

Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.)

S. Bouaouina, E. Zid et M. Hajji

Département de Biologie, Unité d'Ecophysiologie et Nutrition des Plantes, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1060 Tunis, Tunisie

RESUME – L'étude de la tolérance à la salinité du blé dur (*Triticum turgidum* L.) montre que NaCl diminue la croissance des plantes entières, retarde l'émergence des nouvelles feuilles et limite l'accumulation de K^+ et Ca^{2+} dans ces organes. L'accumulation de Na^+ présente un gradient décroissant des feuilles âgées vers les jeunes feuilles. Les paramètres de fluorescence chlorophyllienne, déterminés sur des feuilles matures, suggèrent que l'accumulation de Na^+ n'affecte pas l'intégrité fonctionnelle du photosystème II. Dans les callosités cellulaires directement exposées au sel, la production de matière sèche est peu affectée par NaCl, malgré la baisse d'hydratation cellulaire. L'effet dépressif du sel sur l'accumulation de K^+ et Ca^{2+} est évident et l'accumulation cellulaire de Na^+ augmente avec la concentration de NaCl. Ces résultats suggèrent que le blé dur dispose de mécanismes de régulation permettant la restriction du transport et de l'accumulation de Na^+ dans les feuilles jeunes.

Mots-clés : Blé dur, salinité, nutrition minérale, fluorescence chlorophyllienne.

SUMMARY – “Tolerance to salinity, ion transport and chlorophyll fluorescence in durum wheat (*Triticum turgidum* L.)”. The study of salt tolerance of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) indicates that NaCl decreases growth of whole plants, delays the emergence of new leaves and limits K^+ and Ca^{2+} accumulation in these organs. Na^+ accumulation displays a decreasing gradient from old to young leaves. Parameters of chlorophyll fluorescence determined on mature leaves suggest that Na^+ accumulation does not affect the functional integrity of photosystem II. Dry matter production of cellular calli directly exposed to salt is not much affected in spite of a drop in cellular water content. Depressive effect on K^+ and Ca^{2+} accumulation is evident, and Na^+ cellular accumulation increases with NaCl concentration. These results suggest that wheat has mechanisms of regulation allowing restriction of Na^+ transport and accumulation in young leaves.

Key words: *Triticum turgidum*, salinity, mineral nutrition, chlorophyll fluorescence.

Introduction

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes. Chez les céréales, l'effet dépressif du sel se manifeste à partir d'un seuil critique de concentration caractéristique de l'espèce ou de la variété (Epstein *et al.*, 1980 ; Kingsbury *et al.*, 1984 ; Cramer *et al.*, 1994 ; Bounaqba, 1998). L'objectif du présent travail est d'analyser les réponses de croissance et de nutrition d'une variété de blé dur Razzak en présence de différentes concentrations de NaCl, afin de préciser ses limites de tolérance à la salinité pendant la phase juvénile. L'effet de la salinité est étudié non seulement à l'échelle de la plante entière, mais aussi sur des callosités cellulaires initiées à partir d'embryons matures. La fluorescence chlorophyllienne est utilisée comme outil de diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II en conditions de stress salin (Smillie et Nott, 1982 ; El Mekkaoui, 1990 ; Belkhdja *et al.*, 1994).

Matériels et méthodes

La variété Razzak a été obtenue à l'Institut National Agronomique de Tunisie en 1976. Il s'agit d'une variété précoce, très productive, à forte capacité de tallage et à résistance élevée à la verse. Elle se distingue morphologiquement par un épi blanc, compact et à glumes velues. La paille est creuse et présente une hauteur moyenne de 85 cm. Le grain est gros, ovoïde, à albumen corné et vitreux, rappelant celui du riz (Maamouri *et al.*, 1988).

Des plantules âgées de 4 jours sont mises en culture sur une solution nutritive complète à différentes concentrations de NaCl (0 à 200 mM). Les plantes sont cultivées pendant 30 jours sur ces différents

milieu, sous une intensité lumineuse de $130 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, et une photopériode de 16 h. La température et l'humidité relative sont respectivement de 26°C et 45% le jour, 18°C et 80% la nuit. Des embryons matures sont cultivés dans les mêmes conditions sur le milieu de Murashige et Skoog (1962) additionné de saccharose à 20 g/l, d'agar-agar à 7 g/l et d'acide dichlorophénoxy-acétique (2,4-D) à 1 mg/l. Après 4 semaines de culture, les cals sont repiqués sur un milieu de maintenance à 0,75 mg/l de 2,4-D. Un mois plus tard, les cals sont transférés sur un deuxième milieu de maintenance contenant du 2,4-D à 0,5 mg/l et NaCl 0 à 200 mM.

Dans les deux cas, l'effet de la contrainte saline est évalué sur la base de paramètres de croissance (production de biomasse) et de nutrition minérale (absorption, transport et accumulation de K^+ , Ca^{2+} et Na^+). Pour diagnostiquer l'état fonctionnel des photosystèmes, la fluorescence chlorophyllienne est mesurée à l'aide d'un analyseur de fluorescence (Hansatech) sur la dernière feuille complètement étalée de plantes cultivées en absence ou en présence de NaCl 100 mM pendant 15, 30 et 45 jours. Ce diagnostic est basé sur l'analyse des courbes de fluorescence chlorophyllienne émise après excitation de la feuille par une radiation de longueur d'onde 650 nm, et d'intensité égale à $3000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Après une période de 30 min d'adaptation à l'obscurité, la durée d'illumination est fixée à 30 s.

Résultats et discussion

Après 1 mois de culture, la croissance des parties aériennes est affectée par NaCl, même lorsqu'il est faiblement représenté dans le milieu (50 mM). Ce sont les niveaux foliaires les plus jeunes qui accusent le plus l'effet de la salinité (Fig. 1). Sur les cals cellulaires, l'effet dépressif du sel sur la matière sèche est très peu marqué, mais la teneur en eau baisse fortement (Fig. 2). Le sel exerce, dès la plus faible dose, un effet dépressif sur l'absorption, l'accumulation racinaire et le transport dans les parties aériennes de K^+ et Ca^{2+} (Fig. 3). Les feuilles âgées présentent des teneurs relativement élevées en Na^+ , contrairement aux feuilles plus jeunes. Dans les deux types de feuilles, cette accumulation progresse régulièrement avec la dose de sel. Dans les cals cellulaires, l'addition de NaCl se traduit par une baisse des teneurs en K^+ et Ca^{2+} , accompagnée d'une augmentation des teneurs en Na^+ (Fig. 4). En absence, comme en présence de NaCl, les paramètres de fluorescence initiale F_0 , maximale F_m et variable F_v ($F_v = F_m - F_0$) sont indépendants du stade de développement de la plante. Le rendement photochimique maximum évalué par le rapport F_v/F_m est stable au cours du temps et n'est pas modifié par la salinité du milieu. Sa valeur est en moyenne de 0,820 sur milieu témoin et de 0,815 sur NaCl 100 mM.

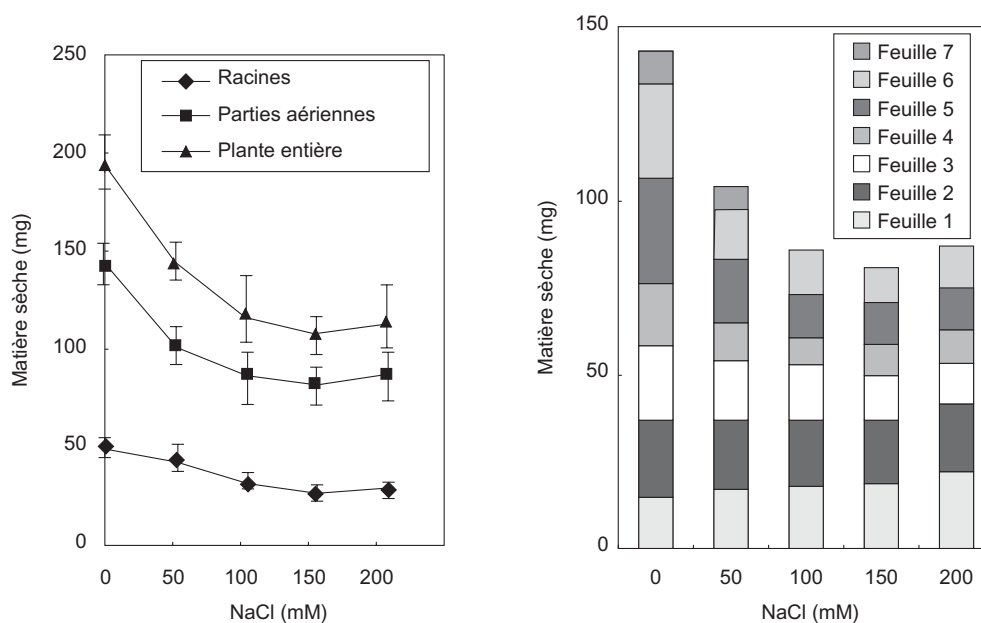


Fig. 1. Effets de différentes concentrations de NaCl sur les masses de matière sèche des racines, parties aériennes (à gauche) et des différents étages foliaires (à droite) des plantes après 30 jours de culture. Les valeurs sont les moyennes de 17 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés à $p = 0,05$.

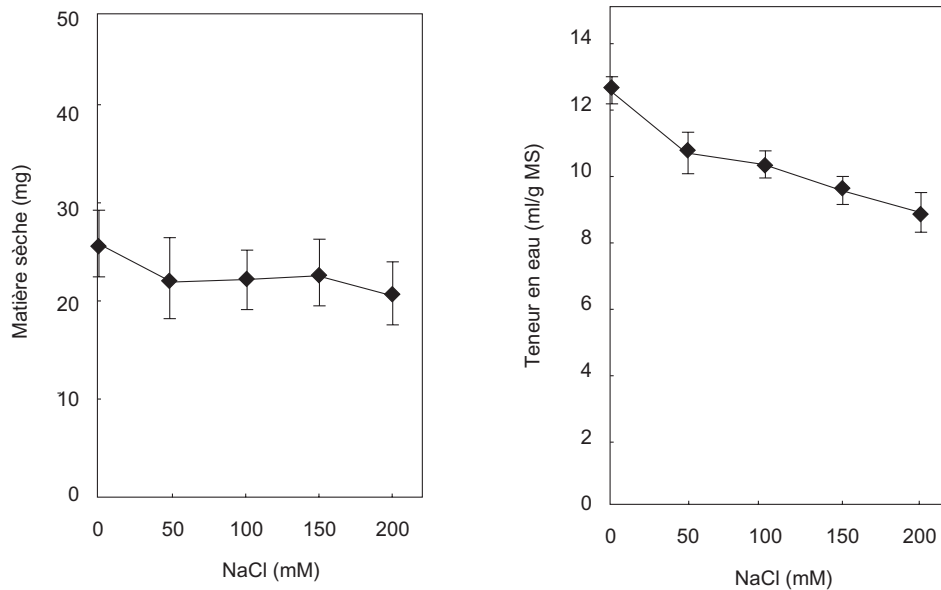


Fig. 2. Matière sèche (à gauche) et teneur en eau (à droite) des cals cellulaires après 30 jours de culture en présence de différentes concentrations de NaCl. Les valeurs sont les moyennes de 30 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés à $p = 0,05$.

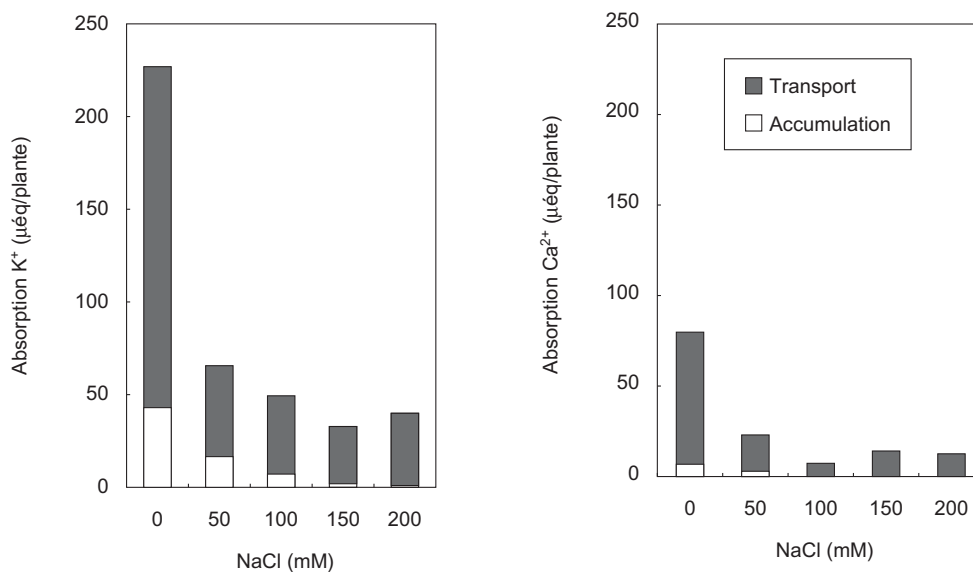


Fig. 3. Bilans nets de l'accumulation dans les racines et du transport dans les parties aériennes de K⁺ (à gauche), de Ca²⁺ (à droite) après 30 jours de culture en présence de différentes concentrations de NaCl. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles.

Ainsi, la croissance végétative du blé dur var. Razzak est fortement déprimée par les concentrations de NaCl égales ou supérieures à 50 mM. Cette variété peut donc être considérée, comme sensible à la salinité, au stade juvénile. L'effet dépressif du sel concerne plus les organes aériens que les racines, et se manifeste surtout au niveau des feuilles jeunes en croissance. Cette différence de sensibilité entre les organes d'absorption et les organes photosynthétiques est caractéristique des glycophytes (Brugnoli et Björkman, 1992 ; Bernstein *et al.*, 1993). La salinité restreint l'alimentation des céréales en éléments nutritifs essentiels (Soltani *et al.*, 1990). C'est le cas de la variété Razzak, puisque les faibles concentrations de NaCl limitent fortement l'approvisionnement de la plante en K⁺ et Ca²⁺. Sur sel, la plante absorbe et transporte Na⁺ dans ses organes aériens. Les feuilles les plus âgées présentent une surcharge en Na⁺, contrairement aux feuilles jeunes. Cette rétention de Na⁺ dans les étages inférieurs pourrait représenter un mécanisme de protection des feuilles jeunes contre les effets toxiques de Na⁺

(Wolf *et al.*, 1991 ; Durand et Lacan, 1994). L'accumulation de Na^+ dans les tissus foliaires n'a pas d'effet significatif sur le rapport F_v/F_m , indicateur du rendement photochimique. Des résultats comparables ont été obtenus sur les feuilles d'autres céréales cultivées sur NaCl, comme le triticale, le blé tendre et l'orge (Bounaqba, 1998 ; Vadel, 1999).

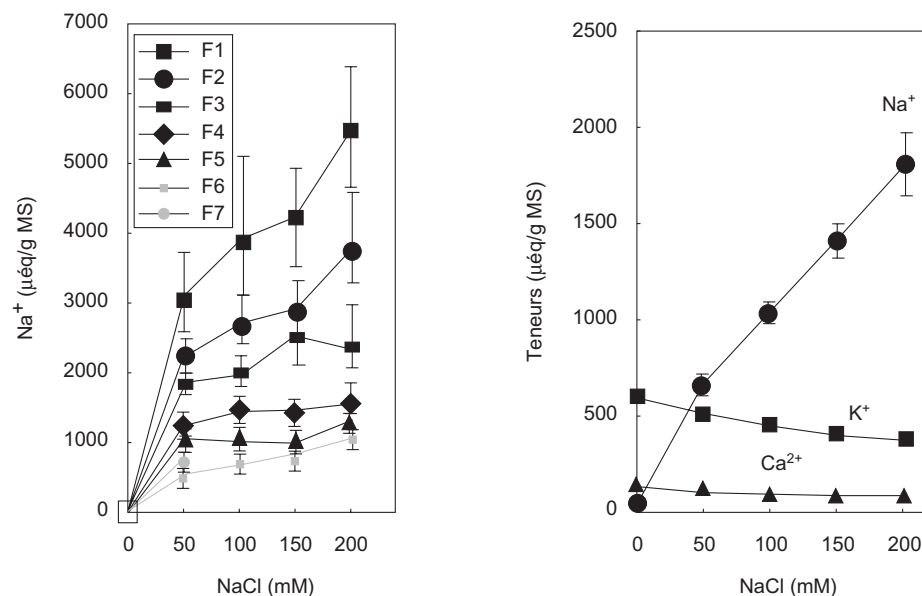


Fig. 4. A gauche : teneurs en Na^+ des différents étages foliaires après 30 jours de culture en présence de différentes concentrations de NaCl. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés à $p = 0,05$. A droite : teneurs en K^+ , Na^+ et Ca^{2+} des calcs cellulaires après 30 jours de culture en présence de différentes concentrations de NaCl. Les valeurs sont les moyennes de 10 mesures individuelles. Les intervalles de sécurité sont calculés à $p = 0,05$.

Les calcs cellulaires maintiennent sur sel une croissance comparable à celle des témoins, mais leur hydratation est fortement diminuée. La charge en K^+ et en Ca^{2+} est également réduite par la salinité. Par ailleurs, les niveaux d'accumulation de Na^+ sont nettement plus faibles que ceux mesurés sur les feuilles âgées des plantes entières. Ces perturbations ioniques ont peu d'effet sur la production de matière sèche des calcs. Ainsi, les calcs cellulaires sont moins sensibles à la salinité que les plantes intactes. Cette différence de comportement suggère fortement que la sensibilité de la plante entière à la salinité est plus liée à l'intégration des fonctions physiologiques dans l'organisme entier qu'à des caractéristiques exclusivement cellulaires (Zid et Grignon, 1991).

Conclusion

La variété de blé dur Razzak présente pendant la phase juvénile les caractéristiques physiologiques des plantes sensibles à la salinité. Les faibles doses de NaCl limitent la croissance pondérale, ainsi que l'approvisionnement de la plante en K^+ et Ca^{2+} . Cette variété absorbe et transporte le sodium dans ses organes aériens. Mais, l'accumulation de Na^+ dans les feuilles jeunes est restreinte. Cette accumulation est sans effet sur les paramètres de fluorescence chlorophyllienne. Les mêmes perturbations ioniques se manifestent au niveau des cultures cellulaires, dont la croissance est peu affectée par le sel.

Références

Belkhdja, R., Morales, F., Abadia, A., Gómez-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.

- Bernstein, N., Läuchli, A. et Silk, W.K. (1993). Kinematics and dynamics of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) leaf development at various Na/Ca salinities. I. Elongation and growth. *Plant Physiol.*, 103 : 1107-1114.
- Bounaqa, S. (1998). *Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II*. Doctorat de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Univ. Tunis II.
- Brugnoli, E. et Björkman, O. (1992). Growth of cotton under continuous salinity stress : Influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. *Planta*, 187 : 335-347.
- Cramer, G.R., Alberico, G.J. et Schmidt, C. (1994). Salt tolerance is not associated with the sodium accumulation of two maize hybrids. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21 : 675-692.
- Durand, M. et Lacan, D. (1994). Sodium partitioning within the shoot of soybean. *Physiol. Plant.*, 91 : 65-71.
- El Mekkaoui, M. (1990). *Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (T. durum Desf.) et l'orge (H. vulgare L.) : Recherche de tests précoces de sélection*. Thèse Doct. en Sc. Agr., USTL, Montpellier.
- Epstein, E., Norlyn, J.D., Ruch, D.W., Kingsbury, R.W., Cunnigham, A.F. et Wrona, A.F. (1980). Saline culture of crops : A genetic approach. *Science*, 210 : 399-404.
- Kingsbury, R.W., Epstein, E. et Percy, R.W. (1984). Physiological responses to salinity in selected lines of wheat. *Plant Physiol.*, 74 : 417-423.
- Maamouri, A., Deghaïes, M., El Felah, M. et Halila, H. (1988). *Les variétés de céréales recommandées en Tunisie*. Document technique, INRAT.
- Murashige, T. et Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant.*, 15 : 473-497.
- Smillie, R.M. et Nott, R. (1982). Salt tolerance in crop plants monitored by chlorophyll fluorescence *in vivo*. *Plant Physiol.*, 70 : 1049-1054.
- 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.
- Vadel, A.M. (1999). *Evaluation écophysiological de la tolérance aux contraintes abiotiques chez le triticale (X-Triticosecale Wittmack) et le sorgho (Sorgho bicolor L.)*. Doctorat de Biologie, Faculté des Sciences de Tunis, Univ. Tunis II.
- Wolf, O., Munns, R., Tonnet, M.L. et Jeschke, W.D. (1991). The role of the stem in the partitioning of Na⁺ and K⁺ in salt-treated barley. *J. Exp. Bot.*, 42 : 697-704.
- Zid, E. et Grignon, C. (1991). Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. Dans : *L'Amélioration des Plantes pour l'Adaptation aux Milieux Arides*. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 91-108.