- orient depuis les Île Canaries jusqu'à l'Iran. Vers le sud, l'espèce atteint le massif de l'Ahagar. En Europe, l'espèce est présente en plus de la zone méditerranéenne en Bulgarie (**Le Floch, 1989**).

### **4.2.2. En Algérie**

L'*Atriplex* est spontanée dans les étages bioclimatiques semi-arides et arides (*figure. 1*). Les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Batna, Biskra, Bousaâda, Djelfa, saïda, Tebessa et Tiaret) (**Pouget, 1980**).

### **4.3. Caractéristiques climatiques et édaphiques des zones à *Atriplex***

#### **4.3.1. Caractéristiques climatiques**

L'examen de la répartition du genre *Atriplex*, montre que la plupart des espèces se situent entre les isohyètes de 200 et 400 mm/an (**Franclet et Le Houerou, 1971**).

L'*Atriplex halimus* peut s'adapter à un grand nombre de milieux et peut supporter des températures minima absolues de 5°C à 10°C durant la nuit (**Le Houerou, 1992**). En effet, l'espèce résiste bien au froid au-delà de -10°C et croît convenablement dans les hautes plaines steppiques d'Algérie (**Le Floch, 1989**).

#### **4.3.2. Caractéristiques édaphiques**

##### **4.3.2.1. Nature du sol**

L'*Atriplex halimus* ne semble pas avoir d'exigences particulières et accepte tout type de sol (**Benrebha, 1987**).

##### **4.3.2.2. La salure**

Pour son développement optimum, l'*Atriplex halimus* peut supporter une concentration de 10 à 20 g/l de NaCl, et peut tolérer jusqu'à 30 g/l de NaCl (**Zid et Boukhris, 1977 et Le Houerou, 1986**).

**Le Floch (1989)**, montre que l'accroissement de salure dans le milieu de culture peut entraîner l'apparition de symptômes d'intoxication par le sel avec diminution de production de la matière sèche (M.S) avec l'accroissement de la teneur en NaCl dans les feuilles (Jusqu'à 25 % de la M.S) et la diminution de la rhizogenèse. Cependant, la charge foliaire excessive d'*Atriplex halimus* en NaCl (25 % du poids de M.S) augmente les besoins en eau des ovins (**Ben Ahmed et al., 1996**).

### **4.4. Stratégies adaptatives de l'*Atriplex halimus* dans le milieu salé**

Chez les plants témoins de l'*Atriplex halimus* non traités par le chlorure de sodium (NaCl), **Debez et al. (1988)** ont remarqué l'existence de trichomes (poils vésiculaires) sous une forme ratatinée, mais à une concentration de 10 g/l de NaCl,

ils apparaissent sous forme de vésicules gonflées par le sel qui s'y accumule. Ces trichomes sont spécialisés dans l'élimination du sodium qui arrive au niveau des feuilles à travers le xylème puis au niveau du mésophyle. Le sodium est emmagasiné dans ces trichomes avant qu'il ne soit excrété par la dégénérescence de ces dernières, empêchant ainsi l'accumulation toxique de ce cation ( $\text{Na}^+$ ) dans les tissus foliaires (**Alarcon, 1999**).

#### **4.5. Potentiel écologique et économique de l'*Atriplex*.**

L'introduction d'arbustes fourragers résistants à l'aridité est l'un des moyens utilisés pour la valorisation des sols dégradés. En raison de leur intérêt écologique et pastoral, les espèces du genre *Atriplex* ont particulièrement retenu l'attention des organismes étatiques (**Kinet et al., 1998**).

##### **4.5.1. Mise en valeur des sols pauvres**

Les *Atriplex* sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et aux sols pauvres. La couverture d'*Atriplex* accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation de drainage dans les horizons superficiels. Elle permet la reconstitution d'un tapis végétal herbacé (**Herrero, 1992**).

##### **4.5.2. Mise en valeur des sols salés**

Les *Atriplex* ont la possibilité de « désaliniser » les sols ; En effet, la teneur de NaCl atteint 20 % de la matière sèche pour l'*Atriplex nummularia*. (**Sarson, 1970**). Donc, il est possible d'extraire d'un hectare d'*Atriplex* 1100 kg de sel NaCl des couches superficiels du sol en une année de culture (**Francllet et Le Houerou, 1971**).

Les plantations d'*Atriplex* peuvent, donc permettre la récupération des zones salées (**Khan et al., 2000**).

#### **4.5.3. Fixation des dunes.**

L'emploi des *Atriplex* s'est révélé extrêmement efficace pour la fixation des dunes. En effet, en Algérie des essais réalisés sur le cordon dunaire dans la région de Djelfa, Bousâada avec plusieurs espèces d'*Atriplex* semblent donner un résultat

satisfaisant (**Benrebiha, 1987 et Anonyme, 2000**).

#### **4.5.4. Intérêt fourrager.**

**Le Houeron (1992)** montre que dans les régions arides, les *Atriplex* présentent un grand intérêt fourrager en raison de leur : rusticité, bonne valeur fourragère, excellent rendement pour de faible dose d'eau, résistance élevée à la sécheresse et enfin de leur faculté de tolérer de salure élevée.

L'*Atriplex* constitue en période de sécheresse et de « soudure » saisonnière, un fourrage apprécié des camélidés et particulièrement des ovins et des caprins (**Ben Ahmed et al., 1996 et Kinet et al., 1998**). Ce sont des espèces riches en matière azotée (1,5 à 3,7 %), mais pauvres en énergie (**El Shaer et Kandill, 1998**).

## CHAPITRE II.

### MATERIELS ET METHODES

#### 1- MATERIELS

##### 1.1. Semences

Les semences d'*Atriplex halimus* proviennent de la région d'El Mesrane dans la wilaya de Djelfa à 250 Km d'Alger (*figure 1*). Cette région est caractérisée par une longue saison sèche et chaude et un hiver froid (**Pouget, 1980**). La récolte des graines a été effectuée en Décembre 2002, d'un même pied-mère pour éviter le risque d'existence de la variabilité génétique dans cette population. Après la récolte, les semences ont été conservées au laboratoire à l'obscurité et à la température ambiante dans des bocaux en verre fermés hermétiquement.

Afin d'obtenir un meilleur taux de germination et une levée rapide, les fruit d'*Atriplex halimus* ont été décortiqués manuellement afin d'extraire la graine de l'enveloppe. Les graines sont sélectionnées et désinfectées par un traitement de 10 minutes dans l'alcool à 70 %, puis dans l'hypochlorite de sodium à 8 % pendant 20 minutes, puis elles ont été rincées rigoureusement et abondamment à l'eau distillée stérile (**Benrebiha, 2003**). Par ailleurs, nous avons constaté que pour un même pied mère, les graines peuvent être groupées en deux classes, indiquent un polymorphisme : graines grosses et marrons, graines petites et noires (*planche 2*).

##### 1.2. Les sels utilisés

Le premier sel utilisé est le chlorure de sodium (NaCl). Il est généralement le sel soluble prédominant dans les eaux d'irrigation et dans nos sols affectés par les sels (**Daoud et Halitim, 1994 ; Snoussi et Halitim, 1998**). Le second sel soluble est le sulfate de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Il est lui aussi se trouve abondants dans les zones arides et sub-arides (**Servant, 1978**).

Les niveaux de salinité utilisés, pour les deux sels, englobent le seuil de sensibilité du genre *Atriplex* à la salinité (**Zid et Boukhris, 1977 ; Soufi et Wallace, 1982, et Le Houerou, 1986**). Les 11 traitements retenus, pour chaque sel, suivent une croissance arithmétique dont l'incrément est de 2 g de sel (NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) par litre. Ces traitements sont : **(0,2,4,6,8,10,12,14,16,18,20 g/l)**.

## **2- METHODES**

### **2.1. Essai de germination**

Les essais de germination en été réalisés avec différentes concentrations des deux sels solubles NaCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre. Les graines sont placées sur du coton recouvert de papier filtre stérilisé, à raison de 25 graines par boîte, soit 4 répétitions par traitement pour les deux types d'essais (essai des différentes concentrations en NaCl et essai des différentes concentrations en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Le coton recouvert de papier filtre est imbibé d'eau distillée pour le témoin et par les différentes solutions salines de NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> allant de 2 à 20 g/l. Elles sont ensuite placées dans l'étuve à une température de 15 °C pendant 5 à 7 jours. Le dénombrement des graines germées est effectué quotidiennement. L'apparition d'une radicule de 1 mm environ est adoptée comme critère de germination.

### **2.2. Milieux de culture**

Le milieu de culture est composé de macro et micro éléments de **Murashige et Skoog (1962)**. Le fer est ajouté sous forme de chélate Fe Na<sub>2</sub> – EDTA. Le saccharose est utilisé comme source de carbone à raison de 20 g/l, en ce qui concerne les vitamines, nous avons ajouté celle de **Morel et Wetmore (1951)**, et la solidification du milieu a été obtenue par l'addition d'agar à 8 g/l (*tableau 1*). Le pH est ajusté avant autoclave avec une solution de NaOH ou HCl à 5,8. A ces milieux de culture, nous avons additionné différentes concentrations en NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

**Tableau 2 : Composition chimique du milieu de culture**

<b>Macro-éléments de Murashige et Skoog (mg/l) 1962</b>	
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1650
CaCl <sub>2</sub> , 2H <sub>2</sub> O	440
MgSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	370
KNO <sub>3</sub>	1900
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	170
<b>Micro-éléments de Murashige et Skoog (mg/l) 1962</b>	
H <sub>3</sub> BO <sub>4</sub>	6,2
MnSO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,9
ZnSO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	8,6
CuSO <sub>4</sub> , 5H <sub>2</sub> O	0,25
CoCl <sub>2</sub> , 6H <sub>2</sub> O	0,025
KI	0,025
	0,83
<b>Solution Stock de Fer Na<sub>2</sub> – EDTA (mg/l)</b>	
Na <sub>2</sub> EDTA	3730
Fe SO <sub>4</sub> , 7H <sub>2</sub> O	2780
<b>Solution de vitamine de Morel et Wetmore (mg/l) 1951.</b>	
Miso-inositol	5000
Pantothenate de calcium	50
Acide nicotinique	50
Pyridoxine	50
Thiamine	50
Biotine	0,5

### 2.3. Culture *in-vitro*.

Après décortication et désinfection, les graines sont mises à germé en boîte de Pétri stérilisé, renfermant 3 couches de papier filtre imbibés d'eau distillée stérile (**Amim et al., 1997**). Les boîtes de Pétri sont placées dans la chambre de culture où la température est de 25 °C, avec une photopériode 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité et l'intensité lumineuse est de 25000 lux. Après 5 jours de germination et lorsque les cotylédons sont bien développés (*planche 3*), les plantules de 1,5 à 3 cm sont repiquées dans des tubes à essai « pyrex » type 250 ml, contenant le milieu de culture qui diffère seulement par leurs contenus en chlorure de sodium ou sulfate de sodium, qui sont préalablement stérilisées à l'autoclave, en phase vapeur à 120°C pendant 20 minutes.

### 2.4. Paramètres étudiés.

Pour les deux types d'essai (essai des différentes concentrations en NaCl et essai des différentes concentrations en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), les mesures de paramètres sont effectuées après un mois de culture et portent sur 10 plants pour chaque traitement. Les paramètres biométriques étudiés sont :

- le nombre de paire de feuilles ;
- la longueur de tige ;
- la longueur de la racine principale ;
- le poids frais de la partie aérienne et souterraine ;
- le poids sec de la partie aérienne et souterraine ;

Les tiges feuilles, racines sont pesées, puis séchées à 80°C pendant 48 heures. Après extraction dans HNO<sub>3</sub> (0.1N), les cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>) sont dosés par spectrophotométrie de flamme en émission (**Ben Ahmed et al., 1996**). Les dosages ont été réalisés avec trois répétitions par élément.

## **2.5. Mode d'expression des résultats.**

Les résultats ont fait l'objet d'une analyse de variation, les moyennes ont été classées selon le test de Newman et Keuls au seuil de 5% par le calcul des plus petites amplitudes significatives (PPAS) entre les 11 traitements salins.

D'autres calculs statistiques élémentaires, tels que le calcul des équations de régression, ont également été réalisés.

### CHAPITRE III.

## RESULTATS ET DISCUSSION

### 1- COMPORTEMENT D'*Atriplex halimus* VIS À VIS DU CHLORURE DE

#### SODIUM (NaCl)

##### 1.1. Germination des graines

L'allure générale de la figure 2, donnant le pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* en fonction des concentrations croissantes en NaCl. Indique que la germination diminue quand la salinité du milieu augmente.

D'après ces résultats, en absence de NaCl (témoin) le pourcentage germinatif est de 100%. Pour les concentrations de NaCl de 2, 4, 6, 8 et 10 g/l de NaCl (correspondants à des pressions osmotiques de 1,2 ; 3,4 ; 3,6 ; 4,8 et 6,0 atm.), les pourcentages de germination sont de 99 ; 98 ; 96 ; 93 et 92 % respectivement. A 12 g/l de NaCl (7,2 atm), les graines présentent un pourcentage de germination de 79 % ; ensuite il diminue pour atteindre 25% à 20 g/l de NaCl, soit une pression osmotique de l'ordre de 11,9 atm (*tableau 3*).

*Tableau 3* : Relation entre la concentration en NaCl, la pression osmotique et le potentiel osmotique

NaCl (g/l)	P.O (atmosphère)	pF (osmotique)
0	0	0
2	1,2	3,08
4	2,4	3,38
6	3,6	3,56
8	4,8	3,68
10	6,0	3,78
12	7,2	3,86
14	8,4	3,93
16	9,6	3,97
18	10,8	4,04
20	11,9	4,08

La pression osmotique des milieux est calculée selon la formule préconisée par l'**U.S.S.L (1954)** :

$$P.O \text{ (atmosphère)} = C.E. \text{ (ds/m)} \times K.$$

Où : **C.E** = Concentration de NaCl (g/l)/0,585 (Masse moléculaire NaCl = 58,5 g)

**K** = Coefficient qui dépend de la nature des sels ; K = 0,35 pour NaCl

L'analyse de la variance permet de savoir si les écarts entre les résultats moyens calculés sont significatifs ou liés aux imprécisions expérimentales. Ces résultats (*annexe 1*) montrent que le facteur salinité (NaCl) a un effet très hautement significatif sur la germination des graines d'*Atriplex halimus*.

Toutefois, on ne sait pas si ces traitements salins sont tous différents les uns des autres ou si un groupe de résultat est différent d'un autre groupe. Pour cela, on doit procéder à des comparaisons multiples de moyennes pour rechercher les groupes homogènes de traitements par le test de Newman-Keuls (*tableau 4*).

Les traitements qui appartiennent à un même groupe homogène sont repérés par une même lettre. Le test de Newman-Keuls calcule les plus petites amplitudes significatives (PPAS) entre 11 traitements, puis 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3 et enfin 2 traitements. Le test de Newman-Keuls est réalisé au seuil de 5 %.

Tableau 4 : Test de Newman-Keuls au seuil de 5 %, du pourcentage de germination

Traitements salins (g de NaCl/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Taux de levée	100	99	98	96	93	92	79	65	42	31	25
Ecart-types ±	0,00	1,00	2,16	3,16	2,89	3,65	2,58	2,75	6,06	3,92	6,38
Groupes homogènes	A	A	A	A	A	A	B	C	D	E	E

L'examen des données du tableau 4, fait ressortir cinq groupes homogènes A, B, C, D et E de traitements salins pour le paramètre germination des graines d'*Atriplex halimus*. Les traitements correspondant aux doses 0, 2, 4, 6, 8 et 10 g/l de NaCl font partie du groupe A, la concentration 12 g/l de NaCl est représenté dans le groupe B, le pourcentage de germination à 14 g/l de NaCl est classé dans le groupe C, la concentration 16 g/l de NaCl est considérée comme étant le groupe D, alors que le dernier groupe E est formé par les concentrations 18 et 20 g/l de NaCl.

Si l'on admet une chute de 25 % de germination des graines comme seuil critique (**Maas, 1986**), la limite critique de la concentration en NaCl pour la germination des graines d'*Atriplex halimus* peut être calculée à partir d'une équation de régression de la forme polynomiale illustrée par la figure 3 :

$$Y = - 0,315X^2 + 2,331x + 96,965, \quad R^2 = 0,93 \quad ddf = 9 \quad n=11$$

Avec : **y** : taux de levée des graines (%)  
**X** : concentration en NaCl (g/l)

Le coefficient de détermination montre que 93,39 % de la variance des pourcentages de germination des graines sont expliqués par le gradient de concentration en NaCl.

La recherche du seuil critique ou de toxicité sera calculée pour une diminution du taux de levée de 25 % (**Maas, 1986**), est égale à 12,83g/l de NaCl.

L'évolution du pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* au cours du temps et en fonction des différentes concentrations salines est présenté par le tableau 5 :

**Tableau 5 : Effet des différentes concentrations en NaCl, sur le pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* en fonction du temps**

Durée en jours	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
NaCl (g/l)							
0	0	50	89	99	100	100	100
2	0	41	83	97	97	99	99
4	0	32	81	94	94	98	98
6	0	26	75	92	92	96	96
8	0	23	69	86	86	93	93
10	0	20	65	83	83	92	92
12	0	17	50	78	78	79	79
14	0	13	41	65	65	62	65
16	0	10	32	42	42	42	42
18	0	7	23	31	31	31	31
20	0	5	12	25	25	25	25

D'après la figure 4, la cinétique de germination est similaire dans les différents traitements salins. Avec l'augmentation de la concentration de solution, la germination a été retardée et ralentie. La diminution des pourcentages finaux de germination n'est pas proportionnelle à la diminution du potentiel osmotique de la solution. En effet, le pourcentage de germination final obtenu sur pF 3,08 ne diffère pas de celui du témoin. Lorsqu'on passe de pF 3,08 à pF 4,08, ce pourcentage de germination chute d'environ 99% à moins de 30%.

## 1.2. Conclusion

Les résultats obtenus, montrent que les concentrations croissantes en NaCl provoquent une diminution de germination. Le pourcentage de germination atteint 75 % pour une concentration de 12,83 g/l de NaCl. Ce seuil correspond à une pression osmotique de 7,67 atm., soit un pF (osmotique) égale à 3,89. Ce seuil de tolérance chez l'*Atriplex halimus* est sensiblement plus faible que celui signalé par **Thuault (1984)** chez l'*Atriplex arenaria* et *Atriplex litoralialis*.

### **1.3. Croissance et développement d'*Atriplex halimus***

Les paramètres étudiés pour caractériser l'influence des concentrations en NaCl sur la croissance et le développement d'*Atriplex halimus* sont le nombre de paires de feuilles formées, la longueur de la tige, la longueur de racine principale, la matière fraîche de la partie aérienne et de la partie racinaire, la matière sèche de la partie aérienne et racinaire (*planche 4*).

#### **1.3.1. Nombre de paires de feuilles**

Après un mois de culture (*in vitro*), nous avons procédé au dénombrement des feuilles, afin d'évaluer l'importance de la production foliaire. En examinant la figure 5, nous remarquons que les concentrations 0, 2, 4 et 6g/l de NaCl présentent le nombre de paires de feuilles par plant le plus élevé, avec des moyennes de 3,1 ; 3,5 ; 3,8 et 4,2 paires de feuilles par plant respectivement. A partir de 8 g/l de NaCl, cette production foliaire diminue considérablement jusqu'à une moyenne de l'ordre de 1,1 paires de feuilles par plant pour la concentration 20 g/l de NaCl.

L'analyse de la variance (*annexe 2*), montre que les différentes concentrations salines (NaCl) ont un effet très hautement significatif au seuil 5% sur le paramètre nombre de paires de feuilles.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% révèle que la concentration 6 g/l de NaCl présente le nombre le plus important de paires de feuilles par plant, tandis que les concentrations 18 et 20 g/l de NaCl présentent le nombre le plus faible de paires de feuilles par plant (*tableau 6*).

Tableau 6 : Test de Newman et Keuls au seuil de 5 %, du nombre de paires de feuilles

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Nombre de paires de feuilles /plant	3,10	3,50	3,80	4,20	3,00	2,80	2,60	2,00	1,70	1,5	1,10
Ecart types $\pm$	0,74	0,71	1,03	0,92	1,05	0,92	0,52	0,82	0,74	0,53	0,74
Groupes homogènes	BC	ABC	AB	A	BC	BCD	CD	DE	DE	E	E

Nous remarquons également au niveau de la surface de feuilles la présence d'un dépôt de sel. Il faut noter que plus la concentration en NaCl dans le milieu de culture est élevée, plus le dépôt de sel au niveau des feuilles est important.

### 1.3.2. Longueur de la tige

La mesure de la hauteur de la tige est le meilleur moyen qui permet d'apprécier la vigueur de croissance des plantules. D'une manière générale, les vitro semis d'*Atriplex halimus* après un mois de culture sur milieu **Murashige et Skoog (1962)** à différente concentration de NaCl présentent une seule tige mince, d'une longueur variable d'un individu à un autre et d'une concentration à une autre.

Selon la figure 6, nous constatons que l'allongement le plus important est obtenu par les concentrations 4 et 6 g/l de NaCl, avec des longueurs moyennes de 5,40 et 5,91 cm. respective. Toute fois, lorsque la concentration atteint 8g/l de NaCl, la longueur des vitro semis est diminuée pour atteindre une longueur moyenne de 0,69 cm pour la dose de 20 g/l de NaCl, aboutissant ainsi à des plantules chétives avec des entre-nœuds très raccourcis.

L'analyse de la variance (*annexe 3*), montre que le facteur étudié (NaCl) exerce un effet très hautement significatif sur la longueur de la tige.

D'autre part, le test de Newman et keuls au seuil de 5% (*Tableau 7*) montre qu'il existe une différence significative entre le groupe A qui représente les concentrations 4 et 6g/l de NaCl et le groupe B qui correspond à la dose 2 g/l de NaCl. Cependant la différence n'est pas significative entre les niveaux allant de 14 à 20 g/l de NaCl.

Tableau 7 : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la longueur de la tige.

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Longueur de la tige (cm)	3,74	4,21	5,40	5,91	3,46	2,37	2,25	1,81	1,60	1,39	0,69
Ecart- types $\pm$	1,40	2,06	2,88	1,48	1,42	1,18	0,74	0,61	0,44	0,44	0,44
Groupes homogènes	BC	B	A	A	BC	CD	CD	D	D	D	D

### 1.3.3. Longueur de la racine principale

Les résultats illustrés par la figure 7, montre que la croissance la plus importante (5,67 cm) a été obtenue par la dose 6 g/l de NaCl par rapport aux autres traitements. A partir de la concentration 8 g/l de NaCl nous remarquons une diminution progressive de la longueur de la racine principale.

L'analyse de la variance (*annexe 4*), indique que le facteur NaCl à une influence (globale) très hautement significative sur la croissance de la longueur de la racine principale.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% (*tableau 3*) montre que le traitement correspond à la concentration 6 g/l de NaCl fait partie du groupe A. par la suite, les différences entre les traitements sont difficiles à cerner.

Tableau 8 : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la longueur de la racine principale

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Longueur de la racine (cm)	5,15	5,18	5,20	5,67	4,89	4,55	4,08	3,19	2,98	2,43	1,68
Ecart-types $\pm$	1,24	1,93	1,52	1,33	1,58	2,03	1,90	1,42	1,52	1,08	0,92
Groupe homogène	AB	AB	AB	A	AB	ABC	ABCD	BCDE	CDE	DE	E

D'après les résultats obtenus, nous pouvons constater que plus la concentration en NaCl augmente et plus les racines formées sont courtes et les racines secondaires moins importantes.

#### 1.3.4. Matière fraîche de la partie aérienne

La tolérance au sel peut être déterminée en suivant la croissance d'une manière globale par l'évolution d'un critère pondérale en fonction de la salinité du milieu.

Les résultats obtenus (*figure 8*), révèlent une stimulation de la croissance pondérale par l'addition de 6 g/l de NaCl (129,45 mg /plant) par rapport au témoin (102,4 mg/plant). Cet effet stimulant disparaît tout fois à partir de 8 g/l de NaCl où l'on observe une diminution de la quantité de la matière fraîche produite.

L'analyse de la variance (*annexe 5*), montre que les différentes concentrations du chlorure de sodium ont un effet très hautement significatif sur le poids frais de la partie aérienne.

Selon le test de Newman et keuls au seuil de 5% (*tableau 9*), les différences entre les traitements ne sont pas très nets. Bien que le traitement 6 g/l NaCl qui fait partie de la classe A est le plus productif.

**Tableau 9 : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la matière fraîche de la partie aérienne**

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Longueur de la racine (cm)	102,4	110,36	122,60	129,45	97,67	86,31	75,83	65,10	59,10	53,51	38,99
Ecart-types $\pm$	10,58	13,10	11,56	22,02	24,40	18,37	5,95	5,24	5,37	5,61	20,81
Groupe homogène	C	BC	AB	A	CD	DE	EF	FG	G	G	H

### 1.3.5. Matière fraîche de la partie racinaire

La figure 9, montre une stimulation de la croissance pondérale lorsque la charge saline est de 6 g/l de NaCl (40,11 mg/plant) par rapport au témoin (24,13 mg / plant). Le passage à des concentration supérieures provoque une diminution plus nette de cette croissance, en particulier lorsque la concentration en NaCl atteint 20g/l de NaCl (8,53 mg / plant).

L'analyse de la variance (*annexe 6*), révèle que la présence de sel (NaCl) dans le milieu de culture de **Murashige et Skoog (1962)**, influe d'une manière très hautement significative sur la production de la matière fraîche racinaire.

De plus, le test de Newman et keuls au seuil de 5 % (*tableau 10*), confirme les résultats précédents, et révèle que la dose 6 g/l de NaCl fait partie du groupe homogène A, alors que la concentration 8 g/l de NaCl appartient au groupe B, ce résultat signifie que ce sel affecte d'une manière significative la production de la biomasse racinaire entre 6 et 8 g/l NaCl.

Tableau 10 : Test de Newman et keuls au seuil de 5 %, de la matière fraîche de la partie racinaire

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Longueur de la racine (cm)</b>	24,13	27,02	21,42	40,11	35,93	28,31	25,07	19,84	15,45	10,10	8,53
<b>Ecart-types ±</b>	1,72	4,74	3,89	5,21	5,50	4,71	5,56	3,83	5,33	6,01	2,61
<b>Groupes homogènes</b>	D	CD	C	A	B	CD	D	E	F	G	G

Par ailleurs, le potentiel osmotique ne semble pas affecter l'alimentation hydrique d'*Atriplex halimus*, dans la mesure où la teneur en eau de la matière fraîche vraie peu en fonction de la concentration saline (Tableau 11) :

$$H_p = (P_f - P_s) / P_s \times 100$$

Où : **H<sub>p</sub>** = humidité pondérale ou teneur en eau ;  
**P<sub>f</sub>** = poids frais ;  
**P<sub>s</sub>** = poids sec

Tableau 11 : Teneurs en eau (%) de la matière fraîche

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur en eau (%) de la matière fraîche</b>	90,34	90,28	90,22	90,40	90,37	90,10	90,10	89,40	89,31	88,90	80,70

### 1.3.6. Matière sèche de la partie aérienne

La figure 10, met en évidence l'influence des concentrations croissantes du NaCl sur l'accumulation de la matière sèche au niveau de la partie aérienne. La production la plus importante (11,10 mg/plant) a été enregistrée par la dose 6 g/l de NaCl. A partir de 8g/l de NaCl, il se produit une réduction de la biomasse sèche produite pour atteindre une valeur de 4,01 mg / plant à 20 g/l de NaCl, correspondant à un taux de diminution supérieur à 50%.

Globalement, l'analyse de la variance (*Annexe 7*), montre que les différentes concentrations de NaCl ont un effet très hautement significatif sur le rendement en matière sèche de la partie aérienne.

D'après le test de Newman et keuls au seuil de 5% (*tableau 12*), les différences entre les traitements ne sont pas très nets, bien que le traitement à 6 g/l de NaCl soit plus productif.

**Tableau 12 : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la matière sèche partie aérienne**

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière sèche (mg/plant)</b>	8,34	9,18	10,43	11,10	8,01	7,12	6,30	5,82	5,55	5,29	4,01
<b>Ecart-types±</b>	1,97	1,67	1,34	1,86	2,48	1,57	0,27	0,31	0,20	0,27	2,13
<b>Groupes homogènes</b>	CD	BC	AB	A	CD	DE	E	E	EF	E	E

### 1.3.7. Matière sèche de la partie racinaire

L'examen de la figure 11, révèle que l'addition de 6 g/l de NaCl au milieu de culture conduit après un mois de culture à une augmentation de la biomasse sèche de la partie racinaire (5,17 mg/plant). Le passage à des concentrations plus élevées produit une diminution progressive de la matière sèche racinaire.

Les résultats de l'analyse de la variance (*annexe 8*), montre que le facteur salinité influe d'une manière très hautement significative au seuil de 5 % sur le paramètre étudié (matière sèche partie racinaire).

Par ailleurs le test de Newman et keuls au seuil de 5 % (*Tableau 13*), indique que les concentrations de 6 et 8 g/l de NaCl produisent les biomasses sèches racinaires les plus élevées ; ces deux traitements correspondent au groupe A. Les doses 18 et 20 g/l de NaCl sont classées dans le dernier groupe F.

*Tableau 13* : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la matière sèche de la partie racinaire

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière sèche (mg/plant)</b>	3,88	4,19	4,64	5,17	4,85	4,23	3,67	3,18	2,42	1,78	1,35
<b>Ecart-types ±</b>	0,33	0,56	0,38	0,18	0,40	0,48	0,57	0,47	0,70	0,98	0,58
<b>Groupes homogènes</b>	C	BC	AB	A	A	BC	C	D	E	F	F

### 1.3.8. Matière sèche totale

Elle correspond à la somme de la biomasse sèche produite par la partie aérienne et la partie racinaire.

Selon la figure 12, la présence de chlorures de sodium à 6 g/l de NaCl dans le milieu de culture **Murashige et skoog (1962)**, paraît bénéfique sur l'accumulation de la matière sèche totale produite. Mais subit par la suite une baisse plus marquée à 20 g/l de NaCl.

Globalement, l'analyse de la variance (*annexe 9*), montre que les différentes concentrations de NaCl appliquées ont un effet très hautement significatif au seuil de 5% sur la biomasse sèche totale.

Toute fois, le test de Newman et keuls au seuil de 5% (*tableau 14*), indique que la concentration 6g/l de NaCl fait partie de groupe A. Par la suite, les différences entre les traitements sont difficiles à cerner.

Tableau 14 : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la matière sèche totale

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière sèche totale (mg/plant)</b>	12,22	13,41	15,07	16,27	12,87	11,35	9,98	9,00	7,97	7,07	5,37
<b>Ecart types ±</b>	4,03	1,78	1,50	1,93	2,63	1,49	0,58	0,61	0,77	1,09	2,09
<b>Groupes homogènes</b>	CD	BC	AB	A	C	CD	DE	EF	EF	FG	G

### 1.4. Conclusion

D'après les résultats précédant, il s'avère que la présence du chlorure de sodium (NaCl) dans le milieu de culture stimule la croissance des plantules d'*Atriplex halimus*, avec un optimum pour des concentrations comprises entre 6 et 8g/l de NaCl. Nos résultats sont analogues à ceux obtenue par **Debez et al. (1998)** ; **Wilson et al. (2000)** ; **Clyde et al. (2000)** et **Nedjimi (2002)**.

## 1.5. Nutrition minérale

### 1.5.1. Le sodium

La figure 13, montre la variation des quantités de Na<sup>+</sup> dosées dans les tissus de plantules d'*Atriplex halimus* cultivées *in vitro* et en fonction des différentes concentrations en NaCl. Les teneurs en Na<sup>+</sup> de la partie aérienne et la partie racinaire augmentent à partir de 2 g/l de NaCl. Mais, il s'avère que pour tous les traitements, les teneurs en Na<sup>+</sup> enregistrés sont plus importants au niveau de la partie aérienne que la partie racinaire.

L'analyse de la variance (*annexe 10 et 11*), révèle que la présence de NaCl dans le milieu influe d'une manière très hautement significative sur l'accumulation du Na<sup>+</sup> tissulaire au niveau de la partie aérienne que racinaire.

Les teneurs en sodium les plus élevée ont été enregistrée par la concentration 20 g/l de NaCl pour la partie aérienne et la partie racinaire (19,9 et 3,99% respective) par rapport au témoin (sans sel) qui présente la plus faible teneur en sodium au niveau de la plante entière (*tableau 15*).

Tableau 15 : Taux de sodium dans la matière sèche de la plante

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur en sodium partie aérienne (% MS)</b>	1,70 ± 0,36 H	6,30 ± 0,82 G	7,24 ± 0,65 F	9,30 ± 0,28 E	11,43 ± 0,80 D	12,17 ± 0,31 D	13,33 ± 0,47 C	14,07 ± 0,15 C	15,30 ± 0,40 B	15,80 ± 0,10 B	16,90 ± 0,10 A
<b>Teneur en sodium partie racinaire (% MS)</b>	0,20 ±0,02 G	1,28 ± 0,02 G	2,43 ± 0,15 F	2,64 ± 0,30 E	3,03 ± 0,15 D	3,30 ± 0,10 C	3,40 ± 0,02 C	3,45 ± 0,02 C	3,67 ± 0,02 B	3,70 ± 0,02 B	3,99 ± 0,01 A

Nous signalons que les quantités de sodium enregistrées, pour les doses croissantes de NaCl, sont plus intenses au niveau de partie aérienne que racinaire. Ces résultats, suggère que la capacité de ce végétal à accumuler du sodium est localisée plus particulièrement dans sa partie aérienne.

### 1.5.2. Le potassium

La figure 14, illustre la variation des ions de potassium ( $K^+$ ) dosés dans les tissus de la partie aérienne et racinaire de plantules d'*Atriplex halimus* cultivées *in vitro* et en fonction des différentes concentrations en NaCl. On remarque une diminution de la teneur en  $K^+$  dans les tissus de la plante entière. Mais cette réduction est importante au niveau de la partie aérienne par rapport au témoin.

Les résultats de l'analyse de la variance (*annexe 12 et 13*), montrent que la concentration en NaCl dans le milieu influe d'une manière très hautement significative sur la teneur en potassium de la partie aérienne de la partie racinaire.

Selon le tableau 16, les quantités de  $K^+$  tissulaire les plus faibles ont été enregistrées particulièrement au niveau de la concentration 20 g/l NaCl (0,12 %) par rapport au témoin (8,53) dans les tissus aériens. L'accumulation du potassium enregistré dans la partie racinaire des plantes traitées par 0 ; 2 ; 4 ; 6 et 8 g/l de NaCl présentent des teneurs voisines (4,40 % ; 4,43 ; 3,47 ; 3,99 et 3,75 % de matière sèche respectivement). Par la suite le potassium diminue dans la plante à partir de 10 g/l de NaCl (3,01%).

Tableau 16 : Taux de potassium dans la matière sèche de la plante

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur en potassium partie aérienne (% MS)</b>	8,53 ± 0,83 A	4,42 ± 0,25 B	2,63 ± 0,31 C	2,07 ± 0,38 D	1,16 ± 0,16 E	0,94 ± 0,05 EF	0,73 ± 0,04 EFG	0,64 ± 0,05 EFG	0,33 ± 0,03 FG	0,24 ± 0,05 FG	0,12 ± 0,03 G
<b>Teneur en potassium partie racinaire (% MS)</b>	4,4 ± 0,20 A	4,43 ± 0,15 A	4,27 ± 1,27 A	3,99 ± 0,01 AB	3,75 ± 0,13 AB	3,02 ± 0,07 BC	2,47 ± 0,35 C	2,37 ± 0,15 C	2,16 ± 0,06 C	2,03 ± 0,06 C	1,98 ± 0,02 C

Notons que (à l'exception du témoin) les teneurs en potassium au niveau des racines sont toujours supérieures à celles enregistrées dans la partie aérienne.

### 1.5.3. Le calcium

Les teneurs en calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) dosées dans les tissus de la partie aérienne et de la partie racinaire d'*Atriplex halimus* apparaissent sur la figure 15, la présence de 2 g de NaCl/l dans le milieu de culture entraîne une baisse des quantités de  $\text{Ca}^{++}$  dans la plante entière par rapport au témoin. Par la suite, sa teneur reste stable.

Les données de l'analyse de la variance (*annexe 14 et 15*), révèlent une différence très hautement significative entre les différents traitements.

Selon le tableau 17, les quantités de calcium les plus élevées ont été enregistrées au niveau du témoin (1,69 au niveau de la partie aérienne et 0,92 % au niveau de la partie racinaire), alors que les autres traitements présentent des teneurs voisines au niveau de la partie aérienne et racinaire.

Tableau 17 : Taux de calcium dans la matière sèche de la plante

NaCl (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur Calcium partie aérienne (% MS)</b>	1,69 ± 0,34 A	0,98 ± 0,06 B	0,77 ± 0,15 BC	0,70 ± 0,10 BC	0,68 ± 0,02 BC	0,59 ± 0,02 C	0,58 ± 0,01 C	0,56 ± 0,02 C	0,53 ± 0,02 C	0,50 ± 0,02 C	0,49 ± 0,01 C
<b>Teneur en calcium partie racinaire (% MS)</b>	0,92 ± 0,03 A	0,61 ± 0,04 B	0,49 ± 0,02 C	0,40 ± 0,01 D	0,39 ± 0,02 B	0,30 ± 0,03 E	0,29 ± 0,02 E	0,28 ± 0,02 E	0,27 ± 0,03 E	0,26 ± 0,02 E	0,25 ± 0,03 E

Ces résultats montrent que les teneurs en calcium au niveau de la partie aérienne sont toujours plus importantes par rapports à celles enregistrés dans la partie racinaire.

#### 1.6. Conclusion

L'addition au milieu de culture (**Murashige et skoog, (1962)**), de chlorure de sodium (NaCl) se traduit dans la plante entière et en particulier dans la partie aérienne, par une augmentation importante de la teneur en sodium ( $\text{Na}^+$ ) et une diminution des teneurs en potassium ( $\text{K}^+$ ) en calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ). Ceci montre que l'essentiel de sodium n'est pas accumulé au niveau des racinaire mais plutôt transporté vers la partie aérienne de la plante, où il est stocké dans les trichomes avant leur élimination au niveau de la feuille (**Debez et al. 1998**). En présence de sel, les plantes transportent dans leurs feuilles des quantités en sodium plus importantes qu'en potassium (**Arbaoui et al., 2001**).

## 2- COMPORTEMENT D'*Atriplex halimus* VIS À VIS DU SULFATE DE SODIUM (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

### 2.1. Germination des graines

Le travail réalisé a porté sur l'influence des concentrations croissantes en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sur l'évolution du pourcentage de germination et sur la vitesse de germination.

Les résultats obtenus montrent que le pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* enregistré au bout de 7 jours varie en fonction de la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> du milieu (*figure 16*). Les traitements correspondants aux concentrations 0, 2 et 4 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, la germination des graines est de 100% (avec une pression osmotique allant de 0 atm. à 0,84 atm.). Le pourcentage de germination est de 98 % pour la dose 6 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, et 96% pour 8g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 94% pour 10g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 92% pour 12g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et enfin à 88 % pour une concentration de 14 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (correspondant à une pression osmotique de 1,27 ; 1,70 ; 2,11 ; 2,53 ; et 2,96 atm. respectivement). A 16g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (3,38 atm.), le pourcentage de germination des graines est de 82 %. La germination devient plus sensible à la salinité, à partir de 18g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, avec une pression osmotique de 3,80 (*tableau 18*).

*Tableau 18* : Relation entre la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, la pression osmotique et le potentiel osmotique

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/l)	P.O (atmosphère)	pF (Osmotique)
0	0	0
2	0,42	2,63
4	0,84	2,93
6	1,27	3,11
8	1,70	3,23
10	2,11	3,33
12	2,53	3,41
14	2,96	3,48
16	3,38	3,53
18	3,80	3,58
20	4,22	3,63

La pression osmotique des solutions nutritives est calculée selon la formule préconisée par l'**U.S.S.L. (1954)** :

$$\mathbf{P.O \text{ (atmosphère)} = C.E \text{ (ds/m)} \times K}$$

Où : **CE** = Concentration de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (g/l)/ 1,42 (masse moléculaire Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 142 g) . **K** = coefficient qui dépend de la nature des sels, K = 0,30 pour Na<sub>2</sub>SO

Globalement, l'analyse de la variance (*annexe 16*), relative à l'effet des traitements salins (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sur la germination des graines d'*Atriplex halimus* montre un effet très hautement significatif.

Selon le test de Newman et keuls au seuil de 5 % (*tableau 19*), la différence n'est cependant pas significative entre les niveaux allant de 0 à 4 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, qui sont classés dans le groupe A. Le dernier groupe E est présenté par les traitements 18 et 20/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

*Tableau 19* : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, du pourcentage de germination

Traitements salins (g de Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Taux de levée	100	100	100	98	96	94	92	88	82	70	66
Ecart-types ±	0,00	0,00	0,00	0,82	2,16	1,83	2,94	2,94	4,69	5,35	4,83
Groupes homogènes	A	A	A	A	AB	AB	BC	C	D	E	E

Par ailleurs, la recherche de la meilleure fonction d'ajustement statistique de la relation entre le pourcentage de germination des graines et la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aboutit à une équation de régression de la forme polynomiale illustrée par la figure 17 :

$$\mathbf{Y = - 0,1224X^2 + 0,7748X + 99,021 \quad R^2 = 0,98 \quad ddl = 9 \quad n=11}$$

Où : **Y** = taux de levée des graines (%)  
**X** = concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (g/l)

Le coefficient de détermination indique que 98% de la variance de la germination des graines d'*Atriplex halimus* sont expliqués par le gradient de concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

La recherche de la limite critique admissible ou seuil de toxicité sera calculée pour une chute de 25 % du taux de levée des graines, indique que ce dernier correspond à une concentration de 15,52 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l.

D'autre part, la germination évolue en fonction du temps et de la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> est représenté par le tableau 20 :

**Tableau 20 : Effets des différentes concentrations en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, sur le pourcentage de germination des graines d'*Atriplex halimus* en fonction du temps**

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/l)	Durée en jours						
	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
0	0	86	90	98	100	100	100
2	0	82	90	98	100	100	100
4	0	72	76	84	90	100	100
6	0	66	74	84	88	98	98
8	0	54	72	82	86	96	96
10	0	44	70	80	82	94	94
12	0	38	68	78	81	92	92
14	0	30	64	76	80	88	88
16	0	24	54	66	74	82	82
18	0	20	42	54	64	70	70
20	0	14	25	49	60	66	66

Les moyennes calculées pour les différents niveaux de salinité présentent la même allure pour les différents traitements étudiés (*figure 18*). En effet, nous remarquons que la germination commence dès le deuxième jour pour tous les traitements salins, elle est rapide durant les premiers jours, puis ralentis pour atteindre un palier à partir du sixième jour.

A partir de ces résultats, nous pouvons déduire que l'augmentation des concentrations en sulfate de sodium diminue la vitesse de germination par rapport au témoin, sans néanmoins, affecter la capacité germinative des graines.

## 2.2. Conclusion

Ces résultats montrent que la germination des graines d'*Atriplex halimus* est en fonction de la concentration en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Le pourcentage de germination est de l'ordre de 75 % pour une concentration en sulfate de sodium de 15,52 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{l}$ . Ce seuil de tolérance correspond à une pression osmotique de 3,28 atm., soit un pF (osmotique) de 3,52. Ce potentiel osmotique est supérieur à 2,5 (pF de l'eau), il augmente avec la concentration saline et se rapproche du point de flétrissement temporaire, généralement situé à pF 3,7 (Hénin, 1969 ; Maas, 1990 ; Mc Laughlin et al., 1998 ).

### 2.3. Croissance et développement d'*Atriplex halimus*

Les paramètres étudiées pour caractériser l'influence des concentrations en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sur la croissance et le développement de l'*Atriplex halimus* sont les nombre de paires de feuilles, la longueur de tige, la longueur de la racine principale, la matière fraîche de la partie aérienne et racinaire, la matière sèche de la partie aérienne et racinaire (*planche 5*).

#### 2.3.1. Nombre de paires de feuilles

Après un mois de culture (*in vitro*), nous avons procédé au dénombrement des feuilles a fin d'évaluer la production foliaire.

La valeur la plus élevée est obtenue par les concentrations 8 et 10 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  avec une moyenne de 4,90 paires de feuilles/plant ; La valeur la plus faible est obtenu par la concentration 20 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et qui est de 2,40 paires de feuilles/plant (*figure 19*).

L'analyse de la variance (*annexe 17*), révèle que les différentes concentrations de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ont un effet très hautement significatif au seuil de 5 % sur le nombre de paires de feuilles.

Le test de Newman et keuls au seuil de 5% (*tableau 21*), classe les traitements 8 et 10 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans le groupe (A). Par la suite, les différences entre les autres traitements ne sont pas très nettes.

*Tableau 21* : Test de Newman et keuls au seuil de 5 %, du nombre de paire de feuilles

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Nombre de paires de feuilles/plant	<b>3,90</b>	<b>4,50</b>	<b>4,30</b>	<b>4,40</b>	<b>4,90</b>	<b>4,90</b>	<b>4,20</b>	<b>3,50</b>	<b>3,00</b>	<b>2,60</b>	<b>2,40</b>
Ecart types $\pm$	<b>1,29</b>	<b>1,08</b>	<b>0,95</b>	<b>0,70</b>	<b>1,45</b>	<b>1,45</b>	<b>1,03</b>	<b>0,71</b>	<b>0,82</b>	<b>1,35</b>	<b>1,17</b>
Groupes homogènes	<b>ABC</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>AB</b>	<b>ABCD</b>	<b>BCD</b>	<b>CD</b>	<b>D</b>

Cependant, nous avons constaté au niveau de la surface des feuilles, la présence d'un dépôt de sel. Plus la concentration du sel dans le milieu est élevée, plus le dépôt de sels au niveau des feuilles est important.

### 2.3.2. Longueur de la tige

L'allongement le plus important a été obtenu par les concentrations 8 et 10 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (figure 20) avec respectivement des moyennes de 6,12 et 6,53 cm. Néanmoins, des concentrations supérieures ou égales à 6 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> produisent une diminution des valeurs dont la plus importante est enregistrée par la concentration 20 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec une moyenne de l'ordre de 2,23 cm.

L'analyse des résultats du calcul de la variance (annexe 18), montre que la concentration de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans le milieu de culture à une influence très hautement significative sur la longueur de la tige.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% (tableau 22), confirme les résultats précédents et montre que les traitements 8 et 10 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sont classés dans le premier groupe homogène A, alors que le dernier groupe D est présenté par la concentration 20 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Tableau 22 : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la longueur de la tige

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Longueur de la tige (cm)	4,81	4,48	5,25	5,76	6,12	6,53	5,68	3,85	3,15	2,98	2,23
Ecart-types ±	3,33	2,35	2,17	2,08	1,39	2,57	1,62	0,74	1,43	1,85	0,94
Groupes homogènes	ABCD	ABCD	ABC	AB	A	A	AB	ABCD	BCD	CD	D

### 2.3.3. Longueur de la racine principale

La longueur la plus importante de la racine principale a été obtenue par la concentration de 8g/l  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (5,55 cm) suivie par les concentrations 6 ; 4 ; 2 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et le témoin qui donnent des valeurs respectivement de 5,48 ; 5,38 ; 5,24 et 5,15 cm. A partir de 10 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , la longueur de la racine est fortement réduit (*figure 21*).

Les résultats de l'analyse de la variance (*annexe 19*), révèlent que le facteur  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a une influence très hautement significative sur la longueur de la racine principale.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5 % (*tableau 23*), révèle que les concentrations 6 et 8 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  font partie du groupe A. Par la suite, les différences entre traitements sont difficiles à cerner.

Tableau 23 : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la Longueur de la racine principale

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Longueur de la racine (cm)	5,15	5,24	5,38	5,48	5,55	4,33	4,55	3,80	3,69	3,47	2,38
Ecart-types $\pm$	1,43	1,35	1,81	0,27	0,91	0,28	1,01	1,54	2,12	2,03	1,23
Groupes homogènes	AB	AB	AB	A	A	AB	AB	ABC	ABC	BC	C

### 2.3.4. Matière fraîche de la partie aérienne

La figure 22 montre que la présence de 10 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans le milieu de culture conduit après un mois de culture à la croissance maximale correspond à une moyenne de 98,85 mg/plant, le passage à des concentrations plus élevées produit une diminution progressive de la matière fraîche aérienne.

Les différentes concentrations de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ont un effet très hautement significatif au risque de 5 % sur la matière fraîche aérienne (*annexe 20*).

Le test de Newman et keuls au seuil de 5 % (*tableau 24*), montre que la différence n'est pas significative entre les niveaux allant de 0 à 10 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  /l, mais devient significative entre le niveau de 10 et 12 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

*Tableau 24* : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière fraîche de la partie aérienne

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière fraîche (mg / plant)</b>	82,34	83,84	84,69	86,44	86,99	98,85	53,64	47,58	26,14	21,62	18,49
<b>Ecart types <math>\pm</math></b>	32,42	26,12	26,28	36,68	3,83	109,3	11,70	11,20	12,05	7,33	10,75
<b>Groupes homogènes</b>	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	C

### 2.3.5. Matière fraîche de la partie racinaire

L'effet de l'addition de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se manifeste par une augmentation de la biomasse racinaire des vitro-plants d'*Atriplex halimus* particulièrement à 6 et 8 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (16,31 et 16,52 mg/plant). A partir de 10 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , il se produit une diminution de la matière fraîche racinaire (*figure 23*).

L'analyse de la variance (*annexe 21*), montre que la variation de la concentration de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans le milieu influe d'une manière très hautement significative sur la production de la matière fraîche racinaire.

Le test de Newman et Keuls au seuil de 5% (*tableau 25*), révèle que les traitements 4 ;6 et 8 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  se classent dans le même groupe (A). Par la suite, les différences entre les traitements sont difficiles à cerner.

*Tableau 25* : Test de Newman et Keuls de 5 %, de la matière fraîche de la partie partie aérienne

$\text{Na}_2\text{SO}_4$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière fraîche (mg/plant)</b>	13,97	14,40	15,81	16,31	16,52	14,74	12,39	6,83	5,49	5,29	4,57
<b>Ecart – types <math>\pm</math></b>	4,55	10,00	14,46	5,15	6,55	10,83	5,41	1,63	4,42	5,13	4,65
<b>Groupes homogènes</b>	AB	AB	A	A	A	AB	AB	C	C	C	C

Le potentiel osmotique ne semble pas affecter l'alimentation hydrique d'*Atriplex halimus* dans la mesure où la teneur en eau de la matière fraîche varie peu en fonction de la concentration en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (*tableau 26*).

Tableau 26 : Teneurs en eau (%) de la matière fraîche

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Teneur en eau (%) de la matière fraîche.	90,27	90,15	90,06	89,60	89,54	90,59	89,41	89,82	89,28	87,20

### 2.3.6. Matière sèche de la partie aérienne

Les différentes concentrations de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ont un effet très hautement significatif au risque de 5 % sur la matière sèche aérienne (*annexe 22*). En examinant la figure 24, nous remarquons que la valeur maximale a été obtenue par la concentration 10g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (8,04 mg/plant). Cet effet stimulant disparaît à partir de 12 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, où nous observons une diminution de la quantité de matière sèche produite.

Les résultats du test de Newman et Keuls au seuil de 5% sont présentés dans le tableau 27, ils révèlent que les traitements allant de 0 à 10 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> font partie du groupe homogène A, alors que le deuxième groupe B est formés par les concentrations 12 et 14 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. L'influence de ce sel sur ce paramètre ne se produit que lorsque la concentration passe de 10 à 12g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Tableau 27 : Test de Newman et keuls au seuil de 5%, de la matière sèche de la partie aérienne

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Matière sèche (mg/plant)	6,98	7,11	7,28	7,86	7,92	8,04	4,99	4,60	2,54	2,44	2,18
Ecart –types ±	2,96	3,33	4,71	4,07	2,76	6,48	0,83	0,82	1,49	0,97	1,05
Groupes homogènes	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	C

### 2.3.7. Matière sèche de la partie racinaire

Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 25. Ils révèlent que les doses 6 et 8 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  produisent les poids de matière sèche racinaire les plus importantes, avec des moyennes respectives de 2,82 et 2,91 mg/plant. Au delà de 12g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  /l, la production de matière sèche racinaire diminue considérablement, la quantité la plus faible a été obtenue par la concentration 20 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,77 mg/plant).

L'analyse de la variance (*annexe 23*) montre que le sel  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  influe d'une manière très hautement significative sur la matière sèche racinaire.

Selon le test de Newman et keuls au seuil de 5% (*tableau 28*), les traitements correspondant aux concentrations 0 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8 et 10 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  font partie du groupe homogène A. Alors que le groupe B représente le traitement à 12 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  et à partir du 14 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tous les traitements sont classés dans le groupe C.

*Tableau 28* : Test de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche de la partie racinaire

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière sèche (mg/plant)</b>	2,41	2,56	2,71	2,82	2,91	2,65	2,00	0,94	0,85	0,81	0,77
<b>Ecart-types <math>\pm</math></b>	1,95	1,30	1,64	0,10	0,45	1,26	0,53	0,2	0,45	0,53	0,46
<b>Groupes homogènes</b>	A	A	A	A	A	A	B	C	C	C	C

### 2.3.8. Matière sèche totale

Elle correspond à la somme de la matière sèche produite par la partie aérienne et la partie racinaire.

Les résultats illustrés par la figure 26, montrent que la production la plus forte de la matière sèche totale a été obtenue par la concentration de 8g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10,83 mg/plant). Par rapport au témoin (9,37 mg/plant). Ce n'est qu'à partir de 16 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que nous observons une diminution remarquable de la matière sèche produite.

Selon l'analyse de la variance (*annexe 24*), il en ressort une différence très hautement significative entre les différents traitements.

Par ailleurs, le test de Newman et Keuls (*Tableau 29*), confirme les résultats précédent, et montre que les traitements allant de 0 à 10 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sont classés dans le groupe homogène A. Tandis que le groupe B est formé par les concentrations 12 et 14 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

*Tableau 29* : Teste de Newman et Keuls au seuil de 5%, de la matière sèche totale

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Matière sèche totale (mg/plant)</b>	9,37	9,67	9,99	10,68	10,83	10,69	6,99	5,54	3,39	3,26	2,95
<b>Ecart- types ±</b>	4,22	348	5,30	4,09	2,73	6,47	1,13	0,83	1,48	1,27	1,25
<b>Groupes homogènes</b>	A	A	A	A	A	A	B	B	C	C	C

### 2.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que la présence du sulfate de sodium (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dans le milieu de culture de **Murashige et Skoog (1962)**, stimule la croissance des vitro-plants d'*Atriplex halimus*, avec un optimum pour des concentrations comprises entre 8 et 12 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

## 2.5. Nutrition minérale

### 2.5.1. Le sodium

La figure 27, montre la variation des quantités de sodium dosées dans les tissus de plantules d'*Atriplex halimus* cultivées *in vitro* et en fonction des différentes concentrations de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. L'accumulation de Na<sup>+</sup> varie selon la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (dans la plante entière), elle commence très nettement à 2 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> où sa teneur augmente progressivement jusqu'à 20 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> par rapport au témoin.

L'analyse de la variance (*annexe 25 et 26*), montre que la concentration en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dans le milieu influe d'une manière très hautement significative sur la teneur en sodium dans la partie aérienne et la partie racinaire.

Les teneurs en sodium sont importantes pour les traitements les plus salins ; leur concentration dans les parties aériennes et racinaires montrent cette teneur élevée. La concentration 20 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> présente la plus forte teneur en cet élément (21,50% de la matière sèche aérienne et 8,19 % de la matière sèche racinaire) (*tableau 30*).

Tableau 30 : Taux de sodium dans la matière sèche de la plante

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur en sodium</b>	1,37	2,80	2,81	3,25	4,87	7,63	9,04	9,21	9,70	18,00	21,50
<b>partie</b>	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
<b>aérienne</b>	0,20	0,78	0,33	0,53	0,78	0,79	0,34	1,38	0,39	1,98	1,15
<b>(%MS)</b>	E	DE	DE	DE	D	C	C	C	C	B	A
<b>Teneur en sodium</b>	1,02	1,50	1,65	1,96	2,40	3,41	3,61	5,50	8,07	8,10	8,19
<b>partie</b>	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
<b>racinaire</b>	0,04	0,20	0,22	0,85	0,68	0,43	0,19	0,23	0,23	0,85	0,94
<b>(%MS)</b>	E	DE	DE	DE	D	C	C	B	B	A	A

En générale, il s'avère que pour tous les traitements, les teneurs en sodium sont plus important dans la partie aérienne que racinaire.

## 2.5.2. Le potassium

Nous remarquons sur la figure 28, que l'addition de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans le milieu de culture entraîne une baisse importante des quantités de  $\text{K}^+$  dans les tissus aériens et racinaire de la plante.

Les résultats de l'analyse de la variance (*annexe 27 et 28*), montrent qu'il existe une différence très hautement significative entre les différents traitements.

D'après le tableau 31, la teneur en potassium tissulaire enregistrée au niveau de la partie aérienne et racinaire de plantes traitées par 2 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  est proche de celle du témoin (2,78 % et 2,61% dans la partie aérienne, 9,70% et 9,55 % dans la partie racinaire). Par la suite, la teneur en potassium accuse une diminution dès que la plante reçoit 4 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (1,31 %) au niveau de la partie aérienne et 6 g/l de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (6,28%) au niveau de la partie racinaire. Au delà de ces deux concentrations, les teneur en  $\text{K}^+$  est peu modifiée dans les tissus aériens et racinaire de la plante.

Tableau 31 : Taux de potassium dans la matière sèche de la plante

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur en potassium partie aérienne (%MS)</b>	2,78 ± 0,39 A	2,61 ± 0,33 A	1,31 ± 0,33 B	1,16 ± 0,28 B	1,15 ± 0,26 B	0,95 ± 0,13 BC	0,60 ± 0,07 CD	0,39 ± 0,08 D	0,38 ± 0,08 D	0,37 ± 0,06 D	0,11 ± 0,02 D
<b>Teneur en potassium partie racinaire (%MS)</b>	9,75 ± 0,39 A	9,55 ± 0,13 A	9,50 ± 0,16 A	6,28 ± 0,70 B	4,23 ± 0,32 C	3,95 ± 0,51 C	2,17 ± 0,30 D	1,91 ± 0,51 DE	1,66 ± 0,31 DE	1,31 ± 0,56 DE	1,13 ± 0,23 E

Nous signalons que les teneurs en potassium au niveau des racines sont toujours supérieurs à ceux enregistrés dans la partie aérienne.

### 2.5.3. Le calcium

Les quantités de calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) dosées dans les tissus de la partie aérienne et de la partie racinaire des vitro-palnts d'*Atriplex halimus* (figure 29), montrent une réduction de la teneur en  $\text{Ca}^{++}$  dans la plante entière (partie aérienne et partie racinaire). Par la suite, nous remarquons que cette teneur est peu modifiée.

L'analyse de la variance (*annexe 29 et 30*), montre que la concentration en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dans le milieu influe d'une manière très hautement significative sur la teneur en calcium dans la partie aérienne et la partie racinaire.

D'après le tableau 32, les teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  les plus élevée ont été enregistrée au niveau des traitements sans sel (témoin) (1,25 % dans la partie aérienne et 4,26 % dans la partie racinaire), alors que pour les autres traitements, au niveau de la partie aérienne et de la partie racinaire, montrent que bien quand la concentration en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  du milieu augmente, le contenu de calcium tissulaire diminue.

Tableau 32 : Taux de calcium dans la matière sèche de la plante

$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (g/l)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<b>Teneur calcium partie aérienne (%)</b>	1,25 ± 0,43 A	1,08 ± 0,14 A	0,62 ± 0,02 B	0,55 ± 0,02 BC	0,54 ± 0,06 BC	0,44 ± 0,04 BCD	0,27 ± 0,03 CD	0,19 ± 0,02 D	0,17 ± 0,02 D	0,16 ± 0,02 D	0,10 ± 0,03 D
<b>Teneur en calcium partie racinaire (% MS)</b>	4,26 ± 0,45 A	4,22 ± 0,39 A	4,20 ± 0,36 A	2,85 ± 0,42 B	1,89 ± 0,62 C	1,89 ± 0,62 C	1,42 ± 0,43 CD	1,15 ± 0,22 CD	1,10 ± 0,17 CD	0,68 ± 0,06 D	0,68 ± 0,09 D

Notons que les teneurs en calcium au niveau de la partie racinaire sont plus importantes que celles de la partie aérienne.

### 2.6. Conclusion

Les concentrations croissantes en  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  provoquent une diminution de l'assimilation de potassium et du calcium au profit du sodium, d'une manière générale le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a eu un effet inhibiteur sur l'assimilation de potassium et de calcium.

## DISCUSSION GENERALE

Le stress salin est le facteur primordial qui limite la germination des espèces végétales dans les régions arides et semi-arides (**Chretien, 1992**). Au niveau des deux essais (NaCl et Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), le pouvoir germinatif d'*Atriplex halimus* présente un seuil de tolérance plus élevé que la production de la biomasse. Contrairement aux résultats connus pour la majorité des espèces végétales cultivées (**Maas, 1990**).

Les deux sels solubles étudiés, affectent différemment la production de la matière sèche chez l'*Atriplex halimus*. En effet, si le seuil de toxicité de la matière sèche de la partie aérienne des vitro plants d'*Atriplex halimus* au niveau de l'essai Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (compris entre 10 et 12 g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l) est sensiblement plus élevé que celui de la matière sèche de la partie aérienne des vitro plants d'*Atriplex halimus* au niveau de l'essai NaCl (compris entre 6 et 8 g de NaCl /l).

Rappelons que les sels solubles conditionnent le comportement du végétal selon deux mécanismes essentiels (**U.S.S.L., 1954 ; Maas, 1990**) :

- sécheresse physiologique par l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol.
- déséquilibre nutritionnel provoqué, en particulier, par des antagonismes ioniques.

### 1- Effet de la pression osmotique de milieu du culture

Pour évaluer l'importance de ce mécanisme dans notre cas, le calculs des équations de régression ont été réalisés pour les deux types d'essais, entre un paramètre qui intègre le comportement global du végétal (c'est la production de la matière sèche) et la pression osmotique de milieu du culture (**Murachige et SKoog 1962**) :

Le calcul des équations de régressions (*figure 30 et 31*) entre la matière sèche (y) et la pression osmotique(X) donne les résultats suivants :

- *essai NaCl* :

$$Y = - 0,0893 x^2 + 0,3197 x + 13,53 \quad R^2 = 0,8708 \quad \text{ddl} = 9 \quad n = 11$$

- *essai Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>* :

$$Y = - 0.7597 x^2 + 1.2335 x + 9.7158 \quad R^2 = 0,8730 \quad \text{ddl} = 9 \quad n = 11$$

Le coefficient de détermination obtenu est de 0.87 pour les deux essais ; ce dernier indique que la pression osmotique, provoqué par chacun de ces deux sels étudiés (NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), diminue la quantité de matière sèche produite.

Ces résultats confirment donc l'existence d'un effet dépressif de la pression osmotique sur la production de matière sèche (**Beldjoudi, 2001**).

## 2- Effet de l'état nutritionnel des vitro plants

Sur le plan nutritionnel et compte tenue des résultats obtenus, nous remarquons que l'influence de sel (NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) se traduit généralement par un enrichissement des tissus en sodium (Na<sup>+</sup>) et une diminution du potassium (K<sup>+</sup>) et de calcium (Ca<sup>++</sup>). Le sodium, qui s'accumule fortement dans la vacuole (**Almansouri et al., 1999**) est antagoniste vis à vis des autres cations (**Botella et al., 1997 ; Debez et al., 1998 ; Ajmal Khan et al., 2000**). Le potassium et le sodium se présentent comme des ions antagonistes ou inhibiteurs mutuels. Il s'agit d'une restriction de l'entrée du potassium dans le secteur métabolique actif, cette séquestration est considérée comme étant un mécanisme fonctionnel de tolérance au sel (**Chen et al., 1988; Leigh et Storey, 1993**).

L'analyse des teneurs en sodium montre qu'il s'accumule préférentiellement dans la partie aérienne, et affect négativement la production de matière sèche aérienne et racinaire au-delà d'un certain niveau d'accumulation. **Al Rawahy et al., (1992)** indique que le sodium s'accumule en premier lieu au niveau des racines,

en suite il migre vers les feuilles. Le passage du sodium des racines vers les feuilles est un mécanisme de résistance à la salinité. Dans le même sens, selon **Yeo et Flowers (1982)**, en présence de forte concentration saline, les glycophytes et les halophytes absorbent autant du sodium, mais les espèces halophytes transportent plus rapidement et plus intensément le sodium vers l'appareil aérien.

Tous les effets des sels (NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ont pu être constaté, après leur absorption par les vitro plants d'*Atriplex halimus*. Autrement dit, la taille réduite des plants au niveau des traitements salins est due essentiellement aux déséquilibre ioniques entre les éléments, entraînant un ralentissement de la croissance des plantules.

La croissance des plantules qui sont formées à partir des graines provenant d'un même pied mère n'est pas homogène. En effet, les valeurs élevées des écart-types illustrent une grande hétérogénéité probablement d'ordre génétique. Selon **Ben Ahmed et al., (1996)** un tel polymorphisme peut avoir deux origines, une diversité génétique entre des graines récoltés sur la plante mère et / ou une plasticité phénotypique, reflétant des différences de développement entre les divers graines d'une même plante mère. Cette diversité constitue un atout pour la sélection de lignées résistantes à des fortes concentrations saline (**Bajji et al. 1998**).

## CONCLUSION GENERALE

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier la tolérance d'*Atriplex halimus* à la salinité. A la lumière de tous les résultats, il en ressort les grandes lignes suivantes :

Au stade de germination, la tolérance d'*Atriplex halimus* à la salinité (NaCl ou Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) est remarquable dans la mesure où sa limite de tolérance (à l'égard de ces deux sels solubles), correspondant à une diminution du taux de germination de 25%, se situe à 12,83 g/l de NaCl pour l'essai avec NaCl, et de 15,52g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pour l'essai avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

L'*Atriplex halimus* cultivée *in vitro* et en présence des doses croissantes de NaCl ou de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, se comporte différemment par rapport au stade de germination. En effet, pour une concentration qu'est variable selon le type d'essai (6g de NaCl/l pour essai avec NaCl, et 8g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/l pour l'essai avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), nous avons constaté un effet positive de ces deux sels solubles sur la croissance de tous les paramètres biométriques de végétal (nombre de paires de feuilles, longueur de la tige et la longueur de la racines principale, ainsi que la matière fraîche et sèche). A partir du 8g/l de NaCl (essai avec NaCl) et 12 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (essai avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), ces deux sels solubles exercent un effet nocif sur les paramètres de croissance étudiés.

Nous avons remarqué qu'il existe une variabilité génétique dans la production de biomasse qui peut être utilisée dans une démarche qui vise la sélection des plants performants parmi la biodiversité existante.

Concernant la production de la matière sèche (qui intègre le comportement global du végétal). Les limites de tolérance sont différentes pour les deux essais. Les plantules cultivées *in vitro* sur milieu contenant du NaCl sont nettement plus sensibles (limite de tolérance compris entre 6 et 8 g de NaCl/l), que les plantules cultivées *in vitro* sur milieu avec Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (limite de tolérance compris entre 10 et 12 g/l de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Ces résultats montrent que l'*Atriplex halimus* est plus tolérant au sel soluble Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> que le sel soluble NaCl.

Sur le plan nutritionnel, l'absorption du NaCl ou de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> par les vitro plants d'*Atriplex halimus* se traduit par un enrichissement des tissus par le sodium (Na<sup>+</sup>) et une diminution du potassium (K<sup>+</sup>), et de calcium (Ca<sup>++</sup>). Cette accumulation du sodium (Na<sup>+</sup>) dans le végétal provoque une chute de la production de la biomasse.

Ces résultats expérimentaux, obtenus en conditions semi-contrôlées, montrent, une fois de plus, que l'*Atriplex halimus*, plante à intérêt fourrage, tolère des concentrations salines élevées incompatibles avec la majorité des plantes cultivées. Il peut être utilisée dans la valorisation des sols salés.

Compte tenu des divers intérêts de l'*Atriplex*, de son large polymorphisme et sa grande hétérogénéité, la recherche de la variabilité génétique de l'*Atriplex halimus* liée aux stress abiotiques s'impose en faisant appel à des techniques de biologie moléculaire dans le but de s'orienter à moyen et à long terme vers l'élaboration de la carte génétique de cette espèce.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ajmal Khan M., Irwin A., Ungar and Allan M. Showatter, 2000:** Effects of salinity on growth, water relations and ion accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii*, var. *stooksii*.  
Annals of Botany 85, 225-232.
- Alarcon J.J., Morales M.A., Torrecilas A. and Sanchez-Blanco J., 1999:** Growth, water relation and accumulation of organic solutes in the halophyte *Limonium latifolium* C.V. Avignon and its interspecific hybrid *Limonium caspia* x *Limonium latifolium* C.V. Belhaared during salt stress.  
J. Plant. Physiol. 154: pp: 795-801.
- All-Rawahy S.A., Strehlein J.L. and Pessaraki M., 1992:** Dry-matter yield and nitrogen-15, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and K<sup>+</sup> content of tomatoes under sodium chloride stress. Plant. Nutrition, 15(3), pp: 341- 358
- Almansouri M., KINET J.M. and Lutts S., 1999:** compared effects of sudden and progressive impositions of salt stress in three durum wheat (*Triticum durum* Desf ) cultivars. Journal. Plant. Physiol. 154: 743-752.
- Amimi N., Chaabani N., Ammar S., et Bouzid S., 1997 :** Multiplication rapide d'*Atriplex halimus* par les technique de la culture in vitro.  
Rep. Sci. Projet STD3 N<sup>o</sup>TS 3 CT94 0264 - Paris.
- Anonyme, 2000 :** La Forêt Algérienne.  
Revue d'information et du vulgarisation N<sup>o</sup> 3, pp : 13-14.
- Arbaoui M., Benkhelifa M. et Belkhodja M., 2001 :** La croissance, le bilan hydrique et le bilan minéral chez le Blé soumis au sel.  
Compte rendu du Séminaire national sur la problématique de l'agriculture dans le zones arides et reconversion.TTGC,  
Sidi Bel Abbés du 22,23 et 24 janvier 2001, pp : 354-359.
- Bajji M., Kinet J.M and Lutts S., 1998:** Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L., and their corresponding callus cultures.  
Elsevier Plant. Science N<sup>o</sup> 137. pp : 131-142.
- Batanouy K.H., 1993:** Ecophysiology of halophytes and their traditional use in the Arab world. Advanced course on Halophyte utilization in Agriculture,  
12-23 sept. 1993, Agadir, Morocco.

**Belkhodja M., 1996:** Action de la salinité sur le comportement physiologique, minéral métabolique, et recherché de marqueurs moléculaires chez la fève (*Vicia faba* L.).

Thèse Doct. es Sciences Biologiques, Univ., Oran, 255p.

**Beldjoudi Z., 2001:** Contribution a l'étude de la tolérance de six cultivars de blés à la salinité.

Thèse Magister, INA El Harrach, Alger, 55p.

**Belkhodja M. et Bidai Y., 2001 :** La réponse éco-physiologique de l'*Atriplex* aux hautes salinités au stade de la germination des graines.

Séminaire national sur la problématique de l'agriculture des Zones Aride et de la Reconversion. Université de sidi Bel Abbès.

22-24 janvier pp : 105-114.

**Ben Ahmed H., Zid E., El Gazzah M. et Grignon C., 1996 :** croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L

Cahier "Agricultures", Vol.5 (5) : page 365-372

**Benrebiha F.Z., 1987:** Contribution l'étude de la germination de quelques espèces d'*Atriplex* locales et introduites

Mémoire de Magister en Science Agronomique. L'I.N.A Alger.119p.

**Benrebiha F.Z., 2003 :** Etude de différents milieux de culture de substances de croissance et de salinité sur la morphogenèse de l'*Atriplex halimus*.

Thèse de Doctorat d'Etat, INA, Alger, Algerie. 193p.

**Berthomieu P., Conéjéro G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi M., Yamada k., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P.A., Tester M., Very A.A., Sentenac H., Casse F., 2004:**

Functional analysis of ATHKT1 in Arabidopsis shows that Na<sup>+</sup> recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance.

Embo journal N<sup>o</sup>:22 pp.14.20.

**Bigot J. et Binet P., 1979 :** Action de la salinité sur la croissance et l'activité Cx cellulase [=endo - B (1,4) glucanase] chez les feuilles d'*Atriplex littoralis* L.

Physiol.végét.17 (2) pp : 347-362

**Billard J.P. et Binet P., 1975 :** Physio-Ecologie des *Atriplex* des milieux sableux littoraux.

Bull. Soc. Français .122, pp : 51-54.

**Binet P., 1982 :** Halophile et résistance au sel.

C.E.N.S de Saint-Claud. Extrait des actes du colloque de biologie. pp : 293-314.

- Botella M.A., Martinez V., Parodine S.J. and Cerda A., 1997:** salinity induced potassium deficiency in Maize plants.  
Plant. Physiol. 150:200-205.
- Chamard P., 1993:** Environnement et développement. Références particulières aux états sahéliens membres du CILSS.  
Rev. Sécheresse. 4, pp: 1723-1728.
- Chen D.M., keiper F.J. and De Filippis F., 1988:** physiological changes accompanying the induction of salt tolerance in *Eucalyptus microcorys* shoots in tissue culture.  
Plant. Physiol. 152:555-563
- Choukr-Allah R., Malcom C.V. and Hamdy A., 1996:** Halophyte and bio saline agriculture.  
Marcel Decker, New York. 400p.
- Chretein D., 1992 :** La résistance au sel chez le Jajoba (*Simondia chinasis*) : croissance et modification du contenu lipidique de cals cultivés en présence d'une teneur élevée en NaCl.  
Thèse de Doctorat Uni. Pierre et Marie Curie, Paris, VI. 144p.
- Clyde W., Scott M., Lesch and Catherine M., Crieve, 2000:** growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides.pall*) and Redorach (*Atriplex hortensis L.*)  
Annals of botany vol.85.pp: 501-509.
- Cramer G.R., Lynch J., Lauchli A. and Epstein E., 1987:** Influx of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> into roots of salt. Stressed cotton seedling.  
Plant Physiol. 83, pp: 510-516.
- Cramer G.R., Epstein E. and Lauchli A., 1990:** Effects of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> on salt. Stressed barley. I. Growth analysis.  
Plant Physiol. 80, pp: 83-88.
- Daoud Y. et Halitim A., 1994 :** Irrigation et salinisation au Sahara algérien.  
Sécheresse ; 3(5) : pp : 151-160.
- Debez A., Chaibi W. et Bouzid S., 1997 :** Effet de la salinité et du substances de croissance sur la germination et la croissance de jeunes plantes d'*Atriplex halimus L.*  
Rapport scientifique projet STD3 N<sup>0</sup> TS3 CT94 0264. Paris. 17p.
- Debez A., Chaibi W., et Bouzid S., 1998 :** Réponse physiologiques et structurales de l'*Atriplex halimus* au stress salin.  
Rap. Sci. Projet STD 3 N<sup>0</sup> TS3 CT94 0264. PARIS, 17p.

- Djamai R., 1993:** Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du la Felzara (Annaba).  
Thèse Magister, I.N.A., Alger, 78p.
- Drouhin G., 1961:** Expérience Algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulière aux sols salins.  
UNESCO. Paris 150p.
- Duperat M., 1997:** Le guide des arbres et arbustes de France.  
Ed., sélection du Reader 's Digest. 255 p.
- Duthil J., 1973 :** Eléments d'écologie et d'agronomie.  
Tome II. Ed. Bailliére. 392p.
- Dutuit P., Pourrat Y., Agier C. et Bury M. ,1995 :** Etude sur les effets du Na<sup>+</sup> et de Ca<sup>++</sup> sur la croissance in vitro de jeunes plantes d'*Atriplex halimus* L..  
Rap. Sci. Projet STD3 N0TS 3 CT94 0264- Paris. 17p.
- Epstein E., Norlyn I.D., Rush D.W., Kingsbury R.W., Kelley D.B., Cunningham G.A. and Wrona A.F., 1980:** Saline culture of Crops: a genetic approach.  
Science, 210, pp : 399-404.
- El Hamrouni A., 1986:** *Atriplex* specie and other shrubs in range improvement in North Africa. In: Reclamation and Revegetation Research.  
Elsevier Sciences Publishers. 5, pp: 151-158
- El Shaer H.M. and Kandill H.M., 1998:** Potential of *Atriplex* species as fodder shrubs under the arid conditions of Egypt.  
Proc.VIII Int. Congress of Ecology. INTICOL, Florence, Italy, 19-25 July 1998. 13p
- F.A.O., 1974:** Definitions of soil units for the soil map of the world.  
Bull. 33, 72p.
- Forti M., 1986:** Salt tolerant and halophytic plants in Israel.  
In: Reclamation and Revegetation Research. 5, pp: 83-96.
- Francllet A. et Le Houerou N., 1971 :** Les *Atriplex* en Tunisie et en Afrique du Nord. Doc. F.A.O. Rome. 249p
- Galus C., 2003:** Les plants font de la résistance pour survivre dans les sols trop salés.  
Rev. N<sup>o</sup> 50. I.N.R.A. Alger.

**Greenway H. and Munns R., 1980:** Mechanisms of salt tolerance in non halophytes.

Annu. Rev. Plant. Physiol. 31. pp: 149-190.

**Guittonneau G.G. et Huon A., 1983 :** Connaître et reconnaître la flore et la végétation Méditerranéennes.

Ed., Ouest - France. 331p

**Hamdy A., 2002:** A review paper on: soil salinity, crop salt. Response and crop salt tolerance mechanisms. Advances in soil salinity and drainage management to save water and water and protect the environment. Minister Agriculture Alger.pp:4-72.

**Hamza M., 1980:** Réponses des végétaux à la salinité.

physio. Vég. 18. pp: 69-81.

**H.C.D.S (Haut Commissariat au Développement de la Steppe) 2001:**Problématique des Zones steppique et perspectives de développement.

Rap. synth. 10p

**Hénin S., Gras R. et Monnier G., 1969 :** Le profil cultural - l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.

Ed. Masson et Cie p.332.

**Herrero J., 1992 :** Dégradation du sol, et salinité associées a l'irrigation, corrections apportées en Aragon In : Foesser C. et J. Robert (Eds). Concilier l'agriculture et l'environnement,

Syros-Alternatives.Paris, PP : 127-138

**Hudson Noman W., 1987:** soil and water conservation in semi-arid arcas.

F.A.O. Land and Water Development Division, Irrigation and drainage paper N<sup>o</sup> 57, Rome

**Katembe W.J., Ungar I.A. and Mitchell J.P., 1998:** Effect of salinity on germination and seedling growth of two *Atriplex* species.

Ann. Bot. 82. Paris pp: 38-42.

**Khan M.A. and Ungar I.A., 1984:** seed polymorphism and germination respons to salinity stress in *Atriplex triangularis* willds.

Bot. Gez.145 (4) pp.487-494.

**Khan M.A., Unger I.A. and Showalter A.M., 2000:** Effects of salinity on growth, water relations and ions accumulation of the subtropical perennial halophyte, *Atriplex griffithii* Var. Stocksir.

Ann. Bot. 85 pp : 225-232.

**Kinet J.M., Benrebiha F.Z., Bouzid S., Lahacars S. et Dutuit P., 1998:** le réseau Atriplex. Atelier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en région arides et semi-arides.

Rev.cahiers d'agricultures.VOL.7 (6) pp : 505-509.

**Koocheld A., 1992:** Traditional utilization of halophytes in Iran.

In A.Ayoub and V.R.Squires (Eds), Proc.UNEP consultative Group on Halophytes as a Resource for livestock and for rehabilitation of degraded land.(impress).

**Kotuby-Amacher J., Koenig R. and Kitchen B., 1997:** Salinity and plant tolerance.

USDA. 15p.

**Koyro H.W., Wegmann L., Lehmann H. and Leith H., 1997:** Water management, salinity and pollution control to wards sustainable irrigation in the Mediterranean region.

Valenzano-Bari. Instituto Agromico Mediterraneo. 209p.

**Lasram M., 1995:** Comportement des plantes en milieu salé et placé en pourtour Méditerranée.

A.C.R. Acad. Agric., 81, (02), pp: 47-60.

**Latus S., Kinet I.M. and Bouharmant J., 1995:** changes in plant response to NaCl during developpement of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity résistance.

J. exp., 46, pp: 1843-1852.

**Le Floch E., 1989 :** Plantation d'arbustes fourragers.

Bilan préliminaire de 30 ans de pastoralisme.

Ed. : F.A.O. 204 p.

**Le Floch E., 1989:** Plantation d'arbustes fourragers.

Bilan préliminaire de 30 mars de pastoralisme.

RAB/ 84/ 025. F.A.O. 240 p.

**Le Houerou H.N.1986:** Salt tolerant plants of economic value in the Mediterranean basin. Reclamation and revegetation research.

Elsevier science publishers. 5: 319-341.

**Le Houerou H.N., 1992:** The role of salt bushes (*Atriplex ssp*) in aride land Rehabilitation in the Mediterranean basin.

Review Agroforestry Systems, 18,107-148.

**Le Houerou H.N., 1993:** Salt tolerant plant of the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone in: Towards the rational use of high salinity tolerant plant. Leith H. and Almasoom A. Eds., Kluwer academic publishers.

Vol. 1, pp: 403-422.

**Leigh R.A. and storey R., 1993:** inter cellular compartmentation of ions in barley leaves in relation to potassium nutrition and salinity. *Exp. Biol.* 44 (261):755-762.

**Levigneron E., Lopez F., Vansuyt G., Berthomien P., Fourcroy P. et Casse- Delbart F. ,1995 :** Les Plants face au stress salin.

Rev.cahiers Agricultures.Montpellier France. (4).PP:263-273.

**Maas E.V., 1986:** Salt tolerance of plants.

Agric. Res., 1, pp.12-26.

**Maas E.V., 1990:** Crop salt tolerance.

Engineering practice N<sup>o</sup> 71, ASCE, New York, pp: 262-304.

**Mc Laughlin M., Maier N. and Smart M., 1998:** Use of industrial by products to remediate saline cadmium-contaminated soil to protect the food chain.

16<sup>ème</sup> Congrès Mondial de Science du Sol, Montpellier.

**Mikhiel G.S., Meyer S.E. and Pendleton R.L., 1992:** variation in germination response to temperature and salinity in shrub by *Atriplex* species.

*J. Arid. Environ.* (22) pp: 39-49.

**Morel G. and Wetmore R.H., 1951:** Fern callus tissue culture.

*Am.S.Bot.*, 38, pp : 141-143.

**Murashige T. et SKoog F., 1962:** A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture.

*Physiol.Plant.*, 15,473-497.

**Nakamura Y., Tanaka K., Ohta E. and Sakat A., 1990:** Protective effect of external Ca<sup>++</sup> on elongation and the intra -cellular concentration of K<sup>+</sup> in intact mung bean roots under high NaCl stress.

*Plant Cell. physiol.* 31, pp: 815-821.

**Nedjimi B., 2002:** Relation sol-végétation en milieu steppique. Etude expérimentale de la tolérance d'*Atriplex halimus* var. *schweinfurthii* au chlorure de sodium.

Thèse Magister, I.N.A., Alger, 105p.

- Negre R., 1961** : Petite flore des régions arides du Maroc occidental.  
Tome 1. Ed.: C.N.R.S Paris 179 p.
- Osmond C.B., 1966**: Divalent cation absorption and interaction in *Atriplex*.  
Aust. J. Biol. Sci. 19 pp: 37-48.
- Pouget M., 1980** : Les relations sol-Végétations dans les Steppes sud-Algéroises Travaux et document de L'O.R.S.T.O.M. N<sup>o</sup> :116 p.555.Paris.
- Pourrat Y. and Dutuit P., 1993**: Effects of the sodium and calcium concentrations On the in vitro growth of *Atriplex halimus L.* plantlets.  
J. Plant. Nutrition. 16 : 1417- 1429.
- Quesel P. et Santa S., 1962** : Nouvelle Flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales.  
Ed. Amatol. France. 288 p.
- Rao K.V.G.K., Kamra S.K. and kumhara P.S., 1991**: Drainage for reclamation of Waterlogged saline lands in irrigation commands. Better faming in salt affected soils, (13).  
Central soil salinity Research Institute, India, 22p.
- Rhoades J.D. and Laveday J., 1990**: salinity in irrigated agriculture  
Riverside U.S.D.A., pp: 1089-1141.
- Rhoades J.D., Kandiah A. and Mashali A.M., 1992**: The use of saline water for crop production. Irrigation and drainage paper, F.A.O. N<sup>o</sup> 48. Rome 140p.
- Sarson G., 1970**: Résultats d'un essai sur l'alimentation du mouton en période de disette fourragère, au centre d'Ousseltia.  
Tunisie F.A.O. Projet Tun. PP : 16-17.
- Servant J.M., 1978**: La salinité de sol et des eaux: caractérisation et problèmes d'irrigation drainage.  
Bull. B.R.G.M., Sect. III, N<sup>o</sup> 2. pp : 123-142.
- Snoussi S.A. et Halitim A., 1998** : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées : cas de la tomate et du haricot.  
Etude et Gestion des sols. 5 ; 4 pp. 289-298.
- Soufi S.M. and Wallace A., 1982**: Sodium relation in desert plants: Differential effects of NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> on Growth and composition of *Atriplex hymenelytra* (Desert Holly).  
Soil Science vol.134. N<sup>o</sup>1: pp : 69-70.

**Subbardo G.V., Johensen C., Jana M.K., kumar J. and Rao V.D.K., 1990:** Effects of the sodium (calcium ratio in modifying salinity response of pigeonpea *Cajanus cajan*).  
J. Plant. Physiol., 136. pp: 439-443.

**Thuault R., 1984 :** Culture d'organes et rhizogénèse de deux Halophytes  
*Atriplex arenaria* w. et *Atriplex littoralis* L..  
Thèse Doct. 3<sup>ème</sup> cycle Biol. végét. Uni. Caen.194 p.

**Ungar I., 1987:** Population ecology of halophytes seeds.  
Bot. Rev, 53, pp : 301-304.

**U.S.S.L., 1954:** Diagnostic and improvement of saline and alkaline soils.  
U.S.D.A., Hand book N<sup>o</sup> 60, 160p.

**Wilson A.A., 1992:** Halophytes and Halophytic communities in Australia:  
Ecology as a rangeland resource.  
In A.Ayoub and V.R. Squires (Eds), Proc.UNEP consultative Group  
on Halophytes as a Resource for livestock and for rehabilitation of  
degraded land. Nairobi, Kenya, Nov. 22-27.

**Wilson C., Lesch S.M. and Greive C.M., 2000:** Growth Stage modulates  
salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonioides* Pall) and red  
orach (*Atriplex hortensis* L.).  
Ann. Bot. 85: 501-509.

**Winicov I., 1998:** New molecular approaches to improving salt tolerance in  
crop plants.  
Ann. Bot. 82, pp : 703-710.

**Wurtele E.S., 1987:** Responses of callus cultures, micro shoot cultures and  
whole plants of the halophyte, *Atriplex canescens* var.gigantia to exogenous  
NaCl.  
Ed. IRSFS. Ogden. U.S. PP: 40-48.

**Yeo A.R., Flowers T.J., 1982:** Accumulation and localization of sodium ion  
within the shoot of rice (*Oriza sativa*) varieties  
differing in salinity resistance.  
Plant. Physiol. 36-37.

**Yeo A.R., 1983:** Salinity resistance. Physiologies and prices.  
Physiol. Plant., 58, pp : 214-222.

**Zid E. et Boukhris M., 1976:** Etude du comportement physiologique de l'*Atriplex halimus* L. à l'égard du chlorure de sodium en vue de sa culture en milieu salé.  
F.A.O.groupe de herbages méditerranéens 2<sup>ème</sup> réunion.  
20-23 avril 1976. 10 p.

**Zid E. et Boukhris M., 1977 :** Quelques aspects de la tolérance d'*Atriplex halimus* L. au chlorure de sodium multiplication, croissance, composition minérale.  
Tome 12, N<sup>o</sup> 4, pp : 351-362.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Analyse de la variance du pourcentage de germination

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	34608,73	43	804,85				
Var. Facteur 1	34018,73	10	3401,87	190,27	0,0000		
Var.Résiduelle1	590.00	33	17.88			4.23	5.7%

### Annexe2 : Analyse de la variance du nombre de paires de feuilles

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	159.85	109	1.47				
Var. Facteur 1	94.96	10	9.50	14.49	0.0000		
Var.Résiduelle1	64.90	99	0.65			0.81	30.2%

### Annexe 3 : Analyse de la variance de la longueur de la tige

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	479.68	109	4.40				
Var. Facteur 1	284.99	10	28.50	14.49	0.0000		
Var.Résiduelle1	194.69	99	1.97			1.4	47.5%

**Annexe 4:** Analyse de la variance de la longueur de la racine principale

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	408.01	109	374				
Var. Facteur 1	174.98	10	17.50	7.43	0.0000		
Var.Résiduelle1	233.03	99	2.35			14.74	37.5%

**Annexe 5 :** Analyse de la variance de la matière fraîche de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	108930.47	109	999.36				
Var. Facteur 1	87412.87	10	8741.29	40.22	0.0000		
Var.Résiduelle1	21517.60	99	217.35			14.74	17.2%

**Annexe 6 :** Analyse de la variance de la matière fraîche de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	12217.98	109	112.09				
Var. Facteur 1	10083.79	10	1008.38	46.78	0.0000		
Var.Résiduelle1	2134.18	99	21.56			4.64	19.2%

**Annexe 7 :** Analyse de la variance de la matière sèche de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	732.61	109	6.72				
Var. Facteur 1	10	50.44	21.88	21.88	0.0000		
Var.Résiduelle1	99	2.31				1.52	20.6%

**Annexe 8 : Analyse de la variance de la matière sèche de la partie racinaire**

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	188.59	109	1.73				
Var. Facteur 1	158.80	10	15.88	52.78	0.0000		
Var.Résiduelle1	29.79	99	0.30			0.55	15.5%

**Annexe 9 : Analyse de la variance de la matière sèche totale**

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	1523.57	109	13.98				
Var. Facteur 1	1151.11	10	115.11	30.60	0.0000		
Var.Résiduelle1	372.46	99	3.76			1.94	17.8%

**Annexe 10 : Analyse de la variance de la teneur en sodium des tissus de la partie aérienne**

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	193.75	32	6.05				
Var. Facteur 1	191.69	10	19.17	205.04	0.0000		
Var.Résiduelle1	2.06	22	0.09			0.31	15.4%

**Annexe 11 : Analyse de la variance de la teneur en sodium des tissus de la partie racinair**

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	52.14	32	1.63				
Var. Facteur 1	51.84	10	5.18	383.73	0.0000		
Var.Résiduelle1	0.30	22	0.01			0.12	4.2%

**Annexe 12** : Analyse de la variance de la teneur en potassium des tissus de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	193.75	32	6.05				
Var. Facteur 1	191.69	10	19.17	205.04	0.0000		
Var.Résiduelle1	2.06	22	0.09			0.31	15.4%

**Annexe 13** : Analyse de la variance de la teneur en potassium des tissus de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	31.68	32	0.99				
Var. Facteur 1	27.95	10	2.80	16.50	0.0000		
Var.Résiduelle1	3.73	22	0.17			0.41	13.3%

**Annexe 14** : Analyse de la variance de la teneur en calcium des tissus de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	3.83	32	0.12				
Var. Facteur 1	2.52	10	0.35	25.29	0.0000		
Var.Résiduelle1	.31	22	0.01			0.12	16.1%

**Annexe 15** : Analyse de la variance de la teneur en calcium des tissus de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	1.26	32	0.04				
Var. Facteur 1	1.25	10	0.12	229.09	0.0000		
Var.Résiduelle1	0.01	0.00				0.02	5.7%

**Annexe 16** : Analyse de la variance du pourcentage de germination

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	6150.18	43	143.03				
Var. Facteur 1	5850.18	10	585.02	64.35	0.0000		
Var.Résiduelle1	300.00	33	9.09			3.02	3.4%

**Annexe 17** : Analyse de la variance du nombre de paires de feuilles

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	202.22	109	1.86				
Var. Facteur 1	77.62	10	7.76	6.17	0.0000		
Var.Résiduelle1	124.60	99	1.26			1.12	29.0%

**Annexe 18** : Analyse de la variance de la longueur de la tige

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	593.29	109	5.44				
Var. Facteur 1	199.29	10	19.93	5.01	0.0000		
Var.Résiduelle1	393.99	99	3.98			1.99	43.2%

**Annexe 19** : Analyse de la variance de la longueur de la racine principale

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	299.70	109	2.75				
Var. Facteur 1	105.10	10	10.51	5.35	0.0000		
Var.Résiduelle1	194.60	99	1.97			1.40	31.5%

**Annexe 20** : Analyse de la variance de la matière fraîche de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	236441.33	109	2169.19				
Var. Facteur 1	89657.06	10	8965.71	6.05	0.0000		
Var.Résiduelle1	146784.27	99	1482.67			38.51	61.06%

**Annexe 21** : Analyse de la variance de la matière fraîche de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	7915.97	109	72.62				
Var. Facteur 1	2372.28	10	237.23	4.24	0.0001		
Var.Résiduelle1	5543.69	99	56.00			7.48	65.2%

**Annexe 22** : Analyse de la variance de la matière sèche de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	1580	109	14.50				
Var. Facteur 1	559.81	10	55.98	5.43	0.0000		
Var.Résiduelle1	1021.10	99	10.31			3.21	57.0%

**Annexe 23** : Analyse de la variance de la matière sèche de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	181.27	109	1.66				
Var. Facteur 1	82.13	10	8.21	8.20	0.0000		
Var.Résiduelle1	99.15	99	1.00			1.00	51.4%

**Annexe 24** : Analyse de la variance de la matière sèche totale

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	2236.89	109	20.52				
Var. Facteur 1	1053.90	10	105.39	8.82	0.0000		
Var.Résiduelle1	1182.99	99	11.95			3.46	46.6%

**Annexe 25** : Analyse de la variance de la teneur en sodium des tissus de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	1272.45	32	39.76				
Var. Facteur 1	1253.05	10	125.30	142.12	0.0000		
Var.Résiduelle1	19.40	22	0.80			0.94	11.5%

**Annexe 26** : Analyse de la variance de la teneur en sodium des tissus de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	249.00	32	7.78				
Var. Facteur 1	242.62	10	24.26	83.79	0.0000		
Var.Résiduelle1	6.37	22	0.29			0.54	13.0%

**Annexe 27** : Analyse de la variance de la teneur en potassium des tissus de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	24.97	32	0.78				
Var. Facteur 1	24.86	10	2.39	47.04	0.0000		
Var.Résiduelle1	1.12	22	0.05			0.23	21.0%

**Annexe 28** : Analyse de la variance de la teneur en potassium des tissus de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	371.20	32	11.60				
Var. Facteur 1	367.49	10	36.75	218.18	0.0000		
Var.Résiduelle1	3.71	22	0.17			0.41	8.8%

**Annexe 29** : Analyse de la variance de la teneur en calcium des tissus de la partie aérienne

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	4.79	32	0.15				
Var. Facteur 1	4.36	10	0.44	22.30	0.0000		
Var.Résiduelle1	0.43	22	0.02			0.14	28.6%

**Annexe 30** : Analyse de la variance de la teneur en calcium des tissus de la partie racinaire

Sources de variation	S.C.E	DDL	Carrés moyens	Test.F	Proba.	E.T	C.V
Var. Totale	64.81	32	2.03				
Var. Facteur 1	61.42	10	6.14	39.85	0.0000		
Var.Résiduelle1	3.39	22	0.15			0.39	17.7%