

Production des luzernes des régions pré-sahariennes du Maroc en conditions salines

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

Dans les régions méditerranéennes arides, la luzerne est souvent irriguée et, de ce fait, confrontée à un stress salin. Quelles sont les variétés les mieux adaptées à cette situation ? Y a-t-il interaction avec la souche de *Sinorhizobium* ?

RÉSUMÉ

*Le comportement de 3 luzernes (2 génotypes des régions pré-sahariennes du Maroc et une variété australienne) a été observé en conditions salines (0, 4, 8, 12 et 16 g NaCl/l), ainsi que leur efficacité en cas d'inoculation par deux souches autochtones de *Sinorhizobium meliloti*. Le 1^{er} essai montre que le sel entraîne une réduction des productions de matière sèche aérienne et racinaire dès 4 g NaCl/l, une accumulation de Na⁺ et Cl⁻, et une réduction d'absorption de K⁺, Ca⁺⁺ et de N. Les populations marocaines présentent une tolérance relative au sel. Dans le 2^e essai, la nodulation a lieu même à 16 g NaCl/l. L'azote apporté par fertilisation ou fixation réduit l'effet du sel. La performance symbiotique des souches varie selon la salinité et le génotype de luzerne. La sélection d'un matériel génétique adapté passera par le choix de couples *Sinorhizobium* - luzerne performants.*

MOTS CLÉS

Azote, calcium, chlore, composition chimique, facteur limitant, fixation symbiotique de l'azote, luzerne, magnésium, Maroc, *Medicago sativa*, phosphore, potassium, production fourragère, sodium, *Sinorhizobium meliloti*, stress salin, zone méditerranéenne, zone semi-aride.

KEY-WORDS

Calcium, chemical composition, chlorine, forage production, limiting factor, luzerne, magnesium, nitrogen, *Medicago sativa*, Mediterranean region, Morocco, phosphorus, potassium, salt stress, semi-arid region, *Sinorhizobium meliloti*, sodium, symbiotic nitrogen fixation.

AUTEURS

- 1 : Laboratoire d'Agrophysiologie et de Culture *in vitro*, Faculté des Sciences Kénitra (Maroc).
- 2 : Programme Fourrages, INRA, Rabat (Maroc).
- 3 : Département d'Agronomie, E.N.A. Meknès (Maroc).

CORRESPONDANCE

Pr. M. Ibriz, Université Ibn Tofail, Faculté des Sciences, BP 133, Kenitra (Maroc) ; M_ibriz@yahoo.fr

Le problème de salinité commence à prendre de l'ampleur dans la majorité des périmètres irrigués au Maroc, en particulier dans les régions arides et pré-sahariennes. Dans ces régions, l'eau d'irrigation est souvent chargée en sel. La production de la luzerne, principale culture fourragère dans ces zones (85 000 ha), est fortement entravée par la salinité. Ce stress induit des déséquilibres nutritionnels qui conduisent dans certains cas à une sélectivité vis-à-vis du potassium pour faire face aux effets néfastes du sodium (EL MEKKAOUI, 1992). Dans d'autres cas, on assiste à une excrétion active du sodium (DIONE, 1988). Par ailleurs, une relation d'antagonisme a été notée entre K^+ et Ca^{++} et entre Mg^{++} et Na^+ (SOLTANI et al., 1990). Les effets dépressifs de la salinité sur la luzerne affectent également la nodulation, la fixation symbiotique d'azote ainsi que le métabolisme azoté (JEBARA et al., 2000).

La présente étude a pour objectif de **déterminer l'effet de la salinité sur :**

- **la croissance et la distribution des principaux éléments minéraux** chez la luzerne (*Medicago sativa* L.) des régions pré-sahariennes (objet de l'essai 1) ;

- **l'infectivité (aptitude à noduler) et l'efficacité des souches autochtones de *Sinorhizobium*** issues des régions pré-sahariennes, en association avec quelques écotypes de la même région (essai 2).

Matériel et méthodes

■ Matériel végétal et culture des plantes

Deux génotypes de luzerne (collection INRA-Maroc), Ziz Aoufous et Drâa Tamegroutte, originaires des régions pré-sahariennes du Maroc, et Siriver, une variété australienne, ont été utilisés.

Les graines de chaque génotype ont été scarifiées et stérilisées avant leur germination. Les plantules ont été repiquées à raison de 3 plantes/pot. La durée de chaque essai est de 60 jours

Dans le cas de **l'essai 1**, l'arrosage a été effectué (jusqu'à Hcc, l'humidité à la capacité au champ) une fois sur deux par une solution nutritive complète de Hoagland. Les génotypes testés ont été combinés à cinq niveaux de sel (NaCl) dans l'eau d'arrosage (0, 4, 8, 12 et 16 g/l). Le dispositif expérimental est de type factoriel à deux facteurs (génotype, salinité) et trois répétitions en randomisation totale.

Dans le cas de **l'essai 2**, l'arrosage des pots (Hcc) inoculés et du témoin non azoté (RT) a été effectué par une solution nutritive stérile sans azote (BROUGHTON et DILLWORTH, 1970), avec des concentrations en NaCl de 8, 12 et 16 g/l. Les témoins azotés (RTN) ont été arrosés avec la même solution additionnée de KNO_3 à 0,05%. Le dispositif expérimental est factoriel (trois facteurs : génotype, salinité, inoculation) et trois répétitions en randomisation totale.

■ Inoculation

L'inoculation a été faite le 3^e jour après repiquage des plantules, par deux souches de *Sinorhizobium* (R1 : souche L20 et R2 : souche L32 ; collection INRA-Maroc).

■ Observations et mesures à la récolte

Les caractères mesurés à la récolte sont :

- pour l'essai 1 : les matières sèches des parties aérienne (MSA) et racinaire (MSR) par plante (étuvage à 80°C pendant 48 h), avec les teneur en éléments minéraux ;

- pour l'essai 2 : le nombre (NN) et la matière sèche de nodules (MSN) par plante à la récolte; les matières sèches des parties aérienne (MSA) et racinaire (MSR) par plante, et la teneur en azote.

Le phosphore a été dosé par colorimétrie (BENMILOUD et POLOCZANCKA, 1977) ; le potassium, le calcium, le sodium et le magnésium, par spectrophotométrie à flamme (BENMILOUD et POLOCZANCKA, 1977). Le chlore a été déterminé par volumétrie (HOMER et PARKER, 1961). L'azote a été évalué par la méthode KJELDAHL sur un échantillon composite, issu de trois répétitions.

Résultats

1. Effets de la salinité sur la production et la composition en éléments minéraux d'écotypes marocains de luzerne (essai 1)

■ Effet du chlorure de sodium sur la croissance

L'application de sel s'est traduite par une **forte réduction des productions de matières sèches aérienne et racinaire** (figure 1).

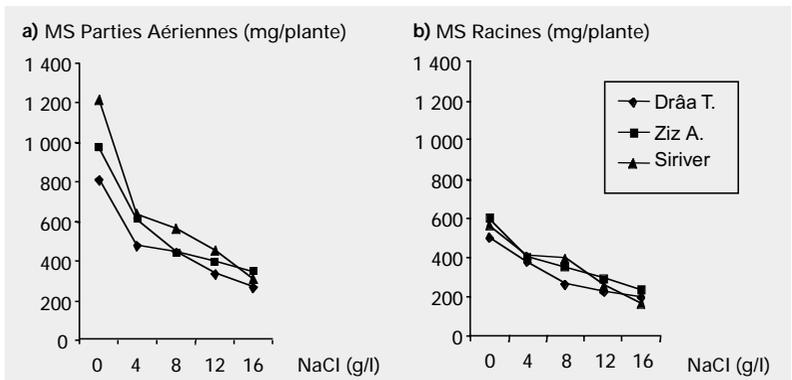


FIGURE 1 : Effet du sel sur les productions aérienne (a) et racinaire (b) des trois luzernes étudiées (essai 1).

FIGURE 1 : Effect of salt on the production of the shoots (a) and the roots (b) of the 3 lucerne types studied (trial 1).

Facteurs de variation	MS Parties Aériennes	MS Racines
Salinité (S)	83,88***	90,12***
Génotype (G)	13,93***	8,21**
S x G	2,20 NS	1,90 NS

***, **: Effets significatifs respectivement aux seuils de 0,1% et 1% ; NS : effet non significatif

Cette réduction est d'autant plus importante que la concentration du milieu en NaCl augmente. Elle est enregistrée dès la concentration de 4 g/l (- 42% pour MSA ; - 30% pour MSR). Les réductions les plus importantes, notées à la concentration de 16 g/l pour MSA et MSR (- 60%), varient en fonction des génotypes.

L'analyse de la variance (tableau 1) révèle, aussi bien pour les génotypes étudiés que pour les traitements salins, une différence **hautement significative**. Aucune interaction Génotype x Salinité ne s'est révélée significative. Le classement des productions moyennes (MSA) montre qu'elles diminuent quand la salinité augmente et que Siriver > Ziz Aoufous > Drâa Tamegroutte.

Les **indices de sensibilité** (IS) ont été calculés sur la base du rapport :

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

où : MS(Ti) est la matière sèche du témoin, et MS(Si), la matière sèche des plantes soumises à une concentration en NaCl de i g/l.

L'indice de sensibilité montre que la variété Siriver se distingue des deux autres génotypes par une production de matière sèche plus élevée, à la fois en absence et en présence de stress salin. Toutefois, cette variété s'est montrée la plus sensible si l'on compare sa production en milieu salin à sa production potentielle (figure 2).

■ Effets de la salinité sur la composition minérale des différentes parties de la plante

Les concentrations croissantes en sel dans le milieu ont **réduit significativement les teneurs de l'ensemble des éléments minéraux de la plante, à l'exception de Na⁺ et Cl⁻**.

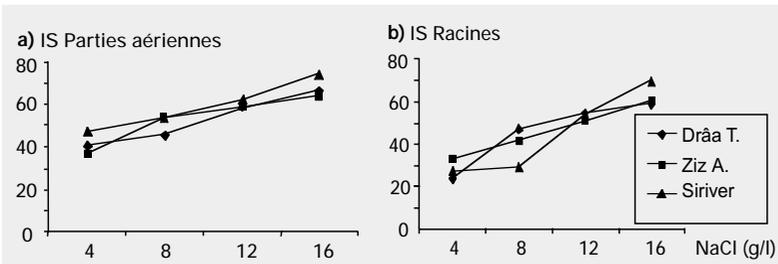


TABLEAU 1 : Analyse de la variance relative à l'effet du sel sur la croissance (aérienne et racinaire) des génotypes de luzerne étudiés (essai 1).

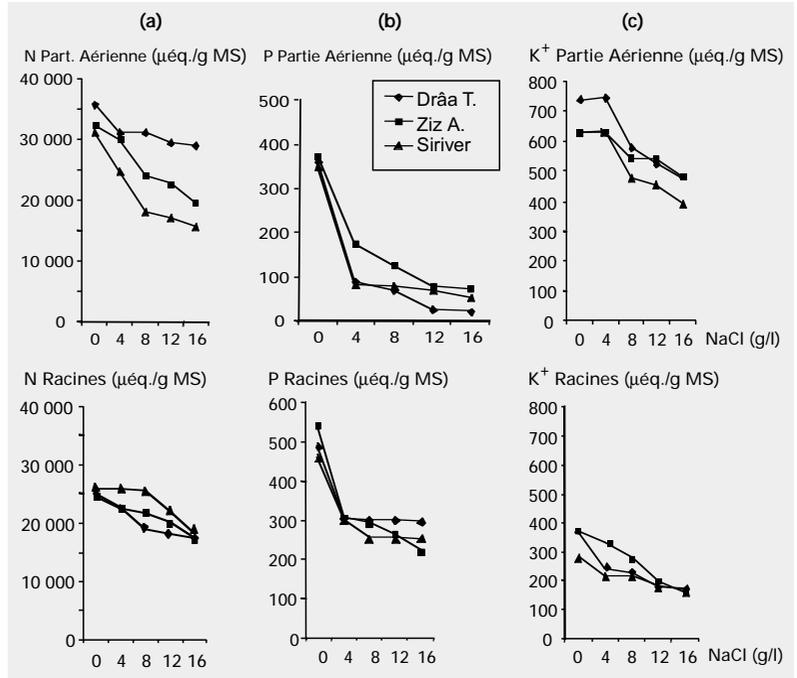
TABLE 1 : Analysis of variance for the effect of salt on the growth of the shoots and the roots of the lucerne genotypes studied (trial 1).

FIGURE 2 : Variation des indices de sensibilité des parties aérienne et racinaire des trois luzernes étudiées, selon la concentration en sel (essai 1).

FIGURE 2 : Variation of the sensitivity indices of the shoots (a) and the roots (b) of the 3 lucerne types studied according to the salt level (trial 1).

FIGURE 3 : Teneurs en azote N (a), en phosphore P (b) et en potassium K⁺ (c) dans les parties aérienne et racinaire des trois luzernes, selon la concentration en sel (essai 1).

FIGURE 3 : Contents of nitrogen N (a), phosphorus P (b) and potassium K⁺ (c) in the shoots and the roots of the 3 lucerne types studied according to the salt level (trial 1).



Cette contrainte a entraîné des réductions importantes de la teneur en azote des parties aérienne et racinaire (figure 3a) : les teneurs les plus faibles sont notées dans la partie aérienne chez Siriver, et dans les racines chez Drâa Tamegroutte.

Les teneurs en phosphore (figure 3b) et en calcium (figure 4a) de la plante ont été réduites dès la concentration de 4 g NaCl/l. Les génotypes sahariens se distinguent de Siriver par des teneurs plus importantes en Ca⁺⁺ en particulier dans les racines.

Les diminutions de K⁺ (figure 3c) sont effectives à partir de 8 g/l pour atteindre à 16 g/l des réductions de l'ordre de 35, 23 et 37% respectivement chez Drâa Tamegroutte, Ziz Aoufous et Siriver. Dans les racines, les teneurs en K⁺ sont réduites dès 4 g/l pour atteindre à 16 g/l des réductions de 53, 57 et 41% respectivement chez Drâa Tamegroutte, Ziz Aoufous et Siriver.

Les doses croissantes de sel augmentent la teneur en Na⁺ (figure 4b) dans toutes les parties de la plante. Les teneurs les plus élevées ont été noté à 16 g/l, dans les parties aériennes de Ziz Aoufous et dans les racines de Siriver.

L'enrichissement du milieu en sel se traduit par une accumulation importante de chlore dans toute la plante dès 4 g/l dans les racines et dès 8 g/l dans les parties aériennes (figure 4d). Toutefois, la population Drâa Tamegroutte se distingue par la plus faible accumulation du chlore dans les racines. Notons, également, que la plus grande partie de chlore prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans la partie aérienne.

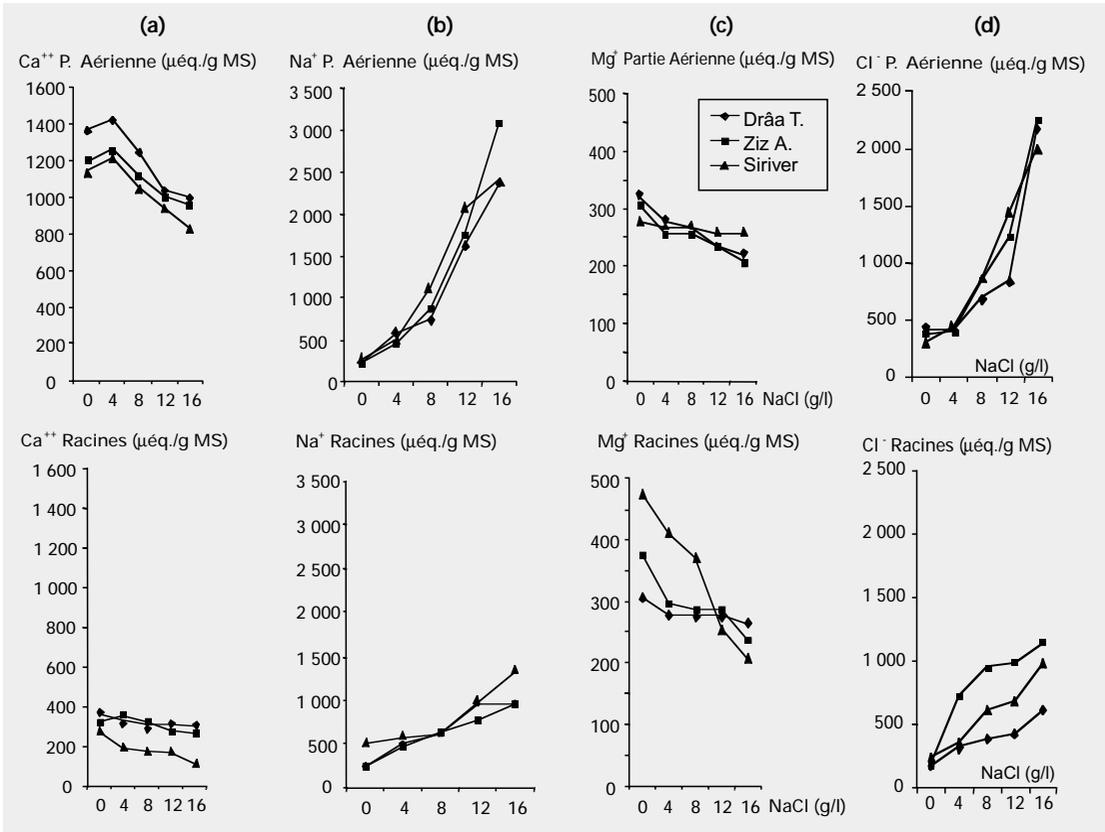


FIGURE 4 : Teneurs en calcium Ca⁺⁺ (a), en sodium Na⁺ (b), en magnésium Mg⁺ (c) et en chlore Cl⁻ (d) dans les parties aérienne et racinaire des trois luzernes, selon la concentration en sel (essai 1).

FIGURE 4 : Contents of calcium Ca⁺⁺ (a), sodium Na⁺ (b), magnesium Mg⁺ (c) and chlorine Cl⁻ (d) in the shoots and the roots of the 3 lucerne types studied according to the salt level (trial 1).

2. Effets du sel sur des isolats de *Sinorhizobium meliloti* en association avec des populations de luzerne (essai 2)

■ Effet sur la nodulation

La nodulation est **affectée négativement par un apport de sel** (figure 5a). On note des effets **très hautement significatifs** des facteurs étudiés ainsi que de leurs interactions, sauf pour l'interaction Salinité x Génotype et la triple interaction (tableau 2). Ces résultats montrent une variation dans l'inféctivité des différents génotypes par les souches apportées. Ainsi, **l'inféctivité de la souche R2 a été plus forte sur Drâa Tamegroutte et sur Siriver**, surtout à 12 et à 16 g/l de NaCl. Cependant, la souche R1, à la concentration de 8 g/l de NaCl a permis une meilleure nodulation avec la variété Siriver.

■ Effet sur la production de matière sèche des nodules

L'addition de sel entraîne une **chute de 50%** de la production de matière sèche des nodules (MSN) **dès la concentration de 8 g/l** pour

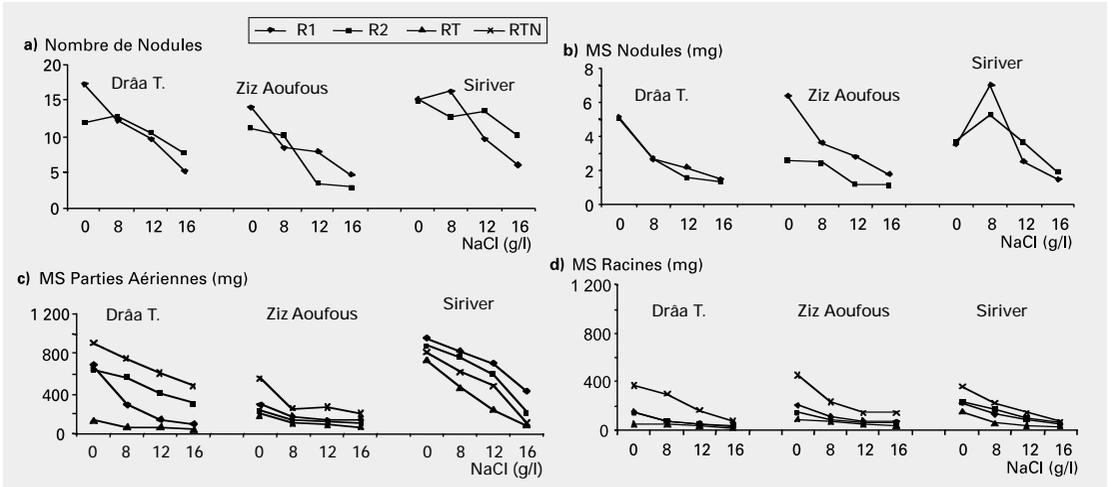


FIGURE 5 : Evolution a) du nombre de nodules, b) de leur matière sèche, des matières sèches c) des parties aériennes et d) des racines des 3 luzernes en fonction des concentrations en sel et des inoculations (R1 et R2 : souches de *Sinorhizobium* ; RT : témoin sans azote et RTN témoin avec azote ; essai 2).

FIGURE 5 : Changes in a) the number of nodules, b) their dry matter, c) above-ground dry matter, and d) root dry matter of the 3 lucerne types according to salt concentrations and inoculation treatments (R1 and R2 : *Sinorhizobium* strains ; RT : control without nitrogen ; RTN : control with nitrogen ; trial 2).

TABLEAU 2 : Analyse de la variance relative à l'effet du sel sur les paramètres de croissance des génotypes de luzerne en combinaison avec les souches de *Sinorhizobium* étudiées (essai 2).

TABLE 2 : Analysis of variance for the effect of salt on the growth parameters of the lucerne genotypes in combination with the *Sinorhizobium* strains studied (trial 1).

atteindre 75% à 16 g/l (figure 5b). En général, l'inoculation n'a pas entraîné de différence de comportement chez les génotypes étudiés. Cependant, la souche R2 combinée à l'écotype Ziz Aoufous a permis une production de MSN relativement stable malgré la présence du sel.

■ Effet de la salinité sur la production de matière sèche aérienne

L'effet du sel se traduit par une diminution de la MSA (figure 5c). L'apport d'azote, en conditions salines, améliore la MSA, surtout chez les populations Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous. L'inoculation de la variété Siriver a permis une production élevée de MSA par comparaison à l'apport d'azote. Cette variété s'est montrée plus productive que les populations oasiennes.

■ Effet sur la production de matière sèche racinaire

La salinité réduit significativement la production de matière sèche racinaire (MSR, figure 5d). L'inoculation et l'apport d'azote affectent différemment la MSR. L'infection de la variété Siriver par les deux souches étudiées a permis une production de MSR comparable à celle du témoin azoté. Cependant, aucune différence notable de

Facteurs	Nombre Nodules	MS Nodules	MS Parties Aériennes	MS Racines
Salinité (S)	29,84***	15,11***	301,39***	293,25***
Génotype (G)	15,80***	3,06 NS	467,38***	19,04***
Rhizobium (R)	316,39***	104,27***	187,12***	299,41***
S x G	0,47 NS	3,23**	40,51***	4,34***
S x R	10,77***	5,33***	4,68***	28,59***
G x R	6,31***	2,58*	78,61***	11,35***
S x G x R	1,37 NS	1,62 NS	4,96***	2,64***

***, **, * : Effets significatifs respectivement aux seuils 0,1%, 1% et 5% ; NS : effet non significatif

comportement des souches au sein d'un même génotype n'a été mise en évidence. Par ailleurs, l'addition d'azote a permis d'améliorer la production de MSR des populations oasiennes à la concentration de 16 g/l, comparativement aux témoins et à l'inoculation par les souches R1 et R2.

■ Effet de la salinité sur la teneur en azote

La teneur en azote des parties aérienne et racinaire décline sous l'effet du sel. **La chute est d'autant plus importante que la concentration en sel est élevée, à l'exception remarquable des parties aériennes de la variété Siriver quand elle est inoculée par la souche R1.** Toutefois, la présence de sel s'est traduite chez les témoins azotés par une teneur d'azote élevée par rapport aux autres traitements.

Pour les parties aérienne et racinaire, un bilan positif du gain d'azote, par rapport au témoin (RT), a été obtenu, pour les deux génotypes oasiens, après inoculation et sous les différentes concentrations salines (figures 6a et 6b). Ce bilan est en revanche négatif en comparaison avec le témoin azoté (RTN). Toutefois, ces gains sont plus importants chez les populations oasiennes inoculées par la Souche R1. Chez Siriver, c'est la souche R2 qui a permis les meilleurs gains par rapport aux deux témoins (RT et RTN).

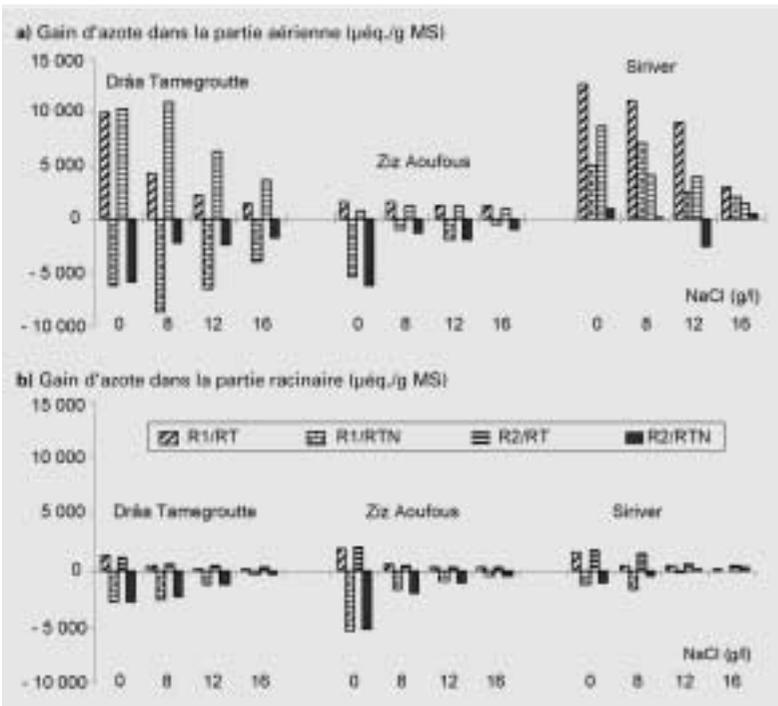


FIGURE 6 : Gain d'azote dans les parties aérienne (a) et racinaire (b) des 3 luzernes en fonction des concentrations en sel et des inoculations (R1 et R2 : souches de Sinorhizobium ; RT : témoin sans azote et RTN témoin avec azote ; essai 2).

FIGURE 6 : **Nitrogen increase in the shoots (a) and the roots (b) of the 3 lucerne types studied according to the salt level and inoculation treatments (R1 and R2 : Sinorhizobium strains ; RT : control without nitrogen ; RTN : control with nitrogen ; trial 2).**

Discussion

■ Différence génotypique de sensibilité des luzernes à la salinité

La réduction des biomasses aérienne et racinaire sous l'effet des fortes concentrations de sel a été rapportée chez la luzerne (MEZNI *et al.*, 2002). Les résultats montrent des différences entre génotypes vis-à-vis de la contrainte saline. Les génotypes ayant produit, sous contrainte saline, des matières sèches aériennes élevées sont également ceux qui ont accumulé le plus de matière sèche racinaire. C'est le cas notamment de Siriver. Globalement, **les luzernes d'origine oasienne se sont révélées moins productives mais plus tolérantes que Siriver.**

■ Relation entre la production et les teneurs en éléments minéraux

La salinité a réduit les teneurs en N, P, K⁺, Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺, et a accentué l'accumulation du Na⁺ du Cl⁻. Des résultats similaires, notamment l'accumulation du Na⁺ et du Cl⁻ dans la partie aérienne, mais avec un degré moindre dans les racines, ont été rapportés par plusieurs auteurs, entre autres HOUCHI et COUDRET (1994).

Jusqu'à présent aucun déterminisme régulant la croissance en milieu salin n'a été établi. **Différentes hypothèses sont formulées sur les phénomènes impliqués dans l'adaptation à la salinité** comme l'accumulation des composés osmorégulateurs (sucres solubles : EL MEKKAOUI *et al.*, 1994 ; 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 l'une ou l'autre partie de la plante. Nos résultats concernant ce dernier phénomène montrent que les réductions des biomasses aérienne et racinaire seraient dues à des différences d'accumulation des ions minéraux entre les différentes parties de la plante.

Les relations négatives obtenues entre la teneur en Na⁺ et Cl⁻ et la production des biomasses aérienne ($r = -0,77$ et $-0,72$ respectivement) et racinaire ($r = -0,96$ et $-0,96$ respectivement) montrent que **toute augmentation de la teneur en ces ions pourrait engendrer une réduction de la croissance.** MEZNI *et al.* (2002) rapportent que le caractère "inclusif" chez les luzernes est dû à l'accumulation en grandes quantités de Na⁺ et Cl⁻.

La diminution de la teneur en K⁺ des parties aérienne et racinaire va de pair avec l'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 de NaCl. Au-delà, la tendance s'inverse. Ce résultat indiquerait une perte de sélectivité vis-à-vis de K⁺ aux fortes concentrations en sel. Cette perte de sélectivité est plus importante chez Siriver que chez les populations sahariennes. Ainsi,

l'importance de la baisse de la teneur en K^+ pourrait être 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).

La tolérance à la salinité des populations Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous s'explique également par une bonne sélectivité vis-à-vis de K^+ . En effet, sous stress salin, les populations originaires du sud du Maroc présentent un rapport K^+/Na^+ plus important que celui de Siriver (tableau 2). Toute diminution d'absorption du K^+ sous l'effet de NaCl se traduit par des baisses de production des biomasses aérienne ($r = 0,77$) et racinaire ($r = 0,94$).

Le taux de réduction de la teneur en Ca^{++} en présence de sel varie selon le génotype. Ainsi, la teneur en Ca^{++} racinaire décline plus chez Siriver que chez Drâa Tamegroutte et Ziz Aoufous. **Ceci suggère que le niveau de tolérance d'une espèce est lié à sa teneur racinaire en Ca^{++} .**

■ Différences génotypiques combinées au traitement azoté et à l'inoculation

L'addition d'azote dans le milieu de culture en absence de toute souche de *Sinorhizobium* provoque une amélioration très nette de la biomasse chez les génotypes testés. Cependant, la réponse a été variable selon les génotypes. En effet, **l'apport d'azote a un effet positif, surtout chez les populations oasiennes pour l'ensemble des concentrations salines.** Ce résultat suggère que l'apport d'azote diminue l'effet dépressif du sel et bien entendu améliore la production de matière sèche. Ce résultat concorde avec celui de THAMI ALAMI (1994) chez *Medicago spp.*

L'effet dépressif de la salinité sur la teneur en azote, observé dans cette expérimentation, confirme les résultats de SYRVERSTEI et YELENOVSK (1988) qui rapportent une réduction de l'absorption et du transport de l'azote vers les feuilles. Il en résulte une diminution de la synthèse des protéines et par conséquent une chute de la teneur en azote total. A ce sujet, BEN KHALED et al. (2003) rapportent que la symbiose avec les mycorhizes et les *Rhizobium* améliore le contenu foliaire en protéines chez le trèfle.

L'infectivité des deux souches varie d'un génotype à l'autre, ce qui montre **une certaine spécificité** et éventuellement une variabilité importante **entre les souches** de *Sinorhizobium meliloti*. Cette variabilité a été notée par MATERON (1991) et peut être expliquée par une "préférence" des génotypes pour la souche infectante, que THURMAN et BROMFIELD (1987) attribuent à l'adaptation de cette dernière aux conditions du milieu.

■ Effet de la salinité sur la symbiose

L'inoculation par les souches de *Sinorhizobium meliloti* a permis une production de biomasse importante, en particulier chez Siriver aussi bien en absence qu'en présence de sel. Cependant, il n'y a pas

de différence significative de comportement des deux souches. Des résultats similaires ont été rapportés par THAMI ALAMI (1994).

La nodulation, atténuée par l'effet du sel, continue à se produire à de fortes concentrations (16 g/l de NaCl). IBRIZ (1988), dans des conditions d'expérimentation similaires, aboutit au même résultat, mais à 12 g NaCl/l. Ce résultat suggère que la sensibilité de la nodulation à la salinité peut être due à l'effet du sel sur le *Sinorhizobium* et/ou sur la plante hôte. Cela peut également être dû, selon SAADALLAH *et al.* (2001), à l'inhibition du processus d'infection par limitation de la croissance des racines ou par restriction de l'alimentation des nodules en photosynthétats. Toutefois, certaines caractéristiques des *Sinorhizobium* peuvent être altérées par la salinité comme les lipopolysaccharides (ZAHARAN *et al.*, 1994), qui jouent un rôle important dans l'attachement entre la membrane externe bactérienne et les glycoprotéines des membranes végétales (CARLSON *et al.*, 1987 ; CAVA *et al.*, 1989).

Dans cette expérimentation, la fixation symbiotique diffère selon la population et la concentration saline. Ainsi, **la population Ziz Aoufous s'est révélée plus sensible que Drâa Tamegroutte dont la tolérance au sel a été améliorée par la souche R2**. Cependant, l'activité fixatrice des deux souches R1 et R2 est atténuée par la présence du sel. Cela peut également s'expliquer par une réduction importante de la masse de matière sèche nodulaire comme l'ont montré SAADALLAH *et al.* (2001). Par ailleurs, IBRIZ (1988) rapporte que l'activité fixatrice d'azote n'est pas directement liée à la masse ou au nombre de nodules qui peuvent être élevés et non efficaces. D'autres auteurs, comme KASSEM *et al.* (1985) supposent que l'inhibition de l'activité fixatrice d'azote des jeunes plantes de luzerne soumises à des concentrations de 10 à 15 g/l de NaCl pourrait être due, principalement, à la sensibilité de la plante hôte. JEBARA *et al.* (2001) concluent dans leur étude qu'il est important de prendre en considération les interactions Souche x Lignée pour la sélection d'une légumineuse adaptée au sel.

Conclusion générale

Les résultats de l'essai 1 ont montré que, sous contrainte saline, des différences importantes de comportement entre les populations sud marocaines et la variété Siriver existent.

Les accumulations du chlore et du sodium ainsi que la réduction de la teneur en certains éléments comme le phosphore, le potassium expliquent, en partie, la réduction de production de la matière sèche et mettent en exergue la complexité de l'étude de la nutrition minérale. Cette dernière aide à la compréhension partielle de la tolérance à la salinité.

Les résultats du deuxième essai ont montré que l'effet de la salinité sur l'efficacité de l'azote se traduit par une chute progressive de la matière sèche des parties aérienne, racinaire et des nodules, ainsi que du nombre de nodules. Le comportement des géotypes testés

varie en fonction des concentrations et des traitements (souches, témoin avec et sans azote). Le sel affecte aussi l'alimentation azotée, ce qui se répercute directement sur la croissance. A la lumière de ces résultats, il apparaît que l'apport d'azote sous forme de fertilisation ou de fixation symbiotique réduit considérablement l'effet dépressif du sel. Ainsi, l'activité fixatrice d'azote des souches R1 et R2 varie en fonction des concentrations en sel et des génotypes. En définitive, tous les caractères mesurés ont permis de déduire qu'il n'y a pas de simple superposition entre les performances individuelles des deux partenaires de l'association symbiotique.

L'amélioration de la productivité des luzernes au Maroc doit passer par la sélection d'un matériel génétique adapté et par le choix de couples performants associant une souche de *Sinorhizobium* à un écotype de luzerne autochtone.

Accepté pour publication, le 15 novembre 2004.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEN KHALED L., GÓMEZ A.M., OUARRAQI E., OIHABI M. (2003) : "Réponses physiologiques et biochimique du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association Mycorhizes-Rhizobium sous une contrainte saline", *Agronomie*, 23, 571-580.
- BENMILOUD M., POLOCZANCKA W.A. (1977) : *Pratique du diagnostic foliaire*, Laboratoire général de chimie, MARA Direction de la Recherche Agronomique (Maroc).
- BROUGHTON, DILLWORTH (1970) : "N-fre nutrient solution", *Methods in legume-Sinorhizobium technology*, P. Somasegaran & H.J. Hoben ed., Univ. of Hawaii Niflal "Project and Mircen", Department of Agronomy and soil science, Hawaii, Tropical Agriculture and Human resources (May, 1985).
- CARLSON R.W., KALEMBASA S., TUROWSKI D., PACHORI P., NOEL K.D. (1987) : "Characterization of lipopolysaccharid from a *Sinorhizobium Phaseoli* mutant that is defective in infection threat development", *J. Bacteriol.*, 169: 4923-4928.
- CAVA J.R., ELIAS P.M., TUROWSKI D.A., NOEL K.D. (1989) : "*Sinorhizobium leguminosarium* CFN42 genetic regions encoding development on bean plants", *J. Bacteriol.*, 171, 8-15.
- 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, 68 p.
- EL HADDAD E.H.M., O'LEARY J.W. (1994) : "Effect of salinity and K+/Na+ ratio of irrigation water on growth and solute content of *Atriplex amnicola* and *Sorghum bicolor*", *Irrig. Sci.*, 14, 127-133.
- EL MEKKAOUI M. (1990) : *Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (Triticum durum Desf.) et l'orge (Hordeum vulgare L.) : Recherche de tests précoces de sélection*, thèse Doct., E.N.S.A. Montpellier.
- EL MEKKAOUI M. (1992) : *Etude des caractères physiologiques d'adaptation à la salinité chez trois céréales : le blé dur (Triticum durum Desf.), l'orge (Hordeum vulgare L.) et le triticale (T. durum x Secale cereale)*, thèse Doct. I.A.V. Hassan II, Rabat, Maroc.

- EL MEKKAOUI M., AGBANI M., MONNEVEUX P. (1994) : "Rôle de la sélectivité K⁺/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.
- HOMER D., PARKER F. (1961) : *Méthodes of analysis for soil, plant and water*, Division of agricultural sciences, University of California.
- HOUCHI R., 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.
- IBRIZ M. (1988) : *Etude du comportement en présence de NaCl de diverses combinaisons entre des populations de luzerne (*Medicago sativa* L.) et des souches de *Sinorhizobium meliloti**, mémoire fin études E.N.A. Meknes Maroc.
- JEBARA M., ELARBI AOUANI M., GHRIR R., MARS M. (2000) : "Effet du sel sur des isolats de *Sinorhizobium* sp. de Tunisie *in vitro* ou en association avec *Medicago* sp.", *Cahiers d'études et de recherche francophones/Agricultures*, Vol.9 (2), 99-102.
- JEBARA M., DREVON J.J., AOUANI M.E (2001) : "Effects of hydroponic culture system and NaCl on interactions between common bean lines and natives rhizobia from Tunisian soils", *Agronomie*, 21: 601-605.
- KASSEM M., CAPELLEND I., GOUNOT A.M. (1985) : "Effet du chlorure de sodium sur la croissance *in vitro*, l'infectivité et l'efficience de *Sinorhizobium meliloti*", *Mircen J.*, 1, 63-75.
- MATERON L.A. (1991) : "Symbiotic characteristics of *Sinorhizobium meliloti* in West Asian Soils", *Soil. Biol. Biochem.*, 23, 429-434.
- MEZNI M., ALBOUCHI A. BIZID E., 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.
- SAADALLAH K., DREVON J.J., ABDELLY C. (2001) : "Nodulation et croissance nodulaire chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*) sous contrainte saline", *Agronomie*, 21, 627-634.
- SOLTANI A., HAJJI M., GRIGNON C. (1990) : "Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé", *Agronomie*, 10, 857-866.
- SYRVERSTEI J.P., YELENOVSKY G. (1988) : "Salinity can enhance freez tolerance of Citrus rootstock seedling by modifying growth. Water relations and mineral nutrition", *J. An. Soc. Hort. Sci.*, 113, 889-893.
- THAMI ALAMI I. (1994) : "Sélection de souches des *Sinorhizobium meliloti* tolérantes à l'acidité des sols pour la culture de *medicago* Spp.", *Al Awamia*, n° 87, 77-92.
- THURMAN N.P., BROMFIELD E.S.P. (1987) : "Effect of variation within and between *Medicago* and *meliloti* species on the composition and dynamics of indigenous populations of *Sinorhizobium meliloti*", *Soil Biol. Biochem.*, 1, 31-38.
- WOLF O., MUNNS R., TONNT M.L., JESCHKE W.D. (1991) : "The role of stem in the partitioning of Na⁺ an K⁺ in salt tressed barley", *J. Exp. Bot.*, 42: 697-704.
- ZAHARAN H.H., RASANEN L.A., KARSISTO M., LINDSTROM K. (1994) : "Alteration of lipopolysaccharide and protein profiles in SDS-PAGE of rhizobia by osmotic and heat stress-wold", *J. Microbiol. Biotech.*, 10, 100-105.

SUMMARY

Lucerne production in the pre-saharian regions of Morocco under saline conditions

The behaviour of three lucerne strains (two local populations from the pre-saharian regions of Morocco and one cultivar, Siriver, of Australian origin) was observed under conditions of variable salinity (0, 4, 8, 12 and 16 g NaCl/l in the irrigation water) ; their 'infectivity' and their nitrogen use efficiency after inoculation with two local strains of *Sinorhizobium melliloti* were also evaluated. There were two controls without inoculation : one with and one without nitrogen supply.

In a first trial, the contents of the main mineral elements (nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, sodium, magnesium and chlorine) were measured in the above-ground parts and in the roots. From 4 g NaCl/l upwards, salinity caused a decrease in the dry matter production of both shoots and roots ; furthermore there was an increased uptake of Na⁺ and Cl⁻ and a reduced uptake of K⁺, Ca⁺⁺ and N. The Moroccan populations appeared to be relatively more tolerant to salt. This could be linked to a greater aptitude to use the Na⁺ and Cl⁻ absorbed from the medium for osmotic regulation and to a better selectivity for potassium (high K⁺/Na⁺ ratio).

A second trial showed that nodulation occurred at a salt level as high as 16 g NaCl/l and that the supply of nitrogen, be it from fertilizer or from symbiotic fixation, did reduce the depressive effect of salt. The nitrogen fixation efficiency of the bacterial strains varied with the NaCl concentration and with the lucerne genotype. In each of the traits, it could be seen that the effect of the *Sinorhizobium* strains and of lucerne genotypes was not simply additive. The breeding of an adequate genetic material must be based on the selection of performing combinations of a *Sinorhizobium* genotype and a lucerne genotype.