

EFFECT OF SALT STRESS ON THE CONTENT OF THE Na⁺, K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺ IN BARLEY (*Hordeum vulgare* L.)

A. Djerah^{*1}, M. Belhamra^{2,3}

¹Département des sciences agronomiques, Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques, Université Hadj Lakhdar Batna1, Algérie

²Département des Sciences Agronomiques, Université Mohamed Khider, Biskra

³Centre de Recherche Scientifique et Techniques sur les Régions Aride (CRSTRA), Biskra

Received: 09 December 2019/ Accepted: 05 July 2020 / Published online: 01 September 2020

ABSTRACT

Salinity affects large areas that cannot be exploited. However, the right choice of species and varieties can contribute to the development of these marginal areas and to have an important food source. In this context, our study aims to test 16 varieties of barley under salt stress, to measure certain cations in order to determine a better tolerate varieties to salt stress. Three levels of salt stress (NaCl) were chosen 80, 130 and 180mM. The test is conducted under greenhouse in pots to determine the Na⁺, K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺ contents of both parts of the plant (shoot and root) at the heading stage. The results show increasing levels of Na⁺ with increasing levels of salt stress in both parts of the plant. The K⁺, Mg²⁺ and Ca²⁺, showed decreases in both parts of the plant. The test has made it possible to classify the varieties in relation to the salt stress especially by the ratio K⁺ / Na⁺.

Keywords: *Hordeum vulgare*; salt stress; tolerance; Na⁺; K⁺; Mg²⁺; Ca²⁺.

Author Correspondence, e-mail : djerah@yahoo.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v12i3.1>



1. INTRODUCTION

L'Algérie est classée parmi les premiers pays consommateurs de céréales dans le monde, avec une production qui ne satisfait pas ses besoins en perpétuelle augmentation. L'importation des céréales alourdit l'économie nationale, avec une facturation durant les dix premiers mois de 2018 qui a grimpé à 2,61 milliards de dollars (USD) contre 2,27 milliards de dollars (USD) durant la même période en 2017, soit une augmentation de 340 millions de dollars [13]. La consommation de céréales par personne en Algérie est supérieure à 200kg/personne/an considérés très élevés [1].

L'augmentation de la production et des rendements est ainsi une priorité pour satisfaire la demande croissante. Donc, le défi est d'augmenter les surfaces cultivées avec des rendements supérieurs à 25q/ha.

Les zones arides du sud algérien, par leur vaste superficie et leur richesse en eau souterraine peuvent jouer un grand rôle dans la production céréalière. Cependant, la salinité et les hautes températures, peuvent constituer des contraintes entravant ainsi la culture de certaines espèces. Aussi, le bon choix du matériel végétal (espèce et variété) qui s'adapte bien à ces conditions environnementales, constitue un bon moyen d'échapper à ces contraintes.

Parmi ces espèces l'orge qui est caractérisée par une grande tolérance aux fortes chaleurs, à la sécheresse et à la salinité par rapport aux autres céréales [30]. En conditions de stress salin, la pression osmotique de la solution du sol dépasse celle des cellules végétales en raison de la présence de plus de sel, limitant ainsi la capacité des plantes à absorber de l'eau et des minéraux tels que K^+ et Ca^{2+} , tandis que les ions Na^+ et Cl^- peuvent pénétrer facilement dans les cellules mais avec des effets toxiques directs sur les membranes cellulaires, et sur les activités métaboliques du cytosol [11,31].

Les principaux mécanismes de lutte contre le stress ionique comprennent la réduction de l'absorption d'ions toxiques dans le cytosol, ainsi que leur séquestration dans la vacuole ou dans l'apoplaste [11]. Hu et Schmidhalter (2005) [6], ajoutent qu'un bon rapport K^+/Na^+ permet aux plantes de bien résister à la salinité. C'est dans cette logique que l'absorption de certains cations chez l'orge face au stress salin est étudiée en vue de déterminer les variétés les plus tolérantes.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel végétal et milieu de culture

Notre objectif est d'étudier l'effet de l'irrigation de deux types d'eaux salées comparées à un témoin sur l'absorption de quelques cations par l'orge en pots. Le matériel végétal est constitué de seize variétés d'orge (tableau 1). Les grains sont semés (10 grains/pots) dans des pots en plastique (8kg) sous serre. Les pots sont remplis avec 2/3 de terre de provenance du département des sciences agronomique (limono-argileux), et 1/3 de sable (tableau 2). Le fond des pots est préalablement tapissé d'une couche de gravier pour faciliter le drainage.

Tableau 1. Géotypes d'orge étudiés

Géotype	Origine	Type
Acsad ₁₇₆	Acsad-sél- ITGC Sidi Bel Abbés	6 rangs
Alanda	ICARDA	6 rangs
Bahia	ICARDA-sél-ITGC Sétif	6 rangs
Barberousse	France	6 rangs
Fouara	ICARDA-sél-ITGC Sétif	6 rangs
Jaidor	INRA Montpellier- sél- ITGC Constantine	6 rangs
Lagune	France	6 rangs
Oued-righ	Algérie	6 rangs
Plaisant	France	6 rangs
Rahma	ICARDA-sél-ITGC Sétif	2 rangs
Rihane ₀₃	Acsad-sél- ITGC Sidi Bel Abbés	6 rangs
Saïda ₁₈₃	Algérie	6 rangs
Soufara	ICARDA-sél-ITGC Sétif	2 rangs
Tichedrett	Algérie	6 rangs
Tina	Espagne	6 rangs
Tissa	Maroc	2 rangs

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques du substrat

	Granulométrie (%)	Conductivité (ds/m)	pH	Calcaire total (%)	Matière organique (%)	Solution du sol (meq/l)
Argile :	17,46	1,50	7,60	26,45	0,62	Potassium: 1,48
Limon fin :	24,44					Calcium: 3,70
Limon grossier :	14,40					Sodium: 4,36
Sable fin :	38,22					Chlore : 4,22
Sable grossier :	05,48					

2.2. Conduite de l'essai

L'essai est conduit sous serre au département des sciences agronomique de l'université de Biskra. Cette dernière est caractérisée par un climat aride où les précipitations sont rares, les températures estivales très élevées et à hiver doux.

L'expérimentation est menée selon un dispositif en blocs complet randomisés (3 blocs) avec 16 variétés d'orge et 3 eaux d'irrigation (T1: 80mM, T2: 130mM, T3 : 180mM de NaCl) pour chaque bloc c'est-à-dire 48 pots. Au total on a 144 pots (fig. 1).

La dose d'irrigation est basée sur la capacité de rétention, avec des fractions de lessivage de 17%, 31% et 49% respectivement selon le niveau de stress salin.

Concernant la fertilisation, on apporte 1,5g/pot de triple superphosphate ; 1g/pot de sulfate de potassium et 2g/pot d'urée fractionnés en deux apports (1g/pot pour chaque apport) ; le premier au début de tallage et le deuxième au stade épi 1cm.

Bloc1	Fou T1	Saï T1	Tich T1	O-R T1	Bah T1	Acs T1	Rah T1	Rih T1	Sou T1	Tin T1	Bar T1	Jai T1	Lag T1	Pla T1	Tis T1	Ala T1
	Ala T2	Tis T2	Pla T2	Lag T2	Jai T2	Bar T2	Tin T2	Sou T2	Rih T2	Rah T2	Acs T2	Bah T2	O-R T2	Tich T2	Saï T2	Fou T2
	Sou T3	Tin T3	Bar T3	Jai T3	Lag T3	Pla T3	Tis T3	Ala T3	Fou T3	Saï T3	Tich T3	O-R T3	Bah T3	Acs T3	Rah T3	Rih T3
Bloc2	Pla T2	Tis T2	Ala T2	Bar T2	Jai T2	Lag T2	Rih T2	Sou T2	Tin T2	Bah T2	Acs T2	Rah T2	O-R T2	Tich T2	Saï T2	Fou T2
	Lag T3	Jai T3	Bar T3	Tin T3	Sou T3	Saï T3	Fou T3	Ala T3	Tis T3	Pla T3	Rih T3	Rah T3	Acs T3	Bah T3	O-R T3	Tich T3
	O-R T1	Tich T1	Saï T1	Fou T1	Rih T1	Rah T1	Acs T1	Bah T1	Jai T1	Bar T1	Tin T1	Sou T1	Ala T1	Tis T1	Pla T1	Lag T1
Bloc3	Ala T3	Fou T3	Saï T3	Sou T3	Tin T3	Bar T3	Jai T3	Lag T3	Tich T3	O-R T3	Bah T3	Acs T3	Rah T3	Rih T3	Pla T3	Tis T3
	Rih T2	Lag T2	Jai T2	Bar T2	Ala T2	Tis T2	Pla T2	Tich T2	O-R T2	Rah T2	Acs T2	Bah T2	Tin T2	Sou T2	Fou T2	Saï T2
	Tich T1	O-R T1	Fou T1	Saï T1	Rah T1	Rih T1	Bah T1	Acs T1	Bar T1	Jai T1	Sou T1	Tin T1	Tis T1	Ala T1	Lag T1	Pla T1

Variétés : Fou : Fouara, Saï : Saïda₁₈₃, Tich : Tichedrett, O-R : Oued-Righ, Bah : Bahia, Acs : Acsad176, Rah : Rahma, Rih : Rihane03, Sou : Soufara, Tin : Tina, Bar : Barberousse, Jai : Jaidor, Lag : Lagune, Pla : Plaisant, Tis : Tissa, Ala : Alanda.

Doses du stress salin : T1: 80mM de NaCl, T2: 130mM, T3 :180mM

Fig.1. Schéma du dispositif expérimental

2.3. Dosage des éléments Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺

Le dosage des éléments Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺ est réalisé au stade épiaison. Les deux parties, aérienne et racinaire, sont préalablement desséchées pendant 48 heures à 80 °C. Après dessiccation, les échantillons des deux parties (aérienne et racinaire) sont réduits en poudre fine. Cinq cent mg du matériel végétal sont introduits dans un four dont la température est augmentée progressivement jusqu'à 200°C puis à 500°C (3 heures). Après refroidissement, le contenu est dissout dans 5 ml de HCl (2N) puis agité avec un barreau plastique. Après 15-20 min, de l'eau distillée est rajoutée au volume jusqu'à 50ml. Enfin, le tout est agité énergiquement pendant 30 minutes, puis filtré dans une fiole de 50 ml à l'aide d'un papier filtre. Le dosage du potassium et du sodium est réalisé par photométrie à flamme. Le dosage des ions Ca²⁺ et Mg²⁺ est réalisé par complexométrie avec l'EDTA (0,01 N).

2.4. Analyse statistique

Les données ont subi une analyse de variance à deux facteurs et les moyennes sont comparées selon le test de Newman et Keuls au seuil de signification de 95%.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de l'analyse de variance sont mentionnés dans le tableau 3. Nous remarquons que les résultats ont révélé des différences très hautement significatives sauf pour le potassium racinaire et le magnésium racinaire qui ne sont pas significatifs pour le facteur variété.

Tableau 3. Analyse de la variance des teneurs en Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺ (%) dans les parties aérienne et racinaire chez les variétés analysées

	Na ⁺ aérien	Na ⁺ racinaire	K ⁺ aérien	K ⁺ racinaire	Mg ²⁺ aérien	Mg ²⁺ racinaire	Ca ²⁺ aérien	Ca ²⁺ racinaire
R²	0,9845	0,9898	0,9404	0,7503	0,9804	0,8288	0,9646	0,9648
F	129,3694	198,6338	32,2121	6,1380	102,2747	9,8865	55,7254	55,9285
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Variété	19,3261	7,5176	16,3483	1,7456	30,8007	1,3031	24,4677	20,5987
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0546	< 0,0001	0,2155	< 0,0001	< 0,0001
Salinité	2825,647	4548,840	575,8292	121,8420	2107,0609	218,3893	1065,7277	1124,7097
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Variété*	4,6392	4,1781	3,9028	0,6205	4,3592	0,2780	4,0208	2,3413
Salinité	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,9312	< 0,0001	0,9999	< 0,0001	0,0010

3.1. Teneur en Sodium (Na⁺)

3.1.1 Teneur en sodium de la partie aérienne

Les résultats montrent une forte accumulation en sodium dans la partie aérienne pour toutes les variétés, dont les teneurs augmentent avec l'augmentation de la concentration du sel. Ces résultats sont en concordance avec plusieurs auteurs [2,17,25]. Au stress salin 180mM, les variétés Barberousse, Plaisant et Jaïdor ont marqué le taux d'accumulation le plus faible avec des valeurs entre 3,81 et 3,83% (fig.2). Les valeurs les plus élevées en Na⁺ se situent entre 5,01 et 5,16% chez les variétés Alanda, Tichedrett, Rihane03, Oued-righ, Saïda183, Bahia et Rahma respectivement.

L'orge est parmi les espèces qui peut tolérer des teneurs élevées en sodium dans ses tissus [20, 24]. Ces teneurs sont plus importantes dans la partie aérienne que dans la partie racinaire. La tolérance de l'orge à la salinité est attribuée à son caractère inclusif, qui exporte de grandes quantités de sodium et du chlore vers les feuilles, et de maintenir une faible quantité dans les cellules racinaires [32]. Mian et al. (2011) [15], ajoutent que les teneurs élevées en sodium dans le xylème et dans les feuilles sont corrélées à la tolérance au stress salin. Le transport excessif du sodium s'accompagne également d'une réduction de l'absorption et du transport de cations et d'anions comme les P0₄⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, NO₃⁻ et S0₄⁻ [19]. Ceci peut se manifester par une réduction de la croissance des plantes [28]. Ces dommages ne sont pas dus principalement au sodium mais surtout au chlore, qui est plus toxique que le sodium [27].

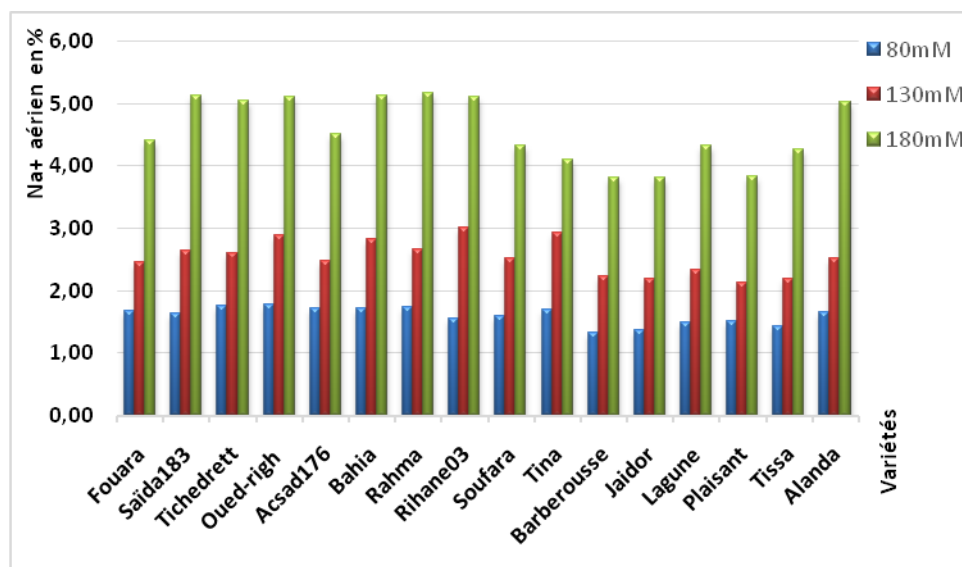


Fig.2. Teneur de la partie aérienne en sodium chez les variétés d'orge

3.1.2. Teneur en sodium de la partie racinaire

Les résultats (fig.3.) montrent une augmentation significative de la teneur des racines en sodium avec l'augmentation des niveaux du stress salin [28]. La partie racinaire est moins riche en sodium que la partie aérienne [25], la plante exporte cet élément vers la partie aérienne. Les variétés qui ont marqué de faibles teneurs en sodium dans la partie aérienne au stress salin maximum (180mM), sont ici plus riches en sodium que les autres variétés. Ces variétés sont Tina, Plaisant et Jaïdor avec des valeurs 2,87 ; 2,87 et 2,95% respectivement. Les variétés qui ont enregistré les plus faibles teneurs au même niveau de stress sont Rahma et Bahia avec 2,23 et 2,25% respectivement. Les autres valeurs varient entre 2,35 et 2,68% pour les autres variétés. Certains travaux ont montré que le génotype sensible au stress salin présente une teneur élevée en sodium dans ses racines [28].

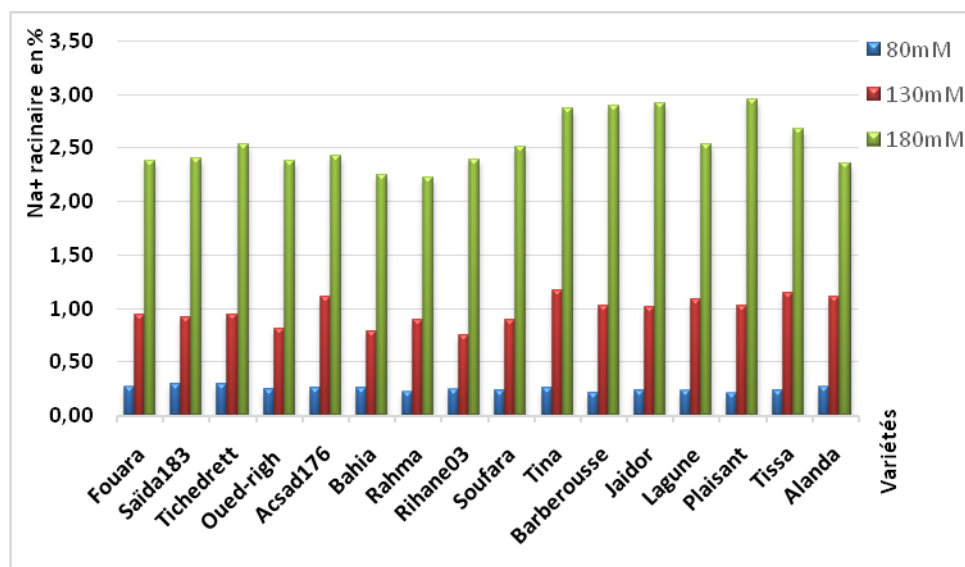


Fig.3. Teneur de la partie racinaire en sodium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

3.2. Teneur en potassium (K^+)

3.2.1. Teneur en potassium de la partie aérienne

D'après les résultats (fig.4.), le stress salin a diminué significativement les teneurs en potassium, ceci concorde avec les résultats d'autres études [5,7].

La moyenne générale en K^+ passe de 4,45% à 3,54% puis à 2,84% avec l'augmentation du niveau du stress salin. Cette diminution est due principalement à l'antagonisme entre Na^+ et K^+ [12,26], ou par l'inhibition de l'influx de K^+ par Na^+ dans la cellule [10,22].

Les variétés qui ont enregistré les valeurs les plus élevées en Na^+ , sont celles qui ont enregistré les valeurs les plus élevées en K^+ .

Plusieurs études ont indiqué que le rapport K^+/Na^+ , est crucial pour la tolérance du Na^+ , et son maintien à des valeurs élevées dans la partie aérienne est fortement corrélé à la tolérance des glycophytes au stress salin [14,16,21,23]. Le rapport K^+/Na^+ des variétés étudiées au stress salin 180mM (tab. 4) montre que les variétés Rihane03, Saïda183, Tichedrett, Oued-righ, Bahia présentent un très bon rapport (0,65 à 0,66). Cependant les variétés Plaisant, Jaïdor, Barberousse ont marqué un faible rapport K^+/Na^+ (0,53 à 0,56) donc sont sensibles au stress salin. Les autres variétés sont intermédiaires c'es-à-dire moyennement tolérantes. Un faible rapport K^+/Na^+ , indique peut-être que les transports de Ca^{2+} , K^+ et Mg^{2+} sont perturbés par le

Na⁺ [14].

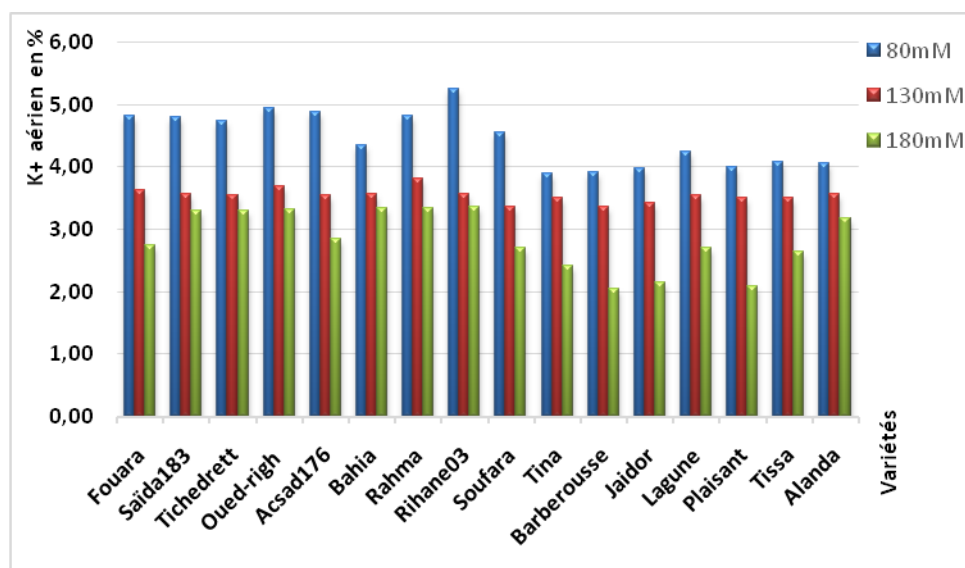


Fig.4. Teneur de la partie aérienne en potassium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

Tableau 4. Rapport K⁺/Na⁺

Genotype	80mM	130mM	180mM
Fouara	2,87	1,48	0,62
Saïda ₁₈₃	2,93	1,34	0,65
Tichedrett	2,71	1,36	0,65
Oued-righ	2,78	1,28	0,65
Acsad ₁₇₆	2,84	1,43	0,63
Bahia	2,52	1,26	0,65
Rahma	2,77	1,44	0,61
Rihane ₀₃	3,36	1,19	0,66
Soufara	2,87	1,33	0,62
Tina	2,29	1,20	0,59
Barberousse	2,97	1,51	0,54
Jaidor	2,90	1,56	0,56
Lagune	2,83	1,51	0,62
Plaisant	2,63	1,65	0,53
Tissa	2,85	1,59	0,62
Alanda	2,47	1,41	0,63

3.2.2. Teneur en potassium de la partie racinaire

Les résultats (fig.5.) montrent une diminution de la teneur racinaire en potassium qui s'accroît avec l'augmentation du niveau du stress salin. Les variétés qui ont marquées les

teneurs en K^+ les plus élevées au stress 180mM sont Tina, Plaisant, Jaïdor et Barberousse avec 1,55, 1,56, 1,61 et 1,62 % respectivement. Ces variétés ont enregistré les valeurs les plus basses en cet élément dans la partie aérienne. Il semble que ces variétés n'ont pas pu transporter de grandes quantités de cet élément vers la partie aérienne, ceci est dû à l'inhibition du K^+ par le Na^+ [10].

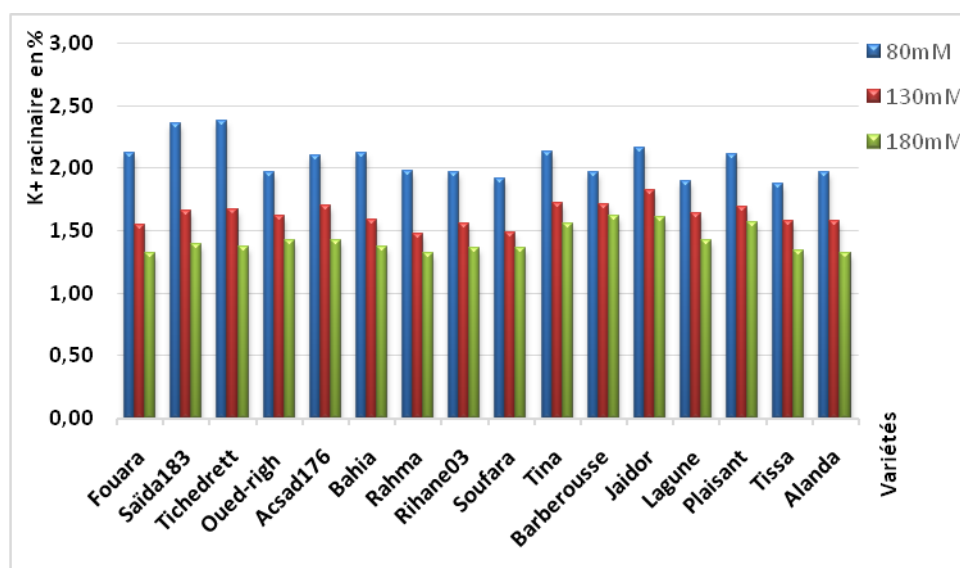


Fig.5. Teneur de la partie racinaire en potassium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

3.3. Teneur en magnésium (Mg^{2+})

3.3.1. Teneur en magnésium de la partie aérienne

Les résultats obtenus (fig.6.) montrent une baisse significative de la teneur du magnésium avec l'augmentation du niveau du stress salin. Ces résultats sont en concordance avec d'autres études [3,9]. Les variétés qui ont gardé un niveau élevé en Mg^{2+} au stress 180mM, sont Rihane03, Bahia, Saïda183 et Oued-righ avec 0,48, 0,49, 0,51, et 0,51% respectivement. Les variétés qui ont marqué une faible teneur en Mg^{2+} sont Barberousse, Jaïdor, Plaisant avec 0,31, 0,35 et 0,35% respectivement. Les autres variétés ont enregistré des valeurs entre 0,40 et 0,45%. La diminution de la teneur en Mg^{2+} est due principalement à l'interférence du Na^+ [6]. Bien que certains auteurs considèrent que cet élément ne soit pas un critère capital quant à l'adaptation des plantes au stress salin [3].

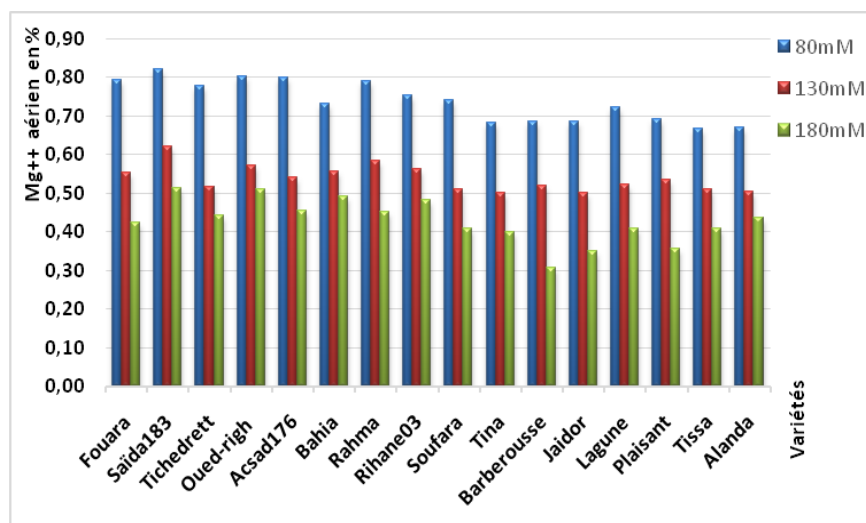


Fig.6. Teneur de la partie aérienne en magnésium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

3.3.2. Teneur en magnésium de la partie racinaire

Le stress salin a significativement diminué la teneur en Mg^{2+} dans la partie racinaire (fig.7.), cette teneur est inférieure à celle de la partie aérienne. Mais, il n'existe pas une différence significative entre les variétés. Au stress salin 180mM, les teneurs en Mg^{2+} les plus élevées sont entre 0,31 et 0,36% (Soufara, Bahia, Oued-righ et Saïda183) et les valeurs les plus basses sont entre 0,24 et 0,26% (Plaisant, Barberousse, Jaïdor) ; les valeurs sont entre 0,27 et 0,29% pour les autres variétés.

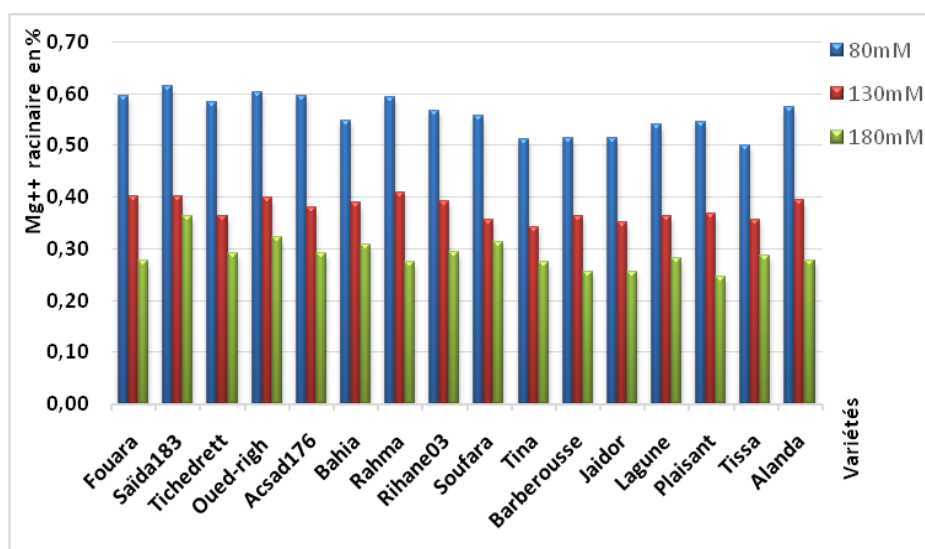


Fig.7. Teneur de la partie racinaire en magnésium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

3.4. Teneur en calcium (Ca^{2+})

3.4.1 Teneur en calcium dans la partie aérienne

Les résultats obtenus (fig.8.) montrent une diminution nette de la teneur en Ca^{2+} dans la partie aérienne. Ces résultats sont en accord avec d'autres travaux [18,28]. Au stress salin 180mM, les faibles taux de calcium sont entre 0,49 et 0,57% chez les variétés Plaisant, Jaïdor, Barberousse, Tina et Tissa. Les valeurs les plus élevées en calcium sont entre 0,68 et 0,72% chez les variétés Oued-righ, Bahia, Saïda183 et Rihane03. Les autres variétés ont enregistré des valeurs intermédiaires (de 0,59 à 0,64%). La diminution des taux de calcium est due principalement à la présence d'ion Na^+ qui perturbe l'absorption de cet élément [4]. Une étude a montré que la Ca^{2+} joue un rôle important dans la sélectivité K^+/Na^+ [29]. Donc cet élément aide la plante à tolérer le stress salin.

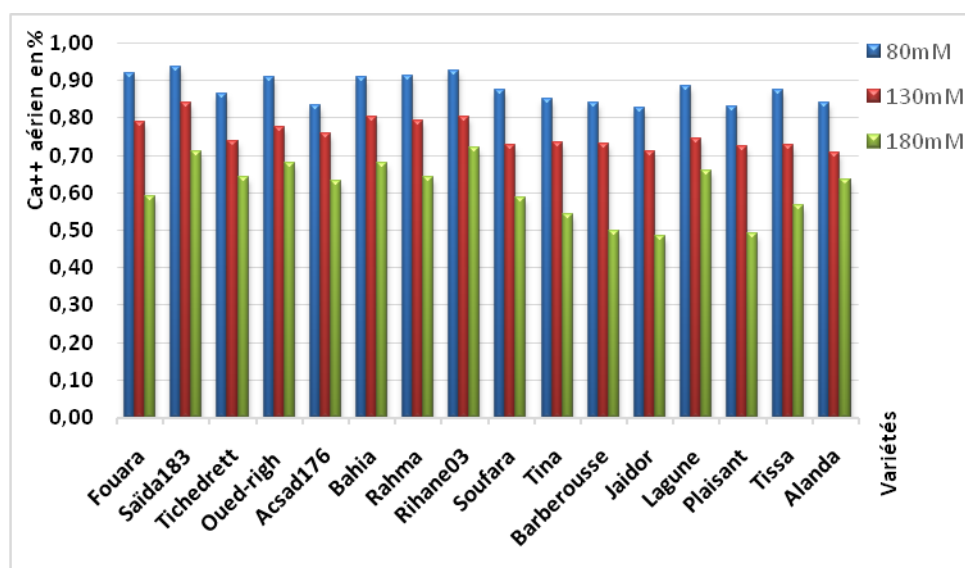


Fig.8. Teneur de la partie aérienne en calcium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

3.4.2. Teneur en calcium de la partie racinaire

La partie racinaire est moins riche en calcium que la partie aérienne. Les résultats (fig.9) montrent une diminution de la teneur des racines en Ca^{2+} avec l'augmentation du stress salin. Les faibles taux de calcium racinaire sont enregistrés chez les variétés Barberousse, Jaïdor et Plaisant avec 0,26, 0,26 et 0,27% respectivement. Les valeurs les plus élevées sont entre 0,35 et 0,38 chez les variétés Oued-righ, Bahia, Rahma, Rihane03 et Saïda183. Les autres variétés

sont intermédiaires avec des valeurs entre 0,29 et 0,33%. Une étude a montré que la teneur en calcium est corrélée positivement à la matière sèche et au rendement [8]. La diminution de l'absorption du calcium est due à la présence du Na^+ , où ce dernier bloque l'absorption du calcium par les racines [31].

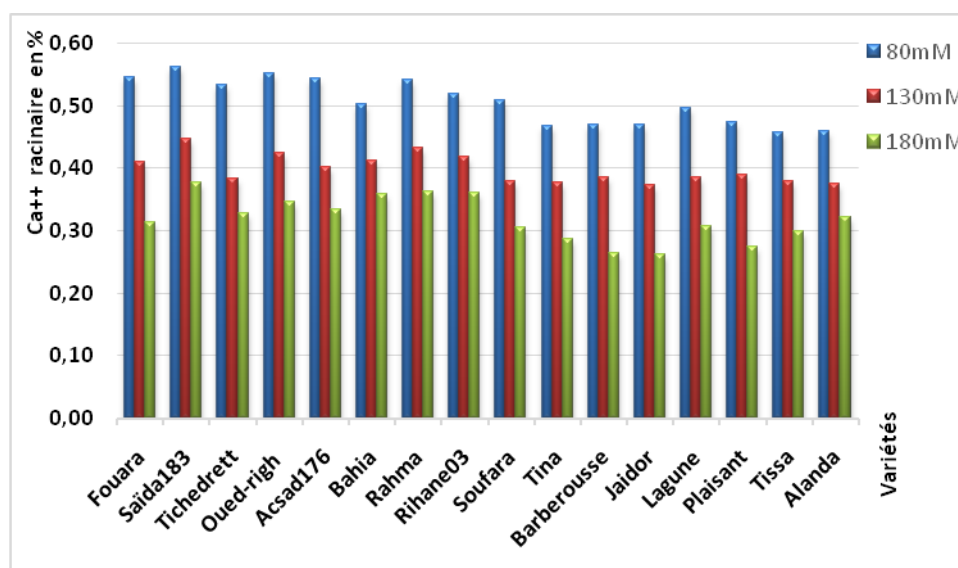


Fig.9. Teneur de la partie racinaire en calcium chez les variétés d'orge en fonction de l'intensité du stress salin

4. CONCLUSION

A la lumière de ces résultats, le stress salin a augmenté les teneurs en Na^+ dans la partie aérienne et la partie racinaire. Par ailleurs le stress salin a diminué les teneurs en K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+} chez toutes les variétés mais avec des taux différents (partie aérienne et partie racinaire). L'agressivité du Na^+ dépend des teneurs des autres cations surtout le potassium et le calcium. Le rapport K^+/Na^+ est un très bon critère pour la classification des variétés vis-à-vis de leur tolérance au stress salin. Enfin nous pouvons classer les variétés Rihane03, Saïda183, Tichedrett, Oued-righ et Bahia comme variétés tolérantes au stress salin ; les variétés Plaisant, Jaïdor, Barberousse sont considérées comme peu tolérantes. Le reste des variétés est intermédiaire entre les deux groupes c'est-à-dire moyennement tolérants.

6. REFERENCES

- [1] Brahim, Mahmoud, Sidali Ramdane, et Zoheir Adli. La consommation alimentaire des céréales et dérivées selon Les catégories socio-professionnelles en Algérie. *Agrobiologia*, 2017, 7(1): 382-89.
- [2] Falakboland, Zhinous et al. Plant ionic relation and whole-plant physiological responses to waterlogging, salinity and their combination in barley. *Functional Plant Biology*, 2017, 44(9): 941-53. DOI:10.1071/FP16385.
- [3] Hamrouni, Lamia, Mohsen Hanana, Chédly Abdelly, et Abdelwahed Ghorbel. Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : Deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *Sylvestris* (var. 'séjène'). *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 2011, 15(3): 387-400.
- [4] Haouala, Faouzi, Hanen Ferjani, et Salem Ben El Hadj. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 2007, 11(3): 407-16.
- [5] Heidari, M, et P Jamshid. Interaction Between Salinity and Potassium on Grain Yield, Carbohydrate Content and. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 2010, 5(6): 39-46.
- [6] Hu, Yuncai, et Urs Schmidhalter. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2005, 168(4): 541-49. DOI:10.1002/jpln.200420516.
- [7] Izadi, M. H., Rabbani, J., Emam, Y., Pessarakli, M., et Tahmasebi, A. Effects of salinity stress on physiological performance of various wheat and barley cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, 2014, 37:520–531. DOI:10.1080/01904167.2013.867980.
- [8] Janzen, H H, et C Chang. Cation nutrition of barley as influenced by soil solution composition in a saline soil. *Can. J. Soil Sci*, 1987, 67 (3): 619-29.
- [9] Keiffer, C. H., et I. A. Ungar. The effects of density and salinity on shoot biomass and ion accumulation in five inland halophytic species. *Canadian Journal of Botany*, 1997, 75(1): 96-107. DOI:10.1139/b97-012.

-
- [10] Kronzucker, Herbert J., Mark W. Szczerba, Lasse M. Schulze, et Dev T. Britto. Non-reciprocal interactions between K^+ and Na^+ ions in barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Experimental Botany, 2008, 59(10): 2793-2801. DOI:10.1093/jxb/ern139.
- [11] Kumar, Manu. Crop Plants and Abiotic Stresses. Journal of Biomolecular Research & Therapeutics, 2014, 03(01): 7956. DOI:10.4172/2167-7956.1000e125.
- [12] Lynch, Jonathan, et André Läuchli. Potassium transport in salt-stressed barley roots. Planta, 1984,161(4) : 295-301. DOI :10.1007/BF00398718.
- [13] M.C. Statistiques/produits-alimentaires-facture-des-importations sur les dix premiers mois 2018. Ministère du commerce, 2018, <https://www.commerce.gov.dz/statistiques/produits-alimentaires-facture-des-importations-sur-les-dix-premiers-mois-2018>.
- [14] Mahlooji, M., Sharifi, R. S., Razmjoo, J., Sabzalian, M. R., et Sedghi, M.. Effect of salt stress on photosynthesis and physiological parameters of three contrasting barley genotypes. Photosynthetica, 2018, 56(2): 549-56. DOI:10.1007/s11099-017-0699-y.
- [15] Mian, A., Oomen, R. J., Isayenkov, S., Sentenac, H., Maathuis, F. J., et Véry, A. A. Over-expression of an Na^+ and K^+ permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. Plant Journal, 2011, 68(3): 468-79. DOI:10.1111/j.1365-313X.2011.04701. x.
- [16] Munns, R. Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell & Environment, 1993, 16(1): 15-24. DOI :10.1111/j.1365-3040.1993.tb00840.x.
- [17] Ouhaddach, M, H. ElYacoubi, A. Douaik, et A. Rochdi. Morpho-Physiological and Biochemical Responses to Salt Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the Heading Stage. Environ. Sci, 2018, 7(9): 3084-99. DOI:10.26872/jmes.2018.9.6.209.
- [18] Patel, Ashish Dahyabhai, Hina Bhensdadia, et Amar Nath Pandey. Effect of salinisation of soil on growth, water status and general nutrient accumulation in seedlings of *Delonix regia* (Fabaceae). Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 109-15. DOI: 10.1016/j.chnaes.2009.05.005.
- [19] Rormero, J. M., T. Maranon, et J. M. Murillo. Long-term responses of *Melilotus segetalis* to salinity. II. Nutrient absorption and utilization. Plant, Cell & Environment, 1994, 17(11):

1249-55. DOI:10.1111/j.1365-3040.1994.tb02023.x.

[20] Shabala, Sergey, Lana Shabala, Elizabeth Van Volkenburgh, et Ian Newman. Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(415): 1369-78. DOI:10.1093/jxb/eri138.

[21] Shi, Huazhong, Francisco J. Quintero, Jose M. Pardo, et Jian Kang Zhu. The putative plasma membrane Na^+/H^+ antiporter SOS1 controls long-distance Na^+ transport in plants. *Plant Cell*, 2002, 14(2): 465-77. DOI:10.1105/tpc.010371.

[22] Suhayda, Charles G., John L. Giannini, Donald P. Briskin, et Michael C. Shannon. Electrostatic changes in *Lycopersicon esculentum* root plasma membrane resulting from salt stress. *Plant Physiology*, 1990, 93(2): 471-78. DOI:10.1104/pp.93.2.471.

[23] Sunarpi, H. T, Motoda, J, Kubo, M et Yang, H. Enhanced salt tolerance mediated by AtHKT1 transporter-induced Na^+ unloading from xylem vessels to xylem parenchyma cells. *Plant Journal*, 2005, 44(6): 928-38. DOI:10.1111/j.1365-313X.2005.02595.x.

[24] Tavakkoli, E., Fatehi, F., Coventry, S., Rengasamy, P., & McDonald, G. K. Additive effects of Na^+ and Cl^- ions on barley growth under salinity stress. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(6): 2189-2203. DOI :10.1093/jxb/erq422.

[25] Tester, Mark, et Romola Davenport. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 2003, 91(5): 503-27. DOI:10.1093/aob/mcg058.

[26] Wakeel, Abdul. Potassium-sodium interactions in soil and plant under saline-sodic conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2013, 176(3): 344-54. DOI :10.1002/jpln.201200417.

[27] White, Philip J., et Martin R. Broadley. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Annals of Botany*, 2001, 88(6): 967-88. DOI:10.1006/anbo.2001.1540.

[28] Wu, D., Shen, Q., Cai, S., Chen, Z. H., Dai, F., et Zhang, G. Ionic responses and correlations between elements and metabolites under salt stress in wild and cultivated barley. *Plant and Cell Physiology*, 2013, 54(12): 1976-88. DOI:10.1093/pcp/pct134.

[29] Wu, et Suo Min Wang. Calcium regulates K^+/Na^+ homeostasis in rice (*Oryza sativa* L.) under saline conditions. *Plant, Soil and Environment*, 2012, 58(3): 121-27.

DOI:10.17221/374/2011-pse.

[30] Zhou, M. X. Barley Production and Consumption. In Genetics and improvement of barley malt quality, 2009, Berlin: Springer, 1-17. DOI:10.1007/978-3-642-01279-2_1.

[31] Zhu, Jian-Kang. Salt and Drought Stress Signal Transduction in Plants. Annual Review of Plant Biology, 2002, 53(1): 247-73. DOI: 10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329.

[32] Zid, E, et C Grignon. Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. In L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, 1991, AUPELFUREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91-108.

How to cite this article:

Djerah A and Belhamra M. Effect of salt stress on the content of the Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺ in barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Fundam. Appl. Sci., 2020, 12(3), 976-992.