

## Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L.

Hela Ben Ahmed, Ezzedine Zid, Mohamed El Gazzah, Claude Grignon

Quinze millions d'hectares de terres agricoles sont affectés par une salinisation croissante [1] des sols au Maghreb et au Moyen-Orient [2]. L'introduction d'arbustes fourragers tolérants à la salinité est l'une des techniques utilisées pour la valorisation de ces sols marginaux. Face à ce problème, les *Atriplex* présentent une bonne tolérance aux conditions défavorables du milieu [3, 4] : en milieu synthétique liquide, *Atriplex halimus* L. cv. *halimus* supporte des concentrations de chlorure de sodium (NaCl) voisines de celles de l'eau de mer (500 mM) [5]. Les *Atriplex* constituent une réserve fourragère importante, utilisable par les ovins et les camélidés, surtout en période de disette [2, 6, 7]. Ils sont riches en protéines (10 à 20 % de la matière sèche) [8, 9], mais leur charge foliaire excessive en NaCl (25 % du poids de matière sèche) [5] augmente les besoins en eau

des ovins [6, 9]. Il existe chez les *Atriplex* un polymorphisme morphologique important, qui se manifeste au niveau de la dimension et de la forme des feuilles, des valves fructifères et des graines [8], ainsi qu'un polymorphisme dans la production de biomasse [10]. Il serait donc intéressant d'identifier des lignées à faible teneur en chlorure de sodium. Dans cette perspective, nous avons comparé l'accumulation ionique et la production de matière sèche chez *Atriplex halimus* L. cv. *halimus* au début de la croissance végétative de la plantule.

### Matériel et méthodes

#### Matériel végétal et conditions de culture

*A. halimus* L. cv. *halimus* est un arbuste très ramifié, pouvant atteindre trois mètres de haut, avec des feuilles alternes, charnues, à limbe entier. Les graines ont été récoltées à quelques dizaines de mètres du bord de la mer, dans la station d'Amilcar située à une quinzaine de kilomètres au nord de Tunis. Les expériences sont menées sur des plantules âgées d'un mois, issues de graines récoltées sur un même pied mère. Avant la germination, les graines sont débarrassées manuellement de leurs valves fructifères ; les plantules sont cultivées sur un mélange composé à parts égales de sable et de sol argileux. Lors d'une première expérience, les plantules sont transférées par

lots de 30 en milieu liquide aéré, sous éclairage artificiel (photopériode : 16 h, 40 W/m<sup>2</sup> ; humidité relative : 55 à 90 % ; température maximale : 30 °C, température minimale : 22 °C). Les solutions de culture sont composées de milieu de base avec ou sans addition de NaCl (50 à 300 mM). Le milieu de base (pH 5,6) contient des macroéléments (mM) : K<sup>+</sup> = 0,15 ; Ca<sup>2+</sup> = 1,75 ; Mg<sup>2+</sup> = 0,5 ; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 3,55 ; H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> = 0,075 ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> = 0,5, et des oligoéléments (ppm) : Fe = 1,4 ; Mn = 0,25 ; B = 0,16 ; Cu = 0,03 ; Zn = 0,03 ; Mo = 0,01.

Au cours d'une seconde expérience, 150 plantules issues de graines récoltées sur le même pied mère et cultivées depuis un mois sur le mélange sable/sol argileux sont transférées sur milieu de base sans NaCl. Après une semaine d'acclimatation, elles sont transférées sur le milieu additionné de NaCl 100 mM ; le lendemain, la concentration de NaCl est portée à 200 mM et, le surlendemain, à 300 mM. Les plantules sont récoltées après vingt et un jours de traitement.

#### Mesures

Les racines, tiges et feuilles sont pesées, puis séchées à 80 °C pendant 48 heures. Après extraction dans HNO<sub>3</sub> 0,1 N, les cations sont dosés par spectrophotométrie de flamme en émission (Eppendorf). L'ion Cl<sup>-</sup> est dosé par coulométrie à l'aide d'un chloridomètre Buchler-Corlove. La masse de matière sèche minérale est estimée par la somme des masses des

H. Ben Ahmed, E. Zid : Laboratoire de physiologie et écophysiologie végétales, Faculté des Sciences de Tunis, Campus universitaire, 1060 Tunis, Tunisie.

M. El Gazzah : Laboratoire de génétique et biométrie, Faculté des Sciences de Tunis, Campus universitaire, 1060 Tunis, Tunisie.

C. Grignon : Biochimie et physiologie moléculaire des plantes, Institut national de la recherche agronomique, CNRS (URA 2133), École nationale supérieure agronomique, 34060 Montpellier cedex 1, France.

Tirés à part : C. Grignon

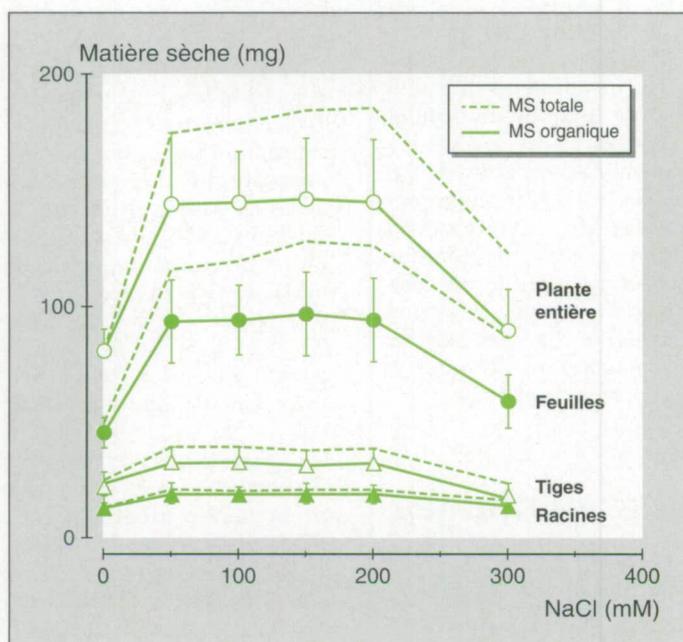
## Tableau

### Répartition de la biomasse totale des feuilles la matière organique et les ions minéraux

Paramètres	NaCl, mM					
	0	50	100	150	200	300
Ions (mg/g MS)	75 ± 4	190 ± 8	214 ± 12	234 ± 15	243 ± 11	301 ± 31
MS organique (mg/plante)	46 ± 7	94 ± 18	95 ± 14	98 ± 17	95 ± 16	59 ± 11

Les plantes, âgées de sept semaines à la récolte, ont été cultivées préalablement pendant trois semaines sur les milieux contenant les doses de NaCl indiquées (moyenne de trente plantes et intervalles de confiance au seuil 5 %).

**Distribution of the leaf biomass, organic matter and inorganic ions. Seven week old plants at harvest were previously grown for 3 weeks in the presence of NaCl at the indicated concentrations (mean values for 30 plants and confidence limits for P = 0.05).**



**Figure 1.** Effet de NaCl sur la croissance de la plante entière. Les masses de matière sèche sont mesurées après 3 semaines de traitement (moyennes sur 30 plantes traitées individuellement ; intervalles de confiance au seuil 5 %). Les masses de matière sèche initiales (plantes âgées de un mois) sont respectivement 13,5 mg (plante entière), 11,6 mg (parties aériennes), 1,9 mg (racines). Trait continu : matière sèche organique ; trait discontinu : matière sèche totale.

**Figure 1.** Effect of NaCl on whole plant growth. Dry weights were measured after 3-weeks of treatment (means of 30 plants, and confidence limits for  $p = 0.05$ ). Initial dry weights (mg/plant) of one-month old plants were 13.5 (whole plant), 11.6 (shoot), and 1.9 (roots). Solid lines represent dry weight of organic matter ; dashed lines indicate dry weight of organic plus inorganic matter.

ions minéraux majeurs ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$  et  $Cl^-$ ). La sous-estimation due à la négligence de  $Mg^{2+}$  et des anions minéraux autres que  $Cl^-$  est de l'ordre de 5 % sur milieu témoin [8], et très inférieure à

cette valeur sur les milieux contenant NaCl. L'accumulation des anions ( $A^-$ ) autres que  $Cl^-$  est estimée par la différence entre l'accumulation des cations majeurs ( $K^+$ ,  $Na^+$  et  $Ca^{2+}$ ) et celle de

$Cl^-$ . Ces anions comprennent  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , les différentes formes de phosphate et l'ensemble des acides organiques. La matière sèche organique est estimée par la différence entre la masse de matière sèche totale et la masse de matière sèche minérale.

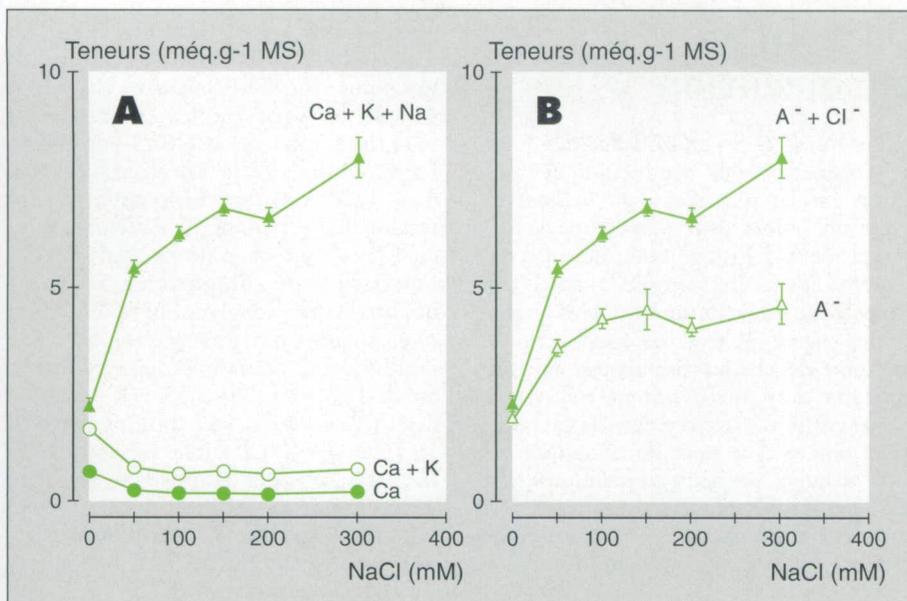
## Résultats

### Croissance

La présence de NaCl dans le milieu de culture stimule la croissance d'*Atriplex*, avec un optimum pour les concentrations comprises entre 50 et 200 mM (figure 1). Les fortes valeurs des intervalles de sécurité suggèrent un polymorphisme élevé de la production de biomasse. À sept semaines après la germination, la matière sèche des feuilles représente au moins les deux tiers de celle des plantes. La charge minérale des tissus foliaires atteint 30 % de la matière sèche totale produite en présence de NaCl ; ce traitement stimule la croissance et augmente la quantité de matière organique produite (tableau).

### Accumulation d'ions

La charge cationique des tissus est évaluée par la somme des teneurs des cations majeurs ( $K^+$ ,  $Na^+$  et  $Ca^{2+}$ ). Elle s'accroît dans les feuilles des plantes cultivées en présence de NaCl, à cause de l'accumulation de  $Na^+$  (figure 2A) qui représente entre 25 % (témoin :  $Na^+$  des graines et du sol) et 90 % (milieu avec NaCl 300 mM) de la charge cationique globale. Les teneurs en  $Cl^-$  des feuilles augmentent aussi dès les plus faibles doses de NaCl (50 mM) (figure 2B), mais elles restent toujours inférieures aux teneurs en  $Na^+$ . Enfin, les teneurs foliaires en anions ( $A^-$ ) autres que  $Cl^-$  augmentent quand NaCl est ajouté au milieu, mais sont peu dépendantes de la concentration de ce sel entre 100 et 300 mM. La valeur quasi constante des anions  $A^-$  en présence de NaCl suggère une relation étroite entre croissance et accumulation des anions autres que  $Cl^-$ , comme c'est le cas dans les feuilles de *Citrus aurantium* [11]. Dans les feuilles d'*Atriplex*, le principal anion est l'oxalate, qui est accumulé de manière à compenser le déséquilibre du bilan cations/anions



**Figure 2.** Accumulation ionique dans les feuilles. Les plantes âgées de sept semaines à la récolte sont cultivées depuis trois semaines sur les milieux contenant les doses indiquées de NaCl. A : cations majeurs. B : anions ; A<sup>-</sup> représente la différence entre la somme des cations majeurs et Cl<sup>-</sup> : c'est une estimation par défaut de la teneur en anions autres que Cl<sup>-</sup> (moyennes de 30 plantes traitées individuellement et intervalles de confiance au seuil 5 %).

**Figure 2.** Ion accumulation in leaves. Plants (7-week old plants at harvest) were grown for 3 weeks on media containing NaCl at the indicated concentrations. A : main cations. B : anions ; A<sup>-</sup> : the difference between the sum of main cations. Cl<sup>-</sup> : the sum of anions other than Cl<sup>-</sup> (means of 30 plants and confidence limits for  $p = 0.05$ ).

créé par la consommation de nitrate *via* le métabolisme azoté [12].

L'accumulation foliaires de Na<sup>+</sup> est associée probablement à celle de l'anion oxalate [13, 14] qui, comme le sodium [7, 9], limite la qualité fourragère des halophytes.

### Hétérogénéité des résultats d'analyse

Après trois semaines de culture sur un milieu contenant NaCl 300 mM (dose supra-optimale pour la croissance,

d'après la *figure 1*), nous avons analysé individuellement 150 plantules. La masse moyenne de matière sèche atteint  $263 \pm 25$  milligrammes par plante (intervalle de sécurité au seuil 5 %), avec un coefficient de variation (rapport de l'estimation de la moyenne à celle de l'écart type, exprimé en pourcentage) de 60 %. Pour les feuilles, les valeurs correspondantes sont  $176 \pm 16$  (58 %). La valeur élevée des coefficients de variation illustre probablement une hétérogénéité de la croissance des plantules d'origine génétique. La *figure 3* représente l'histogramme des fréquences des masses de matière sèche des feuilles ; il est possible de simuler la distribution observée par une somme de deux populations gaussiennes (cadre, *figure 3*).

Bien qu'inférieure à celle de la biomasse, l'hétérogénéité de l'accumulation des ions et de l'hydratation des tissus est marquée. Dans les feuilles (*figure 4*), les coefficients de variation des teneurs en eau, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, A<sup>-</sup> et Cl<sup>-</sup> sont compris entre 28 et 35 %. Seules les teneurs en Na<sup>+</sup> et en cations totaux (C<sup>+</sup>) sont très peu dispersées, avec des coefficients de variation voisins de 12 %. Le sodium, qui représente environ 90 % de C<sup>+</sup>, gouverne ce paramètre. Ces résultats indiquent une hétérogénéité marquée de la population pour tous les caractères analysés, sauf pour la charge sodique des tissus.

Dans nos expériences, les plantes doivent prélever K<sup>+</sup> à partir d'un milieu où ce cation est 2 000 fois moins concentré

## Summary

### Variability of growth and ion accumulation in *Atriplex halimus*

H. Ben Ahmed, E. Zid, M. El Gazzah, C. Grignon

Seeds harvested from the same *Atriplex halimus* L. cv. *halimus* stock plant growing near the sea were sown, and the plantlets were subsequently grown in synthetic liquid medium under artificial lighting. The Na<sup>+</sup> in the medium was adjusted to a suboptimal level (300 mM) for biomass production. The main ions (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Cl<sup>-</sup>) were analysed in the roots, stems and leaves. There was marked heterogeneity in biomass production, ion accumulation, and K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> selectivity during foliar accumulation of these ions. The dispersion for each individual value, measured by the coefficient of variation, differed according to parameters, i.e. 58-75% for dry weight, 30-35% for most ionic concentrations, and less than 12% for the Na<sup>+</sup> concentration and total cations. The high polymorphism in biomass production highlights the possibility of breeding fast-growing genotypes in saline medium. However, the close linear correlation between the dry weights and the Na<sup>+</sup> concentration indicates that these genotypes would have high cation levels (especially Na<sup>+</sup>) in leaves, associated with anion oxalate.

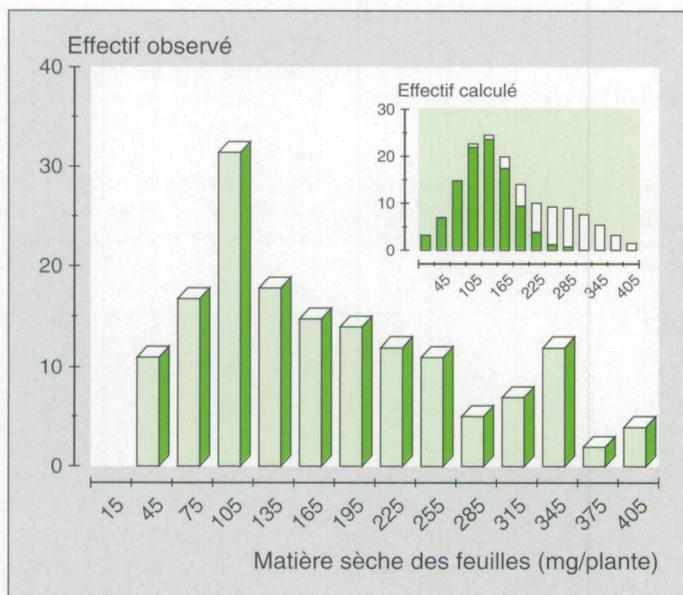
*Cahiers Agricultures* 1996 ; 5 : 365-72.

que  $\text{Na}^+$ . La sélectivité d'absorption et d'accumulation de  $\text{K}^+$  peut être appréciée en comparant les fractions ioniques équivalentaires  $\text{K}/(\text{K}^+\text{Na})$  dans les tissus et dans le milieu (où  $\text{K}/(\text{K} + \text{Na}) = 0,0004$ ). Les fractions ioniques équivalentaires  $\text{K}/(\text{K} + \text{Na})$  dans les feuilles sont très supérieures à celles du milieu (figure 5). Les plantes maintiennent donc une bonne sélectivité en faveur de  $\text{K}^+$ , malgré la prédominance de  $\text{Na}^+$  dans le milieu de culture. Ces résultats sont en accord avec ceux d'autres auteurs [15] sur *Atriplex hastata* L. Néanmoins, la sélectivité d'accumulation cationique présente une variabilité importante, la variation du rapport  $\text{K}/(\text{K} + \text{Na})$  dans les feuilles allant de 0,02 à 0,14 (figure 5). Les valeurs les plus élevées sont observées chez les plantes les plus petites, mais cette forte sélectivité des petites plantes en faveur de  $\text{K}^+$  résulte d'une accumulation supérieure de ce cation, plutôt que d'une moindre accumulation de  $\text{Na}^+$  (figure 5, cadres A et B).

## Discussion et conclusion

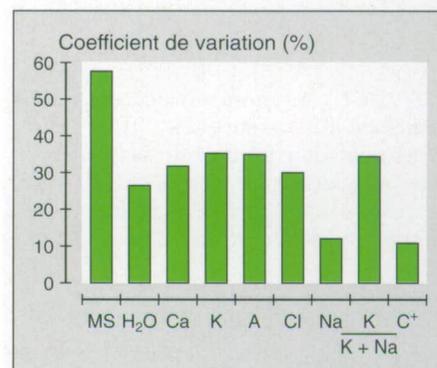
Notre travail a mis en évidence une forte hétérogénéité de la production de biomasse par les plantules d'*A. halimus* L. issues de graines provenant d'une même plante mère. L'histogramme des effectifs observés peut être simulé à partir de l'hypothèse de la somme de deux populations (figure 3), mais les coefficients de variation de chaque population calculés pour cet ajustement restent très élevés (40 et 30 % respectivement), et la variabilité observée ne peut donc résulter du seul mélange de deux populations. Un tel polymorphisme peut avoir deux origines : une diversité génétique entre des graines récoltées sur la plante mère (résultant de celle des pollens) et/ou une plasticité phénotypique, reflétant des différences de développement entre les diverses graines d'une même plante mère. Nous avons observé une très faible dis-

persion des valeurs individuelles des teneurs foliaires en  $\text{Na}^+$  (coefficient de variation = 12 %), comparées aux autres paramètres (par exemple la biomasse, où coefficient de variation = 58 %) (figure 4). La variabilité de la sélectivité  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  dans l'accumulation cationique foliaire résulte des variations de l'accumulation de  $\text{K}^+$  et non de celle de  $\text{Na}^+$ , ce qui représente un comportement remarquable. Chez le glycophyte *Sorghum bicolor* cultivé en présence de  $\text{NaCl}$ , le coefficient de variation de la biomasse est de l'ordre de 20 à 35 %, mais celui de la teneur en  $\text{Na}^+$  est compris entre 50 et 75 % [16]. La faible variabilité des teneurs ioniques (rapport « quantité d'ions/quantité de biomasse ») suggère soit que la production de biomasse est strictement conditionnée par l'accumulation des cations minéraux, soit que l'accumulation des cations est strictement déterminée par la croissance [17]. On peut imaginer deux types de mécanismes à l'origine de la relation croissan-



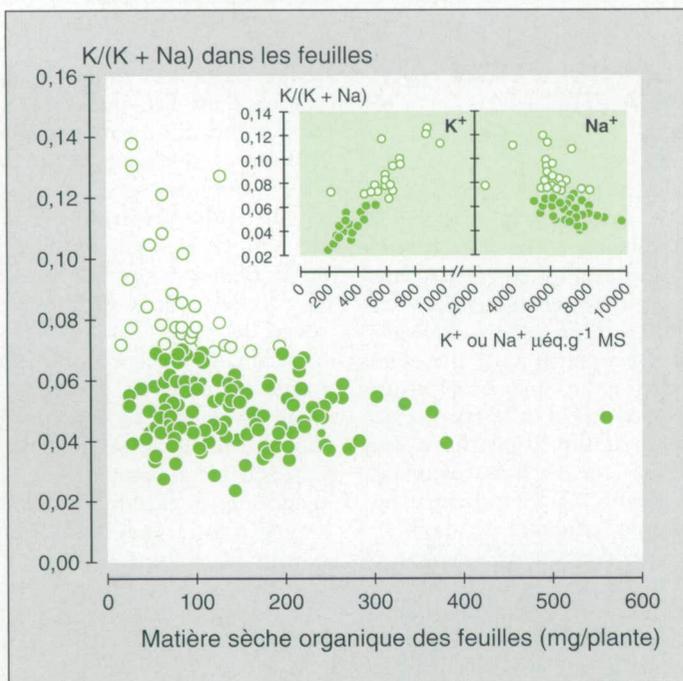
**Figure 3.** Distribution des masses de matière sèche des feuilles par plante. Les plantes ont été cultivées sur un milieu contenant 300 mM NaCl. Encadré : distribution théorique prévue par la somme de deux populations gaussiennes avec  $m_1 = 125$  ;  $s_1 = 50$  ;  $n_1 = 100$  ;  $m_2 = 275$  ;  $s_2 = 70$  ;  $n_2 = 50$ . Ces paramètres donnent un  $\chi^2 = 10,4$  pour une valeur théorique  $\chi^2 = 11,1$  pour  $p = 0,05$  (5 degrés de liberté).

**Figure 3.** Statistical distribution of leaf dry weight per plant. Insert : theoretical distribution for the sum of two Gaussian populations, with  $m_1 = 125$  ;  $s_1 = 50$  ;  $n_1 = 100$  ; and  $m_2 = 275$  ;  $s_2 = 70$  ;  $n_2 = 50$ . These parameters give a  $\chi^2 = 10.4$ , as compared to the theoretical  $\chi^2 = 11.1$  for  $p = 0.05$  (5 degrees of freedom).



**Figure 4.** Comparaison des dispersions des valeurs de la biomasse, des paramètres ioniques et de l'hydratation des feuilles. Le graphe donne les coefficients de variation exprimés en pourcentages (150 individus issus de la même plante mère, cultivés sur un milieu contenant 300 mM NaCl ; chaque valeur individuelle correspond à l'ensemble des feuilles d'une plante). MS : matière sèche des feuilles (mg) ;  $\text{H}_2\text{O}$  : ml d'eau/g MS ; teneurs ioniques ( $\mu\text{mol/g MS}$ ) :  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{A}^-$  (anions autres que  $\text{Cl}^-$ ) ; sélectivité  $\text{K}/(\text{K} + \text{Na})$  ;  $\text{C}^+ = \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$ .

**Figure 4.** Comparison of dispersions of leaf characteristics : biomass, water content, and ion concentrations. The graph represents the variation coefficients (%) for the different parameters (150 plants derived from seeds harvested from the same mother stock plant were analyzed separately, with each individual value corresponding to all of plant's leaves). MS : leaf dry weight (mg) ;  $\text{H}_2\text{O}$  : water content (ml/g DW) ;  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{A}^-$  and  $\text{C}^+ (= \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$  : ion concentrations (meq/g DW).



**Figure 5.** Relation entre la biomasse foliaire et la sélectivité d'accumulation cationique. Le rapport  $K/(K + Na)$  est calculé à partir des teneurs ioniques foliaires. Chaque point correspond à l'ensemble des feuilles d'une plante, cultivée sur un milieu contenant NaCl 300 mM. Les symboles ouverts identifient les individus présentant un rapport  $K/(K + Na)$  supérieures à 0,070. Ces individus sont plus riches en  $K^+$  que les autres (encadré de gauche), pour une même concentration en  $Na^+$  (encadré de droite).

**Figure 5.** Relationship between leaf biomass and ion accumulation selectivity. The  $K/(K + Na)$  ratio was calculated from the ion concentrations in the leaves. Each point corresponds to all leaves of a single plant. Open symbols represent individuals with a  $K/(K + Na)$  ratio of higher than 0,070. These individuals are characterized by a higher  $K^+$  concentration (left insert), with a similar  $Na^+$  concentration (right insert).

ce-accumulation cationique. L'un est trophique, l'autre osmotique. Chez *Atriplex*,  $NO_3^-$  est l'un des anions majeurs qui accompagnent les cations absorbés ; son assimilation aboutit à la synthèse d'oxalate, accumulé dans les tissus où il neutralise les cations qui avaient accompagnés  $NO_3^-$  [12, 18]. Ce processus aboutit à accumuler des cations proportionnellement à la quantité de formes réduites de l'azote produites à partir de  $NO_3^-$ . Par ailleurs, chez les *Atriplex*, l'ajustement osmotique des tissus nécessaire à la croissance se fait essentiellement par accumulation, dans la vacuole, d'ions inorganiques, parmi lesquels  $Na^+$  est dominant. La charge cationique des tissus est donc directement reliée à l'ajustement osmotique nécessaire à la croissance. Enfin, la part des anions  $A^-$  dans l'accumulation anionique est dominante (figure 2). Si l'oxalate est le composant majoritaire de ce pool, il serait important de diminuer sa contribution, pour améliorer la qualité nutritionnelle des feuilles d'*Atriplex*, en

utilisant la variabilité importante de la teneur en  $A^-$  (figure 4). En revanche, la très faible dispersion des teneurs en  $Na^+$  (figure 4), suggère que la variabilité disponible sur ce caractère est limitée. L'exposition de populations naturelles de plantes à divers facteurs environnementaux entraîne fréquemment l'apparition d'une large variabilité de nombreux caractères, qui peut révéler une hétérogénéité génétique préexistante [19, 21] ou des modifications génomiques induites par les facteurs environnementaux [22, 23]. Par exemple, chez *Sorghum bicolor*, l'adaptation à la salinité se traduit par une augmentation transitoire du coefficient de variation de la teneur en  $Na^+$ , qui passe de 50 à 130 % [16]. Rien de tel n'apparaît chez *Atriplex*, où l'on peut prévoir que les génotypes les plus productifs en biomasse auront toujours une charge foliaire élevée en cations, particulièrement  $Na^+$ , ce qui nuit à la qualité fourragère de la plante [8, 24]. Si la sélection de génotypes productifs est

## Résumé

Des graines récoltées en bord de mer sur un même pied mère d'*Atriplex halimus* L. cv. *halimus* ont été semées et les plantules cultivées sur milieu liquide synthétique, sous éclairage artificiel. La concentration de  $Na^+$  dans le milieu est ajustée à une valeur supra-optimale (300 mM), pour la production de biomasse. Les ions majeurs ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  et  $Cl^-$ ) sont dosés dans les racines, tiges et feuilles. Une hétérogénéité élevée est observée dans la production de biomasse, dans l'accumulation et dans la sélectivité  $K^+/Na^+$  lors de l'accumulation foliaire de ces ions. La dispersion des valeurs individuelles, mesurée par le coefficient de variation, diffère selon les paramètres : 58 à 75 % pour la masse de matière sèche, 30 à 35% pour la plupart des teneurs ioniques, et moins de 12% pour la teneur en  $Na^+$  ou en cations totaux. Le polymorphisme important de la production de biomasse permet d'envisager la sélection de génotypes à croissance rapide en milieu salin. Cependant, la forte corrélation linéaire entre la quantité de matière sèche et la quantité de  $Na^+$  indique que ces génotypes auront une charge foliaire élevée en cations (particulièrement en  $Na^+$ ), associés à l'anion oxalate.

envisagée, il conviendra d'élucider les causes de la liaison stricte entre production de biomasse et accumulation de cations, et de dissocier éventuellement ces deux paramètres pour améliorer la qualité fourragère d'*Atriplex* ■

## Références

1. Franclot A, Le Houérou HN. *Les Atriplex en Tunisie et en Afrique du Nord*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 1971 ; 271 p.
2. Le Houérou HN. Salt tolerant plants of economic value in mediterranean basin. In : *Reclamation and Revegetation Research*. Amsterdam : Elsevier, 1966 : 319-41.
3. Storey R, Wyn Jones RG. Responses of *Atriplex spongiosa* and *Suaeda monoica* to salinity. *Plant Physiol* 1979 ; 63 : 156-62.
4. Glenn EP, Hicks N, Riley J, Swingle S. Sea water irrigation of halophytes for animal feed. In : Choukr-Allah R, Malcolm CV, Hamdy A, eds. *Halophytes and biosaline agriculture*. New York, Basel, Hong Kong, 1995 : 221-36.
5. Zid E, Boukhris MN. Quelques aspects de la tolérance de l'*Atriplex halimus* L. au chlorure de sodium : multiplication, croissance et composition minérale. *Œcol Plant* 1977 ; 12 : 351-62.

6. El Hamrouni A. *Atriplex* species and other shrubs in range improvement in North Africa. In : *Reclamation and Revegetation Research*. Elsevier Sciences Publishers 1986 ; 5 : 151-8.

7. El Hamrouni A, Sarson M. *Appétabilité de certains Atriplex spontanés ou introduits en Tunisie*. Tunis : Institut national de recherches forestières (INRF), Note de recherche n° 8, 1975 ; 10 p.

8. Osmond CB, Björkman O, Anderson DJ. *Physiological processes in plant ecology. Towards a synthesis with Atriplex*. Berlin : Springer-Verlag, 1980 ; 463 p.

9. O'Leary JW, Glenn EP, Watson MC. Agricultural production of halophytes irrigated with sea water. *Plant Soil* 1985 ; 89 : 311-21.

10. Chatterton NJ, Mc Kell CM. *Atriplex polycarpa*. I. Germination and growth as affected by sodium chloride in water culture. *Agron J* 1969 ; 61 : 448-50.

11. Zid E. *Mécanismes de la nutrition minérale de la feuille de citrus et de son agression par le sodium*. Thèse de doctorat d'État, Université de Tunis, 1983 ; 418 p.

12. Osmond CB. Acid metabolism in *Atriplex*. I. Regulation of oxalate synthesis by the apparent excess cation absorption in leaf tissue. *Aust J Biol Sci* 1967 ; 20 : 575-87.

13. Jacob RH, Peet RL. Acute oxalate toxicity in sheep associated with slender ice plant (*M. nodiflorum*). *Aust Vet J* 1989 ; 66 : 91-2.

14. Morcombe P, Young G, Boase K. Liveweight changes and wool growth of sheep grazing saltbush. In : Davidson N, Galloway R, eds. *Productive use of saline land*. Aust Cent Internat Agric Res Proceedings, 1993 ; 42 : 79-84.

15. Greenway H, Osmond CB. Ion relation, growth and metabolism of *Atriplex* at high external electrolyte concentrations. In : Jones R, ed. *The Biology of Atriplex*. CSIRO : Canberra, 1970 : 49-56.

16. Amzallag GN, Seligmann H, Lerner HR. Induced variability during the process of adaptation in *Sorghum bicolor*. *J Exp Bot* 1995 ; 46 : 1017-24.

17. Pitman MG. Whole plants. In : Baker DA and Hall JL, eds. *Ion transport in Plant Cells and Tissues*. North-Holland, 1975 : 267-308.

18. Osmond CB. Oxalates and ionic equilibria in Australian saltbushes. *Nature* 1963 ; 198 : 503-4.

19. Austin RB, Longden PC. Effects of nutritional treatments of seed-bearing plants on performance of their progeny. *Nature* 1965 ; 205 : 819-20.

20. Hill J, Perkins JM. The environmental induction of heritable changes in *Nicotiana rustica*. Effects of genotype-environment interactions. *Genetics* 1969 ; 61 : 661-75.

21. Symeonidis L, MC Neilly T, Bradshaw AD. Inter-population variation in tolerance to cadmium, copper, lead, nickel, and zinc in nine populations of *Agrostis capillaris* L. *New Phytol* 1985 ; 101 : 317-24.

22. Cullis CA. DNA rearrangements in response to environmental stress. *Advances in Genetics* 1990 ; 28 : 73-97.

23. Schneeberger RG, Cullis CA. Specific DNA alterations associated with the environmental induction of heritable changes in flax. *Genetics* 1991 ; 128 : 619-30.

24. Mac Farlane WV. Salinity and the whole animal. In : Talsman T, Mac Millan JR Phillip, ed. *Salinity and water use*. London, 1971 ; 161-78.

## LA DÉPOLLUTION PAR LES PLANTES

La plupart des organismes vivants sont dotés de protéines qui ont pour fonction de capter et d'inactiver les ions lourds cytotoxiques. Cette propriété vient d'être mise à profit pour tenter de nettoyer des sols contaminés. Une plante transgénique, *Arabidopsis* exprimant un gène bactérien codant pour une enzyme qui fixe l'ion mercure du sol et le transforme en molécule métallique volatile a été obtenue. Cette plante a effectivement un pouvoir détoxifiant [1]. Cette démarche est quelque peu contestable dans la mesure où le rejet de mercure volatile par la plante n'est pas une solution totalement satisfaisante. Il existe de nombreuses autres protéines qui sont capables de fixer des ions lourds et de les stocker dans les plantes. Il reste à déterminer quelles protéines et quelles plantes sont les mieux adaptées aux problèmes à résoudre. Ce premier succès a un caractère symbolique important dans la mesure où le génie génétique vient apporter une contribution originale à la protection de l'environnement. Il devrait constituer un sujet de réflexion pour les « verts » qui ne voient dans la transgénèse qu'une opération fondamentalement polluante.

Louis-Marie Houdebine

[1. Raskin I. Plant genetic engineering may help with environmental cleanup. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996 ; 93 : 3164-6.]

## UN ESPION DANS LES PLANTES TRANSGÉNIQUES

La dissémination incontrôlée des plantes transgéniques dans les champs est un problème crucial pour les espèces apparentées qui vivent naturellement dans leur voisinage. Ce problème non résolu soulève, à juste titre, de nombreuses discussions et il empêche l'exploitation de certaines nouvelles variétés qui présentent un intérêt commercial réel. La difficulté vient aussi du fait qu'il est particulièrement difficile d'imaginer les effets à long

terme de la dissémination de certaines plantes dans l'environnement. Un gène rapporteur utilisé par les biologistes pour les plantes comme pour les animaux, le GFP (*green fluorescent protein*), a l'avantage de coder pour une protéine qui devient fluorescente sans addition de substrat dès lors qu'elle est irradiée par une lumière bleue ultraviolette. La présence du gène GFP permet de repérer ainsi très facilement une plante transgénique. Il pourrait servir de marqueur pour des études écologiques en permettant de suivre sa dissémination. Il pourrait également permettre de repérer puis d'éliminer à grande échelle les plantes transgéniques indésirables abritant en plus un gène d'intérêt économique [1].

L.-M. H.

[1. Neal Stewart C. Monitoring transgenic plants using *in vivo* markers. *Nature Biotechnology* 1996 ; 14 : 682.]

## LA VACCINATION PAR LES PLANTES TRANSGÉNIQUES SE CONFIRME

Des souris gavées avec des extraits de feuille de tabac et de pomme de terre transgéniques exprimant la protéine du virus Norwalk ont une réponse immunitaire qui se traduit par la synthèse spécifique d'IgG et d'IgA. Des souris nourries directement avec les pommes de terre transgéniques elles-mêmes se retrouvent également avec des IgG antiviral dans leur sérum [1]. Le virus Norwalk est un calicivirus qui est responsable d'épidémies de gastro-entérites aiguës. Un nouveau mode efficace, très simple et très peu onéreux de vaccination a peut-être bel et bien été trouvé. Il est en tout cas adapté à une vaccination en masse pour les habitants des pays pauvres.

L.-M. H.

[1. Mason HS, Ball JM, Shi JJ, Jiang X, Estes MK, Arntzen CJ. Expression of Norwalk virus capsid protein in transgenic tobacco and potato and its oral immunogenicity in mice. *Proc Natl Acad Sci USA* 1996 ; 93 : 5335-40.]