

Effets de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de luzerne pérenne

M. Mezni¹, E. Bizid², M. Hamza²

Dans le but de valoriser les eaux saumâtres de certains périmètres irrigués en Tunisie, il serait utile de disposer de variétés de luzerne adaptées au stress salin. Une étude comparative en milieu semi-contrôlé souligne l'intérêt de la population Gabès.

RÉSUMÉ

L'étude a comparé pendant 120 jours (soit 3 cycles de repousses) la variété-population Gabès et deux cultivars introduits, Hunterfield et Hyb.555. Le semis a été réalisé sous serre. Quatre concentrations de NaCl dans l'eau d'irrigation ont été appliquées : T0 : 0 g/l ; T1 : 2,5 g/l ; T2 : 5 g/l et T3 : 10 g/l. Le peuplement et la croissance aérienne et racinaire ont été réduits en fonction de la concentration en sel et de la durée d'application du stress salin. Gabès, originaire des oasis tunisiennes, présente la meilleure tolérance au sel (meilleur taux de survie et moindre réduction de la production de biomasse aérienne et racinaire avec la salinité croissante). La variété Hunterfield est la plus sensible. La population Gabès présente un intérêt certain pour les programmes de sélection tunisiens.

MOTS CLÉS

Cultivar, irrigation, luzerne, production fourragère, stress salin, Tunisie, zone méditerranéenne.

KEY-WORDS

Cultivar, irrigation, lucerne, forage production, Mediterranean region, salt stress, Tunisia.

AUTEURS

1 : Laboratoire de Productions Fourragères, I.N.R.A.T., 3, Rue Hédi Karray, 2049 L'Ariana (Tunisie).

2 : Laboratoire de Physiologie Végétale, Faculté des Sciences de Tunis, Campus Universitaire, 1060 Le Belvédère (Tunisie).

Dans les zones arides et semi-arides de la Tunisie, les eaux d'irrigation sont souvent chargées en chlorures et/ou en sulfates. Plus de 50% des terres irriguées sont plus ou moins chargées en sel. Peu de plantes fourragères sont tolérantes à ces conditions, surtout pendant la période sèche et chaude de l'année où l'ETP est élevée, ce qui augmente la concentration de la solution du sol et, par conséquent, les forces osmotiques externes entraînant la mortalité des cultures (GUERRIER, 1983). Dans ces conditions, deux démarches sont généralement envisagées pour améliorer les productions :

- le dessalement des eaux ou l'accroissement du lessivage des sols par drainage, opérations très coûteuses nécessitant des investissements importants ;

- la meilleure connaissance de la physiologie des plantes et de leur génétique de tolérance à la salinité, condition préalable pour réaliser des programmes de sélection d'espèces et de variétés tolérantes au stress salin (SHAY, 1990).

L'objectif de cette étude vise à préciser et à vérifier le degré de tolérance à la salinité de la luzerne Gabès dont les performances seraient affectées par l'importation massive de cultivars étrangers. Cette variété est réputée pour sa tolérance à l'eau d'irrigation titrant 4,2 g/l de sels (LESSANI, 1969 ; PESSARAKLI et HUBER, 1991), et sa capacité de germination élevée en conditions de stress salin allant jusqu'à 9,5 g/l (comparaison avec 5 variétés de luzerne, LAPEYRONIE, 1982). Par ailleurs, elle a une production de matière sèche élevée sous un rythme d'exploitation accéléré (comparée à 4 variétés provenant d'origines diverses, ALBOUDI *et al.*, 1994). **L'étude ici présentée analyse les effets de la présence, dans l'eau d'irrigation, de chlorure de sodium à des concentrations croissantes, effets sur le développement, la croissance et la survie de trois cultivars de luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) au cours de trois cycles de repousse.**

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Les trois cultivars étudiés ont été choisis à la suite d'un essai préliminaire en plein champ conduit pendant deux années successives avec neuf cultivars introduits comparés à la variété-population Gabès, originaire des oasis tunisiennes. Au cours de cet essai, les cultivars avaient été irrigués par submersion avec de l'eau de la Medjerda, dont la salure va de 1 g/l en hiver à 3 g/l en été. Puis, en fonction de trois critères (production de matière sèche, régularité de la production au cours du temps, et production hivernale), nous avons choisi **une variété non dormante, Gabès (G), un hybride américain semi-dormant, Hyb. 555 (H), et une variété australienne exclusivement dormante, Hunterfield (F).**

2. Conditions expérimentales

Les plantes ont été cultivées en serre (conditions naturelles d'éclairément ; températures maximales de 30 à 42°C et minimales de 15 à 28°C ; humidité relative maximale de 80 à 95% et minimale de 25 à 45%). Le semis a été réalisé dans des bacs en plastique (de 10 litres), remplis d'un sol à texture équilibrée, de pH basique (8,2), riche en calcaire actif (13%), dont les humidités remarquables sont : 12,1% au point de flétrissement permanent et 22,6% à la capacité au champ. Ces bacs étaient drainés et l'eau de drainage recueillie dans un flacon. Les quantités d'eau d'irrigation nécessaires à chaque traitement ont été définies à partir de mini-lysimètres pour maintenir le sol à la capacité au champ pendant toute l'expérience.

Chaque bac comprenait dix plantes d'une même variété. Pour cela un semis de vingt graines par bac a été réalisé le 2 avril 1995, suivi par un éclaircissage au stade quatre feuilles trifoliées (24 avril 1995), pour ne laisser que les dix meilleures plantes, tout en respectant une répartition spatiale uniforme entre les individus.

Les plantules ont d'abord été arrosées à l'eau courante pendant leur installation (20 jours), la composition chimique de cette eau étant contrôlée par deux prélèvements par mois (en moyenne : $K^+ = 0,2$ méq/l, $Ca^{++} = 12$ à 17 méq/l, $Na^+ = 2$ à 5 méq/l et $Cl^- = 2$ à 6 méq/l). **Une fois installées et au stade de quatre feuilles, les plantules ont été irriguées avec de l'eau additionnée de NaCl à quatre concentrations** ($T_0 = 0$ g/l ; $T_1 = 2,5$ g/l ; $T_2 = 5$ g/l et $T_3 = 10$ g/l). Le dispositif expérimental comportait 12 traitements (3 variétés x 4 niveaux de salinité), avec 4 répétitions randomisées, soit 48 bacs (480 plantes). Le choix des niveaux de salinité a été justifié par les concentrations très variables des eaux d'irrigation dans les périmètres irrigués en Tunisie, allant de 1 à 3 g/l pour l'eau de la Medjerda (UNESCO, 1968) et de 4 à 6 g/l à Souassi (Sahel ; FRANCKET et LE HOUEROU, 1971).

Pour éviter les chocs osmotiques, nous avons fractionné l'addition de NaCl dans les bacs de culture jusqu'à l'obtention de la concentration de sel correspondant au traitement désiré (HAMZA, 1977). Cette opération a duré 12 jours entre le début (26 avril 1995) et la fin de la mise en place des traitements salins (5 mai 1995). Par la suite, afin de s'assurer que les concentrations en NaCl restaient constantes dans le milieu de culture, des analyses hebdomadaires ont été effectuées sur le sol ou dans l'eau de drainage en excès. Cette opération a permis de suivre les quantités de NaCl prélevées par les plantes de luzerne ou adsorbées sur le complexe échangeable du sol.

L'expérience a porté sur les trois premiers cycles, les coupes intervenant au stade début floraison, soit après 30, 60 et 120 jours de stress salin (5 mai, 6 juillet et 4 septembre 1995). **Avant chaque coupe, le nombre de plantes survivantes a été compté**, le taux de survie étant défini comme le rapport du nombre de plantes à chaque coupe au nombre de plantes initialement installées. **Pour chaque plante, aux trois coupes, la partie aérienne récoltée a été séparée entre feuilles et tiges** puis séchée à 80°C pendant au moins 24 h

pour déterminer la masse de matière sèche (MS) des deux fractions (tiges : MST ; feuilles : MSF ; totale aérienne : MSA). La **répartition de la matière sèche entre la partie aérienne et les racines** (MSA / MSR) a été analysée au 90^e jour de stress salin, sur quatre plantes par traitement (une plante par bac), qui ont été extraites du sol en prenant soin de récupérer le maximum de leur système racinaire.

La surface moyenne d'une feuille adulte (exprimée en cm²) a été déterminée sur un échantillon de huit feuilles par traitement, par la méthode des pesées : les feuilles ont été photocopiées et leurs empreintes soigneusement découpées et pesées.

Résultats

1. Survie des plantes

Les témoins T0 ont un taux de survie de 98% (Gabès) à 87% (Hunterfield et Hyb.555) au cours des 120 jours d'expérience (figure 1). **Après un mois de stress salin**, la variété Gabès ne présente pas de mortalité quel que soit le niveau salin, alors que les deux autres cultivars présentent déjà un taux de mortalité dès le niveau de salinité T1. Le taux de survie diminue avec la durée du stress salin et la différence entre les cultivars s'accroît. **Après 120 jours de stress salin, Gabès n'est pratiquement pas affectée au niveau T1**, alors que la sensibilité des deux autres cultivars est très marquée, surtout pour Hunterfield ; au niveau T2, le pourcentage de survie est nettement diminué pour les trois cultivars étudiés, avec un avantage pour la variété Gabès qui maintient un taux de survie significativement supérieur à celui des deux autres cultivars ; la concentration T3 (10 g/l) devient une dose létale pour les trois cultivars étudiés au bout de 120 jours.

L'analyse de variance pour le taux de survie révèle un effet très hautement significatif ($p < 0,001$) des trois facteurs : variété, salinité et coupe. Concernant l'effet «variétal», le test de classement de Duncan donne l'ordre suivant pour le taux de survie : Gabès > Hyb.555 > Hunterfield. Le même test relatif à l'effet «coupe» donne l'ordre suivant : (30 j) > (60 j) > (120 j). Le taux de salinité réduit le taux de survie chez les trois cultivars de luzerne.

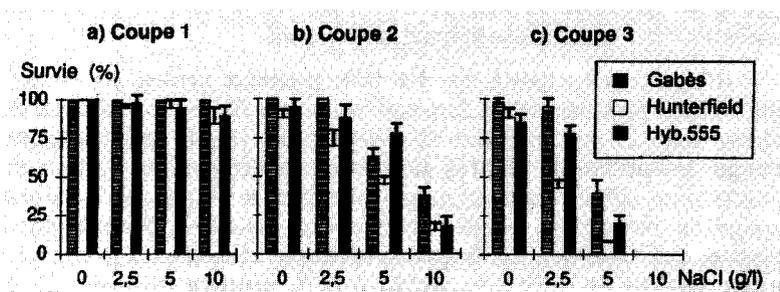
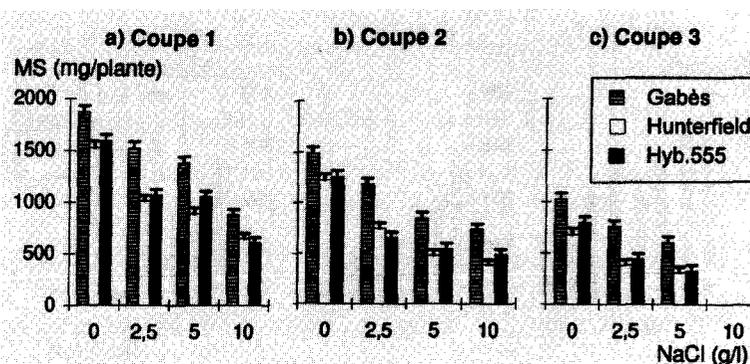


FIGURE 1 : Taux de survie chez les 3 cultivars de luzerne selon la concentration en NaCl, a) à la 1^{re} coupe (30 j de stress salin), b) à la 2^e coupe (60 j de stress), c) à la 3^e coupe (120 j de stress). L'intervalle de confiance est calculé au seuil de 5%.

FIGURE 1 : Survival rates in 3 Lucerne cultivars according to NaCl concentration, a) at first cut (after 30 d of salt stress), b) at second cut (after 60 d of salt stress), c) at third cut (after 120 d of salt stress). Confidence interval is set at 5%.

FIGURE 2 : Matière sèche aérienne par plante chez les 3 cultivars de luzerne selon la concentration en NaCl et la coupe (intervalle de confiance au seuil de 5%).

FIGURE 2 : Above-ground dry matter per plant in the 3 lucerne cultivars according to NaCl concentration and to cut (confidence interval 5%).



2. Salinité et production de matière sèche par plante survivante

En l'absence de sel (T0), la variété Gabès se distingue des deux autres cultivars par une production de matière sèche plus élevée, résultant d'une meilleure reprise de croissance après les coupes (figure 2). Malgré la diminution de peuplement plus forte chez les cultivars Hunterfield et Hyb.555, qui réduit la compétition entre les plantes, celles-ci ont une croissance individuelle qui tend à être inférieure à celle de Gabès, pourtant soumise à une compétition plus forte. De plus, sur les témoins T0, on a enregistré une réduction importante de la production de matière sèche qui est liée à l'effet des coupes successives (LEMAIRE et ALLIRAND, 1993). Cette réduction entre la première et la dernière coupe est de 57% pour la variété Gabès, contre 64% pour les deux autres cultivars.

L'analyse de variance de la masse de matière sèche produite montre **un effet très hautement significatif** ($p < 0,001$) **des trois facteurs : variété, salinité et coupe**. Pour le facteur «variétal», le test de Duncan montre une différence significative entre les variétés dans l'ordre suivant : Gabès > Hyb.555 ≥ Hunterfield. Pour la salinité du milieu, la diminution de matière sèche est hautement corrélée avec les concentrations croissantes en sel pour les trois cultivars étudiés ($R^2 = 0,93$). Le classement des coupes est, pour les trois cultivars : C1 > C2 > C3.

3. Salinité et production de matière sèche par m²

La production de matière sèche aérienne par bac a été ramenée à l'unité de surface (m²). Cette donnée intègre les variations de densité et de croissance individuelle des plantes (figure 3).

L'analyse de variance de la masse de matière sèche produite par m² montre **un effet très hautement significatif** ($p < 0,001$) **des trois facteurs : variété, salinité et coupe**. Quel que soit le niveau de salinité et la durée de la contrainte saline, le classement Duncan donne l'ordre suivant pour les variétés : Gabès > Hyb.555 ≥ Hunterfield.

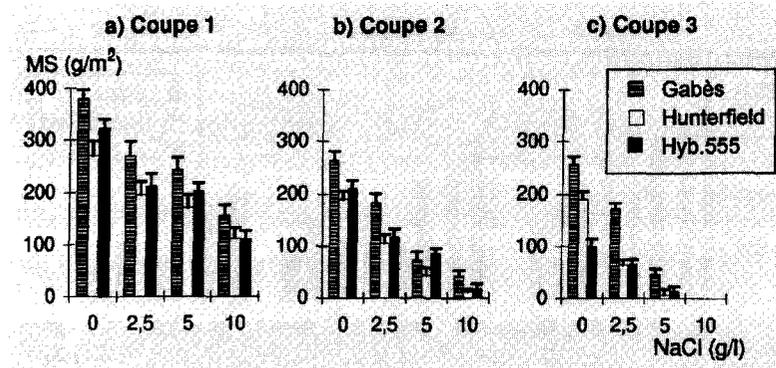


FIGURE 3 : Matière sèche aérienne par m² chez les 3 cultivars de luzerne selon la concentration en NaCl et la coupe (intervalle de confiance au seuil de 5%).

FIGURE 3 : Above-ground dry matter per m² in the 3 lucerne cultivars according to NaCl concentration and to cut (confidence interval 5%).

4. Rapport entre biomasse aérienne et souterraine après 90 jours de stress salin

Les résultats montrent que **le rapport** (MSA / MSR) entre biomasse aérienne et souterraine, après 90 jours de stress salin, pour les plantes survivantes **des cultivars Gabès et Hyb.555 n'est pratiquement pas affecté par l'augmentation du niveau de salinité** dans les bacs de culture (figure 4). En revanche, chez Hunterfield, ce rapport est significativement plus bas pour les concentrations élevées en NaCl (5 et 10 g/l). Pour ces deux traitements, le système foliaire devient plus sensible au sel avec une sénescence prématurée et une difficulté à régénérer de nouvelles feuilles photosynthétiquement actives. Le système racinaire a subi aussi une réduction en fonction de l'enrichissement du milieu en NaCl mais avec une intensité plus faible.

5. Aux trois coupes, rapport de la matière sèche entre feuilles et tiges

Le rapport de la matière sèche des feuilles sur celle des tiges (MSF / MST) représente un facteur agronomique important qui exprime

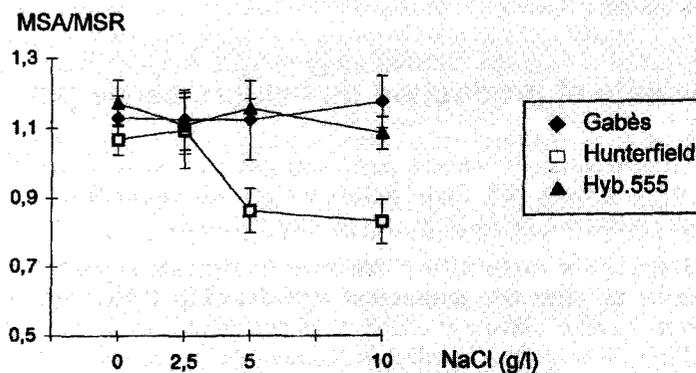
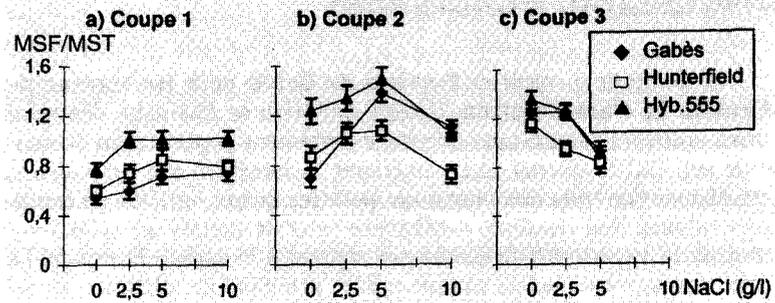


FIGURE 4 : Rapport entre la matière sèche des parties aériennes (MSA) et celle des racines (MSR) chez les 3 cultivars de luzerne, 30 jours après la 2^e coupe et après 90 jours de stress salin (intervalle de confiance calculé au seuil de 5%).

FIGURE 4 : Dry matter ratio between above-ground parts (MSA) and roots (MSR) in the 3 lucerne cultivars 30 days after the second cut, after 90 days of salt stress (confidence interval 5%).

FIGURE 5 : Rapport de la matière sèche des feuilles sur celle des tiges (MSF/MST) des 3 cultivars de luzerne selon la concentration en NaCl et la coupe (intervalle de confiance calculé au seuil de 5%).

FIGURE 5 : Dry matter ratio between leaves and stems (MSF/MST) in the 3 lucerne cultivars according to NaCl concentration and cut (confidence interval 5%).



me la qualité fourragère du végétal. Les résultats (figure 5) montrent qu'à la 1^{re} coupe et que pour les trois premiers niveaux de salinité de la 2^e coupe, le niveau de salinité tend à améliorer le rapport MSF / MST chez les trois cultivars, ce qui est la conséquence du ralentissement de la croissance et de la réduction du volume aérien. A la 3^e coupe et au traitement le plus salé de la 2^e coupe, la salinité réduit ce rapport pour les trois cultivars, en rapport avec la diminution de la taille des feuilles et aussi de leur chute partielle.

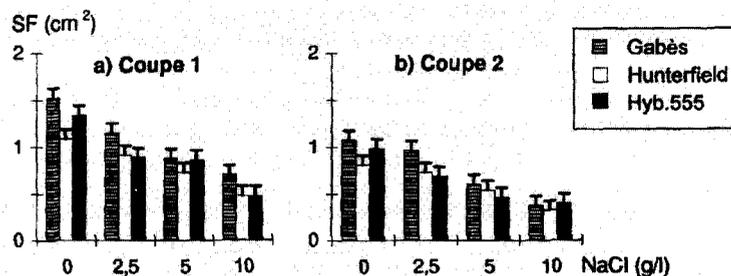
6. Surface moyenne des feuilles

Le stress salin réduit la taille adulte des feuilles chez les trois cultivars dans des proportions similaires (figure 6). Pour la variété Hunterfield, en plus de la diminution de la surface foliaire, nous avons observé aux traitements les plus stressants une diminution du nombre total des feuilles et une chute prématurée par sénescence.

L'analyse de variance de la surface foliaire d'une feuille adulte montre **un effet très significatif** ($p < 0,001$) des trois facteurs : variété, salinité et coupe. Quelle que soit la durée et le niveau de salinité, le classement Duncan donne l'ordre suivant de la taille individuelle des feuilles : Gabès > Hyb.555 > Hunterfield. Le même test relatif à l'effet «coupe» donne C1 > C2. Ces observations montrent que la salinité réduit la croissance et la taille des feuilles de façon analogue au stress hydrique. Cela se traduit par une réduction de la surface verte active.

FIGURE 6 : Surface moyenne d'une feuille adulte chez les 3 cultivars de luzerne, selon la concentration en NaCl et la coupe (intervalle de confiance calculé au seuil de 5%).

FIGURE 6 : Mean area of an adult leaf in the 3 lucerne cultivars, according to NaCl concentration and cut (confidence interval 5%).



Discussion, conclusion

Cette étude a confirmé l'intérêt de Gabès pour les travaux de sélection et d'amélioration. Cette population se distingue des deux autres cultivars par un taux de survie nettement supérieur en présence de sel. Gabès devrait ainsi améliorer la longévité des luzernières, actuellement de trois ans maximum pour les autres variétés en conditions salines. Nos résultats confirment ceux de LAPEYRONIE (1982) qui montrait la supériorité de Gabès par rapport à la variété Provence. La survie est souvent choisie comme critère principal de tolérance au sel chez les plantes cultivées (PAN *et al.*, 1959 ; KINGSBURY et EPSTEIN, 1984 ; DVORAK et ROSS, 1986 ; YEO et FLOWERS, 1986). C'est un critère essentiel dans le cas des plantes fourragères pérennes.

La production de matière sèche par plante et par m² confirme également la performance de Gabès dont les potentialités de croissance en présence de sel sont nettement supérieures à celles des deux autres cultivars. Les variétés Hunterfield et Hyb.555 présentent une sensibilité au sel plus marquée, et ceci dès la 1^{re} coupe, effectuée après 30 jours de stress salin. La diminution sévère de la production de matière sèche chez ces deux variétés est surtout liée à la mauvaise reprise après les coupes, à la réduction de la croissance et à l'élimination d'une partie du feuillage par sénescence prématurée, laquelle est accentuée par l'intensité et la durée de la contrainte saline. D'après MUNNS et TERMAAT (1986) et MUNNS (1993), l'accumulation progressive des ions Na⁺ et Cl⁻ dans les feuilles accélère leur sénescence et limite la formation de nouvelles feuilles photosynthétiquement actives.

Un programme de sélection à partir de la variété-population Gabès est en cours. L'utilisation exclusive de cette variété dans l'obtention de variétés synthétiques s'avère la plus logique. Ces nouvelles variétés, tout en gardant les caractéristiques générales de Gabès, auront une supériorité du point de vue de la qualité fourragère, de la persistance et de la productivité. Néanmoins, d'autres sources de tolérance à la salinité peuvent être recherchées, en particulier dans les populations oasiennes, d'où la nécessité de faire des prospections dans les zones de culture de la luzerne du sud tunisien.

Accepté pour publication, le 8 janvier 1999.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBOUDI A., ANGEVAIN M., PROSPERI J.M., MANSAT P. (1994) : "Cutting management and genotype effects on yield and dry matter rate in Lucerne (*Medicago sativa* L.)", *Management and breeding of perennial lucerne for diversified purposes*, *Eucarpia-Reur*, FAO (Rome), 83-84.
- DVORAK J., ROSS K. (1986) : "Expression of tolerance of Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Cl⁻, and SO₄²⁻ ions and sea water in the amphiploid of *Triticum aestivum* x *Elytrigia elongata*", *Crop Sci.*, 26 (4), 658-660.
- FRANCLLET A., LE HOUEROU H.N. (1971) : *Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord*, Institut de Reboisement, FAO (Rome), Rapport technique 7, 249 p.
- GUERRIER G. (1983) : "Capacité germinative des semences en fonction des doses graduelles en NaCl. Importance des transferts sur milieux sodés ou témoin", *Rev. Gén. Bot.*, 90, 3-21.
- HAMZA M. (1977) : *Action de différents régimes d'apport du chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : Phaseolus vulgaris (sensible) et Hedysarum carnosum (tolérante). Relations hydriques et relations ioniques*, thèse Doct. Sci. Univ. Paris VII, 252p.
- KINGSBURY R. W., EPSTEIN E. (1984) : "Selection for salt resistant spring wheat", *Crop Sci.*, 24 (2), 310-315.
- LAPEYRONIE A. (1982) : *Les productions fourragères méditerranéennes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes*, Edition G. P. Maisonneuve & Larose (Paris), 425 p.
- LEMAIRE G., ALLIRAND J.M. (1993) : "Relation entre croissance et qualité de la luzerne : interaction génotype-mode d'exploitation", *Fourrages*, 134, 183-198.
- LESSANI H. (1969) : *Recherche sur le comportement physiologique de la luzerne en présence de chlorure de sodium. Etude de quelques aspects de la nutrition minérale et du métabolisme respiratoire*, thèse de doct. ès-sciences naturelles, Faculté des Sciences de Paris, 152 p.
- MUNNS R. (1993) : "Physiological processes limiting plant growth in saline soils : some dogmas and hypotheses", *Plant Cell and Environment*, 16, 15-24.
- MUNNS R., TERMAAT A. (1986) : "Whole-plant responses to salinity", *Aust. J. Plant Physiol.*, 13, 143-160.
- PAN C. L., HOLDERBACH L., BEN DJEMIA H. (1959) : "Influence des différentes concentrations en sel des eaux d'irrigation sur la croissance du riz", *Les Annales de l'INRAT*, 32, 1-13.
- PESSARAKLI M., HUBER J. T. (1991) : "Biomass production and protein synthesis by alfalfa under salt stress", *J. Plant Nutr.*, 14 (3), 283-293.
- SHAY E.G. (1990) : *Saline agriculture. Salt-tolerant plant for developing countries. Report of a panel of board on science and technology for international development office of international affairs national research*, National Academy Press, Washington, DC, 143 p.
- UNESCO (1968) : *Luzerne irriguée à l'eau saumâtre*, Note Technique N° 7, du Centre de Recherche pour l'utilisation de l'eau salée en Irrigation, 35 p.
- YEO A.R., FLOWERS T.J. (1984) : "Mechanisms of salinity resistance in rice and their role as physiological criteria in plant breeding", *Salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement*, RC stapes, GA Toennienssen eds. Wiley, New York, 151-170.

SUMMARY

Effect of sodium chloride in irrigation water on the survival and on the weight and dimensional growth of three Lucerne cultivars

The aim of this work was to study the effect of salt stress on survival and on dry matter production of lucerne (*Medicago sativa* L.). Three cultivars (one local, Gabès, and two foreign, Hunterfield and Hyb. 555) were grown in a greenhouse environment. Four concentrations of salt were applied : T0 (control) = no salt, T1 = 2.5 g/l, T2 = 5.0 g/l and T3 = 10.0 g/l NaCl. The salt was supplied with irrigation, using different fractions until the desired level was reached for each treatment. The experiment lasted for 120 days and included three cuts. Gabès, a native from Tunisian oases, was more tolerant to salt and had higher percentages of survival than the other cultivars. It also showed a moderate decrease in dry matter of shoots and roots when the level of salt in the medium increased. Hunterfield was susceptible to salt ; its survival rate was greatly reduced by increased salt concentrations in the soil, and its dry matter yield decreased severely. The work shows the importance of introducing Gabès into lucerne breeding programmes in Tunisia.