

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique  
المدرسة الوطنية العليا للفلاحة – الحراش – الجزائر  
Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ex. INA) - El Harrach -Alger

**Ecole Doctorale : Biotechnologies Végétales**

**مدرسة الدكتوراه : تقانة حيوية نباتية**



## **Mémoire**

**En vue de l'obtention du diplôme de Magister en**

**Biotechnologies végétales**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET DE L'ACIDE  
SALICYLIQUE SUR LES REPNSES PHYSIO-BIOCHIMIQUES DES  
DEUX VARIETES DE BLE DUR SOUMISES AU STRESS SALIN**

**Présenté par : LAKACHE ZINEB**

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>KHELIFI. L</b>	<b>Professeur, ENSA El harrach, Alger</b>	<b>Président de jury</b>
<b>KAMELI. A</b>	<b>Professeur, ENS Kouba, Alger</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>BOUDJENIBA. M</b>	<b>Maître de conférences, ENS Kouba, Alger</b>	<b>Examineur</b>

2010

**Remerciements**

*Je tiens à remercier vivement le docteur KAMELI. A. mon promoteur, qui m'a aimablement accueillie au sein de son équipe. Il m'a confié un sujet qui m'a permis de m'initier à la recherche. Il a veillé à ce que je dispose de bonnes conditions de travail. Qu'il reçoit l'expression de ma profonde gratitude et reconnaissance pour la confiance qu'il m'a accordée, son soutien, sa rigueur scientifique, son exigence, sa disponibilité, ses conseils et son regard critique sur ce travail qui m'a permis d'avancer dans ma réflexion. J'adresse aussi mes vifs remerciements à tous les membres du Jury:*

*M<sup>r</sup> KHELIFI. L, professeur à l'ENSA, qui nous a fait profiter de sa grande expérience par l'enseignement qu'il nous a prodigué durant la post graduation et qui, malgré ses multiples occupations, m'a fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect.*

*Je suis également honoré de compter parmi les membres de jury, M<sup>r</sup> BOUDJENIBA. M, Maître de conférences à l'ENS, qui a accepté la lourde tâche d'examinateur malgré ses nombreuses activités. Qu'il trouve ici mon profond respect et gratitude.*

*À M<sup>r</sup> TOUMI. M, Maître de Conférences à l'ENS, qui a bien voulu participer à notre jury et me faire bénéficier de ses critiques constructives. Qu'il trouve ici mon gratitude et sympathie.*

*Je remercie très vivement M<sup>r</sup> MEHDID pour ses conseils fructueux, ses orientations et son aide scientifique*

*Je tiens à exprimer ma gratitude et ma profonde reconnaissance à tous mes enseignants de l'école doctorale de Biotechnologies végétales.*

*En fin, je tiens à remercier toute personne ayant participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.*

**RESUME DE LA CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'EFFET DE L'ACIDE SALICYLIQUE SUR LES REPONSES PHYSIO-BIOCHIMIQUES DES DEUX VARIETES DE BLE DUR SOUMISES AU STRESS SALIN**

La culture de blé dur dans les zones arides et semis arides est soumise aux effets d'un climat fortement stressé et variable. Dans ces zones, le stress salin constitue un facteur limitant pour la croissance des végétaux. Face à ce problème, on utilise le traitement par l'acide salicylique pour améliorer la croissance et augmenter la tolérance des plantes à la salinité au stade de germination et de croissance chez deux variétés de blé dur *triticum durum* (Waha et M.B.B).

L'objectif de notre étude est de déterminer les effets de l'acide salicylique à des concentrations croissantes (0.05, 0.5, 5 mM) et avec des modes d'applications différentes (pulvérisation foliaire et addition dans la solution nutritive) sur quelques processus physiologiques et biochimiques des deux variétés de blé dur, Waha et M.B.B sous conditions salines.

Les principaux résultats de cette étude montrent que le trempage des graines de blé dur (Waha et M.B.B) dans la solution de l'acide salicylique à concentration (0.05 mM), 6h avant l'application de NaCl, accélère et stimule la germination alors que les fortes doses de cet acide (0.5, 5mM) retardent et inhibent la germination, sous conditions salines. Cette inhibition augmente avec l'accroissement de la concentration de l'acide salicylique. La pulvérisation foliaire par des solutions en acide salicylique à faible dose (0.05 mM) améliore aussi la croissance et augmente la tolérance à la salinité chez les deux variétés stressées en NaCl. La faible concentration en acide salicylique (0.05 mM) entraîne une régulation d'accumulation des ions de Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et les sucres totaux. De plus, l'application de l'acide salicylique à fortes doses (0.5, 5 mM) baisse significativement la croissance chez les deux variétés Waha et M.B.B sous conditions salines. Par contre, l'addition de l'acide salicylique dans la solution nutritive, même à de faibles

concentrations, diminue et réduit la croissance, en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus. Cette réduction augmente avec l'accroissement de la dose de cet acide.

**Mots clés :** stress salin, blé dur, acide salicylique

ملخص دراسة تأثير حمض سلسليك على الاستجابة الفيزيوكيميائية دي صنفين من قمح صلب  
معرضين للإجهاد ملحي

زراعة القمح الصلب في المناطق الجافة و شبه الجافة تخضع لتأثيرات المناخ الجاف و المتغير. في هذه المناطق تعتبر الملوحة عامل سلبي يؤثر على نمو النبات. و لمواجهة هذه المشكلة ستخدم حمض سلسليك (acide salicylique) لتحسين النمو و زيادة مقاومة النباتات للملوحة خلال مرحلة الإنبات و النمو عند صنفين من القمح الصلب صنف واحة ( Waha ) محمد بن بشير (MBB).

الهدف من هذه الدراسة إظهار تأثير حمض سلسليك بتركيز متزايدة ( 0.05, 0.5, 5 ممول/ل) و باستعمال عدة طرق (رش حمض سلسليك على الاوراق و اذابته في المحلول المغذي) على بعض الخصائص الفيزيولوجية و البيوكيميائية للصنفين واحة و محمد بن بشير وذلك في ظروف ملحية.

النتائج الأساسية لهذا البحث تظهر ان قمح بذور القمح الصلب واحة ( Waha ) و محمد بن بشير (MBB) في محلول حمض سلسليك ذو التركيز 0.05 ممول/ل 6 ساعات قبل اذابة كلوريد الصوديوم يسرع و يحفز الإنبات في حين ان التراكيز العالية ( 0.5, 5 ممول/ل ) تثبط الإنبات و ذلك في ظروف ملحية. هذا التثبيط يزداد مع زيادة تراكيز حمض سلسليك. رش الاوراق بتركيز عيفة من حمض سلسليك (0.05 ممول/ل) يحسن النمو و يزيد من مقاومة الملوحة عند الصنفين المعالجين بكلوريد الصوديوم. يؤدي التركيز المنخفض لحمض سلسليك (0.05 ممول/ل) الى تنظيم تراكم الايونات و كذلك السكريات الكلية. اذابة تراكيز عالية من حمض سلسليك (0.5, 5 ممول/ل) يؤدي الى انخفاض كبير في نمو الصنفين المدوسين واحة ( Waha ) و محمد بن بشير (MBB) وذلك في ظروف ملحية. اما اذابة حمض سلسليك في المحلول المغذي حتى بتركيز عيفة ينخفض النمو و ذلك بتغيير التوازن المائي و الأيوني في الاسجة. و يزداد هذا الانخفاض مع زيادة تركيز هذا الحمض.

الكلمات المفتاحية : الإجهاد الملحي, القمح الصلب, حمض سلسليك.

## ABSTRACT

The cultivation of durum wheat in arid and arid planting is subject to the effects of a climate variable and highly stressed. In these areas, salt stress is a limiting factor for growth of vegetative material. Faced with this problem, using the salicylic acid treatment to improve growth and increase plant tolerance to salinity at the stage of germination and growth in two varieties of durum wheat *Triticum durum* (waha and MBB).

This study was conducted to determine the effects of salicylic acid in increasing concentrations (0.05, 0.5, 5 mM) and different modes of application (either by foliar spray or by adding this acid in the solution hydroponique) on some physiological and biochemical parameters in two varieties of wheat durum Waha et M.B.B under conditions salines.

Principals The results of this study show that soaking the seeds of durum wheat (waha and MBB) in solution salicylique acid concentration (0.05 mM), 6 hours before the application of NaCl accelerates and stimulates germination; while high doses of this acid (0.5, 5 mM), delay and inhibits germination under saline conditions. This inhibition increases with increasing concentration of the salicylique acid. aussi by foliar spray solutions in a low dose (0.05 mM), improves growth and increases tolerance to salinity in both varieties in stresses NaCl. The low concentration of AS (0.05 mM), leads to regulation of ion accumulation of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and total sugars. plus the application of AS at high doses (0.5, 5 mM), significantly lower growth in both varieties under conditions waha and MBB salines. parcontre the addition of AS in the hydroponic solution even at low concentrations, decreased growth and reduced by changing the water balance and ion tissue. This reduction is increased with increasing

dose of this acid.

## Liste des abréviations

**ABA:** Abscissic Acid

**ABP1 :** Auxin-Binding Protein 1

**AcPMP3-1 :** Aneurolepidium chinense Plasma Membrane Protein 3-1

**AIA :** Acide Indolacétique

**AgCl :** Chlorure d'argent

**AgNO<sub>3</sub>:** Nitrate d'argent

**AS :** Acide Salicylique

**CE :** Conductivité Electrique

**DW:** Dry Weight

**FW:** Fresh Weight

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:** Acide Sulfurique

**HCl:** Acide chlorhydrique

**ITCG :** Institut Technique des Grandes Cultures

**NaCl:** Chlorure de sodium

**NaOH:** Hydroxyde de sodium

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:** Nitrate

**RWC:** Relative Water Content

**TW:** Turgid Weight

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau I</b> : Evaluation des eaux d'irrigation (Daoud et Halitim, 1994).....	5
<b>Tableau II</b> : Concentrations en NaCl et AS.....	23
<b>Tableau III</b> : Concentrations en NaCl et AS.....	23
<b>Tableau IV</b> : Composition de la solution nutritive selon Kerepsi et Galiba (2000).....	24

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Effet du NaCl sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en l'absence de l'AS.....	29
<b>Figure 2:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en conditions salines. ....	29
<b>Figure 3:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en conditions salines. ....	29
<b>Figure 4:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en conditions salines. ....	29
<b>Figure 5:</b> Effet du NaCl sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété M.B.B en l'absence de l'AS. ....	30
<b>Figure 6:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété M.B.B en conditions salines.....	30
<b>Figure 7:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété M.B.B en conditions salines.....	30
<b>Figure 8:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété M.B.B en conditions salines ....	30
<b>Figure 9 :</b> Effet de l'AS à différentes concentrations sur le pourcentage final de germination des deux variétés de blé dur en conditions salines.....	31
<b>Figure 10:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 3 <sup>ème</sup> feuille chez la variété Waha en conditions salines.....	36
<b>Figure 11:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 3 <sup>ème</sup> feuille chez la variété M.B.B en conditions salines.....	36
<b>Figure 12:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 3 <sup>ème</sup> feuille chez la variété Waha en conditions salines.....	36
<b>Figure 13:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 3 <sup>ème</sup> feuille chez la variété M.B.B en conditions salines.....	36
<b>Figure 14:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 3 <sup>ème</sup> feuille chez la variété Waha en conditions salines.....	36
<b>Figure 15:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 3 <sup>ème</sup> feuille chez la variété M.B.B en conditions salines.....	36
<b>Figure 16:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	37
<b>Figure 17:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines ....	37
<b>Figure 18:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	37
<b>Figure 19:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	37



<b>Figure 20:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>37</b>
<b>Figure 21:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>37</b>
<b>Figure 22:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la pression osmotique au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>38</b>
<b>Figure 23:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>38</b>
<b>Figure 24:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la pression osmotique au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>38</b>
<b>Figure 25:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>38</b>
<b>Figure 26:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la pression osmotique au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>38</b>
<b>Figure 27:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>38</b>
<b>Figure 28:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>40</b>
<b>Figure 29:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>40</b>
<b>Figure 30:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>40</b>
<b>Figure 31:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>40</b>
<b>Figure 32:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>40</b>
<b>Figure 33:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>40</b>
<b>Figure 34:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en K <sup>+</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>41</b>
<b>Figure 35:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en K <sup>+</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>41</b>
<b>Figure 36:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en K <sup>+</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>41</b>
<b>Figure 37:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en K <sup>+</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>41</b>
<b>Figure 38:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en K <sup>+</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>41</b>
<b>Figure 39:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en K <sup>+</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>41</b>
<b>Figure 40:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en Na <sup>+</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>43</b>
<b>Figure 41:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en Na <sup>+</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>43</b>
<b>Figure 42:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en Na <sup>+</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>43</b>
<b>Figure 43:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en Na <sup>+</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>43</b>

<b>Figure 44:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en Na <sup>+</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>43</b>
<b>Figure 45:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en Na <sup>+</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>43</b>
<b>Figure 46:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en Cl <sup>-</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>44</b>
<b>Figure 47:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en Cl <sup>-</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>44</b>
<b>Figure 48:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en Cl <sup>-</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>44</b>
<b>Figure 49:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en Cl <sup>-</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>44</b>
<b>Figure 50:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en Cl <sup>-</sup> au niveau de la 2 <sup>ème</sup> et la 3 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>44</b>
<b>Figure 51:</b> Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en Cl <sup>-</sup> au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>44</b>
<b>Figure 52:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez la variété Waha en conditions salines.....	<b>52</b>
<b>Figure 53:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez la variété M.B.B en conditions salines.....	<b>52</b>
<b>Figure 54:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez la variété Waha en conditions salines.....	<b>52</b>
<b>Figure 55:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez la variété M.B.B en conditions salines.....	<b>52</b>
<b>Figure 56:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>53</b>
<b>Figure 57:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>53</b>
<b>Figure 58:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>53</b>
<b>Figure 59:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>53</b>
<b>Figure 60:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la pression osmotique au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>54</b>
<b>Figure 61:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>54</b>
<b>Figure 62:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la pression osmotique au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>54</b>
<b>Figure 63:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>54</b>
<b>Figure 64:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>56</b>
<b>Figure 65:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>56</b>
<b>Figure 66:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>56</b>
<b>Figure 67:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>56</b>

<b>Figure 68:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en $K^+$ au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>58</b>
<b>Figure 69:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en $Na^+$ au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>58</b>
<b>Figure 70:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en $K^+$ au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>58</b>
<b>Figure 71:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en $Na^+$ au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>58</b>
<b>Figure 72:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en $Na^+$ au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>59</b>
<b>Figure 73:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en $Na^+$ au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>59</b>
<b>Figure 74:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en $Na^+$ au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>59</b>
<b>Figure 75:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en $Na^+$ au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>59</b>
<b>Figure 76:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en $Cl^-$ au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>60</b>
<b>Figure 77:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en $Cl^-$ au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines .....	<b>60</b>
<b>Figure 78:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en $Cl^-$ au niveau de la 2 <sup>ème</sup> feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>60</b>
<b>Figure 79:</b> Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en $Cl^-$ au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines.....	<b>60</b>

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPITRE I – DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>1-Définition du stress</b> .....	4
<b>2-Le stress salin</b> .....	4
<b>3- Classification des sols salés : les sols Salic</b> .....	4
<b>4-Comportement des végétaux vis-à-vis de la salinité</b> .....	5
4-1-Les halophytes et les glycophytes.....	5
4-2-Réponses des végétaux à la salinité selon le stade de développement.....	6
4-2-1Germination.....	6
4-2-2-Croissance et développement.....	6
<b>5-Effets du stress salin sur les plantes</b> .....	7
5-1- Effets sur le bilan hydrique.....	7
5-2-Effets nutritionnels.....	8
5-3-Effets sur la photosynthèse.....	8
5-4-Effets sur le métabolisme lipidique.....	8
5-5-Effets sur le métabolisme hormonal.....	9
5-6-Effets sur le métabolisme enzymatique.....	9
<b>6-Mécanismes de Tolérance</b> .....	10
6-1-Mécanismes morphologiques.....	10
6-2-Mécanismes biochimique et physiologiques.....	10
6-2-1 -Ajustement osmotique.....	10
6-2-1-1 -Accumulation des sucres.....	11
6-2-1-2-Accumulation de la proline.....	11
6-2-2-Contrôle membranaire.....	12
6-2-3-Compartmentation et sécrétion de sel « inclusion et exclusion ».....	12
<b>7-Définition de l'acide salicylique</b> .....	14
<b>8-Caractères chimiques</b> .....	14
<b>9- Biosynthèse de l'acide salicylique</b> .....	14

<b>10-Effets de l'acide salicylique sur la plante.....</b>	<b>15</b>
10.1. Effets sur la croissance.....	15
10.2. Effets sur la photosynthèse.....	15
10.3. Effets sur le métabolisme de nitrate.....	16
10.4. Effet sur la Floraison.....	17
10.5. Effet sur La biosynthèse de l'éthylène.....	17
<b>11-Mécanisme de tolérance au stress salin.....</b>	<b>17</b>
<b>12-Importance économique de blé dur.....</b>	<b>20</b>
<b>CHAPITRE II- MATERIELS ET METHODES</b>	
<b>1- Matériel végétal.....</b>	<b>21</b>
<b>2-Dispositif expérimental.....</b>	<b>21</b>
2-1- Germination .....	21
2-2- Croissance.....	22
<b>CHAPITRE III- RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
<b>SECTION1 -Effets de l'acide salicylique sur la germination</b>	
1-Introduction .....	27
2-Résultats .....	28
3-Discussion .....	32
<b>SECTION II -Effets de l'addition de l'acide salicylique dans la solution nutritive</b>	
1- Introduction .....	34
2-Résultats.....	35
3-Discussion .....	45
<b>SECTION III -Effets de la pulvérisation foliaire de l'acide salicylique</b>	
1-Introduction .....	50
2-Résultats.....	51
3-Discussion.....	61
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	

# **ETUDE DE LA BIBLIOGRAPHIE**

## INTRODUCTION

La salinisation des sols est l'une des principales causes limitant la production agricole, particulièrement en régions arides et semi arides (Epstein et *al* ; 1980 ; Munns, 2002). En effet, près de 260 millions (Dudal, 1990) à 340 millions d'ha des terres dans le monde sont affectés par le phénomène de salinisation (Szabolcs, 1994 ; Keren, 2000). Selon Bellefontaine et *al.* (2000), 66% des régions arides sont localisées en Afrique. En Algérie, plus de 15% de la surface cartographiée sont occupés par des sols salés (Halitim, 1985).

Les régions arides et semi-arides sont caractérisées par un climat de faible pluviométrie et de forte évaporation (Epstein et *al* ; 1980). Cette variabilité climatique est souvent à l'origine d'une accumulation de sels solubles dans la rhizosphère (Bohnert et *al*; 1995 ; Sameni et Morshedi, 2000). Ainsi, l'irrigation sans le suivi des techniques appropriées et l'utilisation des précautions nécessaires accélère la salinisation et aggrave le problème (Rohades et *al*; 1992) ; ce qui entraîne des difficultés d'alimentation pour la plante, liées à la pression osmotique et à l'effet toxique de certains éléments (Epstein et *al* ;1980; Flowers et Yeo, 1995) .

En effet, pour atténuer la toxicité dans les milieux hautement concentrés, les plantes, aussi bien les halophytes que les glycophytes, peuvent développer plusieurs mécanismes pour assurer leur cycle de croissance et de développement. Certaines espèces utilisent le mécanisme d'exclusion des sels en excès (Alem et Amri, 2005) ou les compartimentations dans la vacuole (Niu et *al*; 1995). D'autres espèces synthétisent des composés organiques ayant un rôle d'osmoprotecteurs (Rivoal et Hanson, 1994; Rathinasabapathi et *al*; 2000) ou de régulateurs osmotiques (Sannada et *al*; 1995; El-Shintinawy et Hassanein, 2001).

La salinité constitue un obstacle majeur pour la croissance des végétaux. La culture du blé dur se trouve confrontée à ce problème en Algérie. Les céréales occupent une place importante dans l'agriculture algérienne, soit les 2/3 de la

production totale. A lui seul, le blé dur représente 40% de la production céréalière et occupe près de 40% de la superficie totale consacrée à la céréaliculture (Hamadache, 2001).

Face à ce problème de salinité, plusieurs auteurs proposent un traitement par l'acide salicylique (AS) pour améliorer la tolérance au stress salin au stade de germination et de croissance chez les plantes (Arberg, 1981). Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que l'application de l'acide salicylique (AS) à concentration de 0.05mM sur les feuilles, entraîne une amélioration de la croissance et une augmentation de la tolérance à la salinité (Shakirova et al ; 2003; Borsani et al ; 2001). L'application de l'AS (0.01-0.1 mM) réduit et diminue les effets néfastes de la salinité (Fariduddin et al; 2003). En plus, Pancheva et al. (1996) ont observé qu'une exposition à l'AS (0.05 mM) peut stimuler la germination et la croissance chez de nombreuses espèces tels que le blé, l'orge et le maïs. L'AS exerce leur influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant, la photosynthèse, la perméabilité de la membrane, l'activité enzymatique, la floraison, la croissance et le développement des plantes (Arberg, 1981). Par contre, Pancheva et al. (1996) signalent que le traitement par l'AS (0.1-10 mM) inhibe et réduit la croissance des feuilles et des racines chez certaines espèces et que le succès de la tolérance à la salinité est relié à la concentration de l'AS dans leur milieu.

D'autres travaux rapportent que l'addition de l'acide salicylique (AS) dans la solution nutritive même à de faibles concentrations réduit et inhibe la croissance chez plusieurs espèces, en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus. Cette réduction augmente avec l'accroissement de la dose de cet acide (Tasgin et al; 2003). Dans le même sens, Yu et al. (2001) signalent que, le traitement de l'AS par cette méthode, est un des facteurs critiques qui affecte défavorablement la croissance des plantes.

Dans le présent travail, nous avons cherché à étudier les effets de l'AS à des concentrations croissantes sur la germination et la croissance chez deux variétés de blé



dur (Waha et M.B.B) sous conditions salines. Notre travail consiste aussi à déterminer si la dose et le mode d'application de l'AS, soit par la pulvérisation sur les feuilles soit par l'addition de cet acide dans la solution nutritive, possèdent des effets positifs ou négatifs sur la tolérance de ces deux variétés à la salinité.

Notre investigation est basée essentiellement sur des paramètres-biochimiques chez deux variétés de blé dur, soumises aux contraintes salines en présence de l'AS à des concentrations croissantes (0.05, 0.5, 5 mM) et différents mode d'applications.

# **CHAPITRE I – ETUDE DE LA BIBLIOGRAPHIE**

## **1-Définition du stress**

Un stress désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux ou encore une condition non optimale causée par un facteur qui tend à altérer l'équilibre des fonctions d'un organisme (Orcutt et Nilsen, 2000)

## **2-Le stress salin**

La salinité est actuellement un des facteurs abiotiques les plus sévères qui limitent la production agricole. Dans les zones arides et semi-arides, les plantes sont soumises au cours de leur cycle à différents stress. Quelques unes de ces plantes peuvent tolérer ces stress par différents mécanismes selon les espèces et le type de stress. La salinité du sol et de l'eau est causée par la présence de quantités excessives de sels. Le plus communément, l'excès de  $\text{Na}^+$  et du  $\text{Cl}^-$  cause le stress salin (Parida et Das, 2005). Le stress salin est devenu une grande menace à la production alimentaire à cause de l'irrigation devenant un problème majeur pour les sols, suite au processus de la salinisation (Munns, 2002).

## **3- Classification des sols salés : les sols Salic**

### **3-1-Les sols « Salic » chlorurés**

Parmi ceux-ci, deux types peuvent être différenciés :

#### **-Les sols « Salic » chlorurés, acidifiés**

D'origine marine stricte, mais influencés par l'acidité potentielle des sols de mangroves. Le pH est acide (5-3,5), le calcium pratiquement absent du milieu, et les sulfates, représentés uniquement par ceux de l'eau de mer, en très faible proportion relative ; le sodium domine dans les solutions : ( $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Na} > \text{Ca}$ ).

### **-Les sols « Salic » chloruro-sulfatés neutres**

D'origine le plus souvent marine, mais parfois enrichis par du gypse sédimentaire redistribué par les eaux continentales. Le pH est proche de la neutralité. Les sulfates et chlorures sont en proportions variables relativement, et supérieures aux bicarbonates et carbonates ; sodium ; calcium sont quantitativement variables.

### **3-2-Les sols « Salic » sulfatés**

Selon deux milieux géochimiques, on peut distinguer :

#### **-Les sols « Salic » sulfatés neutres**

D'origine continentale stricte, cette salinité est souvent induite par la nature d'eaux d'irrigation très chargées en sulfates et sodium. Le pH est proche de la neutralité.

#### **-Les sols « Salic » sulfatés acides**

Ils ont origine marine et sont formés à partir des milieux de mangroves potentiellement acides, dont l'acidification est exacerbée par les sécheresses climatiques des pays tropicaux. Le milieu devenu hyperacide ( $\text{pH} < 3,5$ ) (Le Brusq et al ; 1987).

### **3-3-Les sols « Salic » carbonatés**

Cette salinité est représentative des bassins endoréiques continentaux. Le pH est plus ou moins alcalin, toujours supérieur à 8,5.

## **4-Comportement des végétaux vis-à-vis de la salinité**

### **4-1-Les halophytes et les glycophytes**

Il est bien connu que les végétaux présentent un très large spectre de comportement vis-à-vis de la salinité. Certaines espèces peuvent supporter jusqu'à 30g/l de NaCl (0.5M, soit à peu près la concentration de l'eau de mer) tandis que d'autres voient leur croissance réduite ou inhibée à de plus faibles teneurs en sels du milieu (Bois, 2005). En termes de salinité ou de pression osmotique, il existe pour chaque culture, des limites plus ou moins restreintes dans lesquelles la croissance de la

plante est normale. Chaque culture a une tolérance à la salinité qui lui est propre ; celle-ci est en relation directe avec les besoins en éléments nutritifs de cette culture. Les plantes sont classés en deux groupes suivant leur comportement vis-à-vis du sel : les glycophytes sensibles au sel, et les halophytes tolérantes au sel (Flowers et Yeo, 1995).

Le terme halophyte (du grec « *halo* » : sel et « *phyt(o)* » : plante) définit un organisme qui vit, croît et se reproduit naturellement dans un milieu salin alors qu'un glycophyte (du grec « *glyco* » : sucré) ne peut croître en milieu salin. La grande majorité des stress salins est provoquée par des sels de Na<sup>+</sup>, particulièrement le NaCl. De ce fait, les termes halophytes et glycophytes font essentiellement référence aux stress provoqués par un excès de Na<sup>+</sup> (Bois, 2005).

## **4-2-Réponses des végétaux à la salinité selon le stade de développement**

### **4-2-1-Germination**

La germination des graines est l'une des phases les plus critiques de la vie d'une plante, elle est grandement influencée par la salinité. L'effet de la salinité sur la germination des graines peut être partiellement osmotique ou dû à la toxicité des ions qui peut altérer le processus physiologique comme l'activité enzymatique (Begum et al ; 1992 ; Croser et al; 2001 ; Essa et Al-Ani, 2001 ; Waisel, 1989; Ungar, 1996).

Il a été montré que l'inhibition de la germination dans les milieux salins était due au stress osmotique ou de la toxicité de l'ion spécifique car le taux de la germination a augmenté quand les graines ont été transférées de la solution saline à l'eau distillée (Mohammad et Sen, 1990 ; Keiffer et Ungar,1995 ; Ghoulam et Fores, 2001).

### **4-2-2-Croissance et développement**

La salinité est l'un des stress de l'environnement les plus importants qui entrave la croissance des plantes et réduit sévèrement les rendements en production agricole (Epstein et al; 1980; Flowers et Yeo, 1995). Le facteur clé qui limite la croissance de la plante sous stress salin, en plus de la réduction du potentiel hydrique, est l'excès du

Na<sup>+</sup>, élément minéral nocif non recherché par la plupart des espèces glycophytes pour leur croissance normale (Hayashi et Murata 1998 ; Munns, 2002; Benlloch-Gonzalez et al; 2005).

Dans les glycophytes, la croissance et le développement de la plante sont généralement limités par la salinité. La plupart des espèces de production sont des glycophytes qui ne croissent pas dans les conditions salines. Cependant, avec l'augmentation des terres arables salinisées (Szabolcs, 1994) et la demande croissante alimentaire à cause d'une démographie croissante, le besoin de développer des variétés tolérantes à la salinité est inévitable. Pour développer ces variétés, il est nécessaire d'identifier le degré de tolérance à la salinité des plantes cultivées et leurs types d'adaptation. Les travaux sur la génétique basés sur les différences entre les plantes apparentées sont particulièrement importants parce que ces études portent sur les l'information nécessaire afin de sélectionner des paramètres pour l'amélioration des espèces tolérantes à la salinité (Tester et Davenport, 2003)

## **5-Effets du stress salin sur les plantes**

### **5-1- Effets sur le bilan hydrique**

L'état hydrique des organes du végétal correspond à l'équilibre du flux d'entrée et de sortie de l'eau (Martens et Blancher, 1981). Cet état peut être perturbé par la présence des sels minéraux à fortes concentrations dans le milieu de culture alors que les potentiels hydrique et osmotique baissent (Boyer, 1965; Gale et al; 1967; Hamza, 1980; Boutelier, 1982). La diminution des potentiels hydrique et osmotique en présence de sel dans le milieu de culture; ce qui a été déjà observé chez diverses espèces : l'orge (Hamza, 1973), le cotonnier (Boutelier, 1986).

En outre, le contenu relatif en eau ou « **relative water content** » peut avoir une signification physiologique directe de l'état hydrique du végétal (Ritchie et al; 1990). Etant relié au volume vacuolaire, il peut permettre de connaître durant le stress la concentration en solutés ou une accumulation active des composants osmotiques (Flowers et al ; 1992).

## 5-2-Effets nutritionnels

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu de culture provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes. L'accumulation des ions  $\text{Na}^+$  dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$ . Il y a une compétition entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'interaction entre les ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  influe sur la croissance des racines d'orge (Levigneron *et al*; 1995).

Chez le blé, tout comme chez le riz et la canne à sucre, la concentration élevée de  $\text{NaCl}$  diminue également l'absorption de  $\text{Ca}^{2+}$ . Chez *Brassica campestris* L., qui est relativement tolérante au sel, l'augmentation de la concentration en  $\text{Na}^+$  s'accompagne d'une réduction de la concentration en  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , et  $\text{Ca}^{2+}$  dans la plante (Davenport *et al*; 1997). Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{NO}_3^-$  deviennent limitants (Soltani *et al*; 1990) alors que l'accumulation excessive du chlore diminue l'absorption des anions indemnisables à la croissance et au développement des végétaux, en particulier le nitrate, le nitrite, le phosphore (Botella *et al* ; 1997; Soltani *et al*; 1990; Davenport *et al*; 1997).

## 5-3-Effets sur la photosynthèse

Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que la capacité photosynthétique est réduite par de fortes concentrations de sels (Chaudhary *et al*; 1997; Mo et Beven, 2004 ; Ali *et al*; 1999 ; Ashraf, 2001; Leuning *et al*; 1998) alors que le taux de respiration augmente (Orcutt et Nilsen, 2000). D'autres travaux ont rapporté que la photosynthèse n'est pas affectée par la salinité et même stimulée par de faibles concentrations de sels (Roger *et al* ; 1993 ; Hawkins et Lewis, 1993; Kurban *et al* ; 1999 ; Parida et Das, 2005).

Orcutt et Nilsen (2000) notent que l'effet de  $\text{NaCl}$  sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle, une diminution de la surface foliaire, du nombre de feuilles, des dimensions des stomates, de la conductance

stomatale et par l'augmentation de la résistance stomatique. Les teneurs en protéines solubles des feuilles se trouvent également réduites (Parida et Das ; 2005).

#### **5-4-Effets sur le métabolisme lipidique**

La composition lipidique est modifiée en réponse à un stress de salinité (Mansour et Salama, 2004). L'installation de fortes doses de sels est une des causes de l'endommagement des surfaces membranaires de la cellule (Cramer et *al*; 1990) et des nécroses foliaires (Zid, 1983). L'accumulation excessive de NaCl se traduit par des lésions des structures lipidiques et de l'altération des protéines membranaires. Ceci est accompagné par une modification de la composition en acides gras et de la nature des phospholipides. Cette désorganisation du système membranaire se traduit par une augmentation de la perméabilité membranaire (Taleisnik et Grunberg, 1994 ; Mansour, 1995).

#### **5-5-Effets sur le métabolisme hormonal**

Le traitement par le sel diminue la teneur endogène des cytokinines et inhibe le transport de cette hormone des racines vers les parties aériennes (Itai, 1999). Hamza (1980) a signalé que la salinité augmente la teneur de l'acide abscissique (ABA) au niveau des feuilles.

Le rôle des hormones en milieu salin est indiqué par des travaux sur l'effet physiologique de la perméabilité des membranes cellulaires à l'eau et aux solutés et sur le mécanisme stomatique (Itai et Benzioni, 1976). Ces substances accumulées peuvent servir d'indicateurs métaboliques à la résistance d'une espèce aux contraintes de l'environnement (Hubac et Vierra, 1980).

#### **5-6-Effets sur le métabolisme enzymatique**

Les dégâts observés sur les plantes sont les résultats des altérations occasionnées sur les enzymes qui interviennent dans les processus vitaux de la plante. Elles peuvent être l'effet de la stimulation de quelques enzymes et l'inhibition d'autres comme le soulignait Amrar (1993). Des activités enzymatiques sous l'influence du sel

provoquent des dégâts importants comme la catalase , la peroxydase , l'amylase , la chlorophyllase, la nitrate réductase et la phosphophenol pyruvate carboxylase. Les activités de ces enzymes varient selon le type de sel et sa concentration (Bouriama et *al*; 1986).

## **6-Mécanismes de Tolérance**

La tolérance au sel est un phénomène complexe qui implique des modifications morphologiques ainsi que des modifications physiologiques et biochimiques (Botella et *al*; 1997).

### **6-1-Mécanismes morphologiques**

Les symptômes morphologiques sont des indications des effets nuisibles du stress salin. La salinité peut empêcher la division et élongation cellulaire dans les apex croissant des plantes (Munns et *al*; 1982).

Le stress salin réduit également le contenu de la matière sèche et diminue la taille des feuilles chez le blé. Cette diminution de la surface foliaire se présente comme étant la principale stratégie développée par le blé dur et le blé tendre pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau dans les conditions de stress salin (Alem et *al* ; 2002).

### **6-2-Mécanismes biochimiques et physiologiques**

#### **6-2-1 -Ajustement osmotique**

Quand les plantes sont exposées à la salinité, les ions, particulièrement  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , baissent le potentiel hydrique externe. Il résulte une accumulation exéssive de ces ions dans les cellules, conduisant à l'inhibition de la croissance des plantes et leur développement (Greenway et Munns, 1980). En effet, l'accumulation des sels du cytoplasme dans le vacuole créé un gradient osmotique important à travers la membrane vacuolaire. Ce gradient est équilibré par une augmentation de la synthèse de molécule de soluté dans le cytoplasme. Ce processus est connu sous le nom d'ajustement osmotique ( McCue et Hanson, 1990; Wyn Jones et Story; 1978 ).



L'ajustement osmotique est considéré comme étant une adaptation importante des plantes à la salinité (Zhu, 2001; Niu et al ; 1995; Bohnert et al ; 1995). Il implique l'accumulation des osmoprotecteurs ou des solutés compatibles comme les ions minéraux ( $K^+$ ,  $Cl^-$  et  $Na^+$ ) et/ou de solutés organiques comme la proline, la glycine-bétaïne, les sucres, les acides organiques, etc (Niu et al; 1995). Ces composés, par leur concentration, assurent l'ajustement osmotique entre le cytosol et la vacuole (Yeo, 1998).

#### **6-2-1-1 -Accumulation des sucres**

Les sucres solubles sont souvent considérés comme les solutés les plus importants du point de vue osmotique (Munns et al; 1982). Plusieurs travaux signalent qu'un traitement par le NaCl induit une augmentation de la teneur en sucre :

- Une accumulation de saccharose et amidon chez l'orge (Ferran, 1972; Hamza, 1980).
- Une augmentation de la teneur en glucide chez la carotte (Bernstein ,1975).
- Une accumulation de saccharose chez la féverolle (Gollek, 1973).
- Une augmentation des glucides réducteurs et hydrolysables dans les feuilles de la luzerne (Lessani, 1969).

Cette accumulation des sucres est liée à la résistance des plantes. L'accumulation des sucres réduit aussi les composés toxiques dans les membranes en agissant sur leur perméabilité (Hubac et Vierra, 1980).

#### **6-2-1-2-Accumulation de la proline**

La proline ou acide pyrrolidine2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés naturels qui entrent dans la constitution des protéines. C'est un composé organique, considéré comme un alfa-amino-acide dont la chaîne latérale forme un substituant de la fonction amine. Il est très soluble dans l'eau, le méthanol et le benzène, facilement oxydée par la ninhydrine (Munns, 2002).

La proline est retenue par de nombreux auteurs comme indicateur de la tolérance au froid, à la sécheresse ou à la salinité (Flowers et Yeo, 1995; Calmes et Viala, 1985). Il joue un rôle dans l'ajustement osmotique au niveau de la plante, tout en permettant le déroulement des processus biochimiques (Stewart et Larher, 1980). L'aptitude de la plante à accumuler de la proline est une indication de géotypes tolérants aux différents stress (Hanson et Tully, 1979; Greenway et Munns, 1980).

Le rôle de la proline dans la résistance au stress salin n'est pas encore élucidé. Il pourrait s'agir d'un osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permettrait de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole (Sannada et *al* ; 1995).

### **6-2-2-Contrôle membranaire**

Les membranes cellulaires sont le premier site touché par les différents stress environnementaux. Elles sont sensibles au stress salin (Brown et Dupon, 1989 ; Borochove et Borochove, 1991). Une bonne tolérance à la salinité exige une bonne stabilité des diverses membranes cellulaires qui assurent la compartimentation nécessaire du sel (Leach et *al* ; 1990 a, b).

En conditions salines, le contrôle de la sélectivité ionique  $K^+/Na^+$  est un facteur important pour limiter la montée de  $Na^+$  et assurer une alimentation adéquate des organes aériens en  $K^+$ . Ainsi la plante doit capter le  $K^+$  et exclure le  $Na^+$ . Ceci est réalisé par un transport sélectif à travers la membrane plasmique (Whit, 1999). Le maintien d'un équilibre ionique adéquat dans les conditions de stress salin, est dépendant de divers mécanismes qui régulent le transport ionique au niveau des différents organes de la plante (Schachtman et Liu, 1999)

### **6-2-3-Compartimentation et sécrétion de sel « inclusion et exclusion »**

**-Inclusion :** l'organisme absorbe l'agent stressant pour rétablir l'équilibre thermodynamique avec son environnement sans subir de blessure irréversible, tout en poursuivant sa croissance (Zid, 1983).

**-Exclusion :** l'organisme inhibe ou réduit la pénétration de l'agent stressant (substance toxique) dans ses tissus (Orcutt et Nilsen, 2000).

Il existe une forte corrélation entre l'exclusion et l'inclusion du sel et la tolérance dans beaucoup d'espèces (Munns et James, 2003). Selon Alem et Amri (2005), le contrôle de l'exportation et la répartition des ions dans les organes aériens représentent un déterminant important de la tolérance au sel. D'une manière générale, les glycophytes sont des plantes exclusives, n'accumulant pas de  $\text{Na}^+$  dans les feuilles car elles sont incapables d'utiliser l'ion  $\text{Na}^+$  pour l'ajustement osmotique de leurs limbes (Hamza, 1980; Orcutt et Nilsen, 2000). Chez les glycophytes, le sel est accumulé préférentiellement dans les vacuoles, des tiges, ou les vieilles feuilles. En effet, il est évident de joindre l'exclusion des sels par la feuille avec la tolérance saline (Hamza, 1973).

Chez les halophytes, les ions toxiques sont exportés vers les feuilles et compartimentés efficacement dans les vacuoles (modèle inclusif) ou excrétés par des glandes vers l'extérieur (Zid, 1983). Pour le modèle inclusif, la compartimentation vacuolaire des ions toxiques est un déterminant majeur de la tolérance au sel. Elle permet, en effet, de mettre à l'abri du sel les organites cellulaires et la machinerie métabolique tout en favorisant l'ajustement osmotique (Flowers et *al* ; 1992).

## 7-Définition de l'acide salicylique

Le nom de l'acide salicylique est dérivé du mot latin «**Salix**» qui signifie l'arbre de saule. Cet acide ayant été isolé pour la première fois dans l'écorce de cet arbre en 1828. Les Indiens d'Amérique et les Eurasiens utilisaient depuis longtemps les écorces de saule (*salix*) pour soulager leurs maux et leurs douleurs (Raskin et *al*; 1990). Il est le constituant de l'aspirine et l'acide acétylsalicylique (Mitchell et Broadhead, 1967).

L'acide salicylique est un acide carboxylique, considéré comme une phytohormone. Il appartient à un groupe extrêmement divers de composés phénoliques. Il est présent en abondance dans l'écorce et les feuilles des plantes. C'est un régulateur de croissance (Einhellig, 1989; Senaratna et *al*; 2000). L'AS joue un rôle, notamment dans l'induction de réponse de défense des plantes contre des conditions environnementales défavorables (Raskin, 1992a; Popova et *al*; 1997; Cristea et Drochoue, 1987).

## 8-Caractères chimiques

L'[acide salicylique](#) ou l'acide ortho-hydroxybenzoïque est un métabolite phénolique produit par les plantes. Il possède un anneau aromatique avec un groupe d'hydroxyle. L'acide salicylique est une poudre cristalline qui fond à 157-159°C°. Il est modérément soluble dans l'eau mais fortement soluble dans les dissolvants organiques polaires. Le pH de cet acide est 2.4 ; le pKa est 2.98 (Raskin, 1992b). Acétylsalicylique, commercialement connu sous le nom d'aspirine, est l'un « des composés anti-stress » le plus connu employé par des êtres humains (Mitchell et Broadhead, 1967).

## 9- Biosynthèse de l'acide salicylique

Selon Alibert et Ranjeva (1971), Yalpani et *al*. (1993) il existe deux voies pour la synthèse de l'acide salicylique à partir de l'acide aminée, la phénylalanine :

### • Première voie

La décarboxylation de l'acide cinnamique à l'acide benzoïque puis la transformation en acide salicylique (Silverman et *al* ; 1995; Yalpani et *al*; 1993).

- **Deuxième voie**

L'hydroxylation de l'acide cinnamique à l'acide coumarique donne par la suite l'acide salicylique (Alibert et Ranjeva, 1971).

## **10-Effets de l'acide salicylique sur la plante**

### **10-1- Effets sur la croissance**

De nombreux travaux ont montré que la réponse générale des plantes traitées par l'AS à faible concentration (0.05 mM) est l'augmentation de la croissance (Fariduddin et al; 2003). En outre, Khan et al. (2003) soulignent que l'application foliaire de l'AS à concentration de 0.05 mM augmente le contenu de la matière sèche et la taille de la feuille chez le maïs et le soja. Pancheva et al. (1996) notent que le traitement par l'AS (0.1-10 mM) inhibe et réduit la croissance des feuilles et des racines. D'autres études ont confirmé que l'addition de l'AS exogène à la solution nutritive peut endommager considérablement les racines (Senaratna et al ; 2000; El Tayeb, 2005).

### **10-2- Effets sur la photosynthèse**

Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que la capacité photosynthétique est augmentée par l'application foliaire de l'AS 0.05 mM (Gomez et al; 1993). En plus, Pancheva et al. (1996) notent que l'effet de l'AS sur la photosynthèse s'exerce par une activation de la synthèse des caroténoïdes et des xanthophylles chez le soja, l'orge et le maïs.

Fariduddin et al. (2003) rapportent que l'effet de l'AS à forte dose (0.1 - 10 mM) sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle et une diminution de la surface foliaire chez *brassica juncea* (Rai et al ; 1986) signalent que l'inhibition de la photosynthèse sous la forte dose de l'AS chez plusieurs plantes peut être due à l'effet toxique de cet acide sur plusieurs processus biochimiques et enzymatiques chez le blé et l'orge. La diminution de la teneur en chlorophylle chez les plantes traitées à de fortes doses de l'AS peut être due également à l'effet inhibiteur de cet acide sur les enzymes qui interviennent dans la voie de la biosynthèse des

chlorophylles ou à un trouble dans l'intégration des molécules de la chlorophylle dans les complexes stables (Anandhi et Ramanujam, 1997; Lian et al ; 2000). La perte en chlorophylle peut être une cause de baisse de la photosynthèse chez plusieurs plantes (Sato et al ; 2002; Lian et al; 2000). L'addition de l'AS dans la solution nutritive, même à des basses concentrations, inhibe et réduit aussi le taux photosynthétique (Rai et al ; 1986).

### **1-3- Effets sur le métabolisme de nitrate**

Plusieurs processus biochimiques sont affectés par l'application de l'AS, en particulier l'assimilation de nitrate. Ce dernier est la source la plus significative de l'azote pour les plantes cultivées et limite fréquemment la croissance des plantes (Ramanujam et al ; 1998). Le traitement par l'AS (0.01-0.1 mM) augmente la fixation de l'azote et l'activation de la nitrate réductase dans les feuilles et les racines des plantes de maïs (Rane et al; 1995). Les même auteurs, ont observé une augmentation de l'activité de nitrate réductase en présence du nitrate grâce à la protection de cet l'enzyme contre le proténase et le trypsine. D'autres travaux ont montré que l'absorption du nitrate et l'activité de la nitrate réductase diminuent dans les feuilles chez nombreuses plantes, après l'application de l'AS à fortes doses. La réduction de l'activité de la nitrate réductase dans les feuilles est due essentiellement à l'effet toxique de la l'AS à forte dose qui conduit à une baisse de l'absorption de  $\text{NO}_3^-$  et en conséquence, à une diminution de la concentration en  $\text{NO}_3^-$  dans les feuilles (Jain et Srivastava, 1981). Par conséquent, une baisse dans l'activité de la nitrate réductase et de la teneur en nitrate en présence de concentrations élevées en AS peut être responsable de la réduction de la croissance (Lian et al ; 2000; Sato et al ; 2002).

### **10-4- Effet sur la Floraison**

L'AS est nécessaire lors de la floraison et de la formation des bourgeons chez des cultures de cellules de tabac (Eberhard et al; 1989). L'effet de l'AS sur l'effloraison a été ensuite démontré chez plusieurs autres espèces de plantes mais l'AS n'est pas spécifique et il engage la floraison en combinaison avec d'autres facteurs, les gibbérellines par exemple (Murphy et al ; 1999; Alvarez, 2000).

### **1-5- Effet sur La biosynthèse de l'éthylène**

La biosynthèse de l'éthylène peut être inhibée par l'AS. En effet, des études *in vitro* sur des disques de pomme et des cultures de cellules de poire ont montré que la conversion de l'acide 1-aminocyclopropane-1-carboxylique en éthylène est fortement compromise à certains pH et concentrations d'AS. L'effet de l'AS sur l'éthylène est réversible (Leslie et Romani, 1988).

### **11-Mécanisme de tolérance au stress salin**

La salinité est l'un des stress de l'environnement le plus important qui entrave la croissance des plantes et réduit sévèrement les rendements en production agricole (Epstein et *al* ; 1980; Flowers et Yeo, 1995). Le facteur clé qui limite la croissance de la plante sous stress salin, en plus de la réduction du potentiel hydrique, est l'excès du Na<sup>+</sup>, élément minéral nocif non recherché par la plupart des espèces glycophytes pour leur croissance normale (Niu et *al* ;1995).

Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que l'application de l'AS à concentration de 0.05 mM sur les feuilles entraîne une amélioration de la croissance et une augmentation de la tolérance au stress salin. L'application de l'AS (0.01-0.1 mM) réduit et diminue les effets nuisibles de la salinité (Fariduddin et *al* ; 2003). De plus, Pancheva et *al.* (1996), Shakirova et *al.* (2003) ont observé qu'une exposition à l'AS (0.05 mM) peut stimuler la germination et la croissance chez de nombreuses espèces tels que le blé, l'orge et le maïs. L'AS exerce son influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant la photosynthèse, la perméabilité de la membrane, l'activité enzymatique, la floraison, la croissance et le développement des plantes (Arberg, 1981; Barkosky et Einhellig, 1993). Par contre, Pancheva et *al.* (1996) signalent que le traitement par l'AS à concentration (0.1-10 mM) inhibe et réduit la croissance des feuilles et des racines chez certains espèces et que le succès de la tolérance à la salinité est relié à la concentration de l'AS dans leur milieu.

L'application de l'AS (0.01-0.1 mM) mène à l'accumulation des phytohormones (ABA, AIA) et des protéines reliées à la résistance et réduit ainsi considérablement l'ampleur des dégâts causés par la salinité ( Inada et *al* ; 2005, Wang et *al* ; 2002). Selon Tari et Nagy (1994), Szepesi et *al.* (2005) l'application foliaire de l'AS à concentration de (0.05 mM) entraîne une activation de la réductase d'aldose, et l'accumulation de l'acide abscissique et de l'acide indolacétique chez le blé. L'acide abscissique (ABA) et l'acide salicylique ont également déclenché l'expression de gène AcPMP3-1 qui régule l'accumulation de Na<sup>+</sup> et de K<sup>+</sup> dans les cellules sous un stress salin induisant une réduction de l'accumulation des sucres totaux dans les organes (Inada et *al*; 2005).

L'effet de l'AS sur la photosynthèse s'exerce par une activation de la synthèse des caroténoïdes et des xanthophylles chez le soja, l'orge et le maïs (Pancheva et *al* ; 1996). En plus, Fariduddin et *al.* (2003) rapportent que l'inhibition de la photosynthèse sous la forte dose de l'AS (0.5 mM) chez de nombreuses plantes peut être due à l'effet direct de l'AS sur plusieurs processus biochimiques et photochimiques. L'AS, à forte dose, diminue la teneur en pigments photosynthétiques de plusieurs plantes tels que le blé, l'orge et la tomate (Pancheva et *al*;1996 ; Lian et *al* ; 2000). La diminution de la teneur en chlorophylle chez les plantes traitées à de fortes doses de l'AS peut être due également à l'effet toxique de cet acide sur les enzymes qui interviennent dans la voie de la biosynthèse des chlorophylles ou à un trouble dans l'intégration des molécules de la chlorophylle dans les complexes stables (Janda, 1998).

Plusieurs études ont montré que le traitement par l'AS (0.01-1.0 mM) augmente la fixation de l'azote et l'activation de la nitrate réductase dans les feuilles et les racines des plantes (Rane et *al*; 1995). Les même auteurs, ont observé une augmentation de l'activité de nitrate réductase en présence du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> grâce à la protection de cet enzyme contre le proténase et le trypsine. D'autres travaux ont montré que l'absorption du nitrate et l'activité de la nitrate réductase diminuent dans les feuilles chez de nombreuses plantes, après l'application de l'AS à forte dose. La réduction de l'activité de la nitrate réductase dans les feuilles est due essentiellement à



l'effet toxique de la l'AS à forte dose qui conduit à une baisse de l'absorption de nitrate et en conséquence, à une diminution de la croissance (Sato et *al* ; 2002; Jain et Srivastava, 1981; Lian et *al* ; 2000).

D'autres travaux rapportent que l'addition de l'AS dans la solution nutritive, même à de basses concentrations, réduit et inhibe la croissance chez plusieurs espèces, en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus. Cette réduction est augmentée avec l'accroissement de la dose de cet acide (Tasgin et *al* ; 2003). L'addition de l'AS dans la solution nutritive inhibe la croissance de la plante accompagnée par une variation de dysfonctionnement métaboliques y compris l'inhibition d'activité enzymatiques (Senaratna et *al*; 2000), de la photosynthèse (Rai et *al*;1986), de l'absorption ioniques (ElTayeb, 2005) et de la respiration (Tasgin et *al* ; 2003; Yu et *al* ; 2001).

## 12-Importance économique de blé dur

Le blé est un terme générique qui désigne plusieurs [céréales](#) appartenant au genre *Triticum*. Ce sont des [plantes](#) annuelles de la famille des [graminées](#) ou [Poacées](#) cultivées dans de très nombreux pays. Il existe plusieurs types de blés dont un a une grande importance économique à l'heure actuelle : le blé dur est une [plante herbacée](#) annuelle, [monocotylédone](#), à [feuilles](#) alternées, formées d'un [chaume](#) portant un [épi](#) constitué de deux rangées d'[épillets sessiles](#) et aplatis. Les [fleurs](#) sont nombreuses, petites et peu visibles car achlamydes. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes (Clarke et al ; 2002). Le [blé dur](#) (*Triticum durum*) est surtout cultivé dans les zones chaudes et sèches et il est très riche en [gluten](#) et utilisé pour produire les [semoules](#) et les [pâtes alimentaires](#) (Bozzini, 1988 ; Blanc, 1991).

La production mondiale de blé s'est élevée à 557 millions de tonnes en [2000](#). En volume de production, c'est la quatrième culture mondiale derrière la [canne à sucre](#), le [maïs](#) et le [riz](#). Actuellement, 580 millions de tonnes de ce blé sont produites chaque année dans le monde, c'est-à-dire près de 100 kg par habitant pour l'ensemble de la [population mondiale](#). La [consommation humaine](#) (pain et biscuiterie) reste le débouché principal (58 % de la récolte), suivie de l'[alimentation animale](#) (34 %). Les 8 % restants représentent les usages industriels (amidonnerie et glutennerie) (Hamadache, 2001).

Le blé dur représente en Algérie une culture clé, elle est la base de l'alimentation de la majorité des Algériens et représente plus qu'une valeur nutritionnelle. Cette spéculation est fortement marquée par un poids symbolique (Malasses, 1996 ; Hazmoune, 1995). Les grains de blé dur servent principalement à la fabrication de semoule utilisée dans les pâtes alimentaires. Le blé dur possède le grain le plus dur parmi les blés. Il est riche en protéines et la force de son gluten en fait le blé privilégié des transformateurs pour la préparation de pâtes alimentaires (Clarke et al ; 2005).

**MATERIELS  
ET  
METHODES**

## CHAPITRE II -MATERIELS ET METHODES

Dans cette étude, nous avons conduit trois essais au laboratoire concernant les effets de la dose et le mode d'application de l'acide salicylique (AS) sur la germination et la croissance des deux variétés de blé dur (*Triticum durum*) en conditions salines.

### 1- Matériel végétal

L'expérimentation est menée sur des graines de blé dur (*Triticum durum*) fournies par l'I.T.C.G (Institut Technique des Grandes Cultures), El harrach, Alger. Il s'agit de deux variétés de blé dur, Waha (origine syria) et Mohamed Ben Bechir (M.B.B) (origine Algérienne).

### 2- Dispositif expérimental

#### 2-1- Germination

Les graines ont été traitées avec l'eau de javel pendant 10 minutes puis lavées trois fois à l'eau distillée.

Trempe des graines dans des solutions d'acide salicylique à différentes concentrations (0.05, 0.5, 5 mM) pendant 6h avant l'application de NaCl. Les graines se sont mises à germer sur du papier filtre et placées dans des boîtes de Pétri. Ensuite, dans chaque boîte de Pétri sont versés 10 ml d'eau distillée pour les graines témoins et 10 ml de solution saline pour les graines stressées à 50, 100, 200 mM en NaCl. On a mis 25 graines à germer dans chaque boîte avec quatre répétitions sous température ambiante (laboratoire).

Le critère de germination retenu correspond au moment où la racicule perce les enveloppes selon la définition de Côme (1970). La germination des graines est relevée quotidiennement pour chaque lot durant 08 jours pour établir :

- l'évolution du pourcentage de germination.
- le pourcentage final de graines germées.

## 2-2- Croissance

Les graines ont été stérilisées dans une solution de l'eau de javel pendant 10mn puis lavées trois fois à l'eau distillée. La germination a été faite dans des boîtes de Pétri tapissées par un papier filtre imbibé d'eau distillée. Après six jours, les plantules ont été transférées dans des seaux en plastique de 2 l de volume contenant la solution nutritive. Avec des couvercles de polystyrène comme support qui porte les plantules à travers leurs trous. Le système d'aération utilisé est composé d'une pompe d'aquarium. Le milieu est ajusté à un pH de 5,7 à l'aide d'une solution de HCl ou NaOH, avec le renouvellement des solutions nutritives chaque trois jours. L'expérimentation a été réalisée en deux parties selon la dose et le mode d'applications de l'acide salicylique :

### - Première partie

Au stade 3<sup>ème</sup> feuille (6-7cm de longueur), on ajoute l'AS à différentes concentrations (0.05, 0.5, 5 mM) dans la solution nutritive, 24h avant l'application du sel. Les plantes sont soumises par la suite à un stress salin, après le changement de la solution nutritive qui contient l'AS. Le prélèvement des échantillons en vue des dosages est effectué une semaine après l'application du stress. Le dispositif expérimental comporte 8 traitements (tableau II).

**Tableau II** : Concentrations en NaCl et AS

NaCl (mM)	AS (mM)
0	0
0	0.05
200	0
200	0.05
0	0.5
200	0.5
0	5
200	5

## **- Deuxième partie**

Lorsque la longueur de la deuxième feuille en cours de développement a atteint 6 à 7cm, les plantes ont été traitées par pulvérisation de l'AS à différentes concentrations (0.05, 0.5mM) à pH 6.8, 24h avant l'application de NaCl. Ensuite, le NaCl est rajouté à la solution nutritive à des concentrations de 100 et 200 mM. Les plantules sont soumises à ce stress pendant une semaine. L'essai comporte 9 traitements selon le tableau ci-dessous.

**Tableau III** : Concentrations en NaCl et AS

<b>NaCl (mM)</b>	<b>AS (mM)</b>
0	0
200	0
0	0.5
200	0.5
0	0.05
200	0.05
100	0
100	0.05
100	0.05

### **2-2-2- La solution nutritive**

Le tableau ci-dessous nous donne les compositions de la solution nutritive du milieu de culture selon Kerepsi et Galiba (2000).

**Tableau IV** : Composition de la solution nutritive selon Kerepsi et Galiba (2000)

<b>Macroéléments</b>	<b>Concentration (g/l)</b>	<b>microéléments</b>	<b>Concentration (g/l)</b>
<b>KNO<sub>3</sub></b>	50.555	<b>H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub></b>	0.711
<b>Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> . 4H<sub>2</sub>O</b>	118.075	<b>MnCl<sub>2</sub>. 4H<sub>2</sub>O</b>	0.910
<b>MgSO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O</b>	49.294	<b>ZnO<sub>4</sub>. 7H<sub>2</sub>O</b>	0.057
<b>KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub></b>	13.609	<b>Na<sub>2</sub>MO<sub>4</sub>. 5H<sub>2</sub>O</b>	0.290
<b>NaFe-EDTA</b>	0.832	<b>CuSO<sub>4</sub>..5H<sub>2</sub>O</b>	0.019

### **2-2-3- Méthodes physiologiques**

Les tissus ont été mis dans des tubes d'Eppendorf (microtubes) contenant de petites passoires en plastique rapidement plongés dans l'azote liquide. Les échantillons ont été décongelés pendant 20-30mn, et centrifugés pendant 10mn à 15000 t/mn. Les extraits végétaux sont stockés dans le congélateur à une température de 5C°, jusqu'à leurs analyses.

#### **2-2-3-1- Paramètres étudiés**

##### **2-2-3-1-1- Élongation foliaire**

Les mesures de l'élongation foliaire sont réalisées à l'aide d'une règle millimétrique lorsque la longueur de la deuxième et la troisième feuille atteint 6 à 8cm. Pour chaque traitement, nous avons effectué une moyenne de 8 répétitions. On calcule la moyenne de l'élongation foliaire à partir de deux mesures quotidiennes.

### **2-2-3-1-3- Pression osmotique**

La pression osmotique a été mesurée par un osmomètre modèle : VAPOR PRESSURE OSMOMETER 5520

### **2-2-3-1-4- Teneur relative en eau (RWC)**

Le statut de l'eau de la plante a été évalué par la teneur relative en eau (RWC). Ce paramètre est exprimé en fonction du poids frais (**FW**), du poids turgide (**TW**) et du poids sec (**DW**).

Le **FW** est obtenu par pesée directe de l'organe de la plante juste après son prélèvement. La turgescence maximale (**TW**) nécessite le maintien des organes (feuille, racine) dans l'eau distillée pendant 24h. Le **DW** est mesuré après une semaine de séchage dans une étuve réglée à 60C°. La **RWC** est alors exprimée selon la formule de (Barr et Weatherley, 1962) :

$$\mathbf{RWC = [(FW-DW) / (TW-DW)] * 100}$$

## **2-2-4- Méthodes biochimiques**

### **2-2-4-1- Dosage des sucres totaux**

Les sucres sont dosés par la méthode Dubois et al ; 1956. L'extrait de la plante (1ml) est versé dans un tube à essai auquel on ajoute 1ml du phénol 5% et 5ml de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), avec l'agitation, la solution est laissée pendant 20mn jusqu'à l'apparition d'une couleur. Enfin, la densité optique des échantillons est lue au moyen d'un spectromètre à la longueur d'onde 470nm. Une courbe d'étalonnage est préparée dans les mêmes conditions, en remplaçant l'extrait par des quantités équivalentes de glucose à concentrations croissantes.

### **2-2-4-2- Dosage de sodium et potassium**

Les concentrations de sodium et de potassium dans l'extrait végétal sont mesurées par photomètre de flamme (JENWAY PEP7) après une calibration avec les solutions standards de NaCl.



### **2-2-4-3- Dosage de chlore**

Le chlore a été estimé, selon la méthode colorimétrique, par chromate de potassium (10%) et nitrate d'argent (0.1N). En présence de nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ), les ions  $\text{Cl}^-$  sont mobilisés pour former du chlorure d'argent. Lorsque tous les ions de chlorures sont précipités sous forme d'  $\text{AgCl}$ , le nitrate d'argent réagit avec le chromate de potassium et un précipité rouge brique apparaît.

### **2-2-4- Analyse statistique**

#### **-Barres d'erreur**

Cette option permet de réaliser la moyenne de plusieurs répétitions, en estimant en même temps les barres d'erreur en chaque point du spectre moyen, par l'utilisation d'Excel.

**RESULTATS  
ET  
DISCUSSIONS**

## **SECTION I**

# **Effets de l'acide salicylique sur la germination**

## **1-Introduction**

La germination des graines est l'une des phases les plus critiques de la vie d'une plante. Elle est grandement influencée par la salinité. L'effet de la salinité sur la germination des graines peut être partiellement osmotique ou dû à la toxicité des ions qui peut altérer le processus physiologique comme l'activité enzymatique (Begum et al; 1992 ; Croser et al; 2001 ; Essa et Al-Ani, 2001 ; Waisel, 1989; Ungar, 1996). Selon Maas et Poss (1989b) et El-Swaify (2000), le stade végétatif est le plus sensible au sel pour la plupart des cultures. De fortes concentrations de sels durant ce stade peuvent compromettre gravement le rendement final en grains (Maas, 1996; Tsoata, 1995; West et Francois, 1982).

De nombreux travaux ont montré que l'application par l'AS (0.05 mM) réduit et diminue les effets préjudiciables de la salinité (Raskin, 1992 a,b). En plus, ElTayeb (2005) a observé qu'une exposition à l'AS (0.05 mM) peut stimuler la germination chez certain espèces et que le succès de la germination des graines est relié à la concentration de l'AS dans leur milieu salin.

Janda et al. (2003) notent que le traitement de l'AS, à fortes concentrations (0.5, 5 mM), est un des facteurs critiques qui affecte défavorablement la germination de la graine sous ces conditions empêchant les espèces de s'adapter aux environnements salins.

Notre étude s'intéresse à plusieurs concentrations en AS (0.05, 0.5, 5 mM) et notre but est de connaître la meilleure concentration dans la tolérance des deux variétés de blé dur (Waha et M.B.B) à la salinité.

## **2-Résultats**

### **2-1-Effets de l'acide salicylique sur la germination en conditions salines**

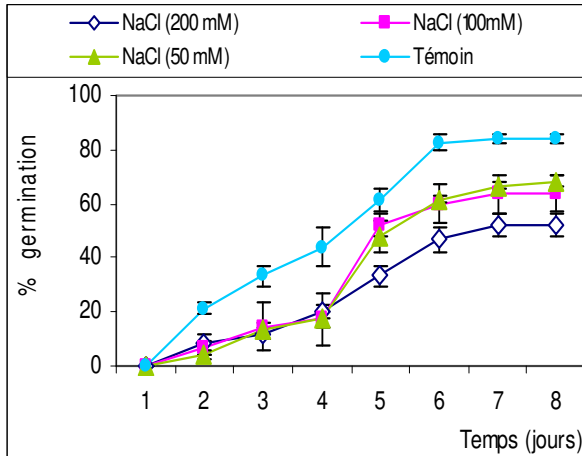
Les figures (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) montrent l'évolution et le pourcentage final de germination des deux variétés de blé dur Waha et M.B.B en fonction des différents traitements par l'AS et NaCl pendant 8 jours.

En milieu non salé (témoin), la germination commence le 2<sup>ème</sup> jour pour Waha et le 4<sup>ème</sup> jour pour M.B.B. Elle atteint 84 %, 74.64 % le 8<sup>ème</sup> jour pour les variétés Waha et M.B.B (figures : 1, 5).

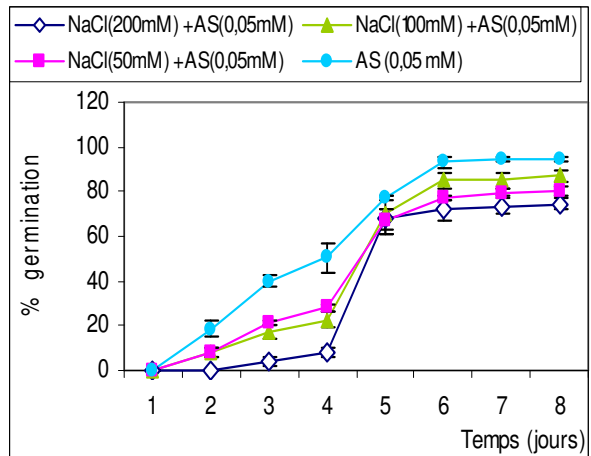
Nous avons observé un gonflement des graines mises à germer sous toutes les concentrations de NaCl du milieu. L'augmentation de teneurs en sel conduit à une diminution importante de la germination qui atteint 52 %, 36 % respectivement pour Waha et M.B.B à 200mM en NaCl (figure : 9). Pour la variété M.B.B, nous notons un retard de germination (à 200mM en NaCl). Elle est nulle le 4<sup>ème</sup> jour et ne démarre que le 5<sup>ème</sup> jour avec un pourcentage de 13.32 % contre 40 % en milieu non salé (eau distillée) (figure : 5). La variété M.B.B présente une sensibilité aux concentrations élevées. Le sel retarde le déclenchement de la germination. Ce retard est d'autant plus important lorsque la concentration en sel du milieu est élevée.

Une concentration de 0.05 mM de l'AS fait augmenter la capacité germinative des deux variétés stressées en NaCl par rapport aux plantes stressées en NaCl sans l'application de l'AS. Le pourcentage de germination atteint chez Waha 75.04% et 87% respectivement pour les concentrations 200 mM, 100 mM en NaCl (figure:2) .

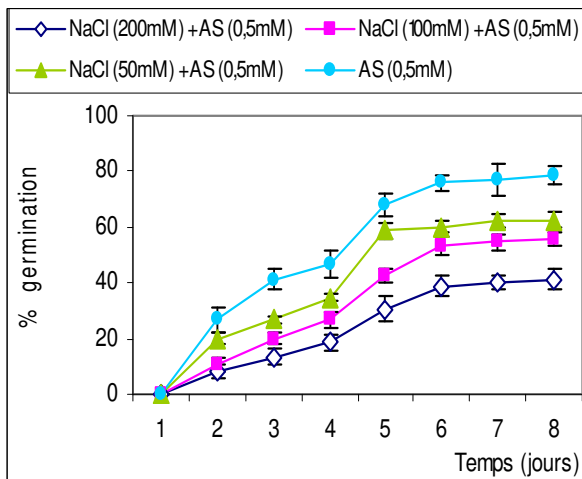
Aux concentrations élevées de l'AS (0.5 et 5mM), le taux de germination final baisse significativement en fonction de l'augmentation de la dose de cet acide. Elle atteint de 15,72 % et 8 % respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 5 mM en AS et 200 mM en NaCl. Ces pourcentages sont plus faibles par rapport aux plantes stressées en NaCl sans l'application de l'AS (figure : 9).



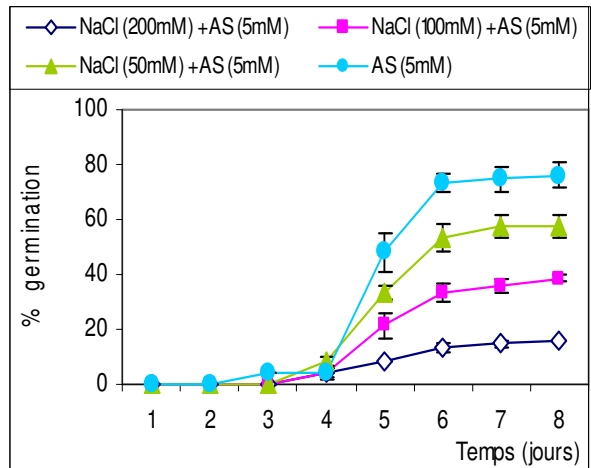
**Figure 1:** Effet du NaCl sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en l'absence de l'AS (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



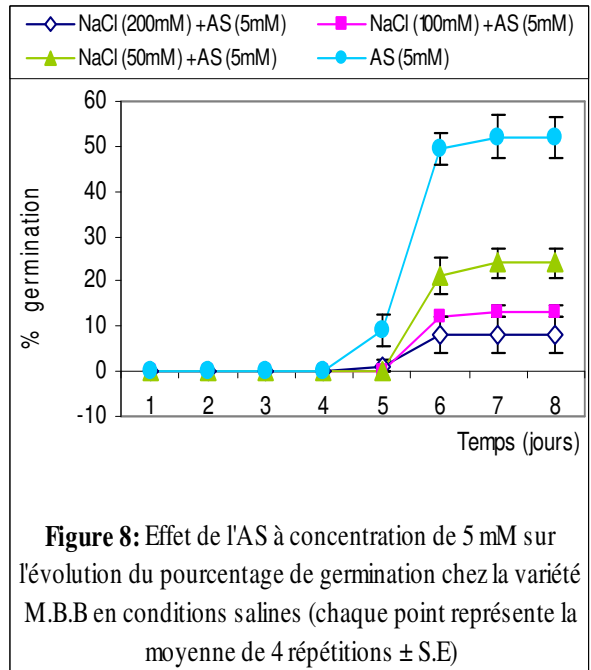
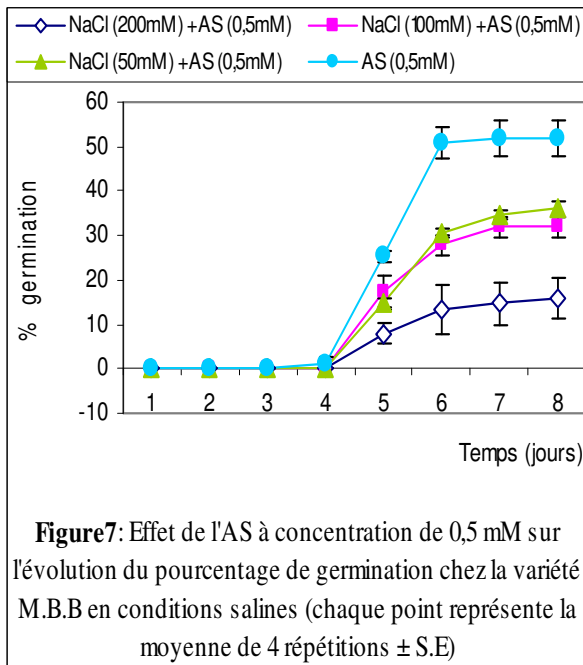
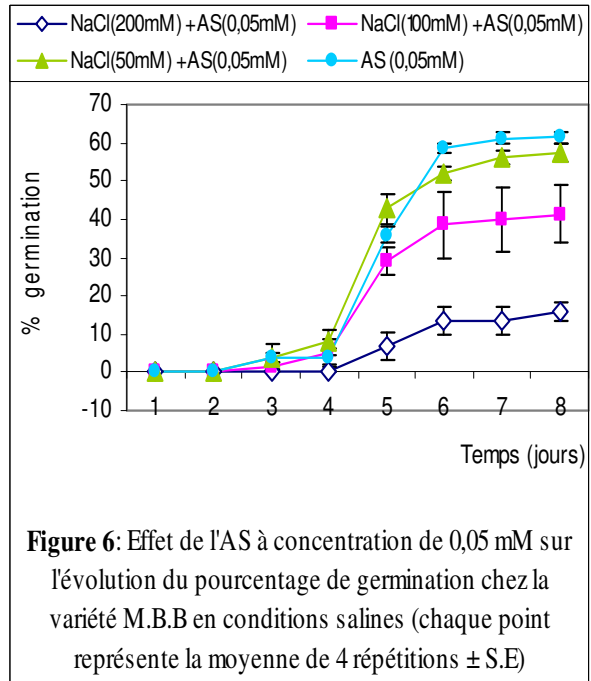
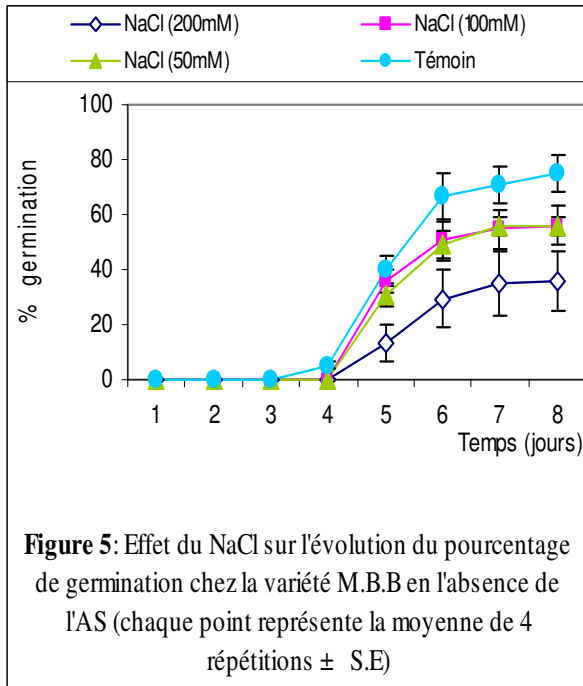
**Figure 2:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)

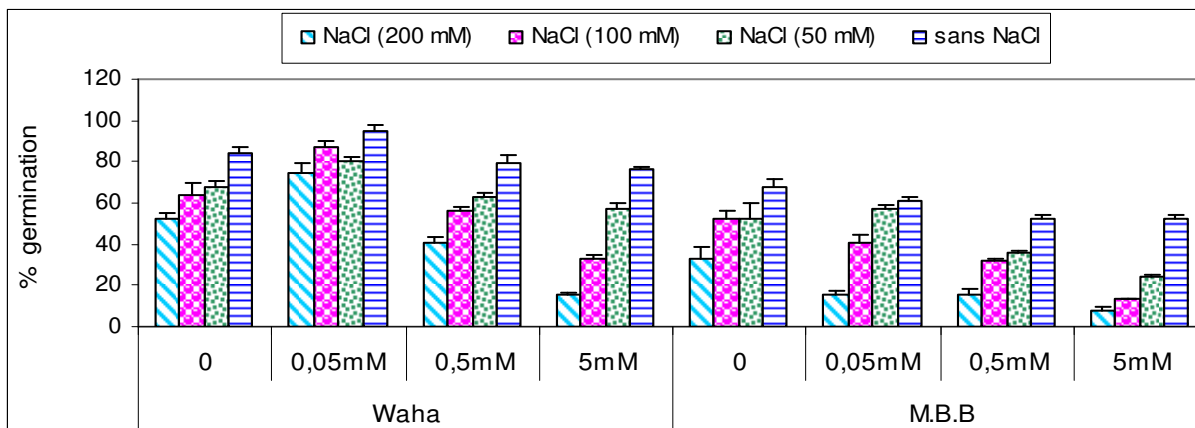


**Figure 3:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 4:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur l'évolution du pourcentage de germination chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)





**Figure 9** : Effet de l'AS à différentes concentrations sur le pourcentage final de germination des deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



### **3-Discussion**

#### **3-1-Effets de l'acide salicylique sur la germination**

Nos résultats démontrent, un retard de la germination à toutes les concentrations de sel utilisé chez les deux variétés blé dur Waha et M.B.B. L'augmentation de la teneur en sel conduit à une diminution importante de la germination qui atteint 52% 36% respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 200 mM en NaCl.

Selon nos résultats, l'application de l'AS, à faible concentration (0.05 mM), entraîne une accélération de la germination chez les graines stressées en NaCl. Cela n'est pas le cas pour celles stressées en NaCl sans l'AS. De même qu'aux concentrations élevées de l'AS (0.5, 5 mM) le taux de germination baisse significativement en fonction de l'augmentation de la dose de cet acide.

La salinité affecte la germination des graines en réduisant la facilité d'absorption d'eau (Chartzoulakis et Klapaki, 2000) durant l'imbibition (Murillo-Amador et Troyo-Dieguez, 2000 ; Ashraf *et al* ; 2003) à cause de la diminution du potentiel hydrique du milieu (Tlig *et al* ; 2008). Par conséquent, l'hydrolyse des réserves alimentaires stockées dans les tissus et leurs translocations vers l'axe de l'embryon sont limitées (Misra et Dwivedi, 2004). De plus, Yildirim et Guvenc (2006) soulignent que la salinité affecte la germination en facilitant l'absorption des ions toxiques qui peuvent causer des changements des activités enzymatiques ou hormonales des semences.

De nombreux travaux rapportent que l'application de l'AS à concentration de 0.05 mM, accélère la germination chez de nombreuses espèces tels que le blé, l'orge et le riz, sous conditions salines (Senaratna *et al* ; 2000). L'AS (0.05 mM) réduit les effets nuisibles de la salinité. Il exerce son influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant la perméabilité de la membrane (Barkosky et Einhellig, 1993), l'activité enzymatique et hormonal (Wang *et al* ; 2002) qui favorise l'induction de la tolérance des graines à la salinité (Borsani *et al* ; 2001). Inada *et al.* (2005), Wang *et al.* (2002) signalent que l'application de l'AS (0.01, 0.1 mM), mène à

l'accumulation des phytohormones (ABA, AIA) et des protéines reliées à la résistance et réduisant ainsi considérablement l'ampleur des dégâts causés par la salinité.

Selon Inada et *al.* (2005) montrent que l'application de l'AS (0.05 mM) peut causer l'accumulation de l'acide abscissique (ABA) et de l'acide indolacétique chez de nombreuses espèces. L'ABA et l'acide salicylique ont également déclenché l'expression de gène AcPMP3-1 qui régule l'accumulation de Na<sup>+</sup> et de K<sup>+</sup> dans les cellules sous stress salin. Sakhabutdinova et *al.* (2004) notent que le traitement par l'AS (0.5 mM) induit une accumulation de l'acide abscissique (ABA) chez le blé sous conditions salines. L'augmentation de l'ABA endogène est une caractéristique d'un état de stress chez de nombreuses espèces (Dubos, 2001). L'AS déclenche aussi l'accumulation de l'acide indolacétique (AIA) qui participe aux divers événements du métabolisme nécessaire à la croissance (Inada et *al.* ; 2005 ; Cleland et Tanaka, 1979).

Les concentrations croissantes en AS (0.5, 5 mM) agissent en réduisant le taux de germination sous conditions salines (Janda, 1998 ; Janda et *al.* ; 2000 ; Rai et *al.* ; 1986). Senaratna et *al.* (2000) ont proposé que la réduction de la germination est due probablement à l'effet inhibiteur de l'AS à forte dose qui peut causer des changements des activités enzymatiques ou hormonales des semences. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par de nombreux travaux (ElTayeb, 2005 ; Janda, 1998 ; Raskin, 1992a,b)

D'autres travaux ont confirmé que l'AS (0.05mM), à faible dose, est un régulateur de croissance. Il joue un rôle notamment dans l'induction de réponse de défense des plantes contre des conditions environnementales défavorables (Raskin, 1992a ; Popova et *al.* ; 1997 ; Einhellig, 1989 ; Senaratna et *al.* ; 2000).

En définitive, cette étude montre que la faible dose en AS (0.05mM) accélère et stimule la germination. Les fortes doses de cet acide (0.5 et 5 mM) inhibent et réduisent aussi la germination chez les variétés Waha et M.B.B sous contraintes salines.

## **SECTION II**

**Effets de l'addition de l'acide salicylique  
dans la solution nutritive**

## **1- Introduction**

La salinité est l'un des stress de l'environnement le plus important qui entrave la croissance des plantes et réduit sévèrement les rendements en production agricole (Epstein et *al* ; 1980 ; Flowers et Yeo, 1995). Le facteur clé qui limite la croissance de la plante sous stress salin, en plus de la réduction du potentiel hydrique, est l'excès du Na<sup>+</sup>, élément minéral nocif non recherché par la plupart des espèces glycophytes pour leur croissance normale (Hayashi et Murata, 1998 ; Munns, 2002 ; Benlloch-Gonzalez et *al* ; 2005).

De nombreux travaux rapportent que l'addition de l'AS dans la solution nutritive réduit et inhibe la croissance chez plusieurs espèces en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus (Tasgin et *al* ; 2003). Dans le même sens (Yu et *al* ; 2001) signalent que le traitement par l'AS; par cette méthode, est un des facteurs critiques qui affecte défavorablement la croissance des plantes.

D'autres auteurs notent que l'addition de l'AS dans la solution nutritive induit la croissance de la plante accompagnée par une variation de dysfonctionnement métaboliques y compris l'inhibition d'activité enzymatiques (Senaratna et *al* ; 2000), de la photosynthèse (Rai et *al* ; 1986), de l'absorption ioniques (ElTayeb, 2005), et de la respiration (Tasgin et *al* ; 2003, Yu et *al* ; 2001).

L'objectif de notre étude est de déterminer les effets de l'addition de l'AS à des concentrations croissantes (0.05, 0.5, 5 mM) dans la solution nutritive sur quelques processus physiologiques et biochimiques des deux variétés de blé dur, Waha et M.B.B sous conditions salines.

## **Résultats**

### **1-1-Effets de l'acide salicylique sur la croissance et les paramètres physio-biochimiques sous conditions salines**

#### **1-1-1- Effet sur la moyenne de l'élongation foliaire**

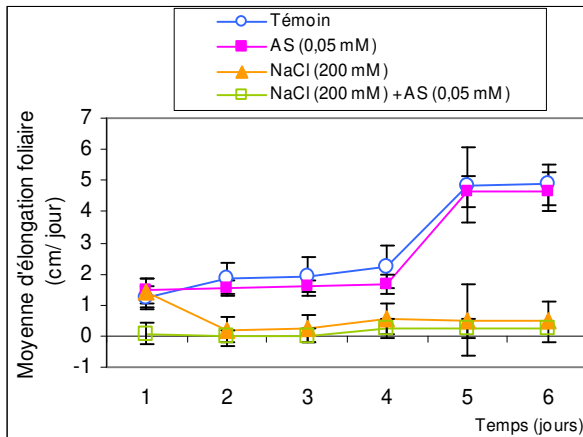
Nos résultats montrent un effet dépressif du sel sur la moyenne de l'élongation foliaire chez les variétés étudiées par rapport au témoin. Nous avons signalé une diminution de la moyenne d'élongation foliaire après l'application du stress salin suivi par une élévation simultanée après le 3<sup>ème</sup> jour chez la variété Waha et le 5<sup>ème</sup> jour chez M.B.B (figures : 10, 11).

La croissance des feuilles des deux variétés stressées est inhibée par l'application de l'AS. Aux doses plus élevées de l'AS (0.5, 5 mM), la croissance est significativement ralentie en fonction du temps, chez les deux variétés Waha et M.B.B (figures :12, 13, 14, 15).

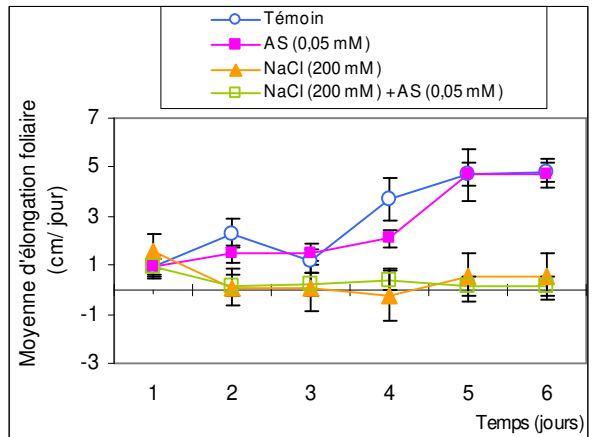
#### **1-1-2- Effet sur la teneur relative en eau et la pression osmotique**

Les figures (16, 17) indiquent une diminution de la teneur relative en eau au niveau des organes chez les deux variétés stressées (200 mM en NaCl). Les pourcentages de réduction au niveau des feuilles sont de l'ordre de 82.67% et 77.39% à 200 mM en NaCl, respectivement pour les variétés Waha et M.B.B. Cette réduction est plus marquée chez M.B.B que chez Waha.

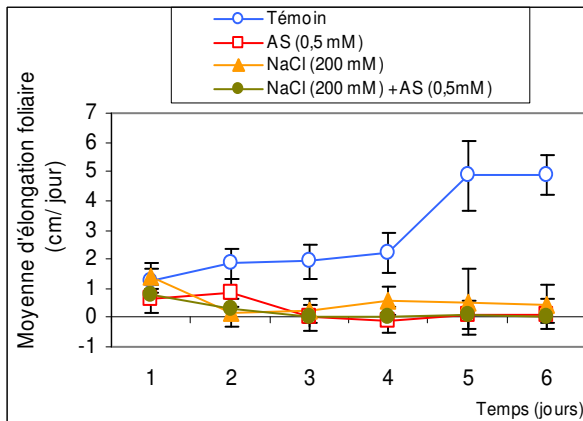
D'après les figures (22, 23), la diminution de la teneur relative en eau correspond à l'augmentation de la pression osmotique au niveau des feuilles et des racines des deux variétés testées. Cette augmentation est de l'ordre de 732.49 mmole/kg et 392.15 mmole/kg au niveau des feuilles et de l'ordre 505.17 mmole/kg et 157.11 mmole/kg au niveau des racines respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 200 mM en NaCl.



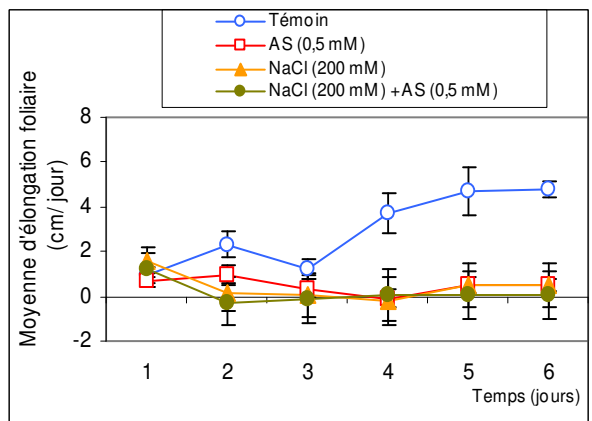
**Figure 10:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la troisième feuille chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



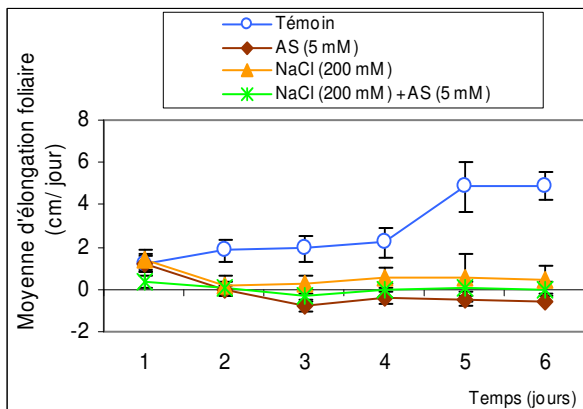
**Figure 11:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la troisième feuille chez la variété M.B.B en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



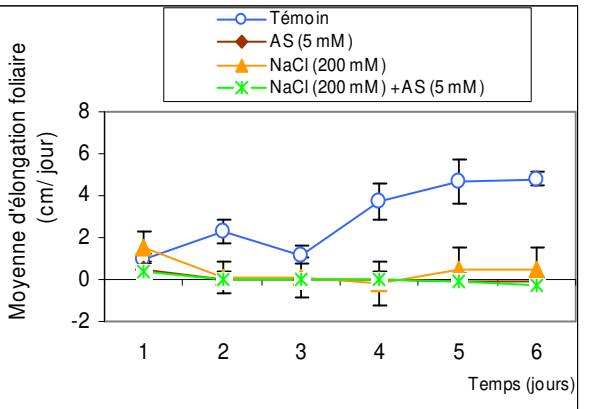
**Figure 12:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la troisième feuille chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



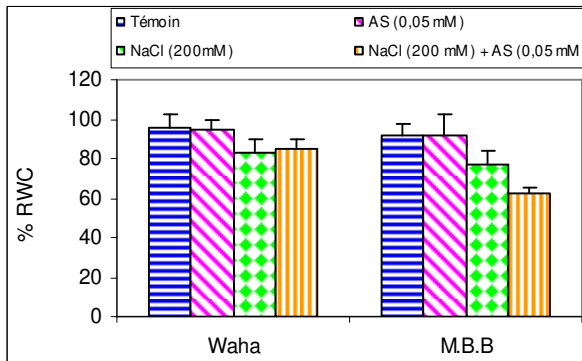
**Figure 13:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la troisième feuille chez la variété M.B.B en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



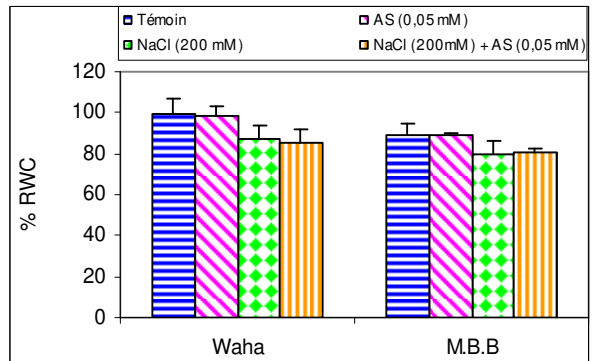
**Figure 14:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la troisième feuille chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



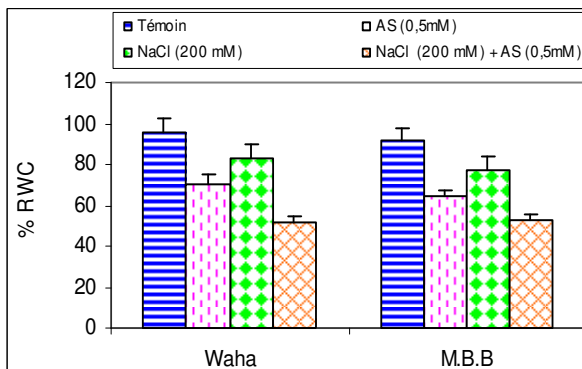
**Figure 15:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la troisième feuille chez la variété M.B.B en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



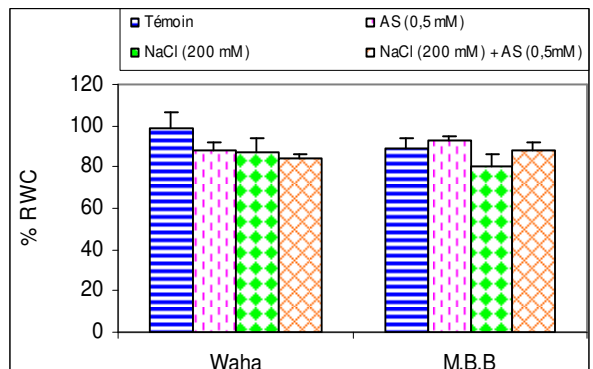
**Figure 16:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



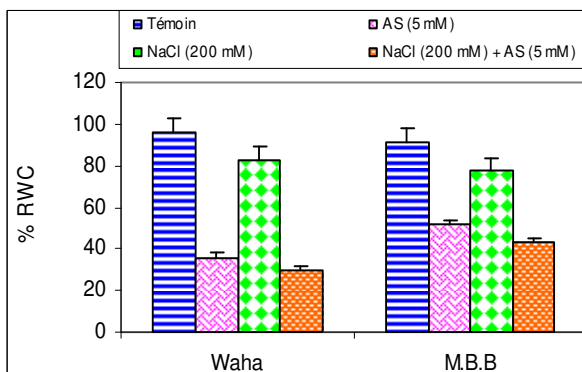
**Figure 17:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



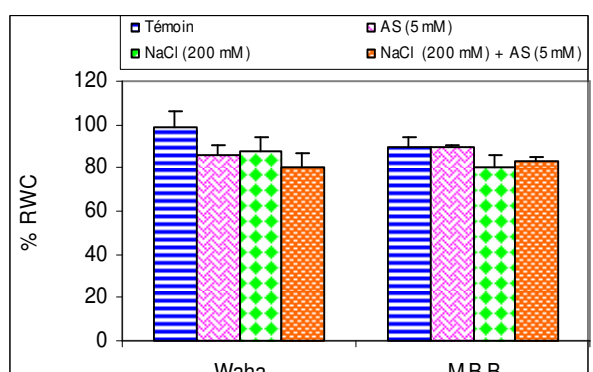
**Figure 18:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



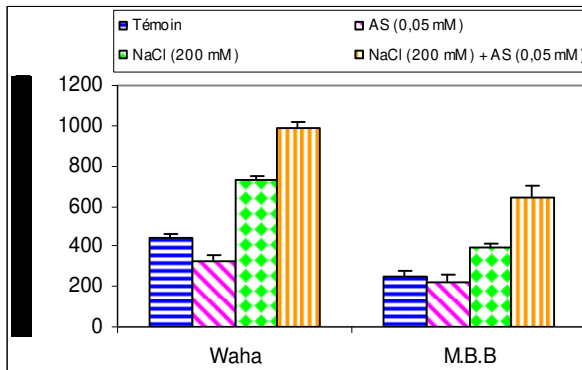
**Figure 19:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



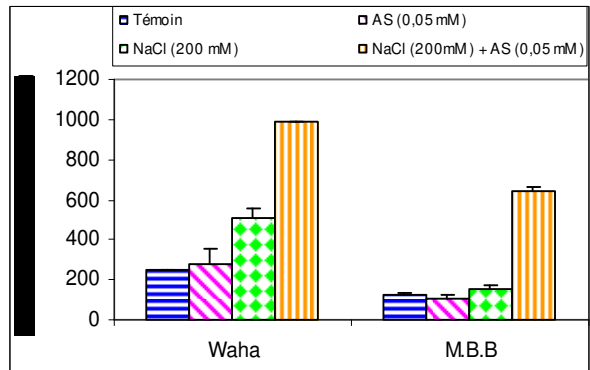
**Figure 20:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur relative en eau au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



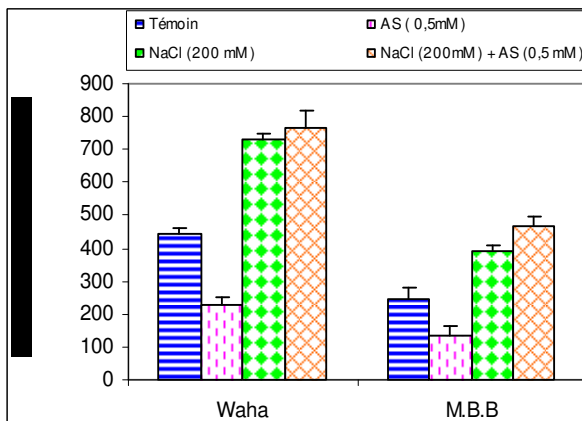
**Figure 21:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur relative en eau au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



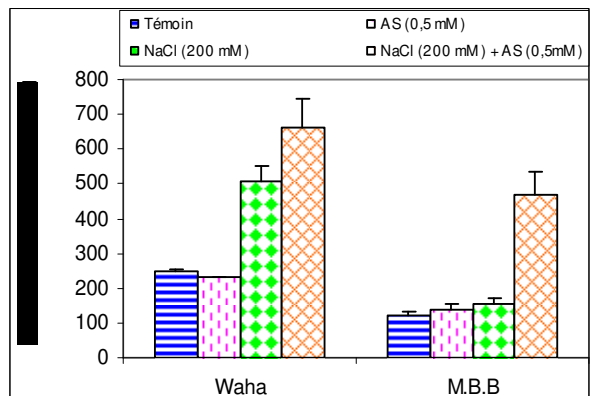
**Figure 22:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la pression osmotique au niveau de la 2<sup>ème</sup> et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



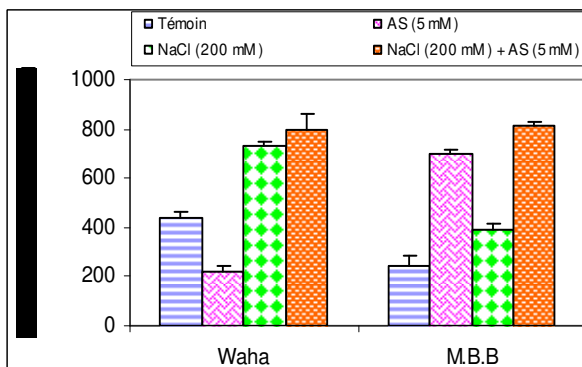
**Figure 23:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



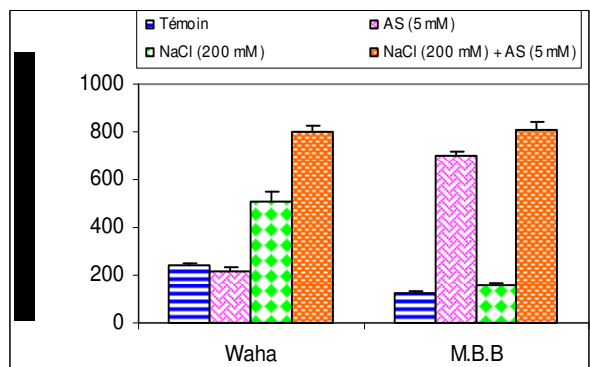
**Figure 24:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la pression osmotique au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 25:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 26:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la pression osmotique au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 27:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la pression osmotique au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



En présence de sel, l'addition de l'AS, à différentes concentrations dans une solution nutritive, entraîne une diminution de la teneur relative en eau (figures : 16, 17, 18, 19, 20, 21) et une augmentation de la pression osmotique en fonction de l'augmentation de la concentration en AS dans les feuilles et les racines des deux variétés testées (figures : 22, 23, 24, 25, 26, 27). La diminution de la teneur relative en eau croît avec la dose de l'AS. Elle atteint 29.68 %, 42.81 % respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 5 mM en AS au niveau des feuilles (figure : 20).

### **1-1-3- Effet sur les teneurs en sucres totaux**

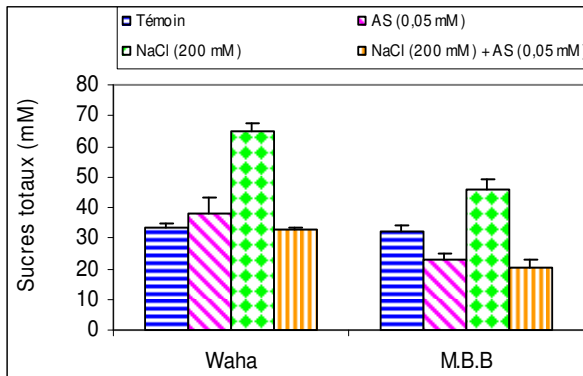
En milieu salin, les teneurs en sucres totaux augmentent régulièrement, en fonction de la concentration saline du milieu de culture, dans les feuilles et les racines des deux variétés testées (figures : 28, 29).

L'accumulation des sucres totaux est plus élevée chez la variété Waha que M.B.B. Elle est de l'ordre de 64.98 mM, 45.77 mM au niveau des feuilles et de l'ordre de 29.68 mM, 25.17 mM au niveau des racines respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 200 mM en NaCl.

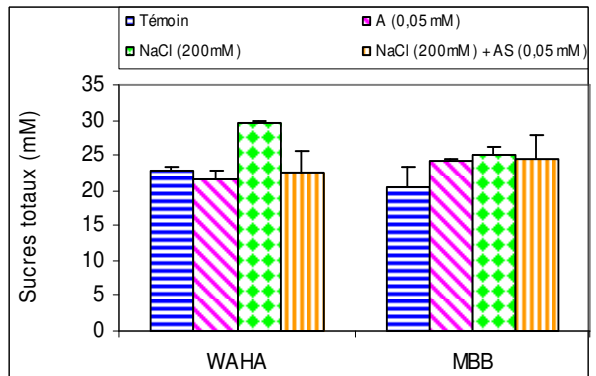
L'AS induit une réduction très hautement significative des teneurs en sucres totaux qui sont observées chez les deux variétés stressés. Cette réduction augmente au niveau des organes avec l'accroissement de la concentration de cet acide. Elle atteint au niveau des feuilles chez la variété Waha 32.46 mM, 20.81 mM, 10.6 mM à 200 mM en NaCl respectivement pour les concentrations 0.05 mM, 0.5mM et 5 mM en AS (figures : 28, 30, 32).

### **1-1-4- Effet sur la teneur en K<sup>+</sup>**

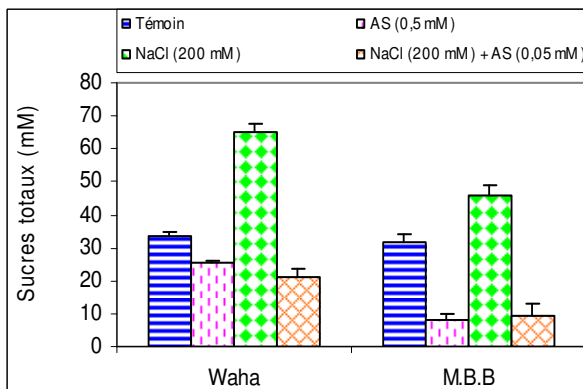
Les résultats sont présentés dans les figures (34, 35). Ils montrent que, chez les deux variétés étudiées, la teneur en K<sup>+</sup> diminue après application du stress salin par rapport au témoin, aussi bien au niveau des feuilles qu'au niveau des racines. Cette réduction est de l'ordre de 100 mM et 82.19 mM respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 200 mM en NaCl au niveau des feuilles.



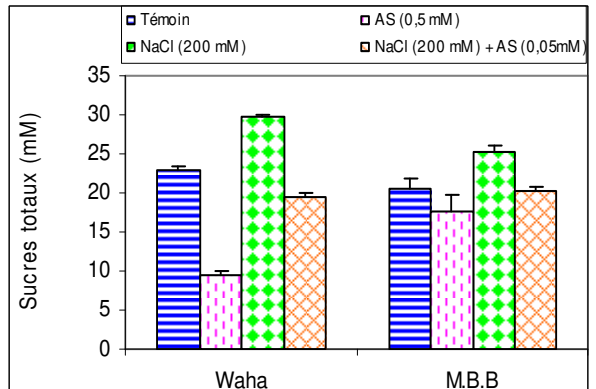
**Figure 28:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



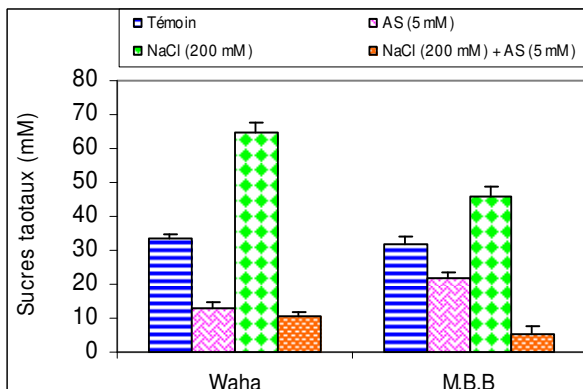
**Figure 29:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



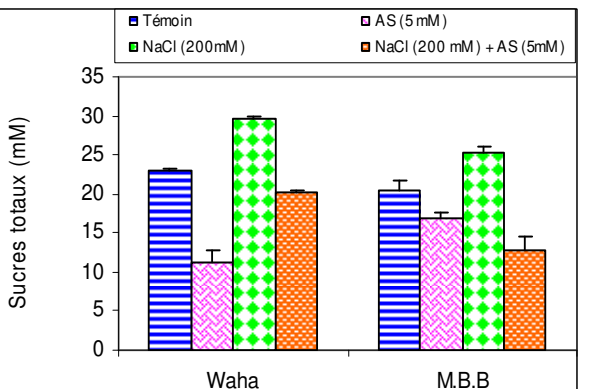
**Figure 30:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



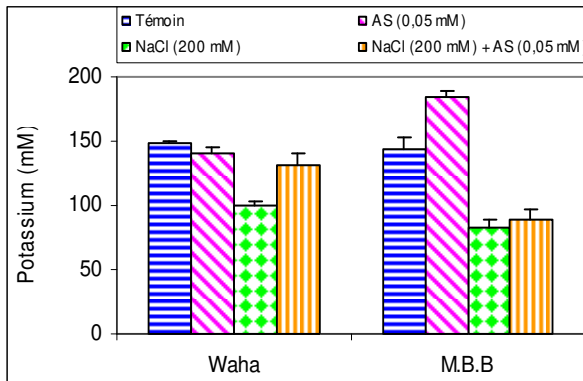
**Figure 31:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



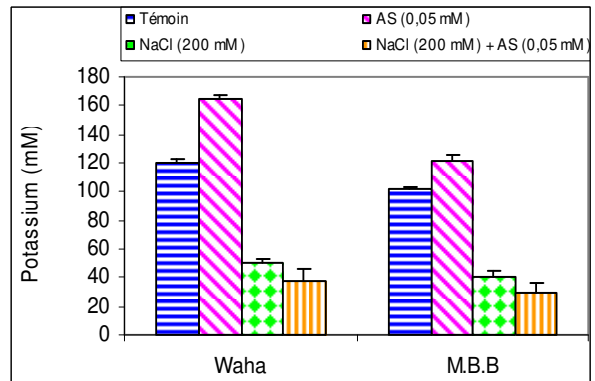
**Figure 32:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



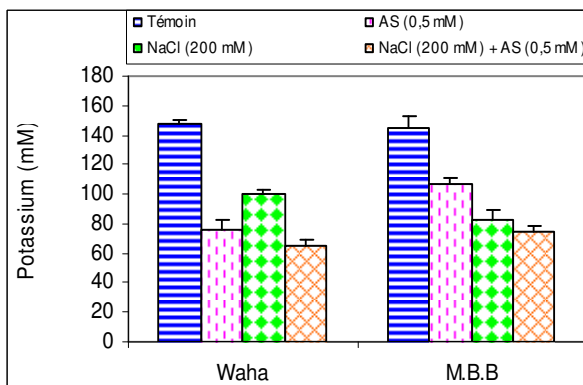
**Figure 33:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur les teneurs en sucres totaux au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



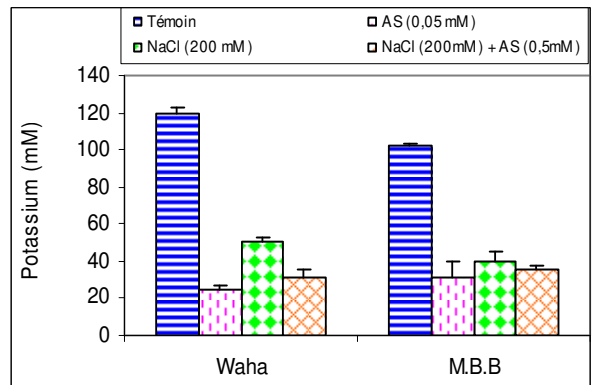
**Figure 34:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en potassium au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



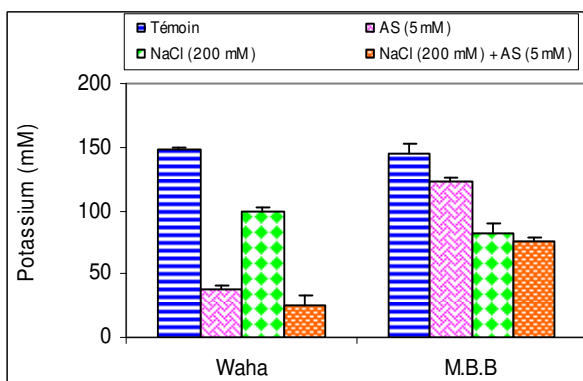
**Figure 35:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en potassium au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



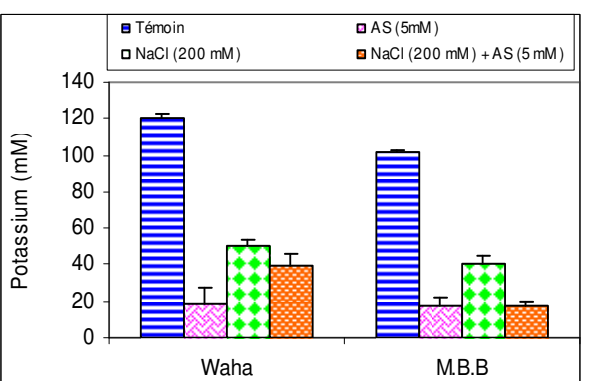
**Figure 36:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en potassium au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 37:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en potassium au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 38:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en potassium au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 39:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en potassium au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)

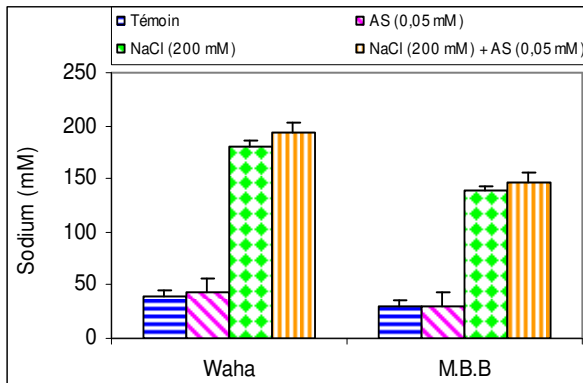
La culture en présence de NaCl et l'AS, diminue la teneur en  $K^+$  des deux variétés en concordance avec l'augmentation de la concentration en AS au niveau des feuilles et des racines. Cette diminution atteint 64.53 mM et 25.5 mM respectivement pour les concentrations 0.5 mM et 5 mM en AS, chez la variété Waha (figures : 36, 38).

#### **1-1-5- Effet sur la teneur en $Na^+$ et en $Cl^-$**

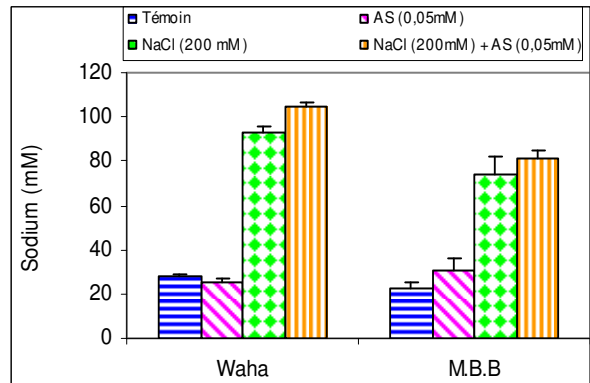
La culture en présence de NaCl augmente les teneurs en  $Na^+$  et en  $Cl^-$  des deux variétés testés. Les teneurs en  $Na^+$  sont comparables à celles de  $Cl^-$ , mais elles sont plus élevées dans les feuilles, que dans les racines.

Le traitement salin entraîne une augmentation, par rapport au témoin, du contenu en  $Na^+$  et  $Cl^-$  des parties aériennes et à degré moindre des racines (figures : 40,41, 46, 47). Cette augmentation est d'autant plus prononcée que le milieu enrichi en NaCl, aussi bien pour la variété Waha que M.B.B.

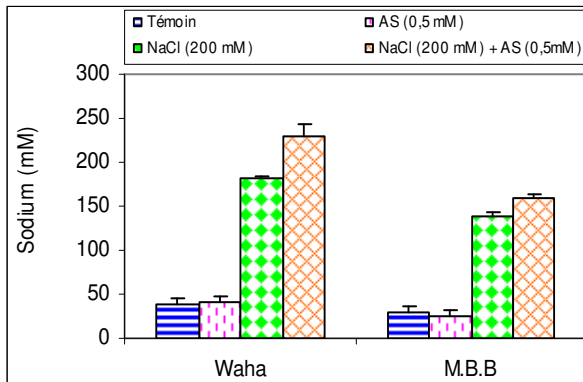
Dans un milieu salin et en présence de l'AS, nous avons pu constater une augmentation de la teneur en  $Na^+$  (figures : 40, 41, 42, 43, 44, 45) et en  $Cl^-$  (figures : 46, 47, 48, 49, 50, 51) au niveau des organes des deux variétés.



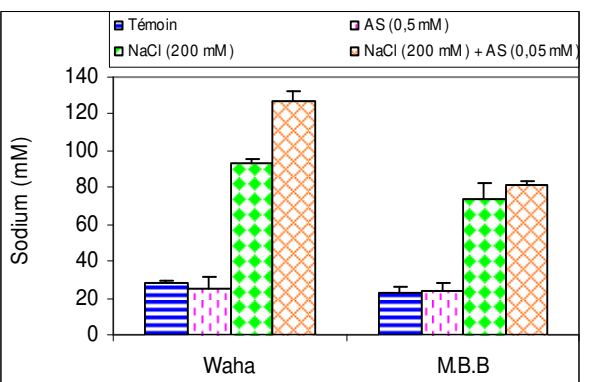
**Figure 40:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en sodium au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



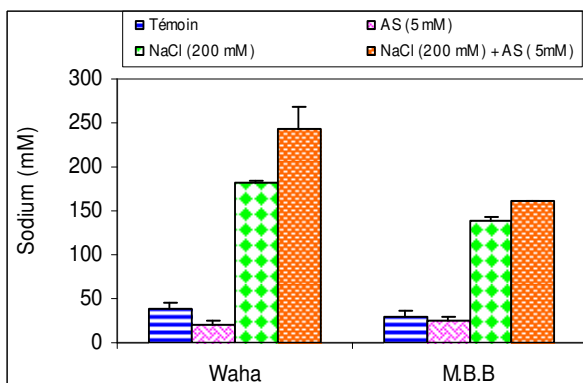
**Figure 41:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en sodium au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



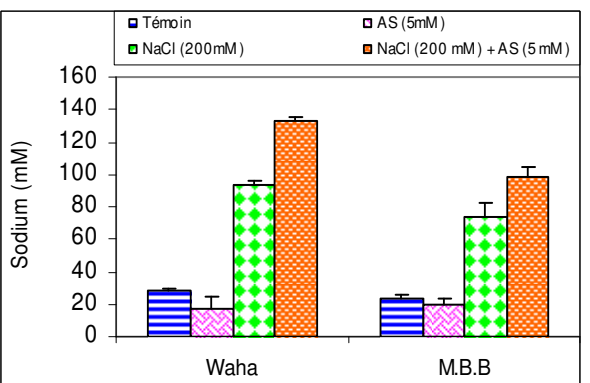
**Figure 42:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en sodium au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



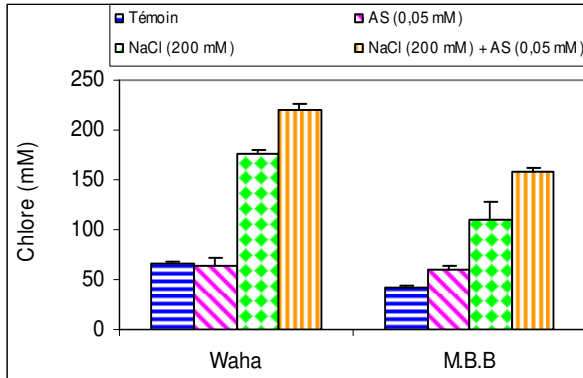
**Figure 43:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en sodium au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



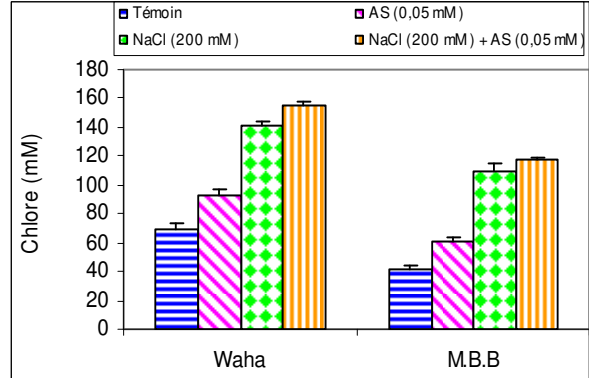
**Figure 44:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en sodium au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



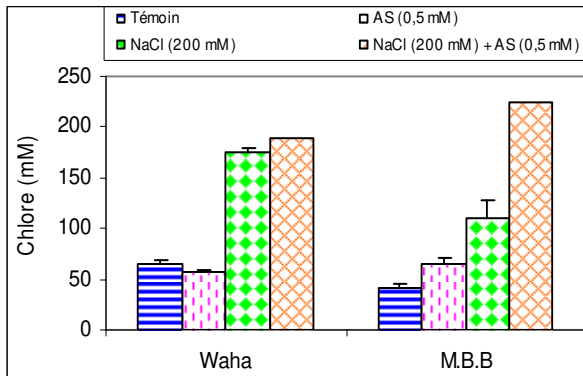
**Figure 45:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en sodium au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



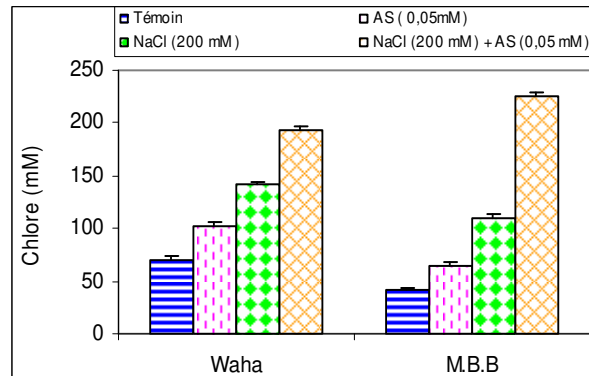
**Figure 46:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en chlore au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



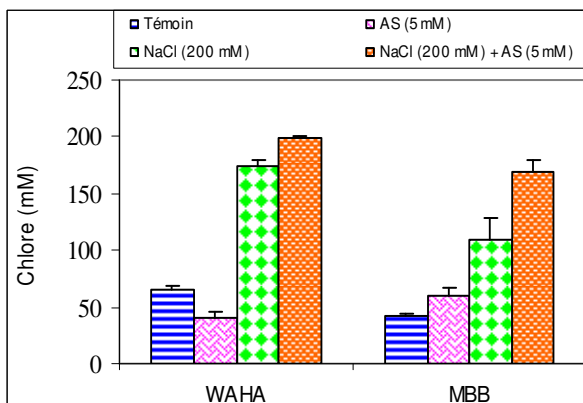
**Figure 47:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la teneur en chlore au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



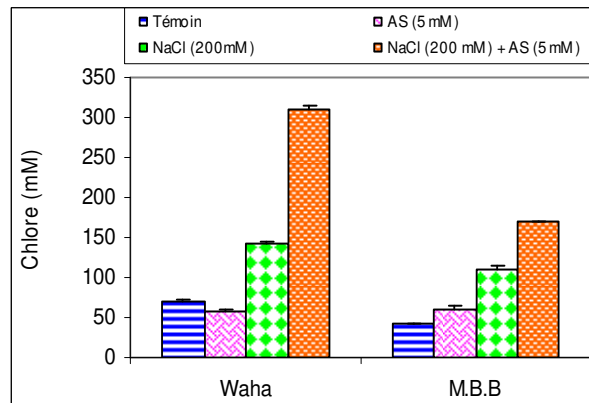
**Figure 48:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en chlore au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 49:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la teneur en chlore au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 50:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en chlore au niveau de la deuxième et la troisième feuille chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 51:** Effet de l'AS à concentration de 5 mM sur la teneur en chlore au niveau des racines chez deux variétés de blé dur en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 4 répétitions  $\pm$  S.E)

### **3-Discussion**

#### **3-1-Effets de NaCl sur la croissance et les paramètres physio-biochimiques**

##### **3-1-1-Effets sur la moyenne de l'élongation foliaire et l'ajustement osmotique**

Nos résultats montrent un effet dépressif du sel sur la croissance chez les variétés Waha et M.B.B par rapport au témoin. La salinité ralentit la moyenne de l'élongation foliaire et diminue la teneur relative d'eau avec une augmentation de la pression osmotique au niveau des feuilles et des racines des deux variétés de blé dur étudiées. L'hydratation de M.B.B est nettement plus affectée que celle de Waha

La salinité diminue la croissance des glycophytes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus (Greenway et Munns, 1980). Au niveau des feuilles, ce phénomène est associé à une baisse de turgescence suite à une diminution du gradient du potentiel hydrique entre la plante et le milieu (Levigneron et *al* ; 1995). L'état hydrique des organes du végétal correspond à l'équilibre du flux d'entrée et de sortie de l'eau (Martens et Blancher, 1981). Cet état peut être perturbé par la présence des sels minéraux à fortes concentrations dans le milieu de culture alors que les potentiels hydrique et osmotique baissent (Boyer, 1965; Gale et *al*; 1967; Hamza, 1980; Boutelier, 1982; Cheesman, 1988). La diminution des potentiels hydrique et osmotique en présence de sel dans le milieu de culture; ce qui a été déjà observé chez diverses espèces tel que l'orge (Hamza, 1973), le cotonnier (Boutelier, 1986).

La teneur relative en eau dans la feuille est un bon indicateur de l'état hydrique. Elle diminue chez les géotypes stressés à la salinité (Boutelier, 1982 ; Gale et *al* ; 1967). L'hydratation de M.B.B est nettement plus affectée que celle de Waha. Donc cette dernière (Waha) est plus tolérante à la salinité que l'autre variété.

##### **3-1-2-Effet sur les teneurs en sucres totaux**

Selon nos résultats, les teneurs en sucres totaux augmentent régulièrement en fonction de la concentration saline du milieu de culture dans les feuilles et les racines des deux variétés testées. Cette accumulation est plus élevée chez la variété Waha que M.B.B. Dans les milieux salés, les plantes ajustent osmotiquement (Goldhirs et *al* ;

1990) leur contenu cellulaire en synthétisant des solutés organiques comme la proline et les sucres (Ashraf et McNeilly, 2004). L'accumulation des sucres est une des stratégies adaptée et déclenchée par la plante face aux contraintes de l'environnement (Belkhodja et *al.* 1994). Nos résultats montrent une accumulation importante des sucres totaux chez la variété Waha. Alors elle tolère mieux le stress salin que la variété M.B.B.

Chez les glycophytes, l'accumulation des sucres est un indice intéressant pour évaluer leur résistance au stress salin (Heyser et *al.* ; 1989). Ces plantes possèdent, en effet, des capacités pour maintenir un potentiel hydrique interne bas sous la contrainte saline du milieu pour leur croissance sans affecter leur métabolisme (Munns et *al.* ; 2006). L'accumulation des sucres permet la protection de la membrane cellulaire et participe à l'ajustement osmotique (Yancey et *al.* ; 1982). Cette accumulation est inversement proportionnelle à la teneur en eau dans les feuilles (Hubac et Vierra, 1980).

### **3-1-3-Effet sur la teneur en Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et en K<sup>+</sup>**

Le traitement salin entraîne une augmentation, par rapport au témoin, du contenu en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans les parties aériennes et à degré moindre dans les racines. Cette augmentation est d'autant plus prononcée que le milieu enrichi en NaCl, aussi bien pour la variété Waha que M.B.B. Parallèlement, l'augmentation des teneurs en Na<sup>+</sup> et en Cl<sup>-</sup> correspond à la diminution de la teneur en K<sup>+</sup> dans les organes des deux variétés stressées.

Les résultats que nous venons de décrire sur l'analyse des ions comme les Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et K<sup>+</sup> suggèrent une variabilité ionique de la réponse de blé dur *Triticum durum*. comme un bon marqueur physiologique au stress salin. En effet, l'apport de la solution saline au NaCl provoque une migration du Na<sup>+</sup> dans les parties aériennes avec une forte accumulation dans les feuilles que dans les racines des plantes utilisées. Divers travaux rapportent que le transport du Na<sup>+</sup> et son accumulation dans les feuilles peuvent causer la toxicité chez les glycophytes (Davenport et *al.* ; 1997; Shabala et *al.* ;



1998). Cette forme de séquestration du  $\text{Na}^+$  en excès dans les feuilles indique l'abaissement du potentiel osmotique (Morant-Manceau et al ; 2004). Un taux faible de  $\text{K}^+$  conduit à un ratio  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  relativement bas qui peut être défavorable pour la photosynthèse ce qui va à l'encontre des résultats de Munns et al. (2006), ratio clef de la tolérance des plantes à la salinité. Les variétés utilisées accumulent plus de  $\text{Na}^+$  que de  $\text{K}^+$  comme le confirment les travaux de Lindsay et al. (2004) sur le blé dur et Munns et al. (2006) sur le blé et l'orge. L'effet inhibiteur du traitement salin sur l'absorption de  $\text{K}^+$  a été observé chez plusieurs espèces végétales telles que les triticales, (Morant-Manceau et al ; 2004), le blé tendre (Clarcke et Mc Caig, 1982) et l'olivier (Ottow et al ; 2005).

L'importance de la baisse de la teneur en  $\text{K}^+$  peut constituer une caractéristique de la sensibilité au sel. Ceci va dans le même sens que les résultats que nous avons obtenus en comparant les deux génotypes de blé dur (Morant-Manceau et al ; 2004 ; Ottow et al ; 2005).

### **3-2- Effets de l'AS sur la croissance et les paramètres physio-biochimiques sous la contrainte saline**

Nos résultats montrent un effet dépressif de l'AS sur la croissance sous conditions salines et non salines. L'addition de l'AS dans la solution nutritive entraîne une diminution de la teneur relative en eau et une augmentation de la pression osmotique avec une accumulation importante des ions de  $\text{Na}^+$  et du  $\text{Cl}^-$ . En plus, l'AS induit une réduction très hautement significative des teneurs en sucres totaux et des ions de  $\text{K}^+$  chez les deux variétés stressées et non stressées. Cette réduction croît au niveau des organes avec l'augmentation de la concentration de cet acide.

De nombreux travaux rapportent que l'addition de l'AS dans la solution nutritive réduit et inhibe la croissance chez plusieurs espèces (Janda, 1998 ; Janda et al ; 2000). Dans le même sens (Tasgin et al ; 2003, Yu et al ; 2001) signalent que le traitement de l'AS par cette méthode est un des facteurs critiques qui affecte défavorablement la croissance des plantes. L'AS affecte la synthèse des glucides aussi bien que le

transport des produits photosynthétiques et leur utilisation dans la production de nouveaux tissus (El Tayeb, 2005 ; Janda et al ; 2000 ; Rai et al ; 1986 ; Sato et al ; 2002).

Selon Glasse (1974) l'addition de l'AS dans la solution nutritive affecte la croissance des plantes en réduisant la facilité d'absorption d'eau et limite l'absorption des cations indispensables tels que  $K^+$  et  $Ca^{2+}$ . Cette absorption peut s'arrêter complètement en présence de fortes doses de l'AS. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance lorsque les ions essentiels comme  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ou  $NO_3^-$  deviennent limitants (El Tayeb, 2005 ; Janda et al ; 2000). D'autres auteurs note que l'addition de l'AS peut endommager les racines et diminue la croissance de certaines plantes en modifiant l'équilibre hydrique et ioniques des tissus (Leslie et Romani ; 1988 ; Glasse, 1973).

Rai et al. (1986) rapportent que l'inhibition de la photosynthèse sous la forte dose de l'AS chez plusieurs plantes peut être due à l'effet toxique de cet acide sur plusieurs processus biochimiques et enzymatiques chez le blé et l'orge. La diminution de la teneur en chlorophylle chez les plantes traitées à de fortes doses de l'AS peut être due également à l'effet inhibiteur de cet acide sur les enzymes qui interviennent dans la voie de la biosynthèse des chlorophylles ou à un trouble dans l'intégration des molécules de la chlorophylle dans les complexes stables (Anandhi et Ramanujam, 1997 ; Lian et al ; 2000). La perte en chlorophylle peut être une cause de baisse de la photosynthèse chez plusieurs plantes (Sato et al ; 2002 ; Lian et al ; 2000).

Plusieurs processus biochimiques sont affectés par l'AS, en particulier l'assimilation de nitrate. Ce dernier est la source la plus significative de l'azote pour les plantes cultivées et limite fréquemment la croissance des plantes (Ramanujam et al ; 1998). L'addition de l'AS dans la solution nutritive même à de faibles concentrations diminue l'activité du nitrate réductase et réduit l'absorption du nitrate dans les feuilles de certaines plantes (Lian et al ; 2000 ; Sota et al ; 2002). La réduction de l'activité de la nitrate réductase dans les feuilles est due essentiellement à

l'effet toxique de l'AS à forte dose qui conduit à une baisse de l'absorption de nitrate et par conséquent, à une diminution de la concentration en nitrate dans les feuilles (Jain et Srivastava, 1981). C'est pourquoi, une baisse dans l'activité de la nitrate réductase et de la teneur en nitrate, en présence de concentrations élevées en AS, peut être responsable de la réduction de la croissance (Sato *et al* ; 2002 ; Lian *et al* ; 2000).

Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par de nombreux travaux (Tasgin *et al* ; 2003; Yu *et al* ; 2001) qui trouve que l'addition de l'AS dans la solution nutritive induit la croissance de la plante accompagnée par une variation de dysfonctionnements métaboliques, y compris l'inhibition d'activités enzymatiques (Senaratna *et al*; 2000), de la photosynthèse (Rai *et al* ; 1986), de l'absorption ionique (El Tayeb, 2005), et de la respiration (Tasgin *et al* ; 2003 ; Yu *et al* ; 2001). Les concentrations croissantes en AS (0.5, 5 mM) agissent en réduisant le taux de croissance sous conditions salines et non salines. Janda (1998), Janda *et al.* (2000) ont proposé que la réduction de la croissance en réponse au stress salin est due probablement à l'effet inhibiteur de l'AS à forte dose qui peut causer des changements des activités enzymatiques ou hormonales des semences.

D'après nos résultats, on peut conclure que l'addition de l'AS dans la solution nutritive inhibe et réduit la croissance chez les deux variétés étudiées Waha et M.B.B. Cette réduction augmente avec l'accroissement de la dose de cet acide.

## **SECTION III**

# **Effets de la pulvérisation foliaire de l'acide salicylique**

## **1-Introduction**

La salinité est actuellement un des facteurs abiotiques les plus sévères qui limitent la production agricole. Le stress salin réduit le potentiel hydrique et crée le déséquilibre ionique provenant des troubles liés à l'hémostase et à la toxicité. Ce statut hydrique modifié conduit à la réduction de la croissance et à la limitation de la production de la plante (Hayashi et Murata, 1998 ; Munns, 2002 ; Benlloch-Gonzalez et al ; 2005).

Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que la pulvérisation foliaire par des solutions en AS à concentration de 0.05mM entraîne une amélioration de la croissance et une augmentation de la tolérance à la salinité. L'application de l'AS (0.05 mM) réduit et diminue les effets néfastes de la salinité (Fariduddin et al ; 2003). En outre, Pancheva et al. (1996) ont observé qu'une exposition à l'AS (0.01, 0.1 mM) peut stimuler la croissance chez le blé et augmenter le contenu de la matière sèche et la taille de feuille chez le maïs et le soja. Lian et al. (2000) notent que le traitement par l'AS à concentration (0.5 mM) inhibe et réduit la croissance des feuilles et des racines chez certaines espèces et que le succès de la tolérance à la salinité est lié à la concentration de l'AS dans leur milieu salin.

Le présent travail vise à déterminer les effets de la pulvérisation foliaire de l'AS à deux concentrations différentes (0.05, 0.5 mM) sur quelques processus physiologique et biochimiques des deux variétés de blé dur sous la contrainte saline.

## **2-Résultats**

### **2-1- Effets de l'acide salicylique sur la croissance et les paramètres physio-biochimiques sous conditions salines**

#### **2-1-1- Effets sur la moyenne de l'élongation foliaire**

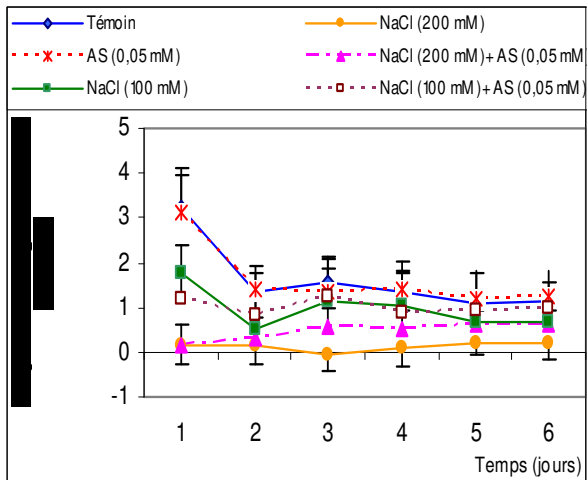
Dans un milieu salin, la moyenne de l'élongation foliaire diminue avec l'augmentation de la concentration en sel chez les variétés Waha et M.B.B en fonction du temps (figures : 52, 53).

Nos avons signalé une élévation de la moyenne de l'élongation foliaire, après l'application de l'AS à faible dose (0.05mM), en fonction du temps chez les deux variétés stressées en NaCl par rapport aux plantes traitées en NaCl sans l'application de l'AS (figures : 52, 53). Alors, les figures 54 et 55 montrent que l'application de l'AS à concentration 0.5mM, entraîne une diminution de la moyenne de l'élongation foliaire en fonction du temps sous conditions salines.

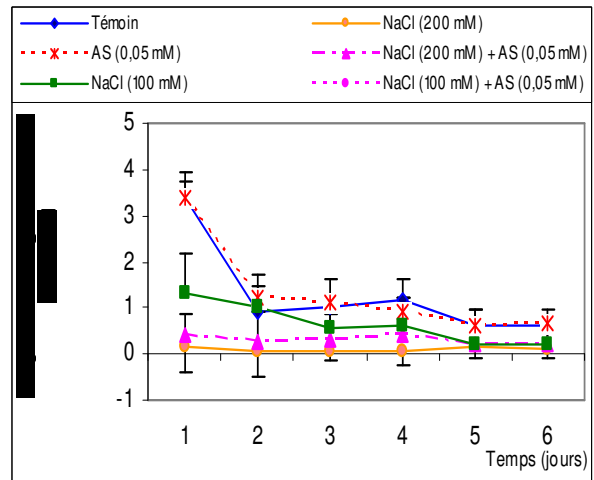
#### **2-1-2- Effets sur la teneur relative en eau et la pression osmotique**

Les figures (56, 57) montrent que l'augmentation des concentrations en NaCl induit une baisse de la teneur relative en eau chez les deux variétés étudiées. Les pourcentages de réductions au niveau des feuilles sont de l'ordre de 74.57% et 64.94% à 200 mM en NaCl, respectivement pour les variétés Waha et M.B.B.

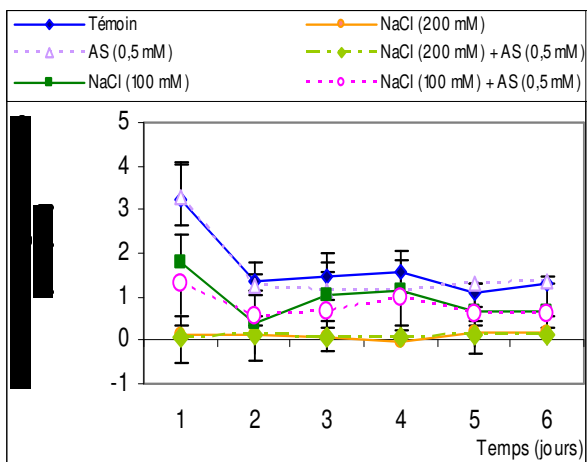
Parallèlement, la diminution de la teneur relative en eau correspond à l'augmentation de la pression osmotique au niveau de organes des deux variétés testés. Cette augmentation est de l'ordre de 1223.5 mmole/kg et 897.13 mmole/kg au niveau des feuilles et de l'ordre 603.32 mmole/kg et 491.02 mmole/kg au niveau des racines respectivement pour les variétés Waha et M.B.B à 200 mM en NaCl (figures : 60, 61).



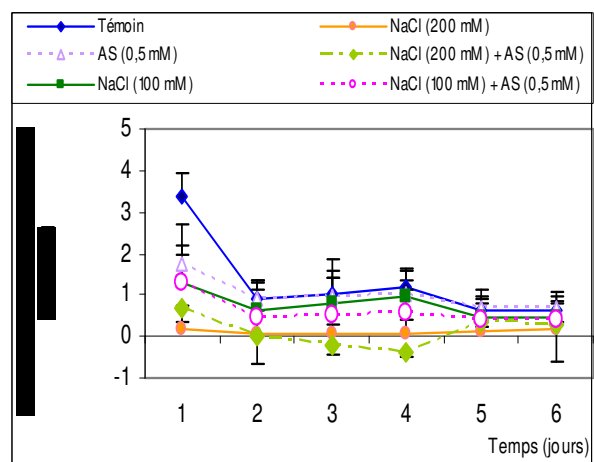
**Figure 52:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la deuxième feuille chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



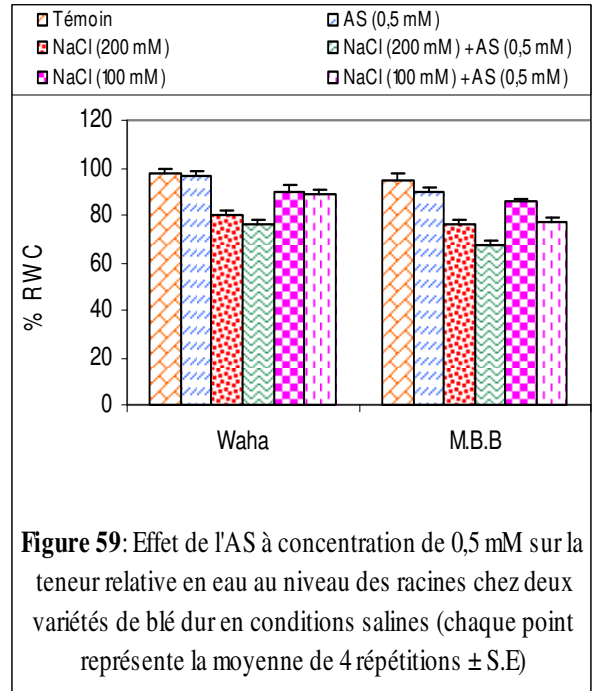
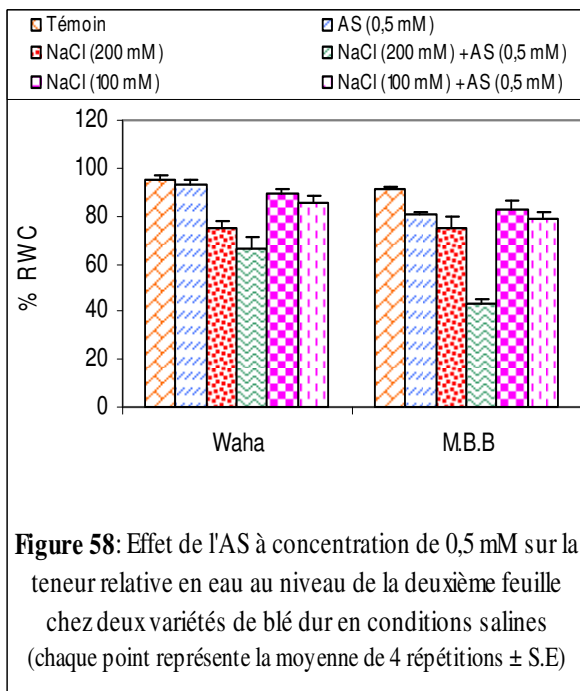
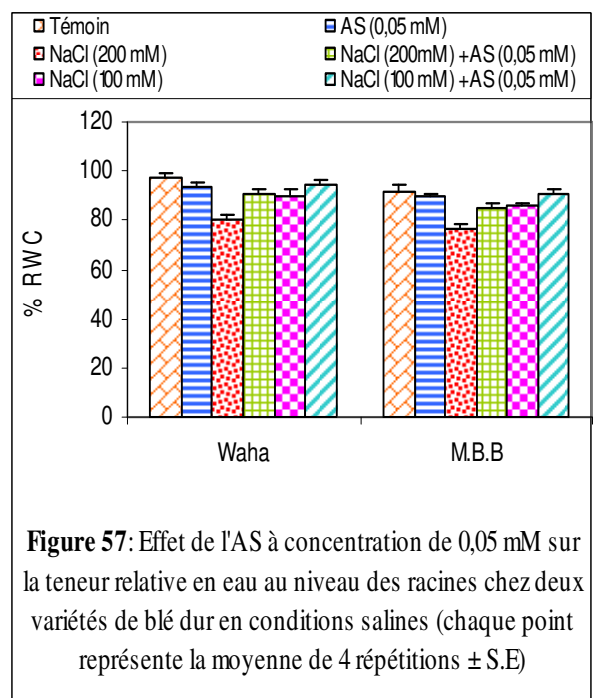
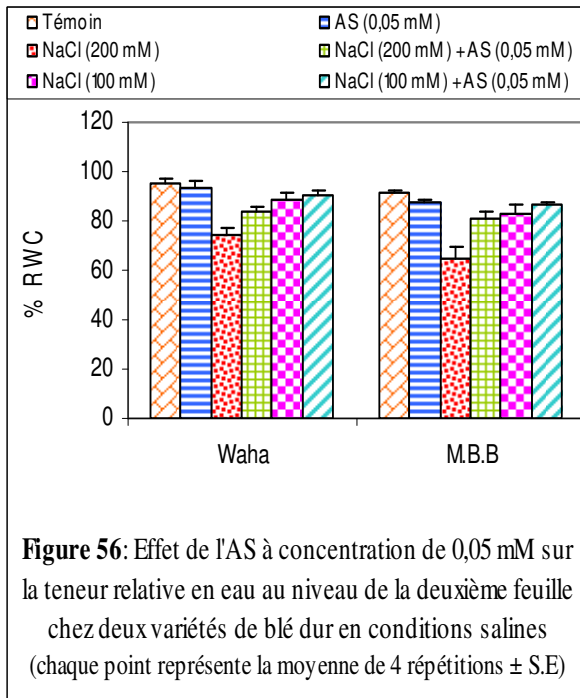
**Figure 53:** Effet de l'AS à concentration de 0,05 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la deuxième feuille chez la variété M.B.B en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



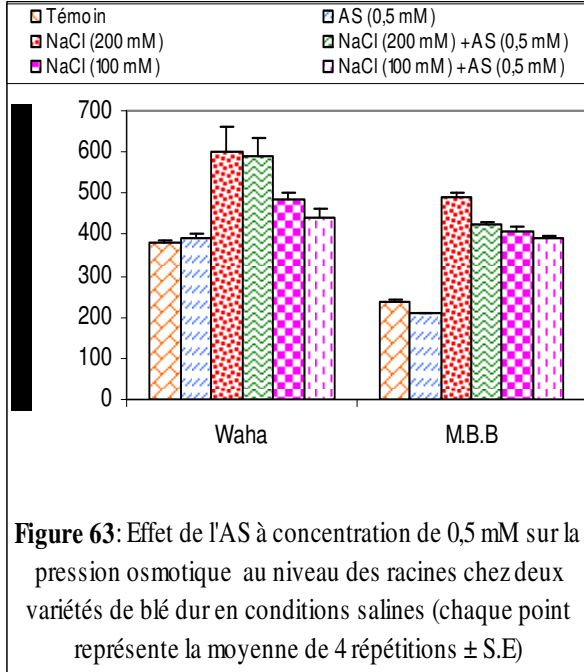
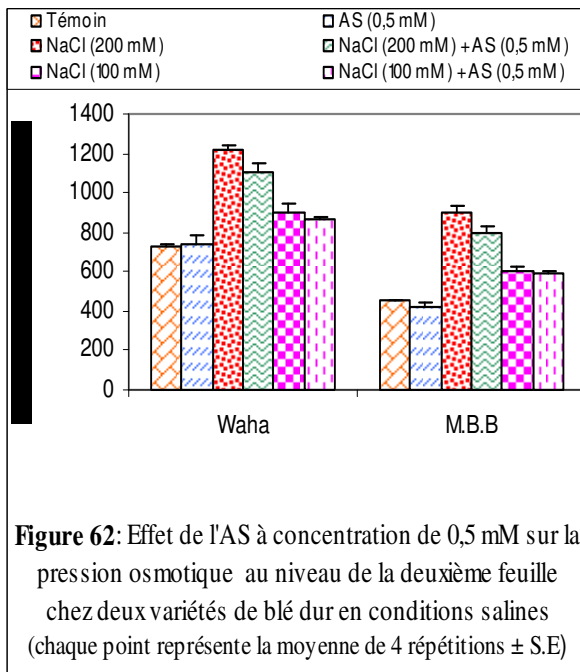
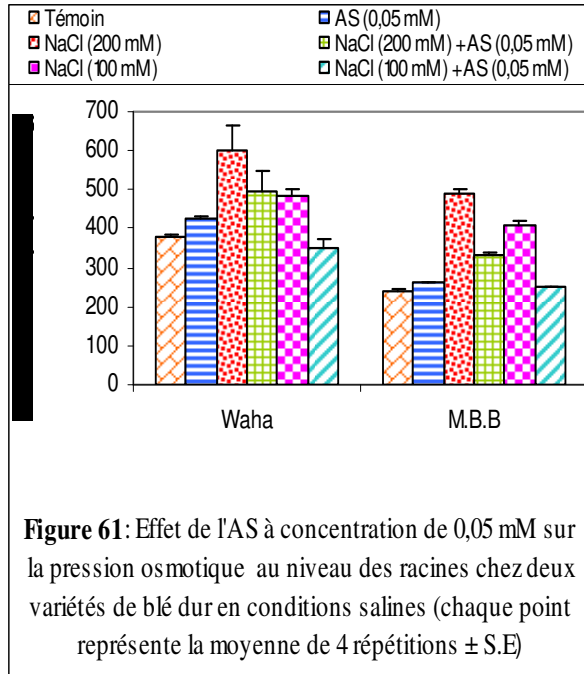
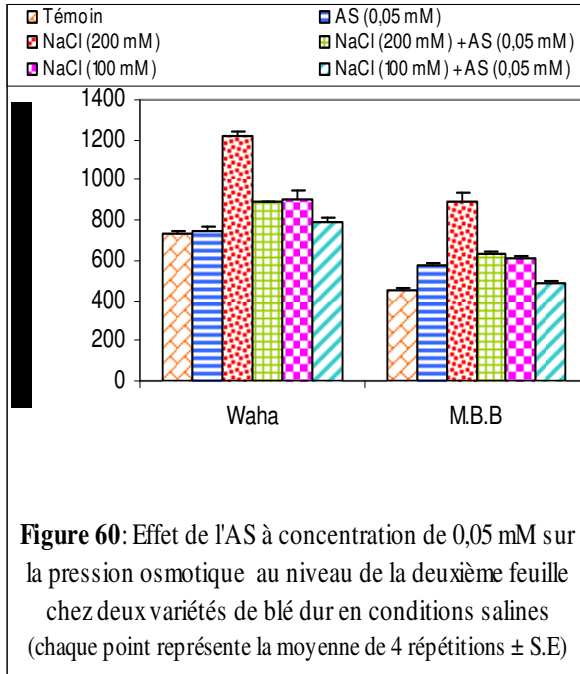
**Figure 54:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la deuxième feuille chez la variété Waha en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)



**Figure 55:** Effet de l'AS à concentration de 0,5 mM sur la moyenne d'élongation foliaire de la deuxième feuille chez la variété M.B.B en conditions salines (chaque point représente la moyenne de 8 répétitions  $\pm$  S.E)







Nos résultats montrent que l'addition de l'AS à concentration 0.05 mM, dans un milieu salin provoque une augmentation de la teneur relative en eau de l'ordre de 82.3% et 78.57 % (Figure : 56), et une réduction de la pression osmotique de l'ordre de 920.34 mmole/kg, 620.47 mmole/kg mM (figures : 60) respectivement chez Waha et M.B.B au niveau des feuilles à 200 mM en NaCl.

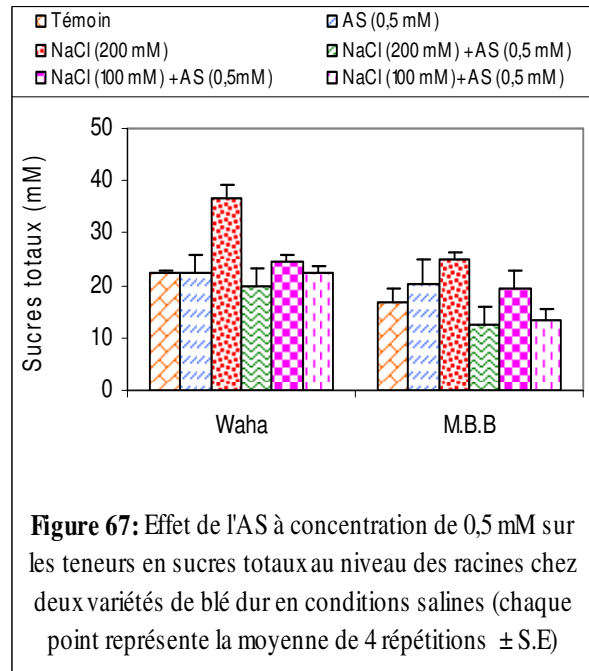
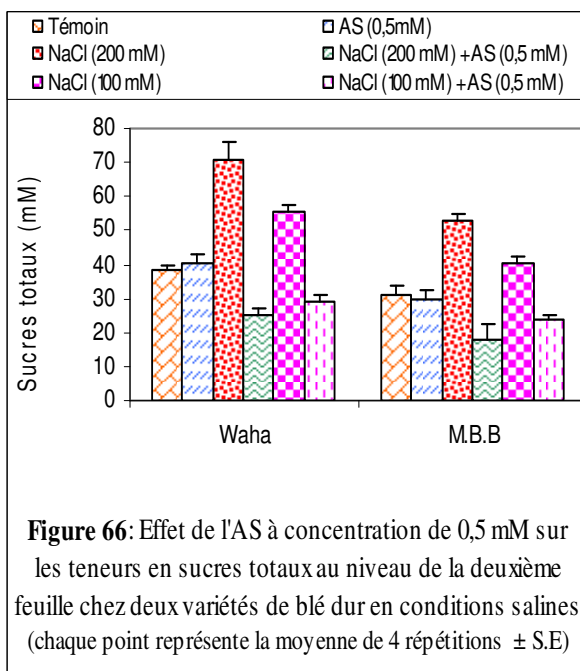
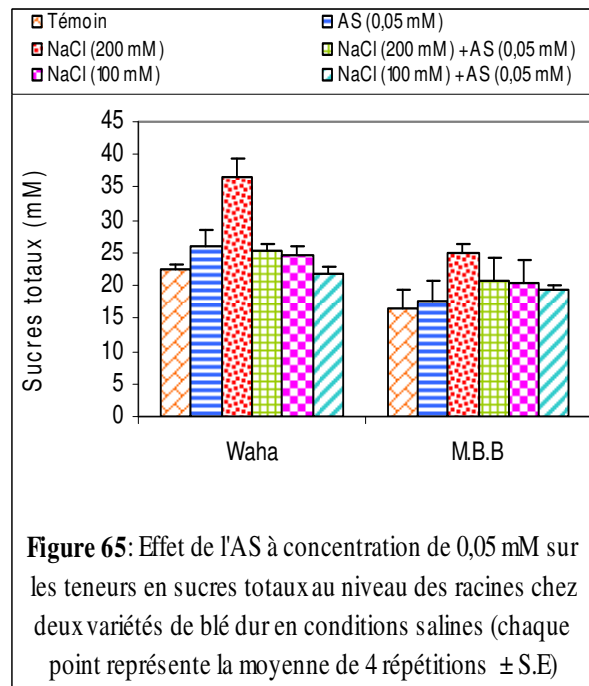
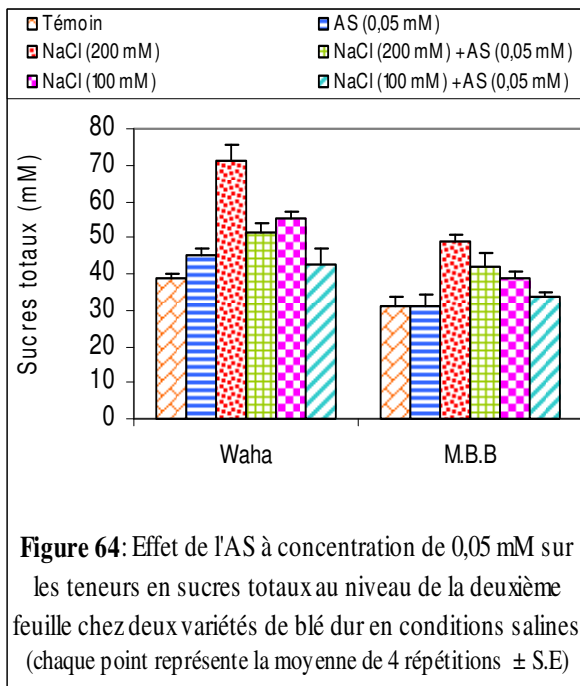
Les résultats des figures (58, 59, 62, 63) montrent que l'application de l'AS à forte concentration (0.5mM) en présence de NaCl baisse significativement la teneur relative en eau et la pression osmotique en fonction de l'augmentation de la salinité du milieu de culture au niveau des feuilles et des racines des deux variétés de blé dur.

### **2-1-3- Effet sur les teneurs en sucres totaux**

Les résultats sont présentés dans les figures ( 64, 65) Ils montrent que chez les deux variétés étudiées, les teneurs en sucres totaux augmentent régulièrement en fonction de la concentration saline du milieu de culture dans les feuilles et les racines.

L'accumulation des sucres totaux est plus élevée chez la variété Waha que M.B.B. Elle est de l'ordre de 71.21 mM, 55.13 mM au niveau des feuilles et de l'ordre de 36.72 mM et 24.76 mM au niveau des racines, respectivement pour les concentrations 200 mM et 100 mM en NaCl chez la variété Waha.

L'AS induit une réductions très hautement significative des teneurs en sucres totaux qui sont observées chez les deux variétés stressées. Cette réduction augmente au niveau des organes avec l'accroissement de la concentration de cet acide. Elle atteint au niveau des feuilles chez la variété Waha 50.39 mM et 28.51 mM à 200 mM en NaCl ; 42.01 mM et 29.98 mM à 100 mM en NaCl respectivement pour les concentrations 0.05 mM et 0.5mM en AS (figures : 64, 66).



#### **2-1-4- Effet sur la teneur en K<sup>+</sup>**

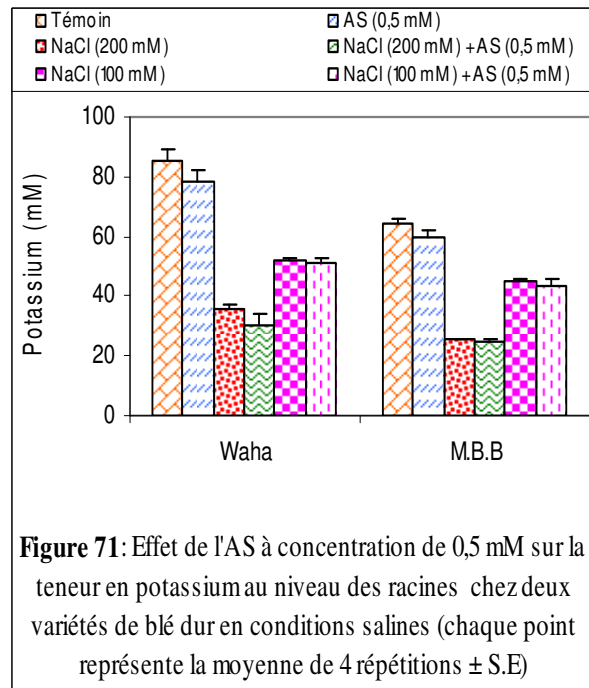
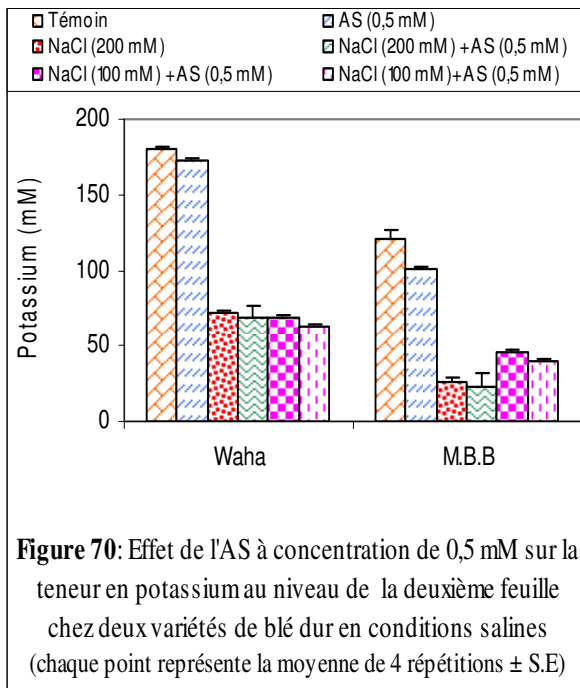
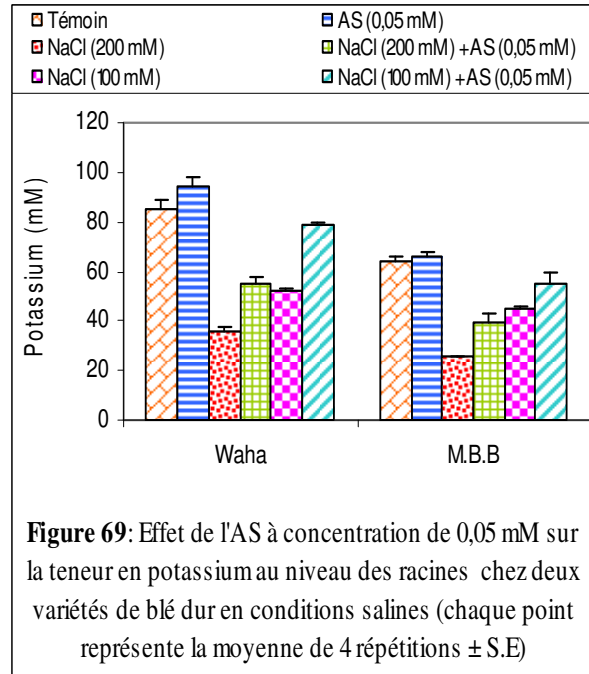
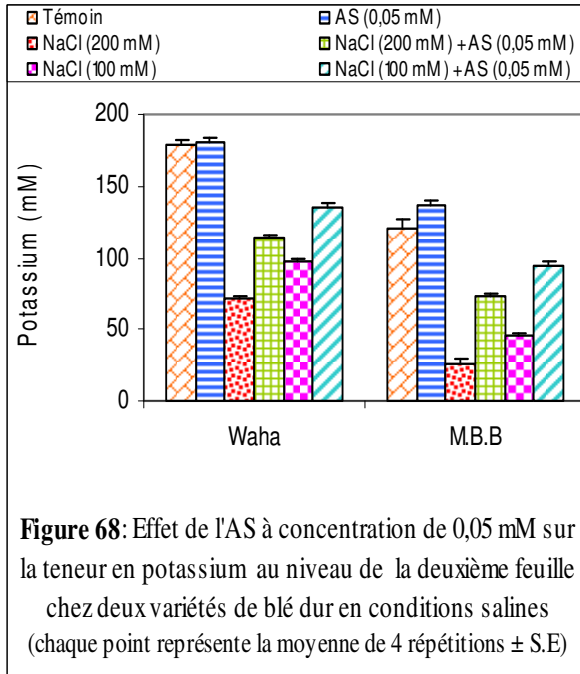
La culture en présence de NaCl réduit la teneur en K<sup>+</sup> des deux variétés en concordance avec l'augmentation de la concentration en NaCl par rapport au témoin aussi bien au niveau des feuilles qu'au niveau des racines (figures : 68, 69). Les pourcentages de réductions à 200 mM en NaCl au niveau des feuilles sont de l'ordre de 71.96 % et 25.77 % par rapport au témoin 179.62 % et 120.03 % respectivement pour les variétés Waha et M.B.B.

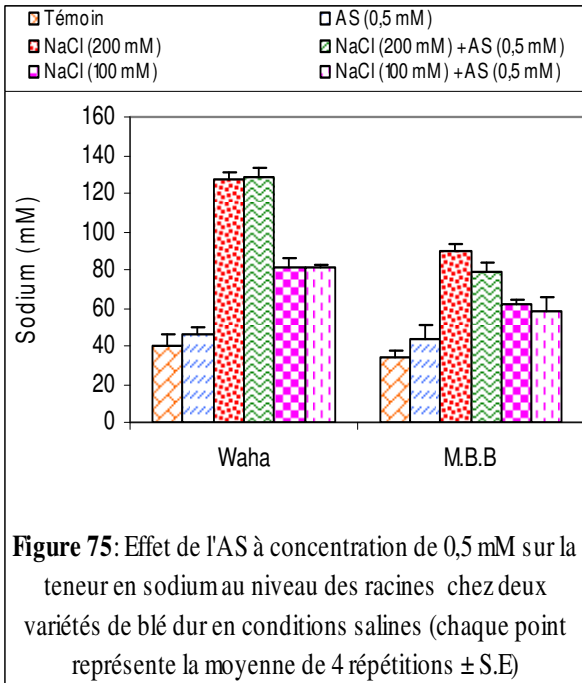
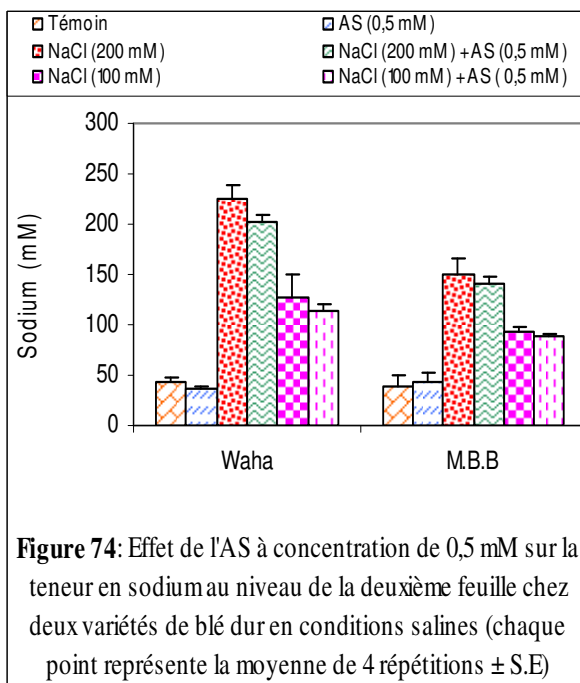
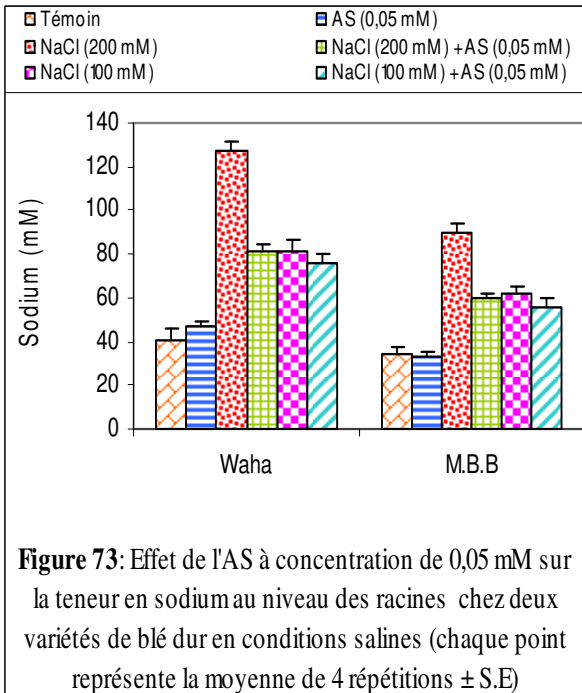
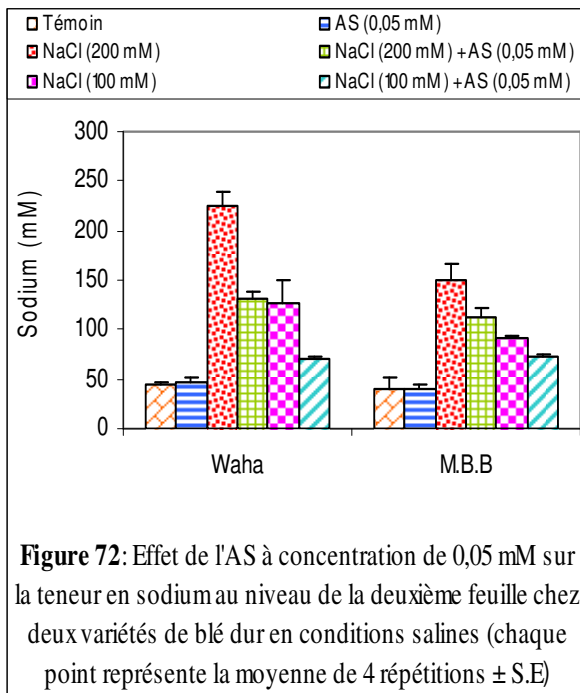
L'application de l'AS à faible dose (0.05mM), dans un milieu salin, provoque une augmentation de la teneur en K<sup>+</sup> dans les organes des deux variétés stressées (figures : 68, 69). Dans l'ensemble, la teneur des organes en K<sup>+</sup> ne semble pas subir de modifications significatives en présence de 0.5 mM en AS (figures : 70, 71).

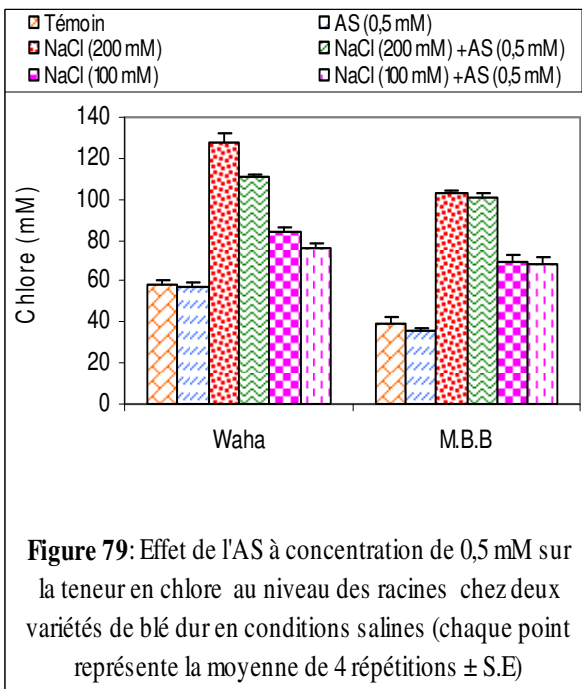
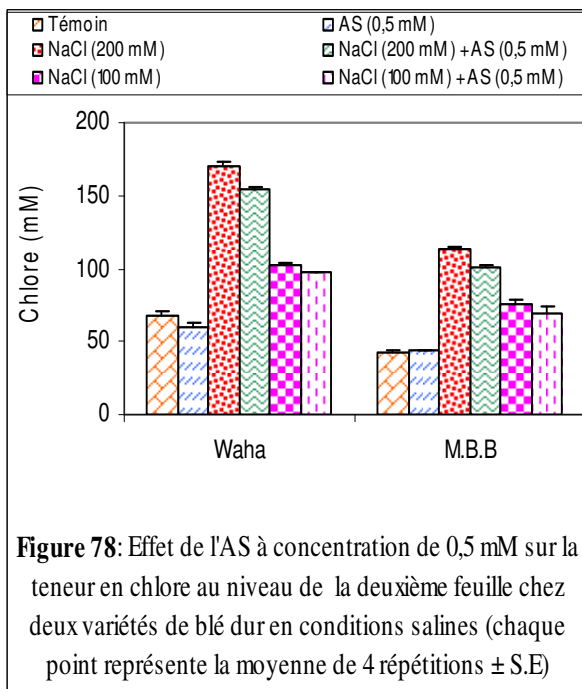
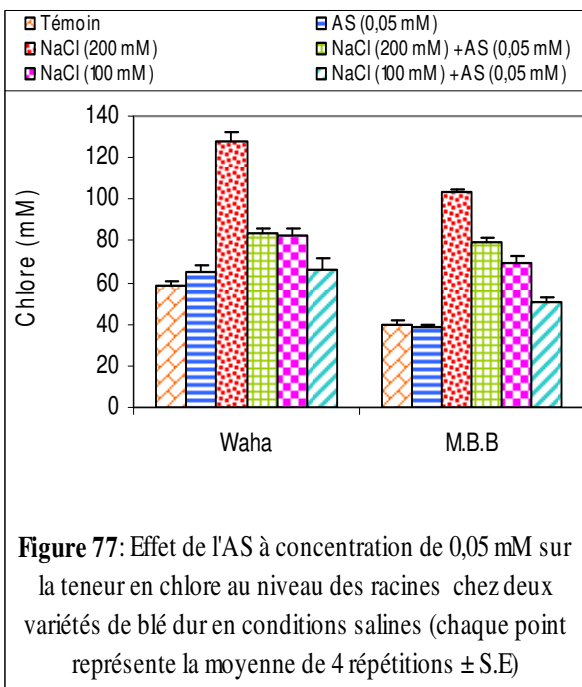
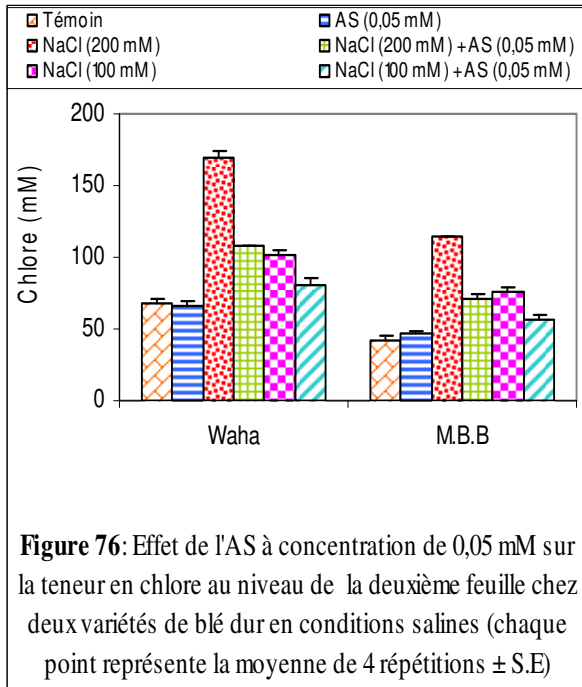
#### **2-1-5- Effet sur la teneur en Na<sup>+</sup> et en Cl<sup>-</sup>**

Les figures (72, 73, 76, 77) nous montrent que le traitement salin entraîne une augmentation, par rapport aux témoins, du contenu en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> des parties aériennes et à degré moindre des racines. Cette augmentation est d'autant plus prononcée que le milieu enrichi en NaCl aussi bien pour la provenance Waha que M.B.B.

La présence de l'AS (0.05 mM) dans un milieu salin entraîne une diminution de la teneur en Na<sup>+</sup> et en Cl<sup>-</sup> dans les organes des deux variétés testées. La diminution en Na<sup>+</sup> est plus importante avec la concentration 0.05mM de cet acide, qui atteint 128.13 mM et 110.32 mM au niveau des feuilles et 80.04 mM et 60.01 mM au niveau des racines respectivement pour les variétés Waha et M.B.B, à la concentration 200 mM de NaCl. Par contre l'application de l'AS à concentration de 0.5 mM, provoque une légère diminution en Na<sup>+</sup> et en Cl<sup>-</sup> dans les organes des deux variétés stressées en NaCl (figures : 74, 75, 78, 79).







### **3-Discussion**

#### **3-1- Effets de la salinité sur la croissance et les paramètres physio-biochimiques**

##### **3-1-1- Effets sur la moyenne l'élongation foliaire et l'ajustement osmotique**

Nos résultats montrent que le stress salin cause une réduction de la croissance des deux variétés de blé dur utilisées. La salinité entraîne une diminution du potentiel hydrique et une augmentation de la pression osmotique au niveau des organes de ces plantes. Cette réduction de croissance est plus marquée chez la variété M.B.B que la variété Waha. Cette variété (Waha) montre, par contre, une augmentation d'hydratation surtout dans le milieu de culture le plus concentré en sel (200 mM en NaCl). La rapidité et l'intensité des réponses chez cette variété (Waha) vis-à-vis du stress salin, sont considérables.

L'effet dépressif de la salinité sur la croissance des plantes peut être lié aux déséquilibres de l'état hydrique du sol dû aux effets osmotiques de sels (Parida et Das, 2005 ; Flowers, 2004). Une forme de sécheresse physiologique survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant ; ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence des feuilles (Hopkins, 2003). De ce fait, l'expansion des feuilles est ralentie et par conséquent la surface foliaire photosynthétique est réduite (Shannon, 1997). De plus, Orcutt et Nilsen (2000) rapportent que l'effet de NaCl sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle et une diminution de la surface foliaire.

Parmi les autres causes de réduction de la croissance, on invoque les effets toxiques des sels qui peuvent être des déséquilibres ioniques, nutritionnels et hormonaux (Khan *et al* ; 1999 ; Khan *et al* ; 2003; Haouala *et al* ; 2007) ou la combinaison de ces facteurs (Shannon, 1992 ; Hayashi et Murata, 1998 ; Yeo, 1998).

Dans ce sens, nos résultats suggèrent que la réduction de la croissance observée consécutivement à l'addition de NaCl dans la solution nutritive serait imputable aux effets osmotiques des sels. Récemment, Rejili *et al.* (2008) ont rapporté que la présence de 200 mM en NaCl dans la solution nutritive affecte significativement la croissance des plusieurs plantes. L'état hydrique des organes du végétal correspond à



l'équilibre du flux d'entrée et de sortie de l'eau. Ce processus peut être perturbé par la présence des sels minéraux à fortes concentrations dans la solution nutritive. La diminution du potentiel hydrique en présence de sel dans le milieu de culture rappelle ce qui a été déjà observé chez diverses espèces tels que l'orge, le cotonnier (Munns, 2002; Neumann, 1997).

Quand les plantes sont exposées à la salinité, les ions, particulièrement  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  baissent le potentiel hydrique externe. Il résulte une accumulation excessive de ces ions dans les cellules conduisant à l'inhibition de la croissance des plantes et leur développement (Greenway et Munns, 1980).

Effectivement, de nombreux travaux ont montré que la réduction de la croissance se produit chez toutes les plantes (Ben Ahmed *et al.*; 2008). Cependant, leur niveau de tolérance et le taux de réduction à des concentrations de sels létales varient largement avec ou entre les différentes espèces végétales (Maas, 1996 ; Parida et Das, 2005 ; Yildirim et Guvenc, 2006), la variété à l'intérieur de l'espèce (Ashraf, 2001 ; Ghoulam *et al.* ; 2002), le stade de développement à partir duquel la salinité est initiée (Maas et Poss, 1989b; Vicente *et al.* ; 2004) et les interactions avec l'environnement (Maas et Hoffman, 1977). Donc, d'après nos résultats, la variété Waha est plus tolérante à la salinité que M.B.B.

### **3-1-2 - Effet sur les teneurs en Sucres totaux**

Nos résultats montrent que chez les deux variétés étudiées, les teneurs en sucres totaux augmentent régulièrement en fonction de la concentration saline du milieu de culture dans les feuilles et les racines. Cette augmentation est plus marquée chez la variété Waha que M.B.B.

L'accumulation des sucres totaux est retenue par de nombreux auteurs comme indicateur de la tolérance à la salinité (Hamza, 1980). Cette accumulation a été également observée chez d'autres espèces tels que l'orge, le blé, la carotte et la tomate. L'enrichissement en sucres solubles peut protéger les membranes cellulaires. Il

a été montré que certains sucres, comme le tréhalose, en se liant aux lipides membranaire, pourrait stabiliser la structure lipidique des membranes pendant le stress salin (Munns *et al* ; 1982).

Nos résultats ont mis en évidence le rapport entre l'accumulation des sucres totaux et le degré de tolérance à la salinité indiquant que la teneur en sucres est un critère de sélection pour le génotype de blé tolérant à la salinité. Les racines des plantules du maïs ont répondu au choc de NaCl en maintenant des concentrations plus élevées des sucres pendant le stress salin (Hubac et Vierra, 1980). Nos résultats montrent une accumulation plus importante des sucres totaux chez la variété waha que chez la variété MBB. Alors, waha tolère mieux le stress salin que l'autre variété.

### **3-1-3- Effet sur la teneur en Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> et en K<sup>+</sup>**

Nos résultats indiquent une accumulation importante des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> dans les parties aériennes et à un degré moindre dans les racines chez les deux variétés étudiées. Cette accumulation est d'autant plus prononcée que le milieu de culture est enrichi en NaCl. Ceci est essentiellement dû à une exportation de bas en haut des ions du sodium à travers les vaisseaux du xylème. Ainsi, en présence du NaCl, les racines se montrent capables d'absorber les ions Na<sup>+</sup> et de les transporter massivement vers les parties aériennes alors qu'ils ont une très faible efficacité dans la rétention de ce cation dans leurs tissus (Shabala *et al* ; 1998). En outre, dans un environnement salé, les plantes absorbent de grandes quantités de Na<sup>+</sup> et de Cl<sup>-</sup> mais le transport et l'accumulation de ces deux éléments semblent souvent dépendre du degré de tolérance (ou de sensibilité) de différentes espèces (Mansour, 1995 ; Morant-Manceau *et al* ; 2004).

Les glycophytes, très sensibles au sel, restreignent ce transport tandis que les halophytes, plus tolérants, accumulent aisément ce cation dans leurs feuilles (Wyn Jones et Story, 1978). L'augmentation de la teneur en sodium est sensiblement plus élevée chez la variété Waha que M.B.B. A cet effet, la variété Waha peut être considérée comme tolérante.

Cette même variété est donc capable d'absorber et de transporter des quantités importantes de  $\text{Na}^+$  dans les feuilles tout en protégeant les processus métaboliques qui sont inhibés par de fortes concentrations ioniques. Ceci est réalisé par la séquestration des ions dans la vacuole (Morant-Manceau et *al* ; 2004).

L'effet inhibiteur du traitement salin sur l'absorption de potassium chez les deux variétés étudiées a été également observé chez d'autres espèces tels que le blé tendre (Mansour, 1995) et l'orge (El-Mekkaoui et *al* ; 1990). Une forte accumulation de sodium entraîne une diminution de la richesse tissulaire en potassium suggérant un antagonisme entre les deux monovalents. Un tel déficit pourrait causer une diminution de croissance d'autant plus qu'on connaît l'importance de  $\text{K}^+$  dans la survie des plantes en milieu salé (Shabala et *al* ; 1998).

### **3- 2-Effets de l'acide salicylique sur la croissance et les paramètres physio-biochimiques sous conditions salines**

Selon nos résultats, la pulvérisation des feuilles par l'AS à faible concentration (0.05 mM) accélère et améliore la croissance des plantes des deux variétés étudiées de blé dur (Waha et M.B.B) sous contrainte saline par rapport aux plantes stressées non traitées en AS. L'application de cet acide entraîne une diminution de la pression osmotique et une réduction de la teneur en sucre totaux et des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  avec une augmentation de la teneur en  $\text{K}^+$  dans les organes des plantes traités.

Nos résultats montrent aussi une diminution des sucres totaux après l'application de l'AS (0.5mM) avec une augmentation de la pression osmotique et l'accumulation des ions de  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Na}^+$  aux niveaux des feuilles et des racines des deux variétés stressées en NaCl.

De nombreux travaux rapportent que la pulvérisation foliaire de l'AS à faible concentration (0.05mM), entraîne une amélioration de la croissance et une augmentation de la tolérance chez de nombreuses espèces tels que le riz et le blé (Borsani et *al* ; 2001). Le traitement de l'AS (0.05mM) réduit les effets nuisibles de la

salinité (Shakirova et al ; 2003). En plus Inada et al. (2005), Wang et al. (2002) ont montré que l'application de l'AS (0.01-0.1 mM) mène à l'accumulation des phytohormones (ABA, AIA) et des protéines liées à la résistance et réduit ainsi considérablement l'ampleur des dégâts causés par la salinité.

Selon Tari et Nagy (1994), Szepesi et al. (2005), l'application foliaire de l'AS à concentration de 0.05 mM entraîne une activation de la réductase d'aldose et l'accumulation de l'acide abscissique et de l'acide indolacétique chez le blé. L'acide abscissique (ABA) et l'acide salicylique ont également déclenché l'expression du gène AcPMP3-1 qui régule l'accumulation de Na<sup>+</sup> et de K<sup>+</sup> dans les cellules sous un stress salin qui induit une réduction de l'accumulation des sucres totaux dans les organes (Inada et al ; 2005). Cette réduction de l'accumulation des sucres dans les feuilles et les racines des deux variétés de blé dur Waha et M.B.B est due essentiellement à l'effet de l'AS à faible dose (0.05 mM) qui conduit à la régulation d'accumulation des ions de Na<sup>+</sup> et de K<sup>+</sup> et donc à une diminution de la pression osmotique dans les organes de la plante. En conséquence, l'application foliaire de l'AS à faible dose (0.05mM) est responsable à l'amélioration de la croissance et l'augmentation de la tolérance de ces deux variétés à la salinité (Szepesi et al ; 2005),

De nombreux travaux rapportent que l'application de AS (0.01-0.1 mM) réduit les effets nuisibles de la salinité (Shakirova et al ; 2003). L'AS à faible dose (0.05 mM) est un régulateur de croissance. Il joue un rôle notamment dans l'induction de réponse de défense des plantes contre des conditions environnementaux défavorables (Raskin, 1992a ; Popova et al ;1997 ; Einhellig, 1989 ; Senaratna et al ; 2000). L'AS exerce leur influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant la photosynthèse (Gomez et al ; 1993 ; Rajasekaran et al ; 2002), la perméabilité de la membrane (Barkosky et Einhellig, 1993), l'activité enzymatique, la floraison (Eberhard et al ; 1989), la croissance et le développement des plantes (Arberg, 1981 ; Raskin, 1995).

De nombreuses études ont montré que l'application de l'AS menait à l'accumulation de l'acide indolacétique (AIA) qui contrôle la croissance cellulaire

(Inada et *al*; 2005). L'acide indolacétique (AIA) peut se fixer sur un récepteur cellulaire, l'ABP1, ce qui active une enzyme mettant en mouvement une pompe à protons (Libbenga et Mennes, 1987). Cette pompe expulse les protons de l'intérieur de la cellule vers le milieu extracellulaire ; ce qui fait diminuer le pH dans la paroi et augmenter le potentiel de la membrane (Jacobs, 1970). La modification du pH résultante va avoir plusieurs effets : relâchement de la paroi cellulaire par ruptures des liaisons de ses constituants, entrée d'ions calcium déstabilisant la paroi, entrée d'ions potassium par un mécanisme d'osmose provoquant l'entrée d'eau, d'où une augmentation de la turgescence cellulaire . L'ensemble de ces processus entraîne l'élongation cellulaire (Reyle et Cleland, 1992). En plus, l'AIA participe aux divers événements du métabolisme nécessaire à la croissance (Gil et *al* ; 1994).

Sakhabutdinova (2004), Rock (2000) notent que le traitement par l'AS (0.01-0.1 mM) induit une accumulation de l'acide abscissique (ABA) chez le blé sous conditions salines. L'augmentation de l'ABA endogène est une caractéristique d'un état de stress chez de nombreuses espèces. Cette hormone est synthétisée dans les racines de plusieurs espèces en réponse aux différents stress. Les racines sont les premiers organes affectés par le manque d'eau conduisant à la synthèse rapide de l'ABA qui est transporté par le système vasculaire vers les branches et les feuilles où il provoque une baisse de la transpiration par la fermeture des stomates (Baker et *al* ; 1987).

Pancheva et *al*. (1996) signalent que l'effet de l'AS sur la photosynthèse s'exerce par une activation de la synthèse des caroténoïdes et des xanthophylles chez le soja, l'orge et le maïs. Fariduddin et *al*. (2003) rapportent que l'inhibition de la photosynthèse chez les nombreuses plantes peut être due à l'effet direct de l'AS à forte dose (0.5 mM) sur plusieurs processus biochimiques et photochimiques. L'AS à forte dose diminue la teneur en pigments photosynthétiques des plusieurs plantes tels que le blé, l'orge et la tomate (Pancheva et *al* ; 1996 ; Lian et *al* ; 2000). La diminution de la teneur en chlorophylle chez les plantes traitées à forte dose de l'AS peut être due

également à l'effet toxique de cet acide sur les enzymes qui interviennent dans la voie de la biosynthèse des chlorophylles, ou à un trouble dans l'intégration des molécules de la chlorophylle dans les complexes stables (Janda et *al* ; 1999). La perte en chlorophylle peut être une cause de baisse de la photosynthèse chez plusieurs plantes (El Tayeb, 2005).

Plusieurs études ont montré que Le traitement par l'AS (0.01- 0.1 mM) augmente la fixation de l'azote et l'activation de la nitrate réductase dans les feuilles et les racines des plantes de maïs (Rane et *al* ; 1995). Les même auteurs ont observé une augmentation de l'activité de nitrate réductase en présence du nitrate grâce à la protection de cet l'enzyme contre le proténase et le trypsine. D'autres travaux ont montré que l'absorption du nitrate et l'activité de la nitrate réductase diminuent dans les feuilles chez de nombreuses plantes après l'application de l'AS à forte dose. La réduction de l'activité de la nitrate réductase dans les feuilles est due essentiellement à l'effet toxique de la l'AS à forte dose qui conduit à une baisse de l'absorption de nitrate et en conséquence, à une diminution de la concentration en nitrate dans les feuilles (Jain et Srivastava, 1981). Ainsi, une baisse dans l'activité de la nitrate réductase et de la teneur en nitrate en présence des concentrations élevées en AS peut être responsable de la réduction de la croissance (Lian et *al* ; 2000 ; Sato et *al* ; 2002).

De nombreux travaux ont révélé que la réponse générale des plantes traitées par l'AS à faible concentration (0.05 mM), est l'augmentation de la croissance (Fariduddin et *al* ; 2003). En outre, Khan et *al*. (2003) soulignent que l'application foliaire de l'AS à concentration de 0.05 mM augmente le contenu de la matière sèche et la taille de la feuille chez le maïs et le soja. Pancheva et *al*. (1996) notent que le traitement par l'AS à concentration 0.5 mM inhibe et réduit la croissance des feuilles et des racines.

Nos résultats sont en accord avec ceux de nombreux auteurs qui trouvent que l'application foliaire de l'AS (0.05 mM), à faible dose, régule la croissance et joue un

rôle notamment dans l'induction de la réponse de défense des plantes contre des conditions environnementales défavorables (Raskin, 1992a ; Popova et *al* ; 1997).

Les concentrations croissantes en AS agissent en réduisant le taux de croissance sous conditions salines. Lian et *al.* (2000) ont expliqué que la réduction de la croissance en réponse au stress salin est due probablement à l'effet inhibiteur de l'AS à forte dose (0.5 mM) qui peut provoquer des changements des activités enzymatiques ou hormonales des semences.

# **CONCLUSION GENERALE**



## CONCLUSION GENERALE

Dans le présent travail, nous avons cherché à étudier les effets de l'acide salicylique sur les réponses physio-biochimiques à la salinité pendant le stade de germination et le stade de développement (2-3 feuilles) et définir la dose et le mode d'application de cet acide, soit par la pulvérisation sur les feuilles ou bien par l'addition dans la solution nutritive.

Les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette étude ont déjà été partiellement discutés dans les chapitres précédents et peuvent être résumé comme suit :

Le sel retarde le déclenchement de la germination chez les deux variétés traitées de blé dur Waha et M.B.B. Ce retard est d'autant plus important lorsque la concentration en sel du milieu est élevée. La variété M.B.B présente une sensibilité aux concentrations élevées en NaCl (200 mM) lorsque la germination ne démarre que le 5<sup>ème</sup> jour avec un pourcentage de 13.32%.

L'application de l'AS à faible concentration (0.05 mM) entraîne une accélération de la germination chez les graines de deux variétés de blé dur Waha et M.B.B sous conditions salines. L'AS (0.05 mM) réduit les effets nuisibles de la salinité. Il exerce son influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant la perméabilité de la membrane, l'activité enzymatique et hormonal qui favorise l'induction de la tolérance des graines à la salinité. Par contre, les concentrations croissantes en AS (0.5, 5 mM) agissent en réduisant le taux de germination sous conditions salines. La réduction de la germination en réponse au stress salin est due probablement à l'effet inhibiteur de l'AS à forte dose qui peut causer des changements des activités enzymatiques ou hormonales des semences.

Le stress salin entraîne une réduction de la croissance des deux variétés de blé dur utilisées. Cette réduction est plus marquée chez la variété M.B.B que Waha. Le

stress salin réduit le potentiel hydrique et crée le déséquilibre ionique provenant des troubles liés à l'hémostase et à la toxicité. Ce statut hydrique modifié conduit à la réduction de la croissance et à la limitation de la production de la plante. La réduction de la croissance s'observe dans toute la plante mais son seuil de tolérance et son taux de réduction de la croissance à des concentrations létales de sel varient largement selon les différentes espèces végétales. Dans ce sens, nos résultats suggèrent que la réduction de la croissance observée consécutivement à l'addition de NaCl dans la solution nutritive serait imputable aux effets osmotiques des sels. La présence de 200 mM en NaCl dans la solution nutritive affecte significativement la croissance des deux variétés de blé dur.

Le contenu relatif en eau des plantes stressées par le NaCl diminue sensiblement chez M.B.B. La variété Waha montre, par contre, une augmentation d'hydratation surtout dans le milieu de culture le plus concentré en sel (200 mM en NaCl). Aussi, en réponse à la contrainte saline, les plantes s'adaptent métaboliquement durant le stress en accumulant des solutés organiques. Ce composé exerce un rôle dans l'ajustement osmotique interne. Nos résultats ont mis en évidence le rapport entre l'accumulation des sucres totaux et le degré de tolérance à la salinité indiquant que la teneur en sucres peut être un critère de sélection pour le génotype de blé tolérant à la salinité. Cette accumulation est plus importante chez la variété Waha que la variété MBB. De ce fait, Waha tolère mieux le stress salin que l'autre variété.

L'addition de l'AS dans la solution nutritive réduit et inhibe la croissance chez les deux variétés de blé dur Waha et M.B.B en absence et en présence du sel. Dans le même sens, l'application de l'AS par cette méthode est un des facteurs critiques qui affecte défavorablement la croissance des plantes. L'AS affecte la synthèse des glucides aussi bien que le transport des produits photosynthétiques et leur utilisation dans la production de nouveaux tissus. L'addition de l'AS peut endommager les racines et diminuer la croissance de certaines plantes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus, d'où l'inhibition de la croissance sous forte dose chez ces plantes

peut être due à l'effet toxique de l'AS sur plusieurs processus biochimiques et enzymatiques.

L'addition de l'AS dans la solution nutritive affecte la croissance des plantes en réduisant la facilité d'absorption d'eau et limite l'absorption des cations indispensables tels que  $K^+$  et  $Ca^{2+}$ . Cette absorption peut s'arrêter complètement en présence de fortes doses de l'AS. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance lorsque les ions essentiels comme  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ou  $NO_3^-$  deviennent limitants. Quand les plantes sont exposées à l'AS dans un milieu salin, les ions, particulièrement  $Na^+$  et  $Cl^-$ , baissent le potentiel hydrique externe. Il résulte une accumulation excessive de ces ions dans les cellules conduisant à l'inhibition de la croissance des plantes et leur développement (Greenway et Munns, 1980).

La pulvérisation de l'AS à faible concentration (0.05mM) entraîne une amélioration de la croissance et une augmentation de la tolérance à la salinité des deux variétés de blé dur, Waha et M.B.B. Le traitement de l'AS (0.05mM) réduit les effets nuisibles de la salinité. L'AS est un régulateur de croissance : il joue un rôle notamment dans l'induction de réponse de défense des plantes contre des conditions environnementaux défavorables. En plus, l'application foliaire de l'AS (0.05mM) mène à l'accumulation des phytohormones (ABA, AIA) et des protéines liées à la résistance et réduit ainsi considérablement l'ampleur des dégâts causés par la salinité.

L'inhibition de la croissance sous la forte dose de l'AS (0.5 mM) chez les deux variétés de blé dur peut être due aux effets directs de cet acide sur plusieurs processus biochimiques et métaboliques. L'AS à forte dose diminue la teneur en sucres totaux de ces deux variétés. Cette diminution est due également à l'effet inhibiteur (toxique) de cet acide sur les enzymes qui interviennent dans la voie de la biosynthèse des sucres. La réduction de l'accumulation des sucres totaux peut être une cause de baisse de la croissance chez ces plantes.

L'application foliaire de l'AS à forte dose induit la croissance de la plante accompagnée par une variation de dysfonctionnement métabolique, y compris l'inhibition d'activités enzymatiques, de la photosynthèse, de l'absorption ionique et de la respiration. Les concentrations croissantes en AS (0.5 mM) agissent en réduisant le taux de croissance sous conditions salines. La réduction de la croissance en réponse au stress salin est due probablement à l'effet inhibiteur de l'AS à forte dose qui peut causer des changements des activités enzymatiques ou hormonales des semences et que le succès de l'induction de la tolérance à la salinité est lié à la concentration et au mode d'application de l'AS.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERANCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Alem C. et Amri A; 2005** -Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Biology and biotechnology* ; **4** (1) :20-31.

**Alem C; Labhilili M; Brahmi K ; Jliben M; Nasrallah N. et. Filali-Maltouf A; 2002** -Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin.*C.R.Biol*; **325** :1097-1109.

**Ali G; Srivastava PS. et Iqbal M; 1999** -Proline accumulation, protein pattern and photosynthesis in regenerants grown under NaCl stress.*Biol.Plant*; **42** :89-95

**Alibert G. et Ranjeva R; 1971** -Recherches sur les enzymes catalysant la biosynthèse des acides phénoliques chez *Quercus pedunculata* (Ehrn): I -Formation des séries cinnamique et benzoïque. *FEBS Lett*; **19**: 11-14.

**Alvarez ME; 2000** -Acide salicylique dans les machines de la mort de cellules et de la résistance de maladie hypersensibles. *Usine mole. Biol*; **44**:429 - 442.

**Amrar S; 1993** -Legnée persus hydrique dans l'amélioration à la tolérance à la salinité de la tomate.Thèse Ing.INFSA. Mostaganem.

**Anandhi S. et Ramanujam MP; 1997** -Effect of salicylic acid on black gram (*Vigna mungo*) cultivars. *Ind. J. Plant Physiol*; **2**: 138-141.

**Arberg B; 1981** -Plant growth regulators. Monosubstituted benzoic acid. *Swed. Agric. Res*; **11**: 93-105.

**Ashraf M; 2001** -Relationships between growth and gas exchange characteristics in some salt-tolerant amphidiploid *Brassica* species in relation to their diploid parents. *Environ. Exp. Bot*; **45**: 155-163.

**Ashraf M; Raffia MZ. et Ashraf MY; 2003** -Time-course changes in the inorganic and organic components of germinating sunflower achenes under salt (NaCl) stress. *Flora*; **198**: 26-36.

**Ashraf M. et McNeilly T; 2004** -Salinity tolerance in Brassica oil seeds. *Plant Sci*; **23**(2):157-174.

**Ayers R. et Westcot W; 1985** -Water quality for agriculture. *Irrigation and Drainage Paper No.29 (Revised)*, FAO, Rome.

**Baker CJ; Atkinson MM. et Collmer A; 1987** -Concurrent loss in *Tn5* mutants of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* of the ability to induce the hypersensitive response and host plasma membrane K<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> exchange in tobacco. *Phytopath*; **77**: 1268-1272.

**Barkosky RR. et Einhellig FA; 1993** -Effects of salicylic acid on plant water relationship. *J. Chem. Ecol*; **19**: 237–247.

**Barr HD. et Weatherley PE; 1962** -A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust.j.Biol.Sci*; **15**:413-428.

**Begum F; Karmoker J; Fattach Q. et Maniruzzaman A; 1992** -The effects of salinity on germination seeds of *Triticum aestivum* L. cv.Akbar. *Plant Cell Physiol*; **33**:1009-1014.

**Bellefontaine R; Gaston A. et Petrucci Y ; 2000** –Management of natural forests of dry tropical zones. *FAO Conservation Guide 32*. FAO, Rome.

**Belkhodja R; Morales F; Abadia A; Gomez-Aparisi J. et Abadia J; 1994** -Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiol*; **104**: 667-673.

**Ben Ahmed H; Manaa A. et Zid E; 2008** -Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la sétaire (*Setaria verticillata* L.). *C. R. Biol*; **331** : 164-170.

**Benlloch-Gonzalez M; Fournier J; Ramos J. et Benlloch M; 2005** -Strategies underlying tolerance in halophytes are present in *Cynara cardunculus*. *Plant Sci*; **168** (3) : 653-659.

**Bernstein L; 1975** -Effects of salinity and sodicity on plant growth *Ann.rev. phytopathol*; **13**: 295-312.

**Blanc D; 1991**-Les culture hors sol. Institut national de la recherche agronomique. France ; 409p.

**Bohnert HD; Nelson K. et Jenson R; 1995** -Adaptation to environmental stresses. *The Plant Cell*; **7** :1099-1111.

**Bois G; 2005** -Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique, Thèse Doct.Sciences Forestières, Univ. Laval Québec; 186p.

**Borochove NH. et Borochove A; 1991** -Response of Melon Plant to salt . Growth,Morphology and Root Membrane Properties.*J.Plant Physiol*; **139**:100-105.

**Borsani O; Valpuesta V. et Botella MA; 2001** -Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. *Plant Physiol*; **126**: 1024-1030.

**Botella MA; Marinrez V; Pardines J. et Cerda A; 1997** -Salinity induced potassium deficiency in maize plants. *J. Plant Physiol* ; **150** : 200-205.

**Bouriama S; Levergne D. et Champigny G; 1986** -Etude comparative de la tolérance au sel de différents milieux : croissance, activité phospho enol-pyruvate carboxylase et enzyme malique NADP-*Physiol. Plant*; **6** (7):675-682.

**Boutelier E; 1982** -Etude préliminaire de l'action du chlorure de sodium sur la résistance du cotonnier, *Gossypium hirsutum* L. *Mem.D.E.A; Paris VI*, 40p.

**Boutelier E; 1986** -Effet du NaCl sur la physiologie du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse. Thèse de Doc.Univ.Paris VI; 42 p.

**Boyer JS; 1965** -Effects of osmotic water stress, on metabolic rates of cotton plants with open stomata. *Plant. Physiol*; **40**: 229-234.

**Bozzini A; 1988** -Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. *Chemistry and Technology. AACC (Minnesota), Etats-Unis*; 1-16.

**Brown D. et Dupon FM; 1989** -Lipid composition of plasma membranes prepared from roots of barley (*Hordeum vulgare* L.), effect of salt. *Plant. Physiol*; **90**:955-961.

**Calmes J. et Viala G; 1985** -Influence d'un déficit hydrique sur trois variétés de soja- effet sur la protéogénèse des graines. *Agronomie*; **5** (2) :169-176.

**Chartzoulakis K. et Klapaki G; 2000** -Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*, **86**: 247-260.

**Chaudhary MT; Merrett MJ. et Wainwright SJ; 1997** -Growth, ion content and praline accumulation in NaCl-selected and non-selected cell lines of Lucerne cultured on sodium and potassium salts. *Plant Sci*; **127**: 9-71.

**Cheesman NJ; 1988** -Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol*; **87**: 547-550.

**Clarcke J. et Mc Caig T ; 1982** -Excised leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Can. J. of Plant Sci*; **62** :571-578.

**Clarke JM; Norvell WA; Clarke FR. et Buckley TW; 2002** -Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. *Can. J. Plant Sci. Revue canadienne de phytotechnie*; **82**: 27-33.



**Clarke JM; McCaig TN; DePauw RM; Knox RE; Ames NP; Clarke FR; Fernandez MR; Marchylo BA. et Dexter JE; 2005** -Commander Durum Wheat Can. J. Plant Sci. Revue canadienne de phytotechnie; **85**: 901-904.

**Cleland C F. et Tanaka O; 1979** -Effect of day length on the ability of salicylic acid to induce flowering in the long-day *Lema gibba* G3 and the short-day plant *Lemma paucicostata* 6746. Plant Physiol; **64**: 421-424.

**Côme D; 1970** - Les obstacles de la germination. Masson, Paris; 162 p.

**Cramer GR; Epstein E. et Lauchli A; 1990** -Effects of sodium, potassium and calcium on salt stress barley 1.1.Growth analysis. Pysiol. Plant; **80**: 83-88.

**Cristea M. et Drochioue G; 1987** -Possibilities to stimulate germination of thermally treated wheat and maize seeds. Cercetari Agronomice in Moldova; **4**: 49-55.

**Croser C; Renault S; Franklin J. et Zwiask J; 2001** -The effect of salinity on the emergence and seedling growth of *Picea mariana*, *Picea glauca* and *Pinus banksiana* . Environ. Pllut; **115**: 9-16.

**Davenport R; Reid RJ. et Smith FA; 1997** -Sodium-calcium interactions in two wheat species differing in salinity tolerance. Plant Physiol; **99**:323-327.

**Dudal R; 1990** -An International Reterence Base for soil Classification (IRB). Transactions ISSS of com.V.kyoto : 38-42.

**Dubos C; 2001** -Réponse moléculaire de jeunes plantes de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse Doctorat d'Etat Es-Sciences, Université Henri Poincaré, Nancy-I.225p.

**Eberhard S; Doubrava N; Marta V; Mohnen D. et Southwick A; 1989** -les fragments pectiques de paroi cellulaire règlent la morphogenèse explant de couche mince de cellules de tabac. Cellule d'usine; **1** :747- 755.

**Einhellig FA; 1989** -Interactive effects of allelochemicals and environmental stress in Phytochemical ecology: allelochemicals. In: Chou C.H. and Waller G.R. (eds), Mycotoxins and Insect Pheromones and Allelomones., Taiwan, Academia sinica Monograph Series; **9**: 101-118,

**El-Mekkaoui M; Monneveux P. et Damania AB; 1990** -Chlrophyll fluorescence as a predicitive test for salt tolerance in cereals: preliminary results on durum wheat. Rachis; **8**:16-19.

**El-Shintinawy F. et Hassanein RA; 2001** -The role of polyamine precursors, arginine, predictive test for salt tolerance in cereals : preliminary results on durum wheat. Rachis; 816-19.

**El-Swaify SA; 2000** -Soil and Water Salinity. In: *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*, Silva J. A. and Uchida R.( eds.), University of Hawaii at Manoa; 151-158.

**El Tayeb MA; 2005** -Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regul*; **45**: 215-224.

**Epstein E; Norlyn JD; Ruh DW; Kingsbury RW; Cunninham GA. et Wrona AF; 1980** -Salin culture of corps: a genetic approach. *Sci*; **210**: 399-409.

**Essa AT. et Al-Ani DH; 2001** -Effect of salt stress on the performance of six soybean genotypes. *Pak.J.Biol.Sci*; **4**:175-177.

**Fariduddin Q; Hayat S; et Ahmad A; 2003** -Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*; **41**: 281-284.

**Ferran J; 1972** -The increase of grought resitance of plants by exogenous application of proline-consequences on nitrogen and glucid matabolisme. *Congr.zones aridesn, Leningrad*.

**Flowers TJ; Hajibagheri MA. et Yeo AR; 1992** -Ion accumulation in the cell wall of rice plants growing under saline conditions: evidence for the Oertil hypothesis, *Plant Cell Environ*; **14**: 319-325.

**Flowers TJ. et Yeo AR; 1995** -Breeding for salinity resistance in crop plant where next? *Aust.J.Pant Physiol*; **22**: 875-884.

**Flowers TJ; 2004** -Improving crop salt tolerance, *J. Exp. Bot*; **55**: 307-319.

**Flowers TJ. et Flowers SA; 2005** -Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders?. *Agricultural Water Management*; **78**: 15-24.

**Gale J; Kohl H C. et Hagan R M; 1967** -Changes in water balance and photosynthesis of onion, beans and cotton plants under saline conditions. *Physiol.plant*; **20**:408-420.

**Ghoulam DJ. et Fores K; 2001** -Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgarisL.*). *Seed Sci Tecnol*; **19**:357-364.

**Gil P; Liu Y; Orbovic V; Verkamp E; Poff KL. et Green PJ; 1994** -Characterization of the auxin-inducible SAUR-ACI gene for use as a molecular genetic tool in Arabidopsis. *Plant Physiol*; **104**:777-784.

**Ghoulam C; Foursy A. et Fares K; 2002** - Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Bot*; **47**: 39-50.

**Glass AD; 1973** -Influence of phenolic acids on ion uptake. I. Inhibition of phosphate uptake. *Plant Physiol*; **51**: 1037-1041.

**Glass AD; 1974** -Influence of phenolic acids on ion uptake. III. Inhibition of potassium absorption. *J. Exp. Bot*; **25**: 1104-1113.

**Goldhirs AG; Hankamar B. et Lirs SH; 1990** -Hydroxiprolin and praline content and cell wall of sunflower, Peanut and Cotton growth under salt stress. *Plant Sci*; **69**:27-32.

**Gollek B; 1973** -Structure and function of plant cells in saline habitats, Newfriends in the study of salt tolerance. John Wiley and New York-Toronto.

**Gomez L; Blanca L. et Antonio CS ; 1993** -Evidence of the beneficial action of the acetyl salicylic acid on wheat genotypes yield under restricted irrigation. In: Proc. scientific meeting on Forestry, Livestock and Agriculture Mexico; 112p.

**Grattan SR. et Grieve CM; 1993** -Mineral nutrient acquisition and response by plant grown in saline environments. In: Handbook of plant and crop stress. Pessarakli (ed.), Dekker, New York; 203-226.

**Greenway H. et Munns R ; 1980** -Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Annu. Rev. Plant physiol*; **31** :149-190

**Halitim A; 1985** -Contribution à l'étude de sols salins de régions arides (Hautes plaines du steppe d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle de sels dans la genèse et le comportement de sols. Thèse Doct. Es. Sci. Univ; 384p.

**Hamadache M; 2001** -La culture intensive du blé. ITCG, 34p.

**Hamza M; 1973** -Effet d'augmentations fractionnées de la concentration du chlorure de sodium dans le milieu sur l'ajustement osmotique de *Phaseolus vulgaris*, L. *CR ? ac. sci. Paris*; **176** : 997-200.

**Hamza M; 1980** -Réponses des végétaux à la salinité. *Physiol. Veg*; **18** (1) : 69-81.

**Hanson AD. et Tully RE; 1979** -Capacity for proline accumulation during water stress in barley and its implications for breeding for resistance crops. *sci*; **19** : 489-93.

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

**Hasegawa PM; Bressan RA. et Pardo JM; 2000** -The dawn of plant salt to tolerance genetics. Trends in Plant Sci; **5** :317-319.

**Hawkins HJ. et Lewis OAM; 1993** -Combination effect of NaCl salinity, nitrogen form and calcium concentration on the growth and ionic content and gaseous properties of *Triticum aestivum* L. cv. Gamtoos. New Phytol; **124** : 161-170.

**Hayashi H. et Murata N; 1998** -Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants.In: Sato Murata N,(Ed.), Stress Response of Photosynthetic Organisms:Molecular Mechanisms and Molecular Regulation.Elsevier, Amsterdam; 133-148.

**Hazmoune T; 1995** -Contribution à la caractérisation de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en relation avec les composantes de rendement. Thèse de Magister, Université de Batna.

**Heyser JW; Debruin D; Kincaid M; Johnson RY; Rodriguez MM. et Robinson NJ; 1989** -Characterisation of L [513C] –proline biosynthesis in halophytic and non halophytic suspension cultures by <sup>13</sup>C NMR.J. Plant Physiol; **135**: 459-446.

**Hopkins WG; 2003** -Physiologie végétale. De Boeck, Bruxelles; 514 p.

**Hubac C. et Vierra DS; 1980** -Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques;Physiol.Biochem; **27** :737-744.

**Inada M; Ueda A; Shi WM. et Takabe T; 2005** -A stress-inducible plasma membrane protein 3 (AcPMP3) in a monocotyledonous halophyte, *Aneurolepidium chinense*, regulates cellular Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup> accumulation under salt stress. Planta; **220**: 395-402.

**Itai C. et Benzioni A; 1976** -Water stress and hormonal response ecological studies analys Ans synthesis water and plantlife.Lange,L.kappen, E.D.Shutze,Ed; 225-242.

**Itai C; 1999** -Role of phytohormones in plant responses to stresses.In: Lerner HR.(ed).Plant response to environmental stresses, from phytohormones to genome reorganisation.Maecel Dekker Inc; Basel,NY,USA; 287-301.

**Jacobs WP; 1970** -Regeneration and differentiation of xylem around a wound-International Review of Cytology; **28**:239-276.

**Jain A; et Srivastava HS; 1981** -Effect of salicylic acid on nitrate reductase activity in maize seedlings. Physiol. Plant; **51**: 339-342

**Janda T; 1998** -Use of chlorophyll fluorescence induction techniques in the study of low temperature stress in plants. Acta agron. Hung; **46**: 77-91

**Janda T; Szalai G; Tari I. et Páldi E; 1999** -Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effect of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants. *Planta*; **208**: 175-180.

**Janda T; Szalai G; Antunovics Zs; Horváth E. et Páldi E; 2000** -Effect of benzoic acid and aspirin on chilling tolerance and photosynthesis in young maize plants. *Maydica*; **45**: 29-33.

**Janda T; Szalai G; Rios-Gonzalez K; Veisz O. et Páldi E; 2003** -Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Sci*; **164**: 301-306.

**Keiffer Cw. et Ungar IA; 1995** -Germination responses of halophyte seeds exposed to prolonged hyper-saline conditions. In: *Biology of salt Tolerant Plants*. (EDS):M.A.Khan and I.A.Ungar.Karachi: Departement of Botany, University of Karachi, Pakistan; 43-50.

**Keren R; 2000** -Salinity. In : Summer M.E. (Ed). *Handbook of Soil Science*. CRC Pres,NY,USA; G3-G25.

**Kerepsi J. et Galiba G; 2000** -Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedling *Crop. Sci*; **40**:482-487.

**Khan MA; Ungar IA. et Showalter AM; 1999** -Effects of salinity on growth, ion content and osmotic relations in *Halopyrum mocoronatum* (L.) Stapf. *J. Plant Nutr*; **22**: 191–204.

**Khan W; Prithviraj B. et Smith DL; 2003** -Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. *J. Plant Physiol*; **160**: 485-492.

**Kurban H; Saneoka H; Nehira K; Adilla R; Premachandra GS. et Fujita K; 1999** -Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr*; **45**: 851-862.

**Leach RP; Wheeler KP; Flowers TJ. et Ye oar; 1990a** -Molecular markers for ion compartmentation in cells of plants.I.Isolation of vacuoles of high purity.*Journal of Experimental Bot*; **41**:1079-1087.

**Leach RP; Wheeler KP; Flowers TJ. et Ye oar; 1990b** -Molecular markers for ion compartmentation in cells of plants.II.Lipid composition of the tonoplast of the halophyte *Sueda maritime* (L.) Dum.*Journal of Experimental Botany*; **41**:1089-1094.

**Le Brusq JY ; Loyer JY; Moogenot B. et Carn M; 1987** –Nouvelles paragenèses à sulfates d'aluminium, de fer et de magnésium et leur distribution dans les sols sulfatés acides du Sénégal. *Scie. du Sol*, **5** : 173-184 . Plaisir France.

**Leslie CA. et Romani R J; 1988** -Inhibition of ethylene biosynthesis by salicylic acid. *Plant Physiol*; **88**: 833-837

**Lessani H; 1969** -Recherches sur le comportement physiologique de la Luzerne en presence de NaCl. Etude de quelques aspects de la nutrition minérale et du métabolisme respiratoire. Thèse Doc. Sci.Paris; 152p.

**Leuning R; Dunin FX. et Wang YP; 1998** -A two-leaf model for canopy conductance, photosynthesis and partitioning of available energy II.Comparison with measurements.Agric.For.Meteorol; **91**:113-125.

**Levigneron A; Lopez F; Vansyut G; Berthomieu P; Fourcroy P. et Casse-Dulbart F; 1995** -Les plantes face au stress salin. Cahier de l'agriculture; **4** :263-273.

**Lian B; Zhou X; Miransari M. et Smith DL 2000** -Effects of salicylic acid on the development and root nodulation of soybean seedlings. J. Agron. Crop Sci; **185**: 187-192.

**Libbenga KR. et Mennes AM; 1987** -Hormone binding and its role in hormone action. In : Davies PJ; Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development. Boston: Martinus Nijhoff; 194-221.

**Lindsay MP; Lagudah E. et Munns R; 2004** -A locus for sodium exclusion (*Nax1*), a trait for salt tolerance, mapped in durum wheat. Functional Plant Biol; **31**:1105\_1114.

**Maas EV. et Hoffman GJ; 1977** -Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. Drain Div. ASCE, **103**: 115-134.

**Maas EV. et Poss JA; 1989b** -Salt sensitivity of wheat at various growth stages. Irrig. Sci; **10**: 29-40

**Maas EV; 1996** -Plant response to soil salinity. In: 4th National Conference and Workshop on the Productive Use and Rehabilitation of Saline Land. Promaco conventions Pty ltd, 25-30 March 1996, Albany Western Australia.

**Malasses L; 1996** -Economie de production et de consommation; Ed ujas; 32-40.

**Mansour MMF; 1995** -NaCl alteration of plasma membrane of *Allium cepa* epidermal cells . Alleviation by calcium.J. Plant Physiol; **145**:726-730.

**Mansour MMF. et Salama KHA; 2004** -Cellular basis of salinity tolerance in plants.Environmental and Experimental Botany; **52**:113-122.

**Martens C. et Blancher R; 1981** -Influence des caractères hydriques du milieu racinaire et aérien sur le potentiel de l'eau dans les feuilles de quelques types variétaux de Soja et confrontation à leur comportement agronomique.Agro; **1**:189-206

**McCue KF. et Hanson AD; 1990** -Drought and salt tolerance. Towards an understanding and application. Trends Biotechnol; **1** (8) : 358-362

**Misra N. et Dwivedi UN; 2004** -Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. Plant Sci; **166**: 1135-1142.

**Mitchell AG. et Broadhead JF; 1967** -Hydrolysis of solubilized aspirine. J. Pharm. Sci; **56**: 1261-1266.

**Mo X. et Beven K; 2004** -Multi-objective parameter conditioning of a three source wheat canopy model. Agric. For. Meteorol; **122**: 39-63.

**Mohammad S. et Sen DN; 1990** -Germination behaviour of some halophytes in Indian desert. Int. j. Exp. Biol; **25**: 545-549.

**Morant-Manceau A; Pradier E. et Tremblin; 2004** -Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. J. Plant Physiol; **161**: 25-33

**Munns R, Greenway H; Delane R. et Gibbs J; 1982** -Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. Journal of Experimental Botany; **33**: 574-583.

**Munns R; 2002** -Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment; **25**: 239-250.

**Munns R. et James RA; 2003** -Screening methods for salt tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil; **253**: 201-218.

**Munns R; James RA. et Lauchli R ; 2006** -Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany; **57** (5): 1025-1043.

**Murillo-Amador B. et Troyo-Diequez E; 2000** -Effect of salinity on the germination and seedling growth of cowpea. Journal Agronomy & Crop Sci; **188**: 235-247.

**Murphy C S; Singh DP; et Carr JP; 1999** -Résistance acide-induite salicylique aux virus et à d'autres microbes pathogènes : un départ ou les manières ? Usine Sci de tendances; **4**: 155 - 160.

**Neumann P; 1997** -Salinity resistance and plant growth revisited. Plant, cell and Environment; **20**: 1193-1198.

**Niu X; Brean RA; Haegawa PM. et Pardo JP; 1995** -Ion homeostasis in NaCl stress environments. Plant Physiol; **109**: 735-742.

**Orcutt DM. et Nilsen ET; 2000** -Physiology of plants under stress. John Wiley & Sons Inc; New York, NY, USA.

**Ottow E; Brinker M; Fritz E; Teichmann T; Kaiser W; Brosche M; Kangasjarvi J; Jiang X. et Polle A; 2005** -Populus euphratica Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops [22] Leaf Succulence under Salt Stress 1. Plant Physiol; **139**:1762-1772,

**Pancheva TV; Popova LP. et Uzunova AM; 1996** -Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. J. Plant Physiol; **149**: 57-63.

**Parida AK. et Das AB; 2005** -Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety; **60**: 324–349.

**Popova L; Pancheva T. et Uzunova A; 1997** -Salicylic acid : Properties, biosynthesis and physiological role. Bulg. J. Plant Physiol; **23**: 85-93.

**Rai VK; Sharma SS. et Sharma S; 1986** -Reversal of ABA-induced stomatal closure by phenolic compounds. J. Exp. Bot ; **37**: 129-134

**Rajasekaran LR; montants A; et Caldwell CD; 2002** -Tenir l'établissement en traitant des effets de carottes de divers régimes de la température sur la germination et le rôle des salicylates en favorisant la germination à de basses températures. Pouvoir. J. Planter Sci; **82**:443 -450.

**Ramanujam MP; Abdul Jaleel V. et Kumaravelu G; 1998** -Effect of salicylic acid on nodulation, nitrogenous compounds and related enzymes of *Vigna mungo*. Biol. Plant; **41**: 307-311.

**Rane J; Lakkineni KC; Kumar PA. et Abrol YP; 1995** -Salicylic acid protects nitrate reductase activity of wheat leaves. Plant Physiol. Biochem; **22**: 119-121.

**Raskin I; Skubatz H; Tang W. et Meeuse BJ; 1990** -Salicylic acid levels in thermogenic and non-thermogenic plants. Ann. Bot; **66**: 369-373.

**Raskin I; 1992b** -Salicylate, a new plant hormone. Plant Physiol; **99**: 799-803.

**Raskin I; 1992a** -Role of salicylic acid in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol; **43**: 439-463.

**Raskin I; 1995** -Salicylic acid. In: Plant hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology 2nd Edition, P. J., Davies ed., Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, The Netherlands; 188-205.



**Rathinasabapathi B; Sigua C; Ho J. et Gage DA; 2000** -Osmoprotectant B-alanine betaine synthesis in the Plumbaginaceae : S-adenosyl-L-methionine dependent N-methylation of b-alanine to its betaine is via N-methyl and N,N-dimethyl b-alanines. *Physiologia Plantarum*; **109** :225-231.

**Rejili M; Telahigue D; Lachiheb B; Mrabet A. et Ferchichi A; 2008** -Impact of gamma radiation and salinity on growth and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> balance in two populations of *Medicago sativa* (L.) cultivar Gabès. *Progress in Natural Sci*; **18**: 1095-1105.

**Reyle DL. et Cleland RE; 1992** -The acid growth theory of auxin-induced cell elongation is alive and well- *Plant Physiol*; **99**: 1271-1274.

**Ritchie SW; Nguyen HT. et Holaday A; 1990** -Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotype differing in drought resistance crop. *Sci*; **30**:105-111.

**Rivoal J. et Hanson AD; 1994** -Choline O-sulphate biosynthesis in plants: Identification and partial characterization of a salinity-inducible choline sulfotransferase from species of *Limonium* (Plumbaginaceae). *Plant Physiol*; **106**: 1187-1193.

**Rock CD; 2000** -Pathways to abscisic acid-regulated gene expression. *New Phytol*; **148**:357-396.

**Rohades JD; Kandiah A. et Mashali AM; 1992** -the use of saline water for crop production FAO irrigation and drainage; Rome. 48p.

**Roger ME; Nobel CL; Nicholas M. et Ehalloran GM; 1993** -Variation in yield potential and salt tolerance of selected cultivars and natural populations of *Trifolium repens* L. *Australian Journal Agriculture Research*; **44**:785-798.

**Sakhabutdinova AR; Fatkhutdinova DR; Shakirova FM; 2004** -Effect of salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes in wheat under conditions of salination. *Appl. Biochem. Microbiol*; **40**:501-505.

**Sameni AM. et Morshedi A; 2000** -Hydraulic conductivity of calcareous soils as affected by salinity and sodicity. II. Effect of gypsum application and flow rate of leaching solution carbohydrate pol. *Soil Sci. Plant Anal*; **31**:69-80.

**Sannada Y; Ueda H; Kuribayashi K; Andoh T; Hayashi F; Tamai N. et Wada K; 1995** -Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glycophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress. *Plant Cell Physiol*; **36** (6): 965-970.

**Sato T; Fujikaki H; Ohtake N; Sueyoshi K; Takahashi T; Sato A. et Ohyama T; 2002** -Effect of exogenous salicylic acid on nodule formation of hypernodulating mutant and wild type of soybean. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48p.

**Schachtman D. et Liu W; 1999** -Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends in plant Sci*; 47:281-287.

**Senaratna T; Touchell D; Bunn E. et Dixon K; 2000** -Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regul*; 30: 157-161.

**Shabala SN; Shabala SI; Martynenko AI; Babourina O. et Newman IA; 1998** -Salinity effect on bioelectric activity, growth, Na<sup>+</sup> accumulation and chlorophyll fluorescence of maize leaves : a comparative survey and prospects for screening. *Aust. J. Plant Physiol*; 25: 609-616.

**Shakirova FM; Sakhabutdinova AR; Bezrukova MV; Fatkhutdinova RA. et Fatkhutdinova DR; 2003** -Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci*; 164: 317-322.

**Shannon MC; 1997** -Adaptation of plant to salinity. *Adv. Agron.*, 60: 75-120.

**Shannon MC; 1992** -The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. In: *Proc. Plant Stress in Trop. Environ.* Davenport T. L. and Harrington H. M. (eds.), Kailu-Kona, HI, 20-25 Sept, Univ. FL, Homestead; 56-63.

**Silverman P; Seskar M; Kanter D; Schweizer P; Metraux JP. et Raskin I; 1995** -Salicylic acid in rice, biosynthesis, conjugation and possible role. *Plant Physiol*; 108: 633-639.

**Soltani A; Hajji M. et Grignon C; 1990** -Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie*; 10 :857-866

**Stewart CR. et Larher F; 1980** -Accumulation of amino acids and related compounds in relation to environmental stress, *The biochemistry of plants*; 5: 609-630.

**Szabolcs; 1994** -Soils and salinisation. In: Pessarakli, M. (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker, New York; 3-11.

**Szepesi Á; Csiszár J; Bajkán SZ; Gémes K; Horváth F; Erdei L; Deér A; Simon LM. et Tari I; 2005.** Rôle de traitement préparatoire salicylique d'acide sur l'acclimatation des plantes de tomate à saler et de l'effort osmotique. *Acta Biol. Szegediensis*; 49:123-125.

**Taleisnik E. et Grunberg K; 1994** -Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance.I.Sodium and potassium accumulation Rev. Biol.Biotech.30 and fluxes under moderate salinity Plant.Physiol; **92**:528-534.

**Tari I. et Nagy M; 1994** -Enhancement of extractable ethylene at light/dark transition in primary leaves of paclobutrazol-treated *Phaseolus vulgaris* seedlings. Physiol Plant; **90**: 353-357

**Tasgin E; Atici Ö. et Nalbantoglu B; 2003** -Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. Plant Growth Regul; **41**: 231-236.

**Tester M. et Davenport R; 2003** -Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants..Ann.Bot; **91**:503-527.

**Tlig T; Gorai M. et Neffati M; 2008** -Germination responses of *Diplotaxis harra* to temperature and salinity. Flora; **203**: 421-428.

**Tsoata E; 1995** -Effet du sel (NaCl) sur la germination de graines de légumineuses. Cahiers agriculture; **4** : 207-209.

**Ungar IA; 1996** -Effect of salinity on seed germination, growth and ion accumulation of *Atriplex patula* (Chenopodiaceae).Am.J.Bot; **83**:604-607.

**Vicente O; Boscaiu M; Naranjo MA; Estrelles E; Belles JM. et Soriano P; 2004** -Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae). J. Arid Environ., **58**: 463- 481.

**Waisel Y; 1989** -Screening for salt resistance.In: Laudelout, H.(Ed.), Methods of K Reseach in Plants.Proc.Zist.Collog.Int.Potash Inst.Bern; 143-155.

**Wang SJ; Lan YC; Chen SF; Chen YM. et Yeh KW; 2002** -Wound-response regulation of the sweet potato sporamin gene promoter region. Plant Mol. Biol; **48**: 223- 231.

**West DW. et Francois LE; 1982** -Effects of Salinity on Germination, Growth and Yield of Cowpea. Irrig. Sci; **3**:169-175.

**Whit Pj; 1999** -The molecular mechanism of sodium influx to root cells.Trends in plant Sci; **47**:245-246.

**Wyn Jones RC. et Story R; 1978** -Salt stress and comparative physiology in the graminieae.II. Glycine betaine and praline accumulation in the salt stressed. Barly cultivars. Aust.J.Plant physiol; **5**: 817-829.

**Yalpani N; Leen J; Lawthon MA. et Raskin I; 1993** -Pathway of salicylic acid biosynthesis in healthy and virus-inoculated tobacco. Plant Physiol; **103**: 315-321.

**Yancey PH; Clark ME; Hand SC; Bowlus RD. et Somero GN; 1982** -Living with water stress: Evolution of osmolyte systems.Sci; **217**:1214-1222.

**Yeo AR; 1998** -Molecular biology of salt tolerance in the in the context of Whol plant physiology.J.Exp.Bot; **49**: 915-929.

**Yildirim E. et Guvenc I; 2006** -Salt Tolerance of Pepper Cultivars during Germination and Seedling Growth. Turk. J. Agric. For; **30**: 347-353.

**Yu XM; Griffith M. et Wiseman SB; 2001** -Ethylene induces antifreeze activity in winter rye leaves. Plant Physiol; **126**: 1232-1240.

**Zhu JK; 2001** -Plant salt tolerance. Trends in Plant Sci; **6**: 66-71.

**Zid E; 1983** -Mécanismes de la nutrition minérale de la feuille de citrus et de son agression par le sodium.These Doct. D'Etat, Tunis; 363p.