

Effet de la teneur en calcium sur la stabilité membranaire chez des variétés d'orge soumises au stress salin

Alem C.¹, Mamouni Alaoui M.², Amri A.³, Filali Maltouf A.⁴

¹ Département de biologie faculté des sciences et techniques Errachidia

² Institut National de la Recherche Agronomique Errachidia

³ Institut National de la Recherche Agronomique Rabat

⁴ Département de biologie faculté des sciences Rabat

Résumé

Une des conséquences de l'irrigation avec une eau à haute teneur en sel est la diminution de la quantité de calcium assimilable par la plante. Le déficit en calcium provoqué par la salinité au niveau de la plante a pour effets une perturbation de la membrane plasmique aux niveaux structurelle et fonctionnelle. Ce travail vise à suivre les variations de la stabilité membranaire chez des variétés d'orge soumise au stress salin, en relation avec leurs capacités à accumuler le calcium. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence que la stabilité membranaire est bien corrélée avec la teneur en calcium et que cette relation peut quelque fois varier selon le traitement appliqué et même l'organe végétal considéré (racine ou feuille).

Mots Clés : Stress salin, stabilité membranaire, calcium, tolérance à la salinité, orge

Abstract : Effect of calcium accumulation on the membrane integrity in the barley varieties under salt stress

Irrigation with saline water lead to the decrease in the calcium uptake by the plant. The salt stress causes the perturbation in the structure and function of the plasmic membrane. This study aims to follow the variations in the membrane stability of barley varieties under salt stress,

in relation to the ability to accumulate the calcium. Results show that the membrane stability changes with the type of salt stress and the parts of the plants studied (roots or shoots).

Key words : Salt stress, membrane stability, calcium, salt tolerance, barley

الملخص : تأثير كمية الكالسيوم المختزل على حالة استقرار غشاء الخلايا تحت ضغط الملوحة عند الشعير

عالم ش.1، الماموني العلوي م.2، العمري أ.3 و الفيلاي مطوف ع.4

1 قسم البيولوجيا، كلية العلوم، الراشدية، المغرب

2 المعهد الوطني للبحث الزراعي، الراشدية، المغرب

3 المعهد الوطني للبحث الزراعي، الرباط، المغرب

4 قسم البيولوجيا، كلية العلوم، الرباط، المغرب

من عواقب السقي بماء ذي ملوحة مرتفعة، نقصان كمية الكالسيوم المستغل من طرف النبات. وهذا النقص في الكالسيوم يترتب عنه عند النبات اختلال في غشاء الخلايا من الناحية التركيبية و الوظيفية. دراستنا هذه تهدف الى بحث ميكانيزمات مقاومة الملوحة عند بعض اصناف الشعير المغربية، وذلك بتتبع التغيرات الطارئة على استقرار غشاء الخلايا مع ربطه بقدرات كل صنف على تكديس اكبر قدر ممكن من الكالسيوم، وذلك تحت تأثير ضغط الملوحة الناجمة عن محاليل كلورور الصوديوم و الكالسيوم او عن ماء عين العاطي المالحة. إن النتائج المحصل عليها مكنتنا من إظهار ارتباط استقرار غشاء الخلايا بكميات الكالسيوم المكسدة عند النبات وذلك تحت تأثير ضغط الملوحة. وهذه العلاقة تعرف بعض التغيرات حسب نوع الملوحة المطبقة أو حسب العضو النباتي المراقب (جذر أو ورق).

الكلمات المفتاحية : ضغط الملوحة ، الكالسيوم ، غشاء الخلايا

Introduction

La nocivité des eaux d'irrigation à haute teneur en sel est souvent liée à un appauvrissement du sol en calcium assimilable par les racines (Kelly 1963). Dans les sols salins Na^+ et Ca^+ sont généralement présents dans des proportions de 2/1 à 6/1 (Shannon et al. 1984). D'une manière générale, la salinité limite l'absorption et le transport de K^+ , Ca^{++} et d'autres nutriments nécessaires à la croissance végétale (Soltani et al.1990, Ballesteros et al 1997). Les fortes

concentrations de NaCl dans le milieu de culture engendrent une forte compétition au niveau des sites d'absorption de K^+ , Ca^{++} , NH_4^+ et NO_3^- (Marinez et Läubli 1993, Davenport et al. 1997). Les céréales sont particulièrement sensibles à la déficience en Ca^{++} (Ehret et al. 1990, Davenport et al. 1997). Cramer et al. (1990) ont rapporté que l'ajout du calcium entraîne une amélioration de la croissance des plantes d'orge stressées par des concentrations élevées de NaCl et KCl.

D'autre part Cramer et al. (1991) ont signalé l'existence d'une corrélation positive entre la teneur en calcium et la croissance de l'orge. Le rôle du calcium dans l'amélioration de la tolérance à la salinité est attribué à l'intervention du calcium dans la stabilité membranaire et dans la sélectivité ionique (Subbarao et al. 1990). Ehret et al. (1990) ont montré, que le calcium joue un rôle important chez le blé dans le maintien de la stabilité membranaire des tissus foliaires dans les conditions du stress salin. L'utilisation de sondes fluorescentes a permis de montrer que Na^+ déplace Ca^{++} de son site sur la membrane plasmique des poils absorbants (Cramer et al. 1985). Il s'ensuit une altération de la sélectivité de K^+/Na^+ (Cramer et al. 1987). L'addition de calcium réduit la perméabilité racinaire à Na^+ ainsi que le transport de ce cation dans les feuilles (Rengel 1992, Gleen et al. 1994) ; ceci améliore la sélectivité ionique K^+/Na^+ (Martinez et Läubli 1991 et 1993). Matasumoto (1988) a découvert que le transport de protons via la membrane est inhibé en absence de calcium. Chung et Matasumoto (1989) expliquent la diminution de l'activité ATPasique associée au transporteur de protons dans les conditions du stress salin par la diminution de la quantité de calcium et des phospholipides au niveau de la membrane plasmique.

Le présent travail consiste en un suivi de la variation de la teneur en calcium chez des variétés d'orge marocaines sous stress salin. L'étude s'intéresse aussi à démontrer l'importance du calcium dans le maintien de la stabilité membranaire chez ces variétés d'orge dans les conditions du stress salin.

Matériel et méthodes

Matériel végétal

Six variétés d'orge marocaines inscrites au catalogue officiel : Aglou, Arig 8, Asni, Laannoceur, Merzaga 077 et Rabat 071, ont été utilisées. Ces variétés ont été choisies d'après leurs performances au champs à Ain El Atti. Les variétés Merzaga 077 et Laannoceur sont considérées comme tolérantes au stress salin. Les variétés Asni et Aglou sont intermédiaires ; alors que les variétés Arig 8 et Rabat sont sensibles (Rh'rib 1992 et Idihia 1995).

Essai du stress salin

L'essai a été conduit sous serre. Le substrat utilisé est du sable abondamment rincé à l'eau distillée avant le remplissage des pots.

Le dispositif expérimental est un split plot à trois répétitions. La grande parcelle est occupée par les traitements salins, les petites parcelles par les variétés d'orge.

Les différents traitements salins sont appliqués à partir du stade deux feuilles.

Les traitements salins sont réalisés à partir de solutions contenant du NaCl et du CaCl₂ dans les proportions 2 : 1

- Traitement non stressé : TNS
- Traitement avec une solution de 50 mM de NaCl, 25 mM de CaCl₂
- Traitement avec une solution de 100 mM de NaCl, 50 mM de CaCl₂
- Traitement avec une solution de 150 mM de NaCl, 75 mM de CaCl₂
- Traitement avec une solution de 200 mM de NaCl, 100 mM de CaCl₂
- Traitement avec une eau de la source salée de Ain El Atti (CE=11,6 mS/cm) dont la composition chimique est la suivante (en meq/L) :

Ions	Na	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁺⁺	HCO ₃	K ⁺	pH	CE
Concentration									
meq/L	82,2	23	50	100	24	36	4,24	6,4	11,6
									mS/cm

Les plantes sont arrosées deux fois par semaine par ces différentes solutions et une fois par semaine par une solution nutritive de Hoagland et Arnon (1950).

Mesure de la stabilité de la membrane cellulaire

La méthode utilisée est celle décrite par Sullivan et Rosse (1979) et reprise par Ouassou (1991). Après 24h à 4°C de traitement par le PEG 600, des morceaux de tissus végétaux (feuilles ou racines) sont réhydratés par immersion dans de l'eau déionisée pendant 24h à 4°C. Après cette dernière incubation une première lecture de la conductivité électrique est réalisée à 25°C. Cette première lecture correspond à la perte d'ions par les tissus végétaux. Ce même milieu avec les morceaux de plante est ensuite autoclavé pendant 15 mn et une deuxième lecture de la conductivité est réalisée à 25°C. Celle ci représente la conductivité des ions totaux présents dans les tissus végétaux. Un lot témoin où les morceaux de plante n'ont pas subi de traitement par le PEG 600 a été réalisé.

La stabilité de la membrane cellulaire est calculée en utilisant la formule suivante :

$$SM = (1 - T1/T2) / (1 - C1/C2)$$

T = Conductivité du milieu traité avec le PEG 600

C = Conductivité du milieu non traité avec le PEG 600

1 = Première lecture de la conductivité

2 = Deuxième lecture de la conductivité

Dosage des ions

Les échantillons de matières fraîches de plante sont séchés à l'étuve à 70°C pendant 48h, ceux-ci ont été calcinés au four à 400°C pendant une nuit puis les cendres sont reprises dans une solution de HCl. Le calcium est dosé par titration.

Expression des résultats

Tous les dosages sont effectués sur des échantillons composés des quatre répétitions. Les résultats de toutes les mesures effectuées sont exprimés en pourcentage d'augmentation ou de diminution par rapport aux valeurs des lots témoins.

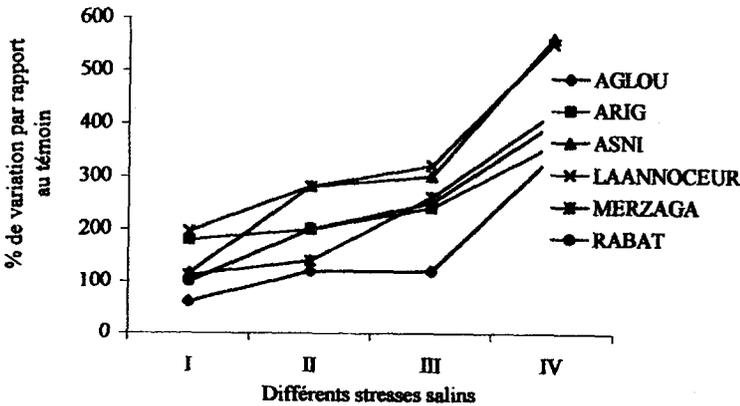


Figure 1. Variation de la teneur racinaire en calcium des variétés d'orge sous différents traitements salins.

Résultats

Niveau racinaire

Variation de la teneur racinaire en Calcium

Chez chacune des variétés, une augmentation de la teneur en calcium est observée parallèlement à l'augmentation de la concentration en NaCl/CaCl₂ (Figure 1). Les variétés Asni et Laannoceur se distinguent des autres variétés par une plus grande augmentation de la teneur en calcium. Dans le cas du traitement avec l'eau de Ain el Atti (Figure 2), c'est la variété Merzaga 077 qui présente l'augmentation de la teneur en calcium la plus importante.

I : Traitement avec une solution de 50 mM de NaCl, 25 mM de CaCl₂

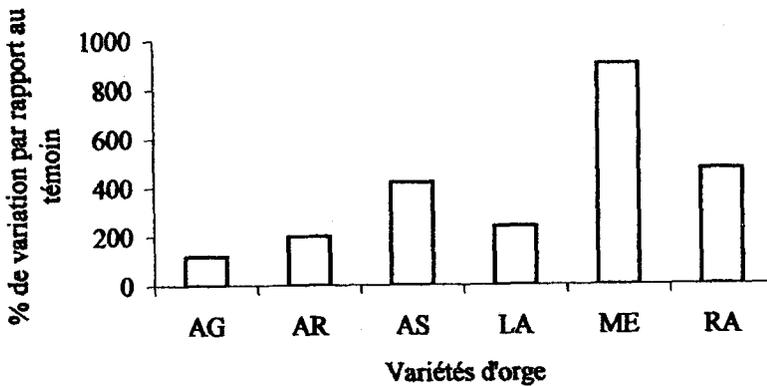


Figure 2. Variation de la teneur racinaire en calcium des variétés d'orge sous l'effet de l'eau de Ain el Atti.

II : Traitement avec une solution de 100 mM de NaCl, 50 mM de CaCl_2

III : Traitement avec une solution de 150 mM de NaCl, 75 mM de CaCl_2

IV : Traitement avec une solution de 200 mM de NaCl, 100 mM de CaCl_2

AG : Aglou, AR : Arig, AS : Asni, LA : Laannoceur, ME : Merzaga, RA : Rabat

Variation de la stabilité membranaire racinaire

Les résultats montrent que la plupart des variétés traitées par les différentes solutions salines (figure 3) ainsi que par l'eau de Ain el Atti (figure 4) présentent une amélioration de la stabilité membranaire par rapport aux témoins non stressés. Les variétés Aglou et Arig 8 présentent une chute significative de la stabilité membranaire aux moyen et fort stress salins (Traitements III et IV). La variété Laannoceur présente la meilleure stabilité membranaire durant tous les degrés du stress salin. La variété Asni se remarque par la constance des valeurs de la stabilité membranaire à tous les niveaux du stress salin. Sous le traitement avec l'eau de Ain el Atti, les variétés Merzaga 077, Aglou et Laannoceur montrent les augmentations les plus marquées de la stabilité membranaire. La variété Aglou, bien qu'elle montre une amélioration de sa stabilité membranaire quand elle est traitée avec l'eau de Ain el Atti, présente cependant une chute significative quand elle est traitée avec les différentes solutions salines. La variété Arig 8 présente la plus faible stabilité membranaire par rapport aux autres variétés pour les deux traitements.

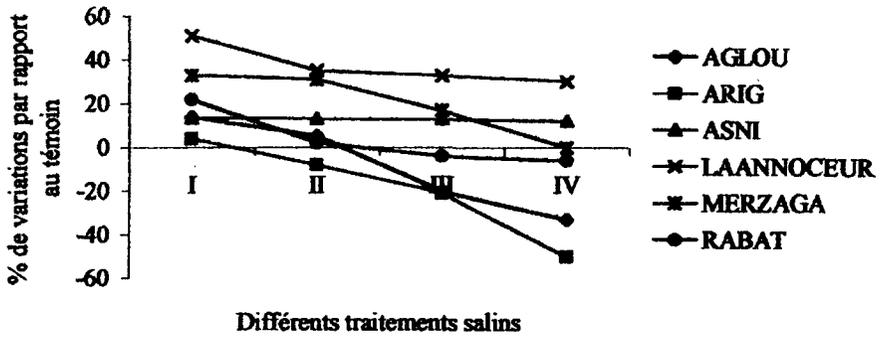


Figure 3. Variation de la stabilité membranaire racinaire des variétés d'orge sous différents stress salins

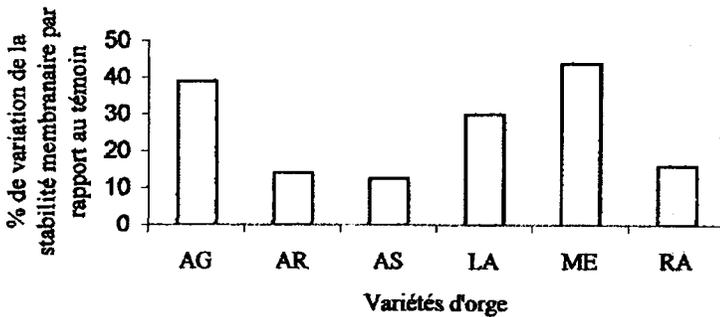


Figure 4. Variation de la stabilité membranaire racinaire des variétés d'orge sous l'effet de l'eau de Ain el Atti

Relation entre la variation de la teneur en calcium et la stabilité membranaire

Dans le cas du traitement avec les solutions de NaCl/CaCl₂ (Tableau 1), l'augmentation de la teneur en calcium est corrélée négativement avec la diminution de la stabilité membranaire. Ceci indique que ce stress salin engendre en même temps une augmentation de la teneur en calcium et une diminution de la stabilité membranaire. De plus, les variétés Asni et Laannoceur qui présentent les plus importantes augmentations de la teneur en calcium sont aussi celles qui offrent les plus faibles diminutions de la stabilité membranaire. Les variétés Aglou et Arig 8 qui montrent les plus grandes diminutions de la stabilité membranaire sont parmi les variétés qui présentent les plus faibles augmentations de la teneur en calcium.

Le calcium semble jouer un rôle dans le maintien d'un bon niveau de stabilité membranaire sous stress salin.

Lors de l'incorporation des résultats du traitement par l'eau de Ain el Atti avec ceux des traitements par les différentes concentrations de NaCl/CaCl₂ (Tableau 1), il y a disparition de cette corrélation chez les variétés Merzaga 077 et Rabat 071. Ainsi chez ces deux variétés, la proportionnalité entre la teneur en calcium et la stabilité membranaire est différente selon que le stress salin serait engendré par les solutions de NaCl/CaCl₂ ou par l'eau de Ain el Atti. Dans le cas du traitement par l'eau de Ain el Atti, nous constatons que : Les variétés Aglou et Laannoceur, bien qu'elles ne présentent que de faibles augmentations de la teneur en calcium, montrent cependant d'importantes améliorations de la stabilité membranaire par rapport aux autres variétés. La variété Rabat 071 qui montre une bonne augmentation de la teneur en calcium, n'affiche cependant qu'une faible amélioration de la stabilité membranaire. La variété Merzaga 077 par contre, présente par rapport aux autres variétés les meilleures augmentations de la teneur en calcium et de la stabilité membranaire. Ainsi dans le cas de stress salin imposé par l'eau de Ain el Atti., les différences de teneurs en calcium ne peuvent pas expliquer à elles seules les différences de stabilité membranaire sous stress salin.

Tableau 1. Corrélations entre la teneur en calcium et la stabilité membranaire racinaire

	Aglou	Arig	Asni	Laannoceur	Merzaga	Rabat
+AA	-0,67	-0,92	-0,96	-0,67	0,49	-0,35
-AA	-0,83	-0,97	-0,99	-,91	-0,93	-0,76

Niveau foliaire

Variation de la teneur foliaire en calcium

Chez chacune des variétés, une augmentation de la teneur foliaire en calcium est observée parallèlement à l'augmentation de la concentration de NaCl/CaCl₂ (figure 5). Les variétés Merzaga 077, Arig 8 et Asni sont celles qui accusent les plus fortes augmentations de la teneur foliaire en calcium ; alors que les variétés Rabat 071, Aglou et Laannoceur sont celles qui montrent les augmentations les moins importantes. Dans le cas du traitement par l'eau de Ain el Atti (figure 6), c'est la variété Merzaga 077 qui se distingue des autres par une augmentation plus importante de la teneur foliaire en calcium.

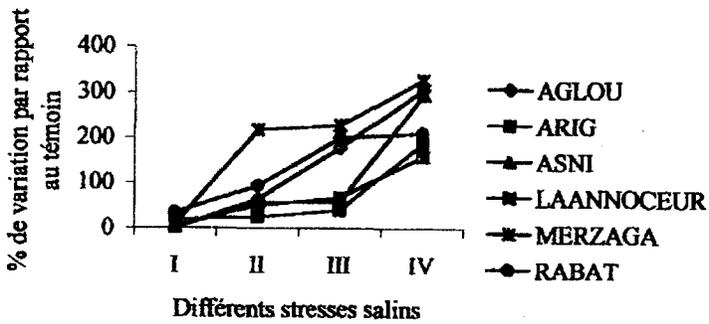


Figure 5. Variation de la teneur foliaire en calcium des variétés d'orge sous différents traitements salins

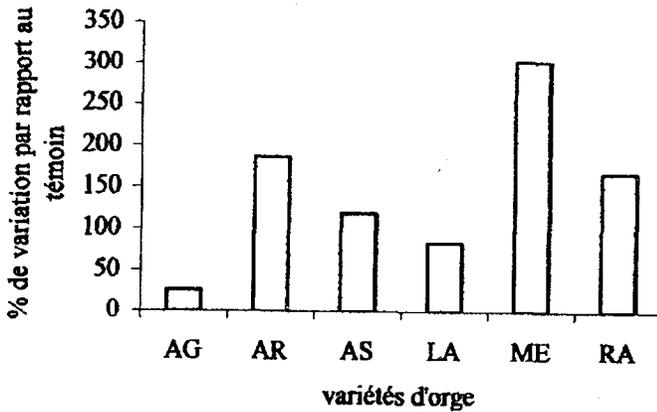


Figure 6. Variation de la teneur foliaire en calcium des variétés d'orge sous l'effet de l'eau de Ain el Atti

Variation de la stabilité membranaire selon différents stress salins

Toutes les variétés montrent une diminution de la stabilité membranaire avec l'augmentation de l'intensité du stress imposé par les différentes solutions salines (Figure 7). Trois classes de variétés peuvent être distinguées, Arig 8 et Asni sont peu affectées ; Merzaga 077, Laannoceur et Rabat 071 sont moyennement affectées alors que Aglou est fortement affectée. Ces mêmes variétés traitées avec l'eau de Ain el Atti (Figure 8) montrent qu'à part la variété Aglou qui est fortement affectée, les autres variétés ne sont pas ou peu affectées avec cependant une légère amélioration de la stabilité membranaire pour les variétés Laannoceur et Merzaga 077.

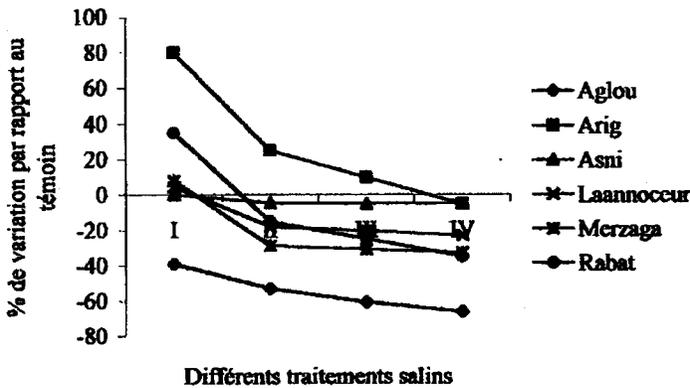


Figure 7. Variation de la stabilité membranaire foliaire des variétés d'orge sous différents traitements salins

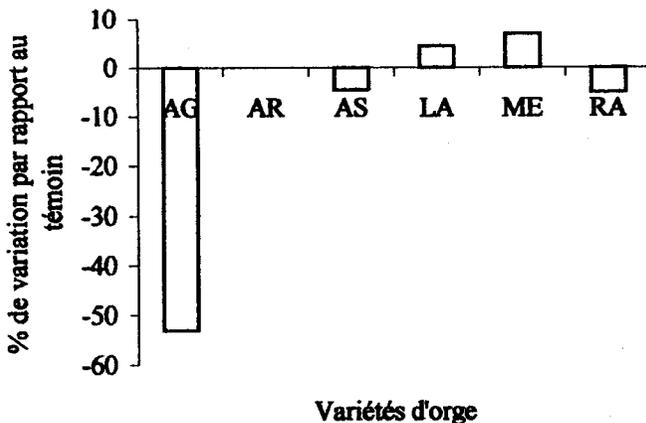


Figure 8. Variation de la stabilité membranaire foliaire des variétés d'orge sous l'effet de l'eau de Ain el Atti

A part la variété Aglou qui montre une forte diminution de la stabilité membranaire pour les deux différents traitements (solutions de NaCl/CaCl₂ et l'eau de Ain el Atti), le comportement des autres variétés semble être différents selon le type de traitement salin appliqué.

Relation entre la variation de la teneur en calcium et la stabilité membranaire

Dans le cas du traitement avec les solutions de NaCl/CaCl₂, hormis la variété Asni, la diminution de la stabilité membranaire est corrélée négativement avec l'augmentation de la teneur en calcium (Tableau 2). Ainsi au cours du stress salin l'augmentation de la teneur foliaire en calcium est accompagnée d'une diminution de la stabilité membranaire. Par ailleurs, les variétés Merzaga 077, Arig 8 et Asni qui présentent les plus importantes augmentations de la teneur en calcium sont celles qui présentent les plus faibles diminutions de la stabilité membranaire. Dans le cas du stress imposé par les différentes solutions de NaCl/CaCl₂, la valeur de la teneur en calcium semble avoir une influence sur la limitation de l'ampleur de la diminution de la stabilité membranaire au cours du stress salin. L'incorporation des résultats du traitement avec l'eau de Ain el Atti, occasionne une disparition de cette corrélation chez les variétés Asni, Laannoceur et Merzaga 077. Chez ces trois variétés la proportionnalité entre la teneur en calcium et la stabilité membranaire change selon que le stress salin a pour origine les solutions de NaCl/CaCl₂ ou l'eau de Ain el Atti. Cependant, nous constatons que la variété Merzaga 077 présente vis à vis des autres variétés les meilleures augmentations de la stabilité membranaire et de la teneur en calcium. Par contre, la variété Aglou qui montre la plus faible augmentation de la teneur foliaire en calcium est celle qui présente la plus grande chute de la stabilité membranaire par rapport aux autres variétés.

Tableau 2. Corrélations entre la teneur en calcium et la stabilité membranaire foliaire

	Aglou	Arig	Asni	Laannoceur	Merzaga	Rabat
+AA	-0,88	-0,70	-0,55	-0,50	-0,36	-0,93
-AA	-0,93	-0,65	-0,55	-0,70	-0,85	-0,93

+AA : Les résultats du traitement par les différentes solutions de NaCl, CaCl₂ plus le traitement par l'eau de Ain el Atti sont utilisés.

-AA : Seuls les résultats des traitements par les différentes solutions de NaCl, CaCl₂ sont utilisés.

Le calcium semble jouer un rôle positif dans l'amélioration de la stabilité membranaire foliaire dans les conditions du stress salin ; mais chez quelques variétés, ce rôle semble être différent selon que le stress salin est engendré par les solutions de NaCl/CaCl₂ ou par l'eau de Ain el Atti.

Discussion

Bien que plusieurs auteurs (El Mekkaoui 1987, Idihia 1995) aient mentionné une diminution de la teneur en calcium pendant le stress salin, nous avons observé dans notre essai une augmentation de la teneur en calcium pendant le stress salin. Ceci peut être expliqué par les quantités de CaCl₂ qui ont été ajoutées aux solutions de NaCl appliquées aux plantes, ainsi que par la teneur en ion Ca⁺⁺ de l'eau de Ain el Atti. En effet, Grant et al. (1991) mention-

nent que l'addition de calcium au milieu de cultures de plantes d'orge sous stress salin entraîne une accumulation de ce dernier au niveau foliaire qui peut être même comparable à celle du témoin non stressé.

D'après nos résultats, il semble, surtout pour le stress salin imposé par les solutions de $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$, que les variétés qui ont la plus grande capacité à accumuler du calcium sont celles qui présentent les meilleures valeurs de la stabilité membranaire. Ceci est vérifié aussi bien au niveau foliaire que racinaire. Ehret et al. (1990) ont montré chez le blé que le calcium joue un rôle important dans la stabilité de la membrane des tissus foliaires sous les conditions du stress salin. Le calcium peut servir de protection de l'espace apoplasmique de la racine et de la surface de la membrane plasmique (Suhayda et al. 1992). L'absence du calcium peut entraîner une perturbation de la structure membranaire par la dégradation des phospholipides qui la constitue (Yapa 1986).

L'incorporation des valeurs du traitement utilisant l'eau de la source Ain el Atti avec ceux du traitement par les solutions de $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$ montre une disparition de cette corrélation chez plusieurs variétés. Ceci indique que l'importance de l'intervention du calcium dans le maintien de la stabilité membranaire n'est pas la même si le stress salin a pour origine les solutions de $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$ ou une eau à composition chimique plus complexe comme c'est le cas de l'eau de Ain el Atti.

La variété Aglou bien qu'elle ne présente qu'une faible accumulation de calcium aux niveaux racinaire et foliaire quand elle est traitée par l'eau de la source de Ain el Atti, présente cependant une bonne stabilité membranaire au niveau racinaire et une forte chute au niveau foliaire. Ainsi l'interaction de la teneur en calcium avec la stabilité membranaire peut être différente selon l'organe examiné chez une même plante. Dans le cas de la variété Aglou la bonne stabilité membranaire racinaire sous stress salin ne peut pas être expliquée par la teneur en calcium au niveau racinaire.

La variété Merzaga 077 qui est considérée comme tolérante au champs (Rhr'ib 1992, Idihia 1995) montre, d'après les résultats des essais conduits sous serre, présente la plus grande capacité à accumuler le calcium, ainsi que la meilleure stabilité membranaire aux niveaux racinaire et foliaire. Cette caractéristique est mise en relief d'une façon plus nette par le traitement avec l'eau de Ain el Atti qu'avec les solutions de $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$. La bonne tolérance à la salinité constatée chez la variété Merzaga 077 peut être attribuée en partie à sa capacité à accumuler du calcium durant le stress salin.

En conclusion, les variétés d'orge accumulent différemment le calcium présent dans le milieu quand elles sont dans les conditions du stress salin. Le calcium accumulé peut servir à maintenir la stabilité des membranes foliaires et racinaires. Cependant, la relation entre la teneur en calcium et la stabilité membranaire semble être différente selon l'organe végétal considéré (feuille ou racine) et selon la composition chimique de la solution qui impose le stress salin (solutions de $\text{NaCl}/\text{CaCl}_2$ ou l'eau de Ain el Atti).

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur le directeur et le personnel de l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Tafilalt (ORMVAT), ainsi que le chef du domaine expérimental de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) à Errachidia pour leur précieuse collaboration.

Références bibliographiques

- Ballesteros E., Blumwal E., Donaire J.P. and Belver A. 1997. Na^+/H^+ antiport activity in tonoplast vesicles isolated from sunflower root induced by NaCl stress. *Physiol. Plant.* 99 : 328-334.
- Chung G.C. and Matsumoto H. 1989. Localisation of the NaCl-Sensitive Membrane Fraction in Cucumber Root by Centrifugation on Sucrose Density Gradients. *Plant Cell Physiol.* 30(8) : 1133-1138.
- Cramer G.R., Lynch J., Läuchi A., and Polito E.V.S. 1985. Displacement of Ca^{++} by Na^+ from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress. *Plant. Physiol.* 79 : 207-211.
- Cramer G.R., Lynch J., Läuchi A. and Epstein E. 1987. Influx of Na^+ , K^+ and Ca^{++} into root of salt stressed cotton seedlings. *Plant. Physiol.* 83 : 510-516.
- Cramer G.R., Abdel-basset R. and Seemann J.R. 1990. Salinity -calcium interaction on root growth and osmotic adjustment of two corn cultivars differing in salt tolerance. *J. Plant. Nutr.* 13 : 1453-4162.
- Cramer G.R., Epstein E. and Läuchi A. 1991. Effect of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. Elemental analysis. *Physiol. Plant.* 81 : 197-202.
- Davenport R.J., Reid R.J. and Smith F.A. 1997. Sodium-calcium interaction in two wheat species differing in salinity tolerance. *Physiol. Plant.* 99 : 323-327.
- Ehret D.L., Redman R.E., Harvy B.L. and Cipywnyk A.L. 1990. Salinity-induced calcium deficiencies in wheat and barley. *Plant and Soil.* 128 : 143-151.
- El Mekkaoui M. 1987. Contribution à l'étude de la tolérance au chlorure de sodium chez les céréales, blé dur (*T. durum* Desf.), blé tendre (*T. aestivum* L.) et l'orge (*H. vulgare* L.). Diplôme d'Agronomie Approfondie. Ecole National Supérieure Agronomique de Montpellier.
- Glenn E.P., Olsen M., Frye R., Moore D. and Miyamoto S. 1994. How much sodium accumulation is necessary for salt tolerance in subspecies of the halophyte *Atriplex canescens* ? *Plant. Cell. Environ.* 17 : 711-719.
- Grant R., Cramer G.R., Epstein E. and Läuchi A. 1991. Effect of sodium, potassium and calcium on salt-stressed barley. II. Elemental analysis.
- Hogland D.R. and Arnon D.I. 1950. The water culture method for growing plant without soil. In *Mineral nutrition of plant : principales and perspectives* (ed) Epstein E. 29-49.
- Idihia F. 1995. Caractérisation agro-morphologique de la tolérance à la salinité chez l'orge (*Hordeum vulgare*). Thèse de troisième cycle. Université Caddi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech
- Kelly W.P. 1963. Use of saline irrigation water. *Soil. Sci.* 95 : 385-391.
- Martinez U. and Läuchi A. 1991. Phosphorus translocation in salt stress cotton. *Physiol. Plant.* 83 : 626-632.

- Martinez U. and Läuchli A. 1993. Effect of Ca^{++} on the salt-stress response of barley roots as observed by in vivo ^{31}P -nuclear magnetic resonance and in vitro analysis. *Planta*. 190 : 519-524.
- Matasumoto H. 1988. Repression of proton extrusion from intact cucumber roots and the proton transport rate of microsomal membrane vesicles of the roots due to Ca^{++} starvation. *Plant Cell Physiol*. 29 : 79-84.
- Ouassou A. 1991. Sélection d'indice morpho-physiologiques et choix de parents pour l'utilisation de la résistance à la sécheresse et au hautes températures chez le blé dur.
- Rengel Z. 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant.Cell.Environ*. 15 : 625-632.
- Rh'rib K. 1992. Caractérisation de la tolérance à la salinité chez certaines variétés de céréales d'automne. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en Agronomie, I.A.V. Hassan II.
- Shannon M.C. 1984. Breeding selection and the genetics of salt tolerance. In : Stapels R. and Toenniessen (eds) : Salinity tolerance in plants : Strategies for crop improvement. Pp :171-187. John Wiley and sons, New York.
- Soltani A., Hajji M. and Grignon C. 1990. Recherche des facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie*. 10 : 857-866.
- Subbarao G.V., Johansen C., Jana M.K. and Kumar rao j.V.D.K. 1990. Physiological Basis of Differences in Salinity Tolerance of Pigeonpea and its Related Wild Species. *J. Plant Physiol*. 137 : 64-71.
- Suhayda C.G., Redman R.E., Harvy B.L. and Cipywnyk A.L. 1992. Comparative response of salt cultivated and wild barley species to salinity stress and calcium supply. *Crop.Sci*. 32 : 154-163.
- Sullivan C.Y. and Ross W.M. 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain Sorghum. In "Stress physiology in crop plant" ed. Mussel H. and Stapel R.C. (JOHN WILEY and sons, New York) 263-281.
- .Yapa P.A.J., Kawasaki T. and Matasumoto H. (1986). Change of some associated enzyme activities and degradation of membrane phospholipides in cucumber roots due to Ca^{++} starvation. *Plant.Cell.Physiol*. 27 : 223-232.