

## ETUDE DES MECANISMES DE TOLERANCE A LA SALINITE CHEZ DEUX VARIETES DE BLE TENDRE (*Triticum aestivum* L.) SOUMISES A UN STRESS SALIN

Reçu le 10-05-2010 – Accepté le 24-11-2010

### Résumé

La sensibilité au sel est associée à l'accumulation du sodium ( $\text{Na}^+$ ) dans les tissus photosynthétiques chez plusieurs espèces, notamment dans la gaine et le limbe des feuilles, ce qui implique des mécanismes de transport de ces ions et de tolérance à la salinité. Dans cette étude, nous présentons une analyse physiologique des plantules de deux génotypes du blé tendre (*Triticum aestivum* L.), Mahon-Demias (MD) et Hidhab (HD1220), sensible et tolérant au sel respectivement. Les principales différences de transport des ions  $\text{Na}^+$  entre les deux génotypes étaient, le taux de transfert de la racine vers la tige ou chargement du xylème, qui a été beaucoup plus faible chez le génotype tolérant au sel et la capacité de la gaine de la feuille d'extraire et de séquestrer les ions  $\text{Na}^+$  à leurs entrée dans la feuille qui est plus important dans le génotype tolérant. Une corrélation a été obtenue entre le profil d'expression de TaSOS1 (un plasma membrane  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiport) dans les racines et les gaines et le flux de  $\text{Na}^+$  à partir des racines jusqu'aux feuilles, ainsi le contrôle de  $\text{Na}^+$  déchargé du xylème dans les racines. Ces résultats permettent de concevoir de nouveaux cribles génétiques pour la tolérance au sel chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

**Mots Clés:** Blé tendre, mécanismes, transport du sodium, tolérance à la salinité, gaine et limbe de la feuille.

### Abstract

Salt sensitivity is associated with the accumulation of sodium ( $\text{Na}^+$ ) in photosynthetic tissues in many species, especially in the sheath and blade leaf.  $\text{Na}^+$  uptake to leaves involves a series of transport mechanism and salt tolerance. In this study, we provide a physiological analysis of seedlings of two bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L.), Mahon-Demias (MD) and Hidhab (HD1220), salt sensitive and salt tolerant respectively. The major differences in  $\text{Na}^+$  transport between the two genotypes were the rate of transfer from the root to the shoot or xylem loading which was much lower in the salt tolerant genotype, and the capacity of the leaf sheath to extract and sequester  $\text{Na}^+$  as it entered the leaf which was more important in the tolerant genotype. A correlation was obtained between the expression pattern of TaSOS1 (a plasma membrane  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  antiporter) in the roots and sheaths and the  $\text{Na}^+$  fluxes from roots to leaves. Also, the unloading  $\text{Na}^+$  control from xylem in roots. These results help to design new genetic screens for salt tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.).

**Keywords:** Bread wheat, mechanism,  $\text{Na}^+$  transport, salinity tolerance, sheath and blade leaf.

L. BENDERRADJI<sup>1</sup>  
H. BOUZERZOUR<sup>2</sup>  
K. KELLOU<sup>1</sup>  
N. YKHLEF<sup>1</sup>  
F. BRINI<sup>3</sup>  
K. MASMOUDI<sup>3</sup>  
A. DJEKOUN<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales (LGBBV), Université Mentouri- Constantine-Algérie

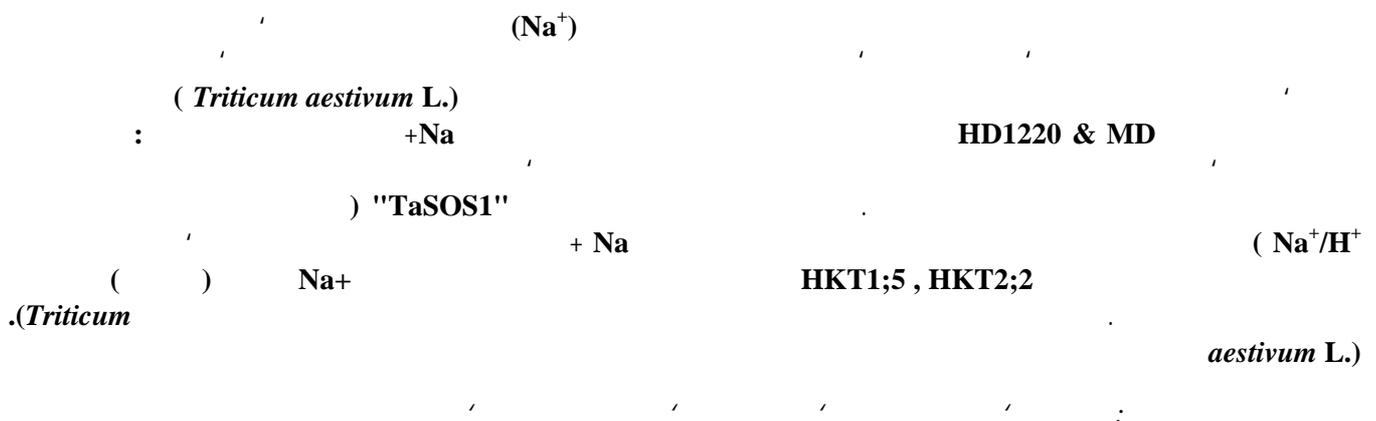
<sup>2</sup>Département de Biologie, Faculté des Sciences, Université de Sétif – Algérie

<sup>3</sup>Laboratoire de Génétique Moléculaire des Plantes, Centre de Biotechnologies de Sfax (CBS) – Tunisie

\* Pr. Abdelhamid DJEKOUN. Laboratoire de Génétique, Biochimie et Biotechnologies Végétales (LGBBV). Route de Ain El bey. Téléfax: +21331670182, Constantine-Algérie, Email:

djakoun@umc.edu.dz

ملخص



La salinité du sol est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affectent la production agricole dans les régions arides et semi-arides, tant pour l'agriculture pluviale que pour celle à irrigation de complément. Les céréales tels que le blé tendre (*Triticum aestivum* L.), font face à la salinité en excluant les ions du sodium  $\text{Na}^+$  à partir de pousses (Munns et James, 2003; Colmer et al., 2005), et en tolérant des taux internes élevés de  $\text{Na}^+$ . Généralement, le blé tendre est plus tolérant au sel que le blé dur (*Triticum durum* Desf.), (Colmer et al., 2005), alors que l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est plus tolérant qu'aux deux précédentes espèces, malgré que chez cette espèce, le limbe de la feuille accumule des concentrations de  $\text{Na}^+$  semblables à ceux du blé dur, ce qui suggère des niveaux plus élevés de la tolérance aux ions  $\text{Na}^+$  des tissus. Etant donné le nombre de différents mécanismes qui contribuent à la tolérance au sel, il n'est pas surprenant que ce phénomène est un trait génétique complexe (Colmer et al., 2005), et malgré sa complexité, la plupart des travaux récents visent à améliorer le niveau de tolérance à la salinité chez les céréales et plus particulièrement chez blé tendre à travers la séquestration des ions  $\text{Na}^+$  des tissus comme critères de sélection les plus appropriés ainsi la différence génotypique influe d'une façon inégale sur l'exclusion de  $\text{Na}^+$ , et cela peut être estimé par le taux de  $\text{Na}^+$  dans le limbe de la feuille.

L'analyse génétique du blé dur a montré que, dans un limbe l'exclusion de  $\text{Na}^+$  est contrôlée par deux loci dominants interactive désignés Na-X1 et Na-X2 (Munns et al., 2003). Des études physiologiques ont indiqué que dans un génotype tolérant, le limbe de la feuille contrôle les niveaux de  $\text{Na}^+$ , c'est le résultat de l'interaction entre le chargement nette du xylème et la séquestration de la gaine de la feuille (Davenport et al., 2005).

La localisation des ions  $\text{Na}^+$  dans les vacuoles est un mécanisme efficace pour éviter les effets toxiques de ces ions dans le cytosol, leurs transport dans les vacuoles est facilité par les cations  $\text{H}^+$ /anti-porteurs qui sont inspirées par le gradient électrochimique des protons générés par des enzymes vacuolaires  $\text{H}^+$ -translocation, la  $\text{H}^+$ -ATPase et la  $\text{H}^+$ -PPase, ces phosphatases génèrent le gradient des protons nécessaires requises pour l'activité de la  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  anti-porteurs., la caractérisation fonctionnelle de  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  anti-porteurs vacuolaires TNHX1 et  $\text{H}^+$ -PPase et la pompe TVP1 chez le blé a été rapporté récemment par Brini et al., (2005). Ils sont beaucoup plus résistants à de fortes concentrations de NaCl et au manque d'eau que les souches de type sauvage (Brini et al., 2007).

L'expression de SOS1 (Save Overly Sensitive) est omniprésente, mais plus forte dans les cellules épidermiques entourant l'extrémité racinaire, ainsi que les cellules du parenchyme bordant le xylème. Ainsi, SOS1 fonctionne comme un anti-porteur  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  sur la membrane plasmique et joue un rôle crucial en efflux sodium de cellules de la racine et la longue distance du transport du  $\text{Na}^+$  racinaire (Shi et al., 2002).

L'objectif de ce travail est d'étudier les mécanismes de transport des ions  $\text{Na}^+$  et d'effectuer une analyse physiologique comparative chez deux génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), Mahon-Demias (MD) et Hidhab (HD1220) cultivés en Algérie, faisant preuve de tolérance à la salinité différentielle.

## MATERIEL ET METHODES

### Matériel végétal, essai de germination et conditions de stress

Deux variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), Mahon-Demias (MD) et Hidhab (HD1220) ont été utilisés dans cette étude. MD, est une sélection généalogique introduite par les colons français à partir des îles Baléares, elle est largement adaptée aux zones arides et semi arides, et HD1220 qui est une sélection CIMMYT, tolérante à la sécheresse, très appréciée par les agriculteurs en raison de sa capacité à haut rendement. La semence des deux cultivars a été fournie gracieusement par la station de la recherche agronomique (SRA) de Sétif-Algérie. Les graines de chaque variété ont été stérilisées pendant 15 min dans 0,5% hypochlorite de sodium (NaCl), suivie d'un rinçage à l'eau distillée stérile trois fois successive et placés dans des boîtes de pétri sur papier filtre (papier Whatman) humecté à l'eau distillée pour pré-germination durant 48h à l'obscurité. Après gonflement, les graines ont été exposées à la lumière naturelle. Le pourcentage de germination des graines a été déterminé comme étant le rapport entre le nombre des graines germées et la totalité de graines ensemencées initialement selon un critère morphologique qui est la longueur de la racine dont il est égal ou supérieur à 2 mm.

L'expérience a été conduite au laboratoire de protection et d'amélioration des plantes au centre de biotechnologie de Sfax (CBS) –Tunisie, le protocole expérimental mis en place est constitué de deux facteurs dans un dispositif en bloc avec trois répétitions, à savoir, la variété avec deux modalités (MD et HD1220) et la concentration saline avec 4 modalités codées de C1 à C4. Pour tester la réponse des graines au stress salin, 30 graines de chaque variété ont été germées sur différentes concentrations de NaCl (C1= 0, C2= 50, C3= 100 et C4= 200mM), incubées dans une chambre de culture à 25°C sous une photopériode de 16h de lumière/8h d'obscurité et de 60 ± 10% d'humidité relative. Lorsque les plantules atteignent le stade de la troisième feuille, les concentrations précédentes de NaCl ont été progressivement appliquées, après transplantation des plantules dans des pots de végétation dans une serre sous même conditions précédentes de photopériode et d'humidité relative, avec rayonnement photo synthétiquement actif de 280mmol m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, et température de 25±5°C.

Les notations pour une première récolte des plantules a été faite au début du traitement salin et les récoltes successives ont été faites à des périodes différentes (3, 7, 10 et 14 jours) de l'exposition à la salinité. Les tests physiologiques ont été effectués au même stade de développement des plantules.

## Dosage des ions, teneur relative en eau et potentiel hydrique

Le matériel végétal a été extrait sec dans l'acide nitrique (HNO<sub>3</sub> 0,5%) à 70°C pendant 4 jours. Na<sup>+</sup> a été estimé par photométrie d'émission de flamme (Corning, Royaume-Uni).

Pour mesurer la teneur relative en eau (TRE), les feuilles ont été excisées et leurs poids frais pris immédiatement. Après flottant sur l'eau déminéralisé à + 4°C pendant une nuit, le poids a été déterminé réhydratés. Enfin, elles ont été séchées à l'étuve à 70°C pendant une nuit et repesés et la (TRE) a été calculé selon la formule suivante de Barrs, 1968, [In: Kahali, 1998]:

$$TRE(\%) = \frac{(Poids\ frais - Poids\ sec)}{(Poids\ deturgescence - Poids\ sec)} \times 100$$

Pour mesurer le potentiel hydrique, les disques foliaires (5mm de diamètre) pleinement chargés de la solution salée des plantes stressées ont été excisés et chargés dans le titulaire d'une chambre Wescor C-52. Après avoir inséré la diapositive, la chambre a été scellée, et le potentiel hydrique de la feuille (PHF) est estimé à l'aide d'un psychromètre à pression de vapeur (Wescor, PSWPROTM).

## ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES

Les données ont été traitées par l'analyse de la variance, en utilisant l'analyse équilibrée de la variance de sous-routine Cropstat 7.2.3 (2009), et le LSD (P = 0,05) a été utilisée pour comparer les génotypes et les moyens de traitement.

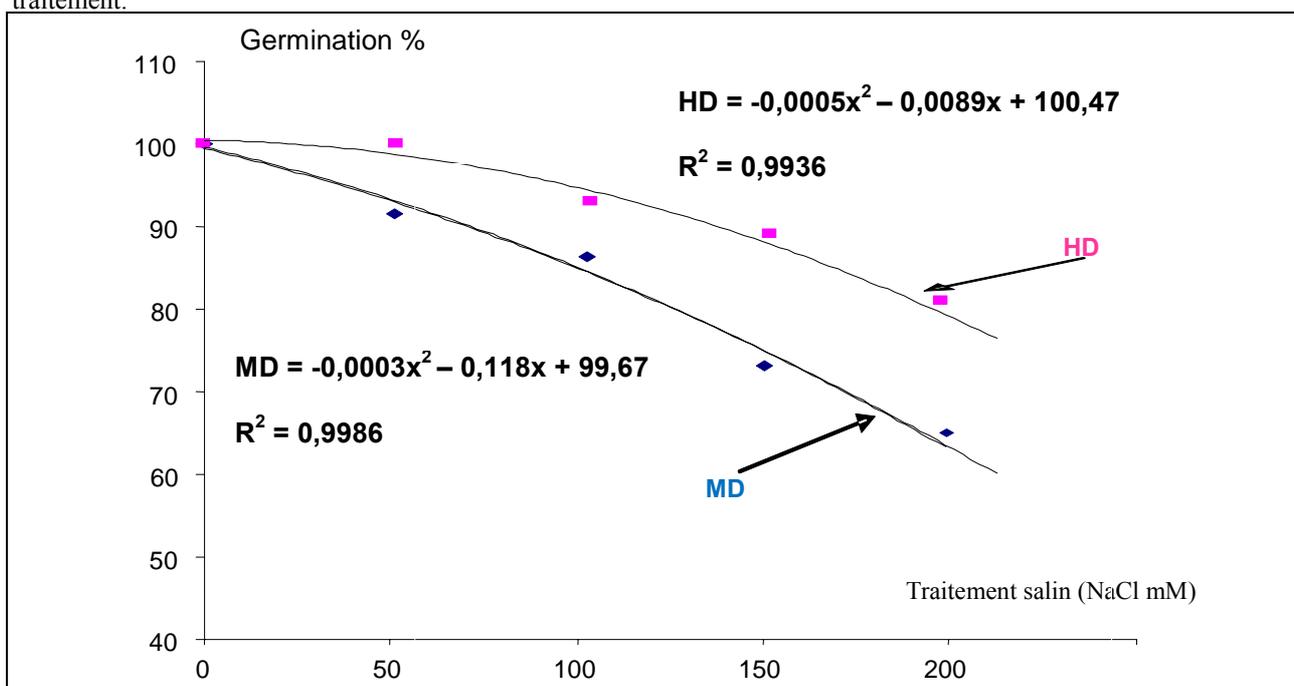
## RESULTATS ET DISCUSSION

### RESULTATS

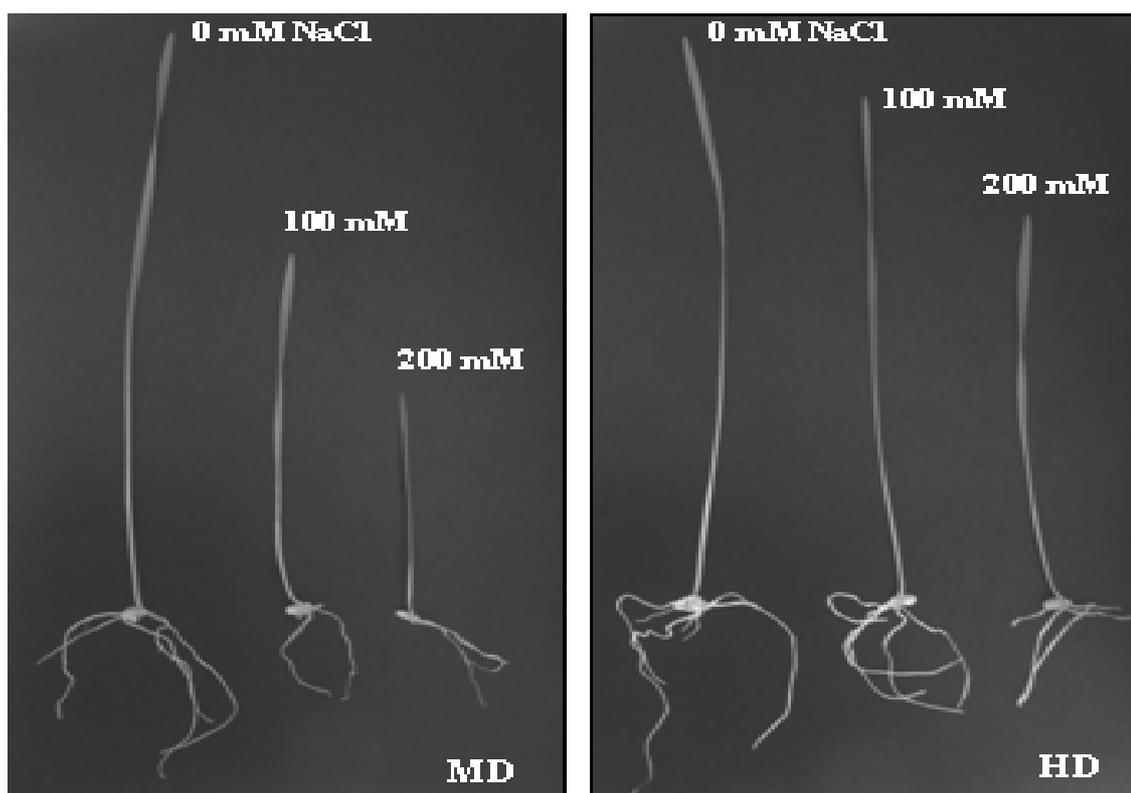
#### Germination des graines et croissance des plantules

Le taux de germination des cultivars Mahon-Demias (MD) et Hidhab (HD1220) étaient plus de 98% (>98%) (Fig.1A). Toutefois, en présence des concentrations croissantes de NaCl, une diminution progressive du taux de germination a été observée (Fig.1A). En vertu de la salinité élevée (200mM NaCl), la germination du (MD) a été gravement touchée et ne dépasse pas 62%, alors que pour (HD1220), était juste en dessous de 82%. En outre, ces traitements au stress salin réduit la longueur de la feuille ainsi que le système racinaire dans les deux génotypes, mais plus fortement dans la variété MD (Fig.1B).

L'analyse de la variance a montré des effets hautement significatifs pour tous les caractères mesurés, alors que l'effet du génotype n'a été significatif que pour la longueur des racines et la surface foliaire. Le taux de germination a montré également une interaction significative sel x génotype (Tableau 1), il a diminué de façon significative à la concentration 100mM de NaCl et cela était plus remarquable pour le traitement de 200mM de NaCl. Les taux de réduction de germination induite par ces deux traitements (100 et 200mM) ont été de 23,6% et 42,4% respectivement (Tableau 2). Le stress salin influe sur les racines, les coléoptiles et la zone de la première feuille qui a été sensiblement réduit. La longueur des racines a montré une réduction significative à 200mM NaCl, tandis que les coléoptiles et la surface foliaire ont été réduites de façon significative à 100mM de NaCl (Tableau 2).



**Figure 1A:** Comparaison des pourcentages de germination des graines des génotypes MD et HD1220 sous l'effet du traitement salin (NaCl 0, 50, 100, 150 et 200mM).



**Figure 1B:** Effet du NaCl sur la croissance des géotypes MD et HD1220 après 7 jours de traitement salin continu (NaCl 100 et 200mM) par rapport au témoin (NaCl 0mM)

**Tableau 1:** Carrés moyens de l'analyse de la variance des caractères mesurés des deux cultivars MD et HD1220

Sources	dl	%G	LR	LC	SF
Sel (S)	3	2092,6**	5,3**	12,2**	27,0**
Bloc / Sel	8	12,3*	0,3 ns	0,6 ns	0,8 ns
Génotype (G)	1	706,7 ns	1,7 ns	14,9**	29,9**
G x S	3	106,8**	0,4 ns	0,7 ns	2,9 ns
Erreur	8	17,6	0,4	0,5	1,1

% G = % germination, LR= Longueur des racines, LC= Longueur des coléoptiles, SF = Surface foliaire. ns = effet non significatif, \* = significatif à 5% , \*\* = significatif à 1% de probabilité.

**Tableau 2:** Moyennes de l'effet sel et génotype sur les caractères mesurés des deux géotypes MD et HD1220

Sources	%G	LR	LC	SF
Effet moyen SEL				
Contrôle	100,0 <sup>a</sup>	5,4a	5,6a	12,7a
50	91,9 <sup>a</sup>	5,2a	5,3a	12,5a
100	76,4 <sup>b</sup>	4,6a	4,8b	10,0b
200	57,6 <sup>c</sup>	3,6b	4,6b	8,2b
Effet moyen GENOTYPE				
MD	76.1a	4.4a	4.3b	9.7b
HD	86.9a	4.9a	5.9a	11,9a

**NB:** Moyennes suivies par la même lettre ne sont pas différentes significativement à 5% de probabilité

La longueur des racines a été réduite de 33,3% quand il est soumis à 200mM de traitement au sel, alors que la longueur des coléoptiles a été diminuée de 14,2% et 17,9% en 100 et 200mM respectivement. Pour les mêmes traitements, la zone de la première feuille a été réduite de 21,3% et 35,4% respectivement (Tableau 2).

Le génotype était l'effet principal pour le pourcentage de germination. La longueur des racines n'a pas été significative et indique que les deux cultivars ont montré des réactions similaires aux stress salin. La mesure dans laquelle pousse la longueur et la surface foliaire a répondu à la contrainte du sel et variait selon les cultivars. En fait le cultivar (HD1220) semble moins sensible au stress salin par rapport au cultivar (MD).

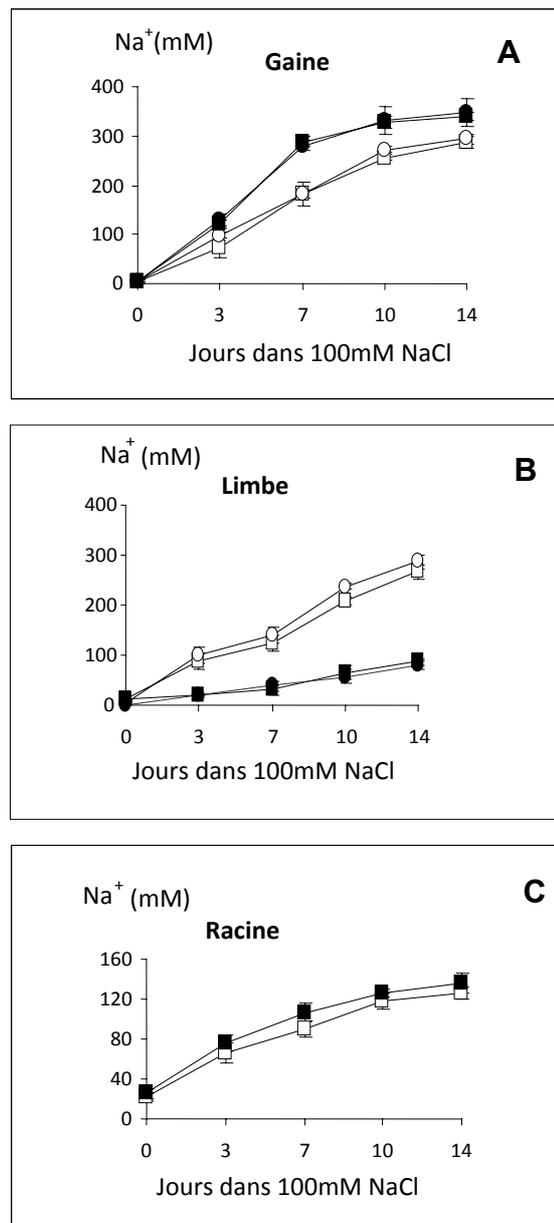
La variété (HD1220) a montré une longueur de la feuille de 1,6 cm plus longue, et une surface foliaire de 2,2 cm<sup>2</sup> de plus du cultivar (MD) (Tableau 2). La signification de L'interaction génotype x traitement de sel pour le taux de germination, indique que la variété (HD1220) est moins sensible au stress salin que (MD).

### Etat des ions

Pour la variété (MD) et sans tenir compte aux feuilles individuelles, l'accumulation de Na<sup>+</sup> est semblable a des concentrations dans les gaines des feuilles par rapport aux (HD1220) mais les concentrations accumulés beaucoup plus élevée dans le limbe des feuilles (Fig. 2A et 2B), alors que les deux génotypes accumulent Na<sup>+</sup> à des niveaux similaires dans les racines (Fig. 2C). L'essai a montré que les taux d'accumulation de Na<sup>+</sup> a diminué dans tous les tissus après une période de 14 jours et que les racines approchées d'un état d'équilibre de concentration de Na<sup>+</sup> autour de 7 jours (Fig. 2C).

L'accumulation de Na<sup>+</sup> dans les deux génotypes a été étudiée de plus, en mesurant la teneur en Na<sup>+</sup> de la gaine et du limbe de la première et la deuxième feuille après 7 jours d'exposition à différents niveaux de NaCl. Bien que les deux cultivars accumulent Na<sup>+</sup> à des concentrations différentes dans la gaine foliaire, La variété (HD1220), tolérante au sel, accumule une concentration nettement plus élevée de Na<sup>+</sup> que (MD) sans aucun signe de saturation de stockage (Fig. 2). Les deux génotypes semblent avoir une capacité contrastée pour stocker Na<sup>+</sup> dans la gaine de la feuille et leurs cellules. Les gaines des feuilles peuvent différer dans leurs capacités à extraire Na<sup>+</sup> à partir du flux du xylème. Cette possibilité a été soutenue par des différences génotypiques dans la proportion de Na<sup>+</sup> contenu dans les feuilles et qui a été stockée dans la gaine de ces feuilles (Fig.2). (HD1220) séquestre plus de 85% de Na<sup>+</sup> total des feuilles dans la gaine de la feuille, cette capacité semble arriver à saturation depuis une légère baisse qui a été observée à 200mM NaCl (Fig. 2). En revanche (MD), sensible au sel, a stocké uniquement 65% de Na<sup>+</sup> de la feuille dans la gaine, avec peu de changement en réponse extérieure des niveaux de NaCl (Fig.2). Ce

résultat suggère que le génotype (HD1220) possède un mécanisme supplémentaire pour l'entretien de la lame à faible Na<sup>+</sup>, prévoyant le retrait efficace de la feuille de Na<sup>+</sup> dans la gaine.

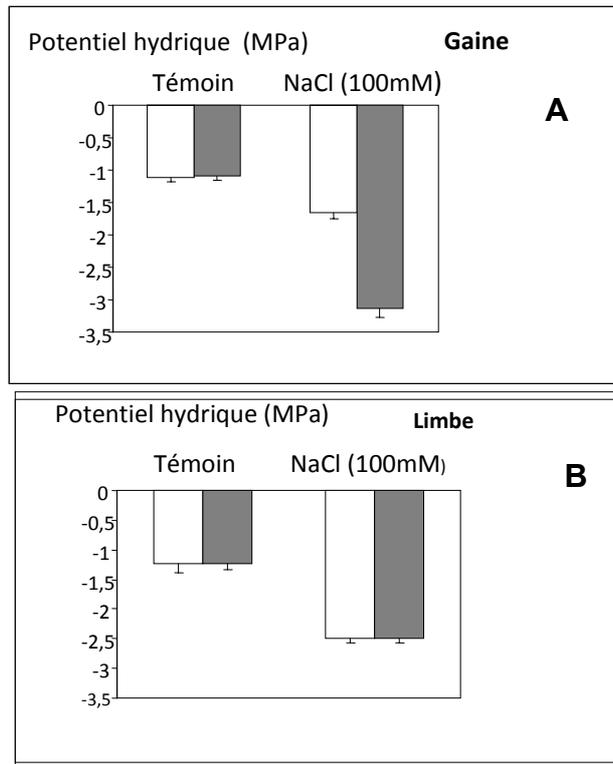


**Figure 2:** Accumulation des ions Na<sup>+</sup>: (A) la gaine, (B) le limbe, (C) la racine des génotypes (HD1220, symboles noirs) et (MD, symboles blancs), durant 14 jours d'exposition à (NaCl 100mM).

### Potentiel hydrique et teneur relative en eau

Le potentiel hydrique foliaire ( $\Psi_w$ ) du limbe et de la gaine des feuilles des plantes témoins été similaires en (HD1220) et (MD) (Fig. 3). Lorsqu'on les confronte avec le stress salin (100mM NaCl) pendant 7 jours, le potentiel hydrique ( $\Psi_w$ ) diminue dans les deux sens, mais plus encore dans la gaine foliaire de (HD1220) par rapport à (MD) (Fig. 3A). En limbes, une diminution du potentiel

hydrique ( $\Psi_w$ ) était similaire chez les deux cultivars (**Fig. 3B**).

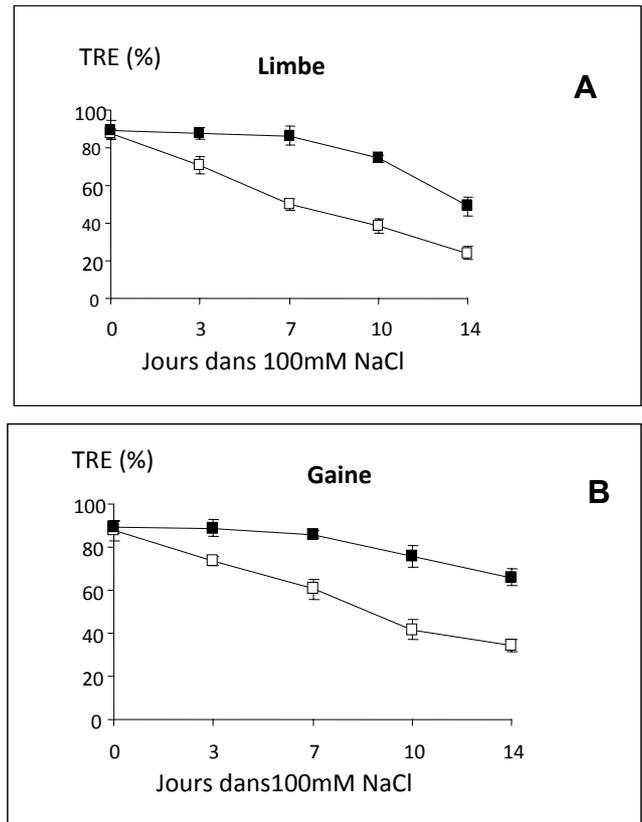


**Figure 3:** Potentiel hydrique de la feuille: (A) la gaine, (B) le limbe de (MD, Bars blanc) et (HD1220, bars gris), des plantes témoins et après 7 jours de croissance dans (NaCl 100mM).

Les deux génotypes (MD) et (HD1220) ont également répondu à la salinité avec une réduction significative de la teneur relative en eau (TRE). Après 7 jours au stress salin à 100mM NaCl, la (TRE) de (HD1220) a été maintenue à environ 84% des plantes stressées, alors qu'elle a diminué de 58% des valeurs de contrôle (Fig. 4A, 4B). Après 14 jours de stress, la (TRE) de (MD) est tombé à 20 et 31% pour le limbe et la gaine foliaire, respectivement. En revanche, les pertes de la (TRE) par (HD1220) étaient beaucoup plus petites et une diminution de 48% dans le limbe de la feuille et à 65% dans la gaine foliaire.

## DISCUSSION

La tolérance au sel reflète la capacité de la plante à exclure  $\text{Na}^+$  ainsi que les mécanismes associés à cette tolérance des tissus dans le cumul des ions  $\text{Na}^+$ . Ces deux composantes de la tolérance au sel sont susceptibles de fonctionner de façon indépendante ainsi la tolérance au sel dépendra aussi de leurs effets relatifs. En conséquence, la tolérance au sel, dans les deux génotypes (MD) et (HD1220), a été évaluée dans cette étude en utilisant un ensemble de paramètres physiologiques. (MD) semble être plus sensible au sel que (HD1220) au stade de la germination (Fig. 1A).



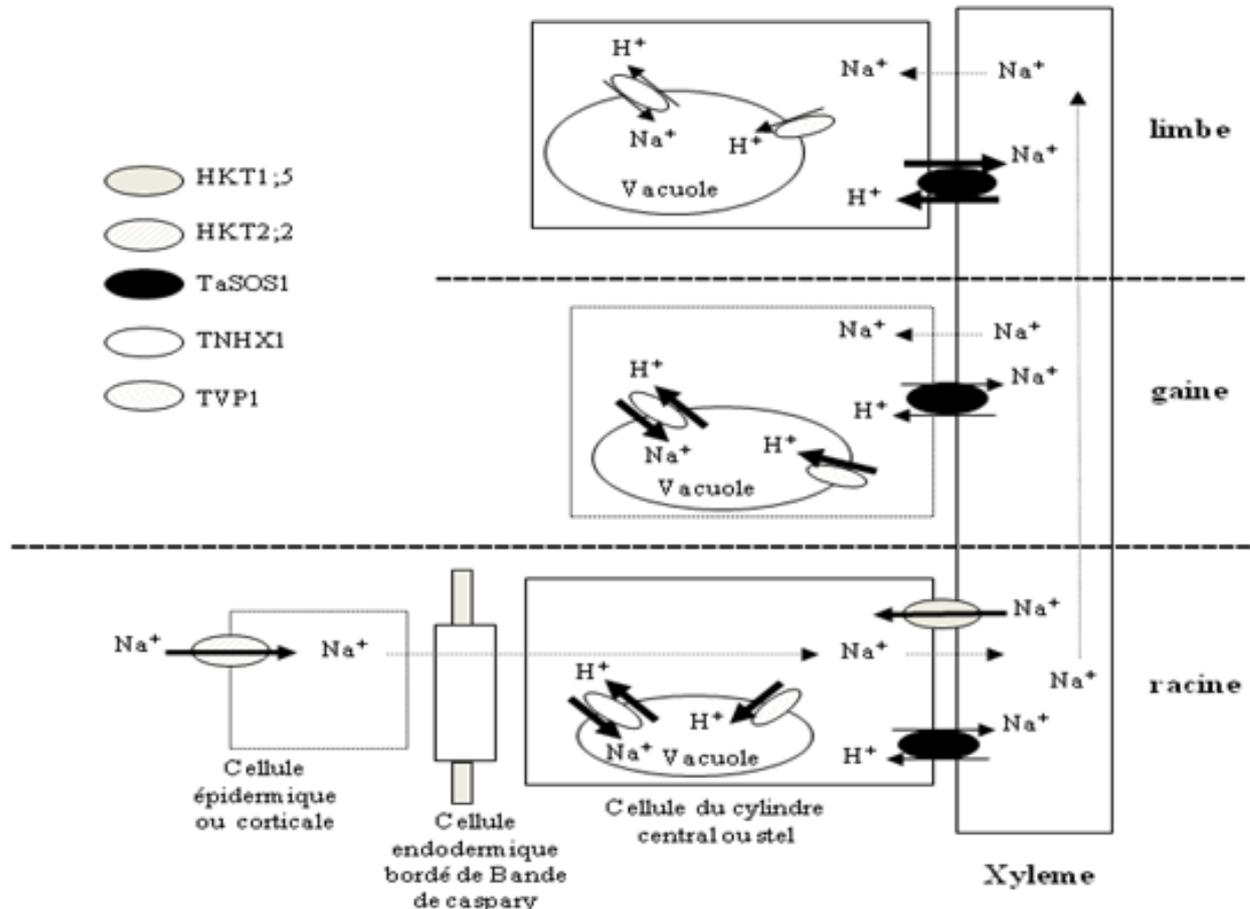
**Figure 4:** Teneur relative en eau (TRE) des limbes (A) et des gaines (B) du génotype (MD) (symboles blanc) et HD (symboles noir) après croissance dans (NaCl 100mM) pendant 0, 3, 7, 10 ou 14 jours. Une feuille par plante est retirée pour chaque analyse de TRE.

Les concentrations élevées de NaCl ont réduit la croissance des plantes, en particulier des feuilles, avec effet plus prononcé sur le génotype plus sensible. Une performance supérieure de (HD1220) pourrait être due à l'ajustement osmotique plus fort, ce qui est considéré comme important pour l'adaptation des plantes au stress salin, car elle contribue au maintien de la turgescence et le volume cellulaire. Cette notion est soutenue par une augmentation de la (TRE) dans la gaine foliaire de (HD1220), en liaison avec inférieur potentiel hydrique foliaire ( $\Psi_w$  plus négatif), même si les gaines contenaient moins de NaCl que le (MD) sensible (Fig. 3 et 4). Une réponse immédiate des plantes à la salinité élevée est une diminution de l'expansion des feuilles. Ceci est plus souvent associé à une perte de pression de turgescence cellulaire plutôt qu'à un effet de sel spécifique toxique. Dans le rapport de gestion génotype sensible au sel, ce dernier est moins efficace exclu du flux de transpiration à l'entrée du limbe de la feuille, ce qui entraîne une plus grande accumulation. Il est présumé que les niveaux élevés de sel dans les limbes renforcerait la sénescence prématurée des feuilles mortes en se basant sur les performances photosynthétiques des plus jeunes feuilles. Alors que les deux génotypes étudiés semblent avoir les mêmes capacités

d'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les racines, ils ont montré différents taux de  $\text{Na}^+$  dans l'accumulation des limbes. L'ion  $\text{Na}^+$  est accumulé plus dans les gaines de la première et la deuxième feuille de (HD1220) par rapport à (MD) (Fig. 2). La capacité de stockage de la gaine peut représenter un avantage pour (HD1220) en limitant le chargement de  $\text{Na}^+$  au limbe de la feuille ainsi, en préservant sa capacité de photosynthèse. Toutefois, la rétention gaine de  $\text{Na}^+$  se ferait que retarder l'accumulation de  $\text{Na}^+$  dans les limbes jusqu'à ce qu'un seuil a été atteint au-dessus duquel le  $\text{Na}^+$  atteindra les limbes des deux cultivars. Il est possible que ce trait de rétention gaine préférentiel de  $\text{Na}^+$  serait d'interagir avec le chargement du xylème faible. Ceci suggère que la séquestration de  $\text{Na}^+$  pourrait être spécifique. Toutefois, La tolérance au sel est associée à de faible taux de transport de  $\text{Na}^+$  pour les pousses avec une forte sélectivité pour  $\text{K}^+$  sur  $\text{Na}^+$  (Cuin et al., 2008), et par conséquent, ratio  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  dans les jeunes feuilles est proposé comme un facteur important (Dvorák et Gorham, 1994; Husain et al., 2004; Poustini et Siosemardeh, 2004). La tolérance des plantes au sel dépendent de transporteurs membranaires HKT, qui règlent le transport spécifique de  $\text{Na}^+$  ou  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  et de jouer un rôle clé dans la régulation de l'homéostasie du  $\text{Na}^+$  (Rodríguez-Navarro et Rubio, 2006).

Le transport actif des ions se fait par sym-porteurs et anti-porteurs qui peuvent transporter des ions contre un gradient de potentiel électrochimique. Le niveau d'expression du  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  anti-porteur chez le blé a augmenté considérablement dans les racines et les gaines foliaires des deux cultivars (MD) et (HD1220) par rapport aux limbes traités avec 100mM de  $\text{NaCl}$  pendant 7 jours. L'excès vacuolaire de  $\text{Na}^+$  fournirait plus d'osmotocums pour l'osmo-régulation en conditions salines (Xue et al., 2004), ce qui suggère que la capacité renforcée de retenir  $\text{Na}^+$  toxique. Ainsi, le  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  anti-porteur fait acte de performance avec  $\text{H}^+$ -PPase et  $\text{H}^+$ -ATPase vacuolaire pour piéger les cations dans le compartiment vacuolaire et pré-vacuolaire, la salinité élevée induit alors l'expression des gènes V-PPase dans les racines.

La transcription de l'antiport membranaire plasmique  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ , TaSOS1, était plus faible dans les racines et les gaines de (HD1220) que dans (MD). Les interprétations directes de ce modèle est l'existence des différences dans les modes d'expression des TaSOS1 entre les deux cultivars, cela indique que les transporteurs membranaires de  $\text{Na}^+$  peuvent contribuer à la tolérance au stress différentiel. Cependant, certaines études récentes n'ont signalé aucune corrélation apparente entre le contenu de la feuille en  $\text{Na}^+$  et la tolérance au sel chez le blé (Genc et al., 2007).



**Figure 5:** Model proposé pour élucider les mécanismes du transport de sodium: déchargement et séquestration vacuolaire chez la variété tolérante au sel.

Ainsi, il apparaît que l'exclusion de Na<sup>+</sup> n'est pas toujours suffisante pour augmenter la tolérance au sel des plantes et pour cela d'autres traits physiologiques doivent être également pris en considération, et la lumière de ces résultats, un modèle a été proposé, qui combine tous les gènes transporteurs, d'élucider les mécanismes sous-jacents, et la pyramide des gènes contrôlant des caractères qui pourraient agir de manière additive ou même synergique (Fig. 5). Cela pourrait réaliser des gains substantiels dans la tolérance au stress salin lorsque ces transporteurs d'ions surexprimés chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.).

## CONCLUSION

La tolérance à des concentrations salines élevées dans le blé tendre semble être liée à une capacité à éviter l'accumulation des niveaux toxiques de Na<sup>+</sup>, une meilleure capacité d'ajustement osmotique et/ou de maintenir des niveaux adéquats, en particulier dans le limbe de la feuille. Cette information sera utile dans la sélection du matériel pour les futurs programmes de sélection.

## Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet conjoint de recherche Algéro-Tunisien, dont on remercie vivement les responsables de l'organisme de tutelle des deux pays.

## REFERENCES

- [1]- Barrs H., (1968). Determination of water deficit in plants tissues - In Kozłowski, I (ed): Water deficit and plant growth -235-368 *Academy press*, New York.
- [2]- Crop stat 7. 2. 3., (2009). Free Statistics Package by IRRI, Manila, Philippines.
- [3]- Cuin T. A., Betts S. A., Chalmandrier R., Shabala S., (2008). A root's ability to retain K<sup>+</sup> correlates with salt tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany* **59** (10): 2697-2706.
- [4]- Dvořák J., Noamam M. M., Goyal S., Gorham J., (1994). Enhancement of the salt tolerance of *Triticum turgidum* L. by the *Kna1* locus transferred from the *Triticum aestivum* L. chromosome 4D by homoeologous recombination. *Theor Appl Genet.* **87**: 872-877.
- [5]- Genc Y., McDonald G. K., Tester M., (2007). Reassessment of tissue Na<sup>+</sup> concentration as a criterion for salinity tolerance in bread wheat. *Plant, Cell and environment* **30**: 1486-1498.
- [6]- Husain S., von Caemmerer S., Munns R., (2004). Control of salt transport from roots to shoots of wheat in saline soil. *Funct Plant Biol* **31**: 1115-1126.
- [7]- Kahali L., (1998). Des paramètres de l'élaboration du rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), cultivés en conditions de déficit hydrique-thèse de magister *ISN-Université Constantine*.
- [8]- Munns R and James R.A., (2003). Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil*, **253**: 201-218.
- [9]- Rodriguez-Navarro A., Rubio F., (2006). High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *J Exp Bot* **57**: 1149-1160.
- [10]- Poustini K and Siosemardeh A., (2004). Ion distribution in wheat cultivars in response to salinity stress. *Field Crops Research.* **85**: 125-133.
- [11]- Xue Z-Y., Zhi D-Y., Xue G-P., Zhang H., Zhao Y-X., Xia G-M., (2004). Enhanced salt tolerance of transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.) expressing a vacuolar Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na<sup>+</sup>. *Plant Science.* **167**: 849-859.