

Effet de la salinité sur le rendement en biomasse et la composition en éléments minéraux d'écotypes marocains de luzerne (*Medicago sativa* L.)

*M. Ibriz¹, I. Thami Alami², L. Zenasni¹, C. Alfaiz²
et M. Benbella³.*

1- Laboratoire de Génétique et Biométrie, Fac. des Sciences, BP : 133, Kenitra, Maroc.

2- CRRA Rabat, BP : 415, INRA, Rabat, Maroc.

3- Département d'Agronomie, BP/S : 40, E.N.A. Meknès, Maroc.

Résumé

Le comportement de trois géotypes de luzerne (Draa Tamegroutte (DT), Ziz Aoufous (ZA) originaires des régions pré-sahariennes du Maroc et de Siriver, variété australienne commercialisée au Maroc, a été comparé vis à vis de la salinité (0, 4, 8, 12 et 16 g l⁻¹ NaCl). Les teneurs en azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium, sodium et chlore des parties aériennes et racinaires de ces géotypes ont été déterminées. L'apport de NaCl entraîne une réduction de la biomasse aérienne et racinaire, une accumulation des cations Na⁺ et Cl⁻, ainsi qu'une réduction d'absorption de K⁺, Ca⁺⁺ et de NO³⁻ dès la concentration 4 g l⁻¹. Une certaine tolérance aux sels a été notée chez les écotypes DT et ZA comparativement à la variété Siriver productive mais plus sensible (Indice de sensibilité élevé). Cette tolérance pourrait être liée à leur aptitude spécifique à utiliser les ions Na⁺ et Cl⁻ du milieu couplée à une bonne sélectivité vis à vis du potassium (rapport K⁺/Na⁺ élevé). Les géotypes étudiés se comportent comme des plantes inclusives. Un certain antagonisme a été noté entre l'azote et le chlore, qui est très marqué chez la variété Siriver comparativement aux écotypes sahariens. Cependant, la production en conditions salines de la variété Siriver malgré sa sensibilité au sel indique la présence de caractères constitutifs favorisant son rendement.

Mots clés : *Medicago sativa* L. chlorure de sodium, éléments minéraux.

ملخص

تأثير الملوحة على المردودية النباتية والتركيبية المعدنية لأصناف مغربية من الفصة

من أهم أهداف هذا البحث مقارنة تعامل ثلاث أنواع من الفصة: درعة تامغروت (DT)، زيز أوفوس (ZA) وهم مخلصون من الجهات الشبه صحراوية للمغرب وسيريفر (SIR) من أصل أسترالي مزروعة بالمغرب، مقارنتهم تحت تراكيز ملوحة كلوريد الصوديوم (0, 4, 8, 12 و 16 غ/ليتر).

لقد أسفرت دراسة النمو والتغذية المعدنية على أن وجود الملح يؤدي إلى تراكم أيونات الصوديوم والكلور، كما يؤدي إلى نقص في إمتصاص أيونات البوتاسيوم والكالسيوم والأزوت، الشيء الذي يؤثر سلباً على إنتاج المادة الجافة في النبتة والجذور.

إن حساسية سيريفر (SIR) رغم إنتاجيتها في ظروف الملوحة تبين خاصيات تكوينية من شأنها رفع المردودية. كما تكمن قدرة تحمل كل من ايكوتيب درعة تامغروت وزيز أوفوس للملوحة في ربطها بقدرتهما المميزة على استعمال أيونات الصوديوم والكلور وسط الزرع من أجل الإنتقاء الجيد اتجاه البوتاسيوم (K/Na مرتفع).

لقد أظهرت الأنواع المدروسة تعاملًا مماثلًا للمزروعات المدمجة (Inclusives) وتبين لنا من خلال الدراسة لظاهرة مضادة بين الأزوت والكلور خاصة عند سيريفر.

الكلمات المفتاحية : فصة (*Medicago sativa* L.)، كلوريد الصوديوم، تغذية معدنية.

Salinity effect on the biomass yield and the ion content of the moroccan alfalfa landraces

Summary

The present study was carried out to compare three alfalfa varieties (Draa Tamegroutte (DT), Ziz Aoufous (ZA) from pre-saharian regions of Morocco and Siriver (Australian cultivar cultivated in Morocco), under 4 salinity conditions (0, 8, 12 and 16 g/l NaCl).

Nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, sodium and chlorine contents in leaves and roots were determined. The study showed that salinity effect induces dry matter reduction in shoots and roots starting from 4 g/l NaCl level. Furthermore, there was a Na⁺, Cl⁻ accumulation and K⁺, Ca⁺⁺, N reduction. Results demonstrated also a relative tolerance to salt of DT and ZA landraces in comparison with Siriver (low sensitivity Index). This tolerance could be linked to their ability to use Na⁺ and Cl⁻ added with high selectivity for K⁺ (high K⁺/Na⁺ ratio). Antagonism effect was noted between nitrogen and chlorine, particularly for Siriver than the saharian landraces. However, the relative high yield under salinity condition of the Siriver variety, in spite of its salt sensitivity indicates the presence in this variety of constitutive traits that improve this yield.

Key words : *Médicago sativa* L., Sodium Chloride, Mineral nutrients.

Introduction

Au Maroc, le problème de la salinité commence à prendre de l'ampleur dans les périmètres irrigués, en particulier ceux des régions arides et pré-sahariennes. Dans ces régions, la pluviométrie n'excède pas 100 mm par an et l'eau d'irrigation est souvent chargée en NaCl, avec des concentrations dépassant parfois 5 g l⁻¹ (Soudi, 1991). La culture de la luzerne, qui couvre environ 85 000 ha au Maroc, est principalement pratiquée dans les périmètres irrigués (Haouz, Tadla, Gharb et Ouarzazate).

La survie et la croissance des végétaux en présence de sel sont liées au transport et à la compartimentation des ions, à la biosynthèse et l'accumulation d'osmolytes organiques qui participent à l'ajustement osmotique et aux remaniements protéiques nécessaires au maintien de l'intégrité cellulaire (Greenway et Munns, 1980). Parmi les plantes adaptées au stress salin, on distingue les plantes exclusives, qui n'accumulent pas l'ion Na⁺ dans les parties aériennes, et les plantes inclusives, capables d'accumuler ce cation au niveau des parties aériennes et de l'utiliser pour réguler le potentiel osmotique cellulaire (Storey, 1995). Parmi les mécanismes de tolérance à la salinité figure la sélectivité vis à vis du potassium (Jeschke, 1983).

L'accumulation du potassium au détriment du sodium permet à la plante d'éviter les effets des déséquilibres nutritionnels induits par l'excès de sodium (Cramer et al., 1985). En outre, une excrétion active du sodium vers le milieu comme mécanisme de tolérance a été décrite par Dione (1988). En présence de NaCl dans le milieu, certains cations influent sur l'absorption du potassium et du sodium. Ainsi, une relation d'antagonisme a été établie entre K⁺ et Ca⁺⁺ et entre Mg⁺⁺ et Na⁺ (Soltani et al., 1990). Cette influence se caractérise par exemple par une accumulation du Na⁺ dans les feuilles des plantes tolérantes comme la luzerne (Mezni et al., 2002).

La présente étude a pour objectif de décrire l'effet de la salinité sur la croissance et la distribution des principaux éléments minéraux chez la luzerne. Elle constitue un préalable nécessaire à une meilleure compréhension des processus de tolérance et à une possible sélection des écotypes de luzerne sur la base de leur production de biomasse sous stress salin.

Matériel et méthodes

L'étude concerne 3 écotypes de luzerne issus de la collection INRA Maroc, Drâa Tamegroutte (DT) et Ziz Aouffous (ZA), originaires des régions pré-sahariennes de Ziz et de Drâa respectivement, et Siriver (SIR), variété australienne cultivée au Maroc.

Le dispositif expérimental adopté est de type factoriel à deux facteurs (génotype, salinité) et trois répétitions en randomisation totale. Les plantules issues de la pré-germination sont repiquées à raison de 6 plantes par pot de 0,3 l, remplis d'un substrat inerte constitué de sable fin. Les pots sont maintenus au voisinage de l'humidité à la capacité au champ (Hcc) par des arrosages réguliers à raison d'un jour sur deux, totalisant 400 ml

par semaine. L'arrosage est effectué une fois sur deux par une solution nutritive complète de type Hoagland (Hoagland et Arnon, 1950). Les géotypes testés ont été combinés à cinq niveaux de NaCl (0, 4, 8, 12 et 16 g l⁻¹). Pour éviter l'accumulation du sel, le substrat est lessivé par des doses excessives d'eau distillée et immédiatement arrosé par la solution nutritive et saline appropriée.

Les paramètres mesurés ont concerné les masses de matière sèche aérienne (MSA) et racinaire (MSR) déterminées après passage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures. Des indices de sensibilité (IS) ont été calculés sur la base du rapport :

$$IS = MS (Ti) - MS (Si) / MS (Ti)$$

Avec $MS (Ti)$ = matière sèche du témoin (0 g l⁻¹ NaCl) et $MS (Si)$ = matière sèche des plantes soumises à une concentration en NaCl de i g l⁻¹.

Les teneurs en azote (N), phosphore (P), potassium (K⁺), calcium (Ca⁺⁺), sodium (Na⁺), magnésium (Mg⁺⁺) et chlore (Cl⁻) ont été déterminées. Le phosphore a été dosé par colorimétrie (Benmiloud et Poloczanska, 1977). Le potassium, le sodium et le calcium ont été dosés par spectrophotométrie de flamme (Benmiloud et Poloczanska, 1977). Le chlore a été déterminé par volumétrie (Homer et Parker, 1961). L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl. Les dosages ont été effectués sur les parties aériennes et racinaires sur un échantillon composite, issu de trois répétitions.

Résultats

1- Effet du chlorure de sodium sur la croissance

L'analyse de la variance relative à la production de matière sèche aérienne (MSA) (Tableau I) révèle, aussi bien pour les géotypes étudiés que pour les traitements salins, une différence hautement significative. La réduction de biomasse aérienne est d'autant plus importante que la concentration du milieu en NaCl augmente (Fig. 1a). L'importance de cette diminution varie également en fonction des géotypes étudiés. Les réductions de croissance sont enregistrées dès la concentration de 4 g l⁻¹ (- 42% pour MSA). Les plus importantes réductions sont notées à la concentration de 16 g l⁻¹ et sont en moyenne de l'ordre de - 60%. La variété Siriver se distingue des autres géotypes par une MSA plus élevée, à la fois en absence et en présence de stress salin, et l'écotype Drâa Tamegroutte par les valeurs de MSA les plus faibles. Aucune interaction Géotype x Salinité ne s'est révélée significative.

L'effet du NaCl s'est traduit également par une réduction de la matière sèche racinaire (MSR) qui a atteint 30% à 4 g l⁻¹ (Fig. 1b). Elle est plus marquée à 12 et à 16 g l⁻¹ avec des réductions de 50 et 60% respectivement. La MSR, relativement moins affectée que

la MSA, est toutefois significativement affectée par la salinité ($P < 0,001$) et par le génotype ($P < 0,05$) (Tableau I). La MSR de l'écotype Drâa Tamegroutte est plus affectée que celle des deux autres génotypes. La variété Siriver présente quant à elle un indice de sensibilité élevé, en particulier pour la production de biomasse aérienne (Fig. 2).

2- Effet de la salinité sur la composition minérale des différentes parties de la plante

L'augmentation de la concentration en NaCl dans le milieu de culture réduit significativement les teneurs de l'ensemble des éléments minéraux de la plante, à l'exception de Na^+ et Cl^- . Cette augmentation entraîne en particulier des réductions importantes de la teneur en azote des parties aériennes et racinaires (Tableau 2). Les teneurs les plus faibles sont notées dans les parties aériennes de Siriver et dans les racines de Drâa Tamegroutte. Chez ce dernier écotype, la teneur en azote varie peu avec l'augmentation de la concentration en NaCl du milieu de culture. L'augmentation de la concentration saline dans le milieu s'accompagne également d'une diminution de la teneur en phosphore de la plante (Tableau 2). Cette diminution est significative dès la concentration de 4 g l^{-1} . La teneur en potassium des parties aériennes et racinaires diminue chez les trois génotypes étudiés en fonction des doses croissantes de NaCl dans le milieu (Tableau 2). Les diminutions de K^+ sont significatives à partir de 8 g l^{-1} pour atteindre à 16 g l^{-1} des réductions de -35 , -23 et -37% respectivement, chez Drâa Tamegroutte, Ziz Aoufous et Siriver. Dans les racines, les réductions de teneurs en K^+ à 16 g l^{-1} sont de -53 , -57 et -41% respectivement chez Drâa Tamegroutte, Ziz Aoufous et Siriver. L'augmentation de la concentration saline dans le milieu est accompagnée d'une diminution de la teneur en calcium de la plante (Tableau 2). Toutefois, à 4 g l^{-1} de NaCl, on assiste à une légère accumulation de Ca^{++} surtout dans la partie aérienne. Les génotypes oasiens (DT et ZA) se distinguent de la variété Siriver par le maintien d'une teneur plus importante en Ca^{++} en particulier dans les racines. L'augmentation de la salinité du milieu augmente la teneur en Na^+ dans toutes les parties de la plante (Tableau 2). Les teneurs en Na^+ les plus élevées sont notées, à la concentration de 16 g l^{-1} NaCl, dans les parties aériennes de Ziz Aoufous et dans les parties racinaires de Siriver. Les teneurs en Na^+ sont en moyenne deux fois plus élevées dans les racines que dans les parties aériennes. L'augmentation de la concentration en NaCl du milieu entraîne une diminution de la teneur en magnésium dans toute la plante (Tableau 2). Ces diminutions sont toutefois moins brutales dans les parties aériennes que dans les parties racinaires. La réduction des teneurs en Mg^{++} dans les racines, à 16 g l^{-1} , est moins importante chez les écotypes Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous que chez la variété Siriver (respectivement -14 , -27 et -56%). L'enrichissement du milieu de culture en NaCl se traduit enfin par une accumulation accrue du chlore dans toute la plante (Tableau 2). Cette accumulation débute dès la concentration de 4 g l^{-1} dans les racines et dès la concentration de 8 g l^{-1} dans les parties aériennes. L'écotype Drâa Tamegroutte se distingue par la plus faible accumulation du chlore dans

les racines. Notons, toutefois, que la plus grande partie de chlore prélevée dans le milieu de culture se concentre dans la partie aérienne.

Discussion

1- Différence génotypique de sensibilité à la salinité

La réduction des biomasses aériennes et racinaires sous l'effet des fortes concentrations en NaCl a été rapportée par plusieurs auteurs chez différentes espèces dont le blé (Isla et al., 1998), l'orge (El Mekkaoui et al., 1994), le sorgho (Igartua et al., 1995), le tournesol (El Midaoui et al., 1999) et la luzerne (Mezni et al., 2002). Les résultats obtenus mettent également en évidence des différences entre génotypes vis à vis de la contrainte saline.

Dans la présente étude, les génotypes ayant produit, sous contrainte saline, les quantités de matière sèche aérienne les plus élevées sont également ceux qui ont accumulé plus de matière sèche racinaire. C'est le cas notamment de Siriver. Les luzernes d'origine pré-saharienne se sont révélées moins productives mais plus tolérantes (indice de sensibilité plus faible) que Siriver. Jusqu'à présent, aucun déterminisme régulant la croissance en milieu salin n'a été définitivement établi. Différentes hypothèses sont formulées sur les phénomènes impliqués dans l'adaptation à la salinité dont l'accumulation des composés osmorégulateurs comme les sucres solubles (El Midaoui et al., 1999), ou le maintien de l'intégrité de certaines fonctions comme la photosynthèse, les équilibres hormonaux, les activités enzymatiques ou l'accumulation préférentielle de certains éléments dans certaines parties de la plante (El Mekkaoui et al., 1994). Les résultats de notre étude montrent que les réductions des biomasses aériennes et racinaires seraient probablement dues à des différences d'accumulation des ions minéraux entre les différentes parties de la plante.

2- Relation entre le rendement et les teneurs en éléments minéraux

La salinité a réduit les teneurs en N, P, K⁺, Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺ et a accentué l'accumulation de Na⁺ et Cl⁻. Cette accumulation est moindre dans les racines que dans la partie aérienne. Des résultats similaires ont été rapportés par plusieurs auteurs (Houchi et Coudret, 1994). Des corrélations négatives ont été obtenues entre les teneurs en Na⁺ et Cl⁻ et la production de biomasses aériennes et racinaires (Figures 3, 4). Ces relations suggèrent que l'augmentation de la teneur en ces ions dans les tissus peut engendrer une réduction de la croissance. Mezni et al. (2002) rapportent que le caractère "inclusif" des luzernes est dû à l'accumulation en grandes quantités du Na⁺ et du Cl⁻. La diminution de la teneur en K⁺ des parties aériennes et racinaires est associée à une augmentation de leur teneur en Na⁺. En effet, les teneurs en K⁺ dans la plante restent supérieures aux teneurs en Na⁺ jusqu'à la concentration de 8 g l⁻¹ de NaCl, au delà desquelles la tendance s'inverse. Ce résultat pourrait indiquer une perte de sélectivité vis à vis du K⁺ aux fortes concentrations en NaCl. Cette perte de sélectivité est plus importante chez Siriver comme l'in-

diquent les valeurs du rapport K^+/Na^+ , plus élevées chez les écotypes présahariens (Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous), que chez Siriver (Fig. 5). Elle est par ailleurs liée aux réductions de production de biomasse enregistrées chez les génotypes testés, comme l'indiquent les corrélations entre la réduction de teneur en K^+ des parties aériennes et les baisses de production des biomasses aériennes (Figure 6a) et racinaires (Figure 6b).

L'importance de la baisse de la teneur en K^+ pourrait être donc un indicateur de la sensibilité au sel (El Haddad et O'Leary, 1994). Cet effet inhibiteur de la salinité sur l'absorption du K^+ a été rapporté par plusieurs auteurs (Wolf et al., 1991; El Mekkaoui et al., 1994). Le taux de réduction de la teneur de Ca^{++} en présence de NaCl varie selon les génotypes. La teneur en Ca^{++} racinaire diminue plus rapidement avec l'augmentation de la concentration en NaCl du milieu chez Siriver que chez Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous. Ceci suggère que le niveau de tolérance d'une espèce pourrait être également lié à sa teneur racinaire en Ca^{++} (Pourrat et Dutuit, 1994).

Conclusion

Sous contrainte saline, des différences importantes de comportement entre les écotypes sud marocains et la variété Siriver ont été notées. Les écotypes présahariens Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous ont montré une bonne tolérance et cela suppose la présence de caractères de tolérance au NaCl chez ces écotypes. Par ailleurs, la production en conditions salines de la variété Siriver malgré sa sensibilité s'explique par la présence de caractères constitutifs favorisant le rendement.

D'autre part, des différences de répartition des éléments minéraux entre les différentes parties de la plante sous contrainte saline ont également été notées. Les accumulations du chlore et du sodium ainsi que la réduction de certains éléments comme l'azote, le phosphore, le potassium ou le calcium peuvent expliquer, en partie, la réduction de la matière sèche des parties aériennes et racinaires. La tolérance observée chez les écotypes oasiens pourrait être liée à leur aptitude particulière à utiliser les ions Na^+ et Cl^- couplée à une bonne sélectivité vis à vis du potassium (rapport K^+/Na^+ élevé), ce qui confirme le comportement inclusif des génotypes de luzerne étudiés.

Ce travail montre la complexité de l'étude de la nutrition minérale, sachant que cette dernière aide à une compréhension partielle de la tolérance à la salinité. Les résultats obtenus confirment que l'amélioration de la productivité des luzernes au Maroc ne peut être réalisée que par des travaux destinés à élaborer un matériel génétique adapté à partir de ces écotypes présahariens. Le choix de ces écotypes doit s'effectuer sur la base d'un grand nombre de caractères (morphologiques, biochimiques et physiologiques) contrôlant les déterminismes génétiques complexes de la tolérance à la salinité.

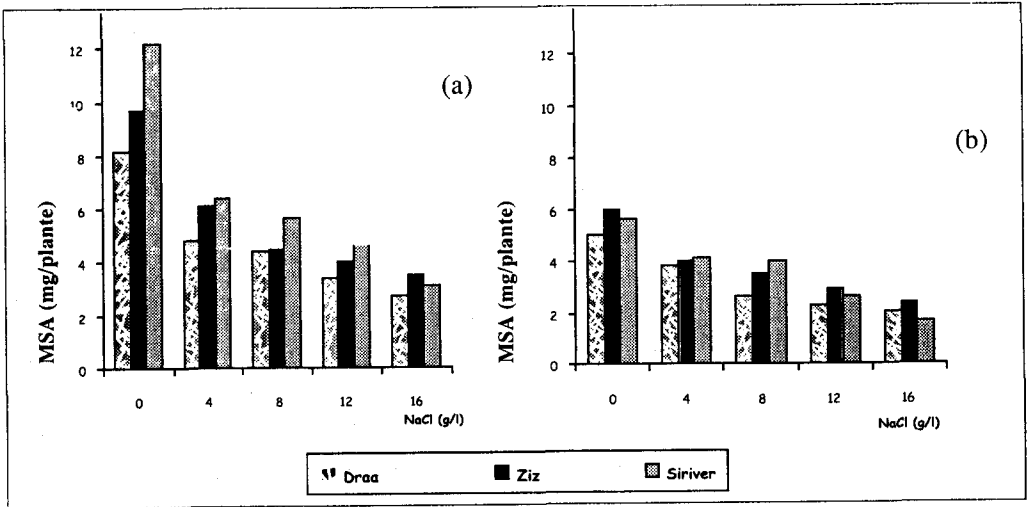


Figure 1 : Effet du NaCl sur la production de matière sèche aérienne MSA (a) et racinaire MSR (b) chez les trois luzernes.

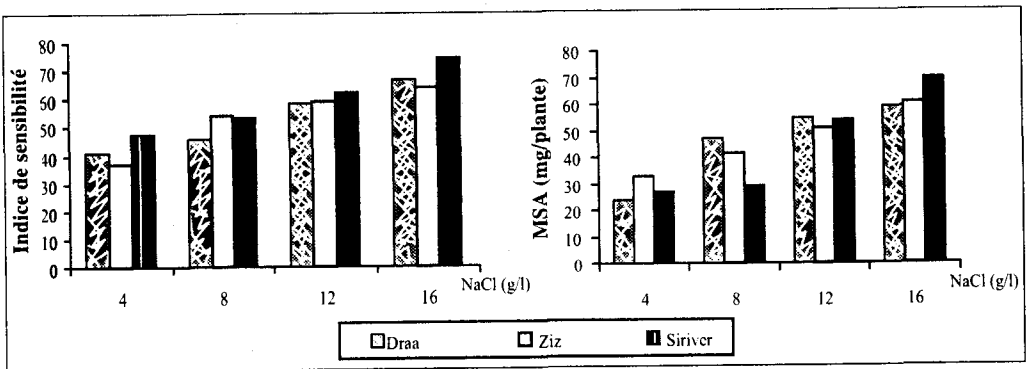


Figure2 : Variation des indices de sensibilité des parties aériennes (a) et racinaires (b) pour différentes concentrations en NaCl.

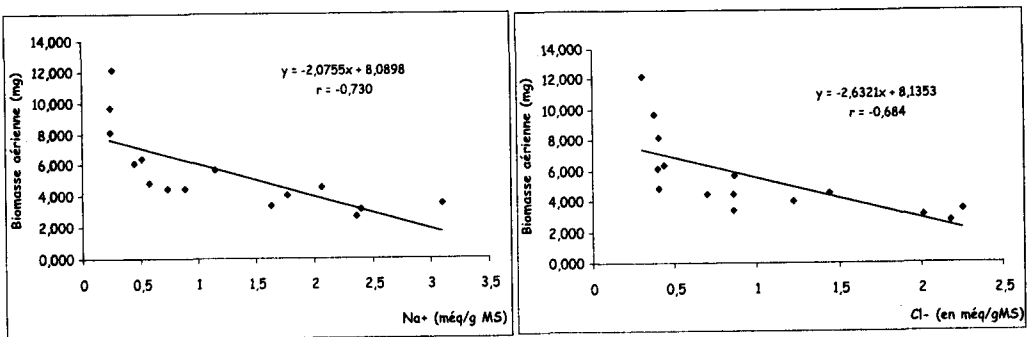


Figure 3 : Relations entre les teneurs en Na⁺ (a) et Cl⁻ (b) et la biomasse aérienne.

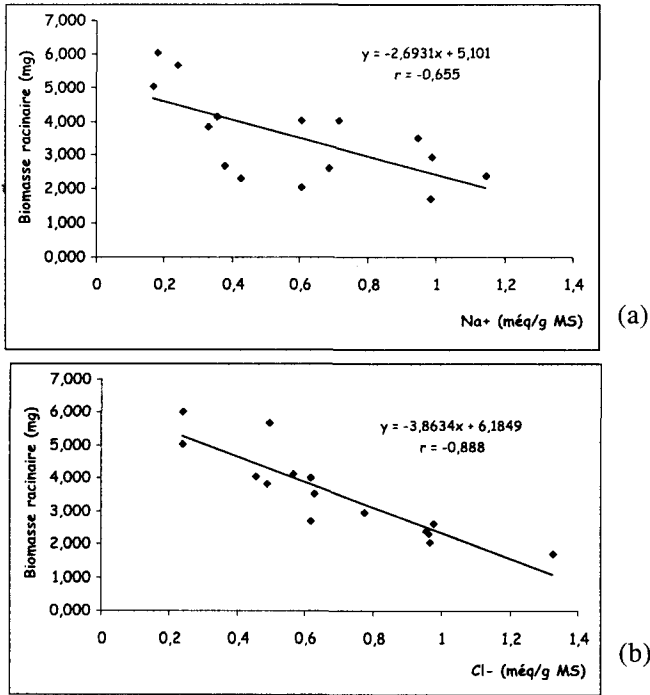


Figure 4 : Relations entre les teneurs en Na⁺ (a) et Cl⁻ (b) et la biomasse racinaire

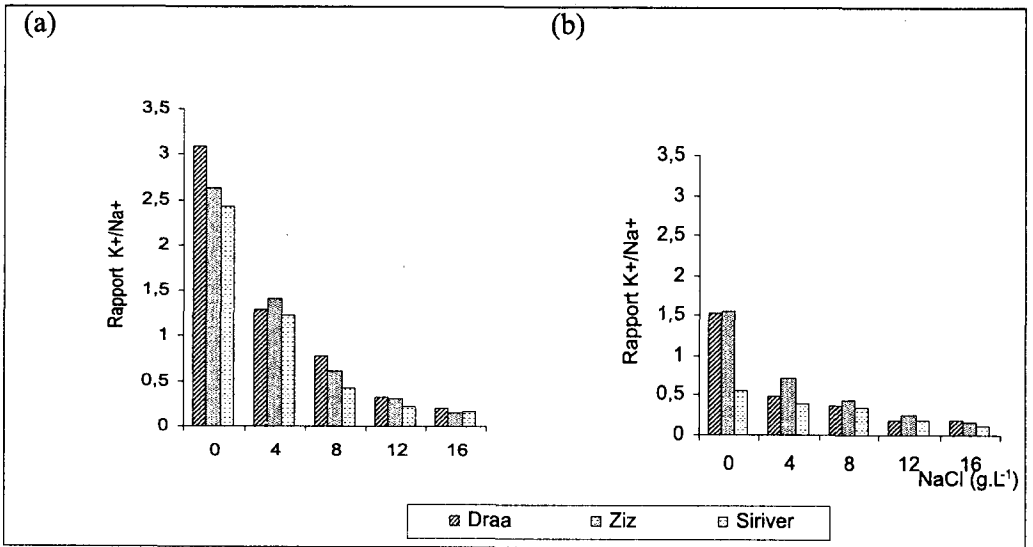


Figure 5 : Variation du rapport K^+/Na^+ dans les parties aériennes (a) et racinaires (b), chez les trois luzernes en présence de NaCl.

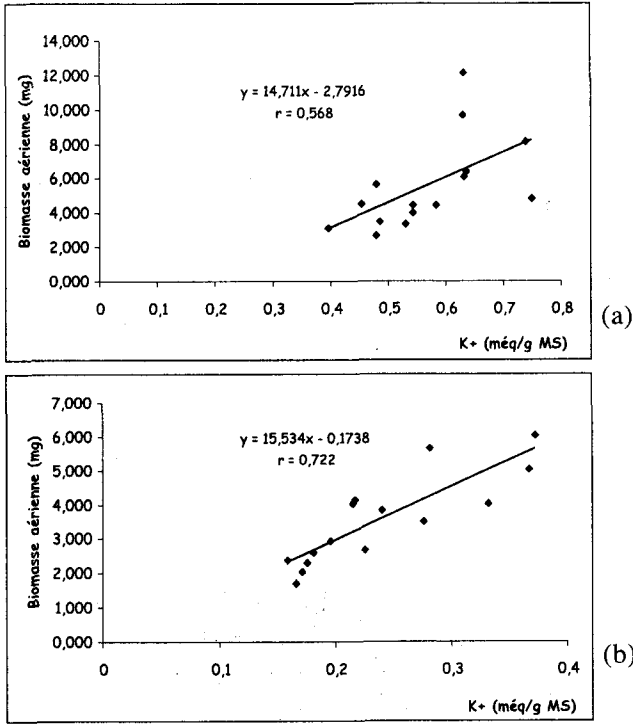


Figure 6 : Relations entre les teneurs en K^+ et les biomasses aériennes (a) et racinaires (b).

Tableau 1: Analyse de la variance relative à l'effet du NaCl sur la croissance des génotypes de luzerne étudiés.

| Facteurs de variation | MSA | MSR |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Génotype (G). | 13.93 *** | 8.21 ** |
| Salinité (S) | 83.88 *** | 90.12 *** |
| G x S | 2.20 NS | 1.90 NS |

** : Effet significatif au seuil de 1% ; *** : effet significatif au seuil de 0.1% ; NS : effet non significatif ; Les chiffres correspondent aux valeurs du F calculé.

Tableau 2 : Teneurs en azote (N), en phosphore (P) et en potassium (K⁺), calcium (Ca⁺⁺), en magnésium (Mg⁺⁺) en (Sodium) Na⁺ et en chlore (Cl⁻) en mg.g⁻¹ MS et rapport K⁺/Na⁺ dans les parties aériennes et racinaires, chez les trois luzernes en présence de différentes concentrations en NaCl.

| NaCl (g.l ⁻¹) | N | | P | | K ⁺ | | Mg ⁺⁺ | | Ca ⁺⁺ | | Na ⁺ | | Cl ⁻ | | K/Na | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|------|------|
| | PA | PR | PA | PR | PA | PR | PA | PR | PA | PR | PA | PR | PA | PR | PA | PR |
| 0 | 35,78 | 25,09 | 0,363 | 0,491 | 0,738 | 0,867 | 0,318 | 0,308 | 1,371 | 0,361 | 0,239 | 0,239 | 0,408 | 0,169 | 3,09 | 1,54 |
| 4 | 31,27 | 22,82 | 0,089 | 0,305 | 0,748 | 0,240 | 0,275 | 0,277 | 1,427 | 0,330 | 0,576 | 0,489 | 0,408 | 0,329 | 1,30 | 0,49 |
| 8 | 31,27 | 18,73 | 0,068 | 0,301 | 0,583 | 0,225 | 0,267 | 0,277 | 1,246 | 0,309 | 0,739 | 0,619 | 0,698 | 0,378 | 0,79 | 0,36 |
| 12 | 29,62 | 18,18 | 0,028 | 0,301 | 0,529 | 0,176 | 0,236 | 0,277 | 1,041 | 0,305 | 1,630 | 0,961 | 0,857 | 0,428 | 0,32 | 0,18 |
| 16 | 29,01 | 17,46 | 0,021 | 0,300 | 0,479 | 0,171 | 0,218 | 0,263 | 0,997 | 0,301 | 2,364 | 0,967 | 2,181 | 0,608 | 0,20 | 0,18 |
| 0 | 32,32 | 24,75 | 0,375 | 0,541 | 0,629 | 0,372 | 0,308 | 0,376 | 1,197 | 0,324 | 0,239 | 0,239 | 0,378 | 0,179 | 2,63 | 1,56 |
| 4 | 30,10 | 22,57 | 0,174 | 0,306 | 0,632 | 0,332 | 0,257 | 0,298 | 1,259 | 0,355 | 0,445 | 0,456 | 0,398 | 0,717 | 1,42 | 0,73 |
| 8 | 24,00 | 21,81 | 0,124 | 0,294 | 0,543 | 0,276 | 0,257 | 0,288 | 1,122 | 0,324 | 0,880 | 0,630 | 0,857 | 0,947 | 0,62 | 0,44 |
| 12 | 22,87 | 20,02 | 0,079 | 0,265 | 0,543 | 0,196 | 0,236 | 0,288 | 1,005 | 0,283 | 1,766 | 0,777 | 1,226 | 0,987 | 0,31 | 0,25 |
| 16 | 19,60 | 17,32 | 0,072 | 0,221 | 0,485 | 0,159 | 0,207 | 0,236 | 0,957 | 0,268 | 3,097 | 0,956 | 2,253 | 1,146 | 0,16 | 0,17 |
| 0 | 31,16 | 25,95 | 0,349 | 0,460 | 0,632 | 0,281 | 0,277 | 0,473 | 1,140 | 0,274 | 0,260 | 0,497 | 0,309 | 0,239 | 2,43 | 0,57 |
| 4 | 24,77 | 25,73 | 0,084 | 0,300 | 0,636 | 0,217 | 0,267 | 0,411 | 1,215 | 0,192 | 0,516 | 0,565 | 0,438 | 0,358 | 1,23 | 0,38 |
| 8 | 18,30 | 25,57 | 0,079 | 0,253 | 0,479 | 0,215 | 0,267 | 0,370 | 1,053 | 0,172 | 1,141 | 0,619 | 0,867 | 0,608 | 0,42 | 0,35 |
| 12 | 17,28 | 22,12 | 0,070 | 0,253 | 0,453 | 0,181 | 0,257 | 0,257 | 0,947 | 0,169 | 2,064 | 0,978 | 1,445 | 0,666 | 0,22 | 0,19 |
| 16 | 15,75 | 18,07 | 0,053 | 0,251 | 0,386 | 0,166 | 0,257 | 0,205 | 0,829 | 0,109 | 2,404 | 1,326 | 2,014 | 0,985 | 0,16 | 0,13 |

PA : Partie aérienne ; PR : Partie racinaire

Références bibliographiques

- Benmiloud M. et Poloczanska W. A., 1977. Pratique du diagnostic foliaire : Laboratoire général de chimie. MARA Direction de la Recherche Agronomique (Maroc).
- Cramer G.R., Läuchli A. & Polito E.V.S., 1985. Displacement of Ca^{2+} by Na^{+} from the plasmalemma of root cells. A primary response to salt stress. *Plant Physiol.* 83: 510-516.
- Cramer G.R., Lynch J., Läuchli A. & Epstein E., 1991. Effect of sodium, potassium and calcium on salt stressed barley. I. Elemental analysis. *Plant Physiol.*, 81: 197-202.
- Dione E., 1988. Contribution à l'étude des effets de NaCl sur la germination, la croissance et le développement des hibiscus textiles : Kenaf (*H. cannabinus L.*), Roselle (*H. sabdarifa L. var. altissima*) et du cotonnier (*Gossypium hirsutum*). Diplôme d'agronomie approfondie. ENSAM. pp 68.
- El Haddad E. H. M. & O'Leary J. W., 1994. Effect of salinity and $\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$ ratio of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex amnicola* and *Sorghum bicolor*. *Irrig. Sci.*, 14 : 127-133.
- El Mekkaoui M., Agbani M. et Monneveux P., 1994. Rôle de la sélectivité $\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$ et de l'accumulation de proline dans l'adaptation à la salinité de l'orge (*Hordeum vulgare L.*) et du blé dur (*Triticum durum Desf.*). Actes Inst.Agron.Vét. (Maroc), 14 (2) : 27-36.
- El Midaoui M., Talouizte A., Benbella M., Serieys H., & Berville A., 1999. Responses of five sunflower genotypes (*Helianthus annuus L.*) to different concentrations of sodium chloride. *Helia*, 22 (30): 125-138.
- Greenway E. and Munns R., (1980). Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol*, 30: 149-190.
- Hoagland D.R. and D.I. Arnon 1950. The water culture method for growing plants without soil. California agricultural Experimentation Station. University of California, Berkeley College Agricultural Circular n°347.
- Homer D. et Parker F., 1961. Methods of analysis for soil, plant and water. Division of agricultural sciences. University of California.
- Houchi R. et Coudret A., 1994. Essai d'utilisation de l'ajustement osmotique comme critère physiologique pour la sélection variétale de triticales tolérants au chlorure de sodium. *Rev. Amélior. Prod. Agr. Milieu aride*, 6 : 99-109.
- Igartua E., Garcia M.P. & Lasa J.M., 1995. Field responses of grain sorghum to a salinity gradient. *Field crop research* 42 (1): 15-25.
- Isla R., Arag R., & Royo R., 1998. Validity of various physiological traits as screening criteria for salt tolerance in barley. *Field Crops Research*, 58: 97-107.
- Jeschke W.D., 1983. Cations fluxes in relation to specific and varietal differences. *Plant and soil*, 72, 197 - 212.

- Mezni M., Albouchi A. Bizid E. et Hamza M., 2002. Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.). *Agronomie* 22 : 283-291.
- Pourrat Y. et Dutuit P., 1994. Etude précoce des effets morphologiques et physiologiques du rapport sodium/calcium in vitro sur une population d'*Atriplex halimus*. Quel avenir pour l'amélioration des plantes? Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, pp : 283-295.
- 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.
- Soudi, B., 1991. La salinité au Maroc In: "International conference on agricultural management in salt affected areas". I.A.V. Agadir-Maroc.
- Storey R., 1995. Salt tolerance, ions relations and the effect of root medium on the response of Citrus to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 22 : 101-114.
- Wolf O., Munns R., Tonnt M.L. & Jeschke W.D., 1991. The role of stem in the partitioning of Na⁺ and K⁺ in salt tressed barley. *J. Exp. Bot.* 42: 697-704.