

Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées :

S. A. Snoussi⁽¹⁾ et A. Halitim⁽²⁾

(1) Université de Blida - Institut d'Agronomie B.P. 270 Blida 09000. Algérie.

(2) Université de Batna. Institut d'Agronomie. Batna, Algérie

RÉSUMÉ

Dans les régions à climat chaud et aride, les besoins en eau des cultures sont élevés alors que l'eau disponible présente souvent une forte minéralisation défavorable à son utilisation en irrigation. Une des possibilités pour développer des productions légumières et horticoles dans ces régions est d'utiliser les sols peu évolués (régosols) comme support inerte pour les cultures et d'assurer l'intégralité des besoins en eau et en sels minéraux des plantes par la transformation des eaux naturelles en solutions nutritives.

Les diminutions de hauteur, de vitesse de croissance, du nombre de feuilles, du nombre de fruits, de la production de fruits et de la biomasse produite sont en relation directe avec la concentration saline des eaux naturelles. La conséquence en est une diminution de la végétation et de la qualité de certaines productions, en particulier du haricot.

L'addition d'éléments nutritifs aux eaux naturelles salines permet de diminuer l'effet de la salinité en accroissant à la fois la production totale et la qualité des fruits. En outre, le cycle de développement des plantes peut devenir très proche des situations irriguées avec des eaux initialement de bonne qualité.

La transformation des eaux naturelles salines en solutions nutritives modifie de façon significative les paramètres de croissance et de production. Les variations sont plus importantes chez la tomate que chez le haricot. La comparaison des productions obtenues pour les deux espèces testées, montre que la tomate cultivée dans les eaux corrigées T1C (eau fortement saline de Gassi-Touil A corrigée) et T3C (eau saline de l'Oued Cheliff corrigée) se distingue de celle obtenue dans les eaux naturelles. La production de matière sèche totale et de fruits est 13 à 16 fois plus importante. En revanche, pour le haricot, les eaux corrigées accroissent seulement d'environ 6 fois les paramètres précités.

Mots clés

Salinité, hydroponie, macro-éléments, solution nutritive, tomate, haricot.

SUMMARY

VALORIZATION OF SALINE WATER FOR THE MINERAL NUTRITION OF CROP PLANTS : Case of tomato and bean

In hot arid areas plants have greater water requirements. However natural water supply is frequently of poor quality for irrigation. One possible means of developing vegetable culture and horticulture in such regions is to utilize poor soils (regosols) as an inert substrate which can be irrigated with locally available water to which appropriate nutrients have been added.

One particular concern with such a strategy is the salt concentration of the water supply. Excess salt can lead to decrease plant height, growth rate, leaf number, fruit size, fruit number and total biomass produced. Beans are particularly sensitive to such effects.

Addition of nutrients to saline water irrigation reduces the effects of salinity and improve both aggregate production and fruit quality.

When optimized such a system can support growth and development rates nearly equal to those achieved in unsalinised plants. In tomato and bean, growth was significantly improved with supplemented irrigation water compared with natural water. Tomatoes growing in modified solutions (i.e. T1C and T3C) produced 16 and 13 times more biomass, respectively, than plants growing in natural water. In contrast, bean yielded only six-times more biomass with supplements irrespective of the solutions used.

Key-words

Salinity, hydroponics, macroelements, nutrient solution, tomato, bean

RESUMEN

VALORISACIÓN DE LAS AGUAS SALINAS PARA LA NUTRICIÓN MINERAL DE LAS PLANTAS CULTIVADAS : el caso del tomate y del frijol

En las regiones de clima caliente y árido, las necesidades en agua de los cultivos son elevadas; el agua disponible en esas regiones presenta frecuentemente una fuerte mineralización desfavorable a su uso en la irrigación. Una de las posibilidades para desarrollar las producciones hortícolas de estas regiones es utilizar los suelos poco desarrollados (regosoles) como soporte inerte de los cultivos y aportar la integridad de las necesidades en agua y en sales minerales con la transformación de las aguas naturales en soluciones nutritivas.

Las disminuciones de altura, de velocidad de crecimiento, del número de hojas, del número de frutas, de la producción de frutas y de la biomasa producida están relacionadas directamente con la concentración salina de las aguas naturales. La consecuencia es una disminución de la vegetación y de la calidad de la producción, en particular del frijol.

La adición de elementos nutritivos a las aguas naturales permiten de disminuir el efecto de la salinidad, aumentando a la vez la producción total y la calidad de las frutas. Esto permitiría que el ciclo de desarrollo de las plantas pudiera estar muy cerca de las situaciones irrigadas con aguas inicialmente de buena calidad.

La transformación de las aguas naturales salinas en soluciones nutritivas cambia, de manera significativa, los parámetros de crecimiento y producción. Las variaciones son más importantes para el tomate que para el frijol. La comparación de las producciones obtenidas en las dos especies, muestra que el tomate cultivado con aguas corregidas T1C (agua fuertemente salina de Goussi-Touil A corregida) y T3C (agua salina del Oued Cheliff corregida) se diferencia de la obtenida con aguas naturales. La producción de materia seca total es entre 13 y 16 veces más importante. Contrariamente, en el frijol las aguas corregidas aumentan únicamente 6 veces aproximadamente los parámetros citados.

Palabras claves

Salinidad, hidroponía, macroelementos, solución nutritiva, tomate, frijol.

Dans les régions arides, la pluie ne peut pas être considérée comme la source principale de l'eau pour la plante : son utilisation est aléatoire en raison de l'irrégularité du climat. La réussite des productions végétales dans ces régions dépend des eaux souterraines, qui constituent la seule ressource utilisable. Les besoins en eau des cultures dans ces régions sont élevés, alors que l'eau disponible présente souvent une forte minéralisation, défavorable à son utilisation directe en irrigation. De nombreux travaux (Sutcliff, 1962; Rains, 1972; Slama, 1982; Hajji, 1983; World Ressources, 1987; Bizid et al., 1988; Slama, 1991) ont porté sur les effets propres au chlorure de sodium en raison de son importance dans les environnements salins. Pourtant, l'analyse des sols et des eaux d'irrigation a révélé la présence fréquente de nombreux sels autres que NaCl ($MgSO_4$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, KCl, Na_2SO_4) susceptibles d'influencer le comportement et le rendement marchand d'un végétal face à un milieu donné.

D'après les estimations de l'Institut des Ressources Mondiales, plus de la moitié des terres irriguées du monde sont

devenues salées, sodiques ou sujettes à l'engorgement en raison de l'utilisation de méthodes d'irrigation inadaptées, de mauvais systèmes de drainage et de l'utilisation des eaux salées. Dans les régions méditerranéennes, le problème de salinité, bien qu'étant moins contraignant qu'en milieu aride, est néanmoins notable (tableau 1).

Certains sels peuvent être toxiques pour les plantes ou peuvent en affecter la balance nutritionnelle s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale. La tolérance des plantes cultivées vis à vis de la salinité varie largement en fonction de l'espèce, de la variété, du stade végétatif et des facteurs liés au milieu (température, humidité, intensité de la lumière et fertilité). C'est pourquoi l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation diffère selon le pays (tableau 2) (Daoud et Halitim, 1994)

L'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée par capillarité et osmose. Elle est donc d'autant plus aisée que la solution du sol est à une pression osmotique plus faible (Mengel et Kirkby, 1982). Au fur et à mesure que la salinité de la solution du sol augmente, son potentiel osmotique

Tableau 1 - Estimation du pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays de la Méditerranée (World Ressources, 1987)

Table 1 - Estimation of the percentage of irrigated soils affected by salinity in some of Mediterranean countries (World Ressources, 1987)

Pays	% des terres atteintes	Pays	% des terres atteintes
Algérie	10 - 15	Grèce	7
Chypre	25	Jordanie	16
Egypte	30 - 40	Maroc	10 - 15
Espagne	10 - 15	Portugal	10 - 15
Israël	13	Syrie	30 - 35

Tableau 2 - Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation en Algérie.

Table 2 - Quality of water used for irrigation in Algeria

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation américaine	Evaluation russe	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE < 0,25	< 0,2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non saline
0,25 < CE < 0,75	0,2-0,5	Moyennement salée	-	Salinité moyenne
0,75 < CE < 2,25	0,5-1,5	Fortement salée	Risque de salinisation	Forte salinité
2,25 < CE < 5	1,5-3	Très fortement salée	-	Très forte salinité
5 < CE < 20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

Source : Daoud et Halitim, (1994)

diminue, ce qui réduit la disponibilité de l'eau pour la plante. A cet effet « soif » s'ajoute, lorsque le niveau de salinité est important, une absorption déséquilibrée des cations qui peut conduire à l'intoxication de la plante (Katerji, 1995).

Dans cet article, à partir d'eaux jugées impropres à l'irrigation, des solutions nutritives susceptibles de convenir aux plantes ont été élaborées. La transformation des eaux de compositions défavorables en solutions nutritives impose d'éliminer les bicarbonates, nocifs pour la plante, et d'apporter des éléments nutritifs utiles qui, par le jeu des antagonismes, pourraient éviter l'absorption d'ions présents en excès dans ces eaux salines et qui ne sont souvent nécessaires qu'en petites quantités (Lesaint et Coic, 1983).

Les recherches ont principalement été menées à la station expérimentale de l'Institut d'Agronomie de l'université de Blida (Algérie), en prenant pour référence les eaux des nappes souterraines de Gassi Touil et de l'Oued Cheliff dont les compositions sont naturellement défavorables à une utilisation en agriculture. Le but des recherches a été d'obtenir des informations sur la physiologie des plantes afin d'examiner les possibilités d'utilisation de ressources hydrauliques représentatives du contexte algérien.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Conditions expérimentales

Deux expérimentations ont été conduites en hydroponie dans des pots de capacité de 3,5 l, troués à leur base, remplis de gravier quartzueux d'oued de 3-8 mm, préalablement lavé, désinfecté et rincé abondamment. Un plant par pot a été mis en place. Deux espèces végétales, la tomate (variété Marmande, moyennement sensible) et le haricot (variété Contender sensible à la salinité), ont été testées.

Une première série d'essais a été effectuée sur 126 plants de tomate. Après germination à 25 °C les plantules ont été repiquées dans les pots et arrosées avec l'eau de Blida durant 48 heures (tableau 3). Ensuite l'eau de Blida a été remplacée par la solution nutritive témoin (T4) durant dix jours (tableau 4). Après ce délai, l'arrosage a été effectué avec les eaux correspondantes aux différents traitements.

Dans la seconde série d'essais, 126 plants de haricots ont également été utilisés. Après trempage dans l'eau distillée pendant 24 heures, les graines ont été mises en pots et arrosées avec l'eau de Blida jusqu'à l'apparition des cotylédons. A ce stade physiologique, l'eau de Blida a été remplacée par la solution nutritive témoin (T4) jusqu'à l'apparition de la première feuille trifoliée. Passé cette période, l'arrosage des plants a été effectué avec différentes solutions.

Les essais ont été conduits jusqu'à la récolte des fruits. Les mesures ont porté sur le rythme de croissance, la hauteur finale des plants, le nombre de feuilles, la période floraison-nouaison (précocité), le nombre et la production de fruits, la biomasse sèche totale produite et la qualité organoleptique de la tomate.

L'évaluation des besoins hydriques des cultures a été calculée en utilisant un dispositif permettant d'estimer l'évapotranspiration maximale journalière (ETM). Celle-ci a été majorée de 30 % pour obtenir une lixiviation des sels en excès. Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une analyse de variance correspondant aux dispositifs adoptés et les moyennes ont été classées selon la méthode Newman et Keuls.

Traitements expérimentaux

Ils correspondent aux différentes eaux sélectionnées et aux solutions nutritives qui ont été spécialement préparées pour les expériences. Le traitement T4 correspond à la solution nutritive témoin préparée avec de l'eau de Blida selon les normes définies par Coïc et Lesaint (1983).

Tableau 3 - Composition des eaux naturelles testées (Cmol⁺/l)

Table 3 - Composition of tested waters (Cmol⁺/l)

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca/K	CE mmhos/cm
T1 - pH=7,8 Gassi Touil A	0,10	0	16,75	13,25	2,21	16,50	9,10	8,40	0,50	18,20	3,45
T2 - pH=7,8 Gassi Touil B	0,35	0	15,17	36,88	2,76	30,45	16,90	7,25	1,95	8,66	5,65
T3 - pH=7,8 Oued Cheliff	0,35	0	9,35	14,86	6,51	9,90	9,25	9,20	0,35	26,42	2,87
T4 - pH=7,2 eau de Blida	0,35	0	0,80	0,60	4,08	1,30	2,80	1,80	0,00		0,59

Les traitements T1, T2, T3, représentent des eaux naturelles existant en Algérie (tableau 3). Ces eaux d'irrigation sont considérées comme très fortement salées (Daoud et Halitim, 1994). Elles renferment des teneurs nettement supérieures aux besoins de certaines espèces végétales notamment pour Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{2-} , et Cl^- . C'est pourquoi on ne peut raisonner qu'au cas par cas, sans prendre en considération l'équilibre K^+ , Ca^{++} et Mg^{++} .

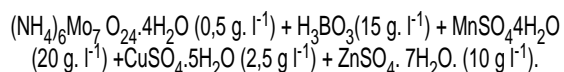
A partir de l'eau de Blida, les eaux salées de Gassi Touil et de l'oued Chélif ont été reconstituées au laboratoire selon les critères suivants :

- Prise en compte des éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida (anions et cations).
- Apport des éléments manquants afin d'avoir un total anions et cations le plus proche possible de la composition des eaux T1, T2 et T3 initiales.

La transformation des eaux naturelles en solutions nutritives a été effectuée au laboratoire sur les bases suivantes (tableau 4) :

- Ajustement du pH des solutions à une valeur optimale pour le végétal en culture (pH = 5.5 à pH = 5.8),
- Prise en compte des éléments minéraux utiles déjà présents dans l'eau,
- Apport des éléments manquants, en faisant jouer les antagonismes qui limitent les effets nocifs des ions en excès (sodium principalement).

Tous les traitements à l'exception des eaux naturelles (T1, T2 et T3) ont reçu du fer et des oligo-éléments. Le fer a été apporté à raison de 5 ml. l^{-1} de solution prête à l'utilisation, de concentration 2 g. l^{-1} sous forme de sequestrène de fer 138 Fe. Les oligo-éléments ont été ajoutés à raison de 0,1 ml. l^{-1} . Il s'agit de :



RÉSULTATS

Les résultats qui sont présentés s'appuient sur un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet à deux répétitions.

Croissance et développement des Plantes

Pour l'ensemble des paramètres retenus, des différences significatives apparaissent clairement entre les eaux naturelles et les eaux corrigées (tableau 5). Ainsi la taille finale et le nombre de feuilles des plantes sont plus faibles avec les eaux naturelles qu'avec les eaux corrigées. En premier lieu, ceci apparaît du au déséquilibre ionique entre les éléments de la solution. En second lieu, la déficience en phosphore et en oligo-éléments de la solution doit certainement jouer un rôle important. En effet, on sait que la carence en ces éléments provoque d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes. Par la suite, cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes, provoquant des troubles dans les diverses fonctions de la plante, ce qui entraîne un ralentissement puis un retard de croissance (Diehl, 1975; Zuang, 1987; Morard, 1995). En même temps, une faible activité photosynthétique induit la présence de feuilles déformées, avec de petites taches à leur périphérie (Heller, 1977). Les feuilles se nécrosent rapidement et se dessèchent prématurément.

En revanche, après 37 jours, les solutions préparées à partir des eaux corrigées ont permis un développement tout à fait correct du haricot. Par contre, 65 jours après le semis du haricot et 55 jours après repiquage de la tomate, la salinité et la correction des eaux exercent une action significative sur la vitesse de croissance des plants.

Il est à noter que les plants issus des traitements eaux naturelles forment un groupe statistiquement homogène et ce, quelle que soit la période de croissance. Le ralentissement de croissance des plants est dû à l'effet direct de la salinité des

Tableau 4 - Composition des eaux naturelles transformées en solutions nutritives (Cmol^+/l)

Table 4 - Composition of the nutritive solutions derived from natural waters (Cmol^+/l)

	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	CE mmhos/cm
T1C - pH=5,8 Gassi Touil A	10,20	3,3	14,75	13,80	1,80	16,50	9,10	8,40	7,60	4,20
T2C - pH=5,8 Gassi Touil B	10,20	3,3	15,55	37,80	1,80	30,45	16,90	7,25	9,10	6,68
T3C - pH=5,8 Oued Cheliff	10,20	3,3	8,62	13,73	1,80	9,90	9,25	9,20	4,35	3,58
T4 - pH=5,8 Témoin	10,20	3,3	1,50	0,60	1,80	1,30	5,10	1,80	4,25	1,56

Tableau 5 - Paramètres de croissance pour des tomates et des haricots en fonction de la composition de la solution
 Table 5 - Growth parameters for tomatoes and beans as a function of solution composition.

	Hauteur finale (cm)		Vitesse de croissance cm.j^{-1}				Nombre final de feuilles	
	Tomate	Haricot	Tomate m	Haricot n	Tomate p	Haricot q	Tomate	Haricot
T1	55,28 $\pm 0,18$ b	37,18 $\pm 1,95$ a	0,60 $\pm 0,08$ b	0,41 $\pm 0,02$ a	0,62 $\pm 0,02$ c	0,31 $\pm 0,02$ b	13,35 $\pm 0,51$ c	07,0 $\pm 0,19$ c
T1C	72,71 $\pm 2,11$ a	39,46 $\pm 1,27$ a	0,50 $\pm 0,08$ b	0,39 $\pm 0,05$ a	1,02 $\pm 0,02$ b	0,43 $\pm 0,02$ a	15,71 $\pm 0,20$ a	14,56 $\pm 1,21$ b
T2	46,14 $\pm 0,28$ c	31,81 $\pm 1,95$ b	0,66 $\pm 0,08$ b	0,32 $\pm 0,02$ b	0,61 $\pm 0,07$ c	0,33 $\pm 0,01$ b	12,07 $\pm 0,30$ d	6,49 $\pm 0,69$ c
T2C	65,30 $\pm 1,26$ a	37,43 $\pm 2,65$ a	0,57 $\pm 0,01$ b	0,45 $\pm 0,02$ a	1,03 $\pm 0,03$ b	0,48 $\pm 0,02$ a	14,50 $\pm 0,30$ b	13,69 $\pm 0,37$ b
T3	57,28 $\pm 3,37$ b	42,13 $\pm 0,44$ a	0,62 $\pm 0,05$ b	0,41 $\pm 0,03$ a	0,64 $\pm 0,05$ c	0,32 $\pm 0,02$ b	14,64 $\pm 0,51$ b	6,18 $\pm 1,03$ c
T3C	70,76 $\pm 4,23$ a	43,06 $\pm 0,87$ a	0,51 $\pm 0,03$ b	0,49 $\pm 0,05$ a	1,02 $\pm 0,02$ b	0,47 $\pm 0,04$ a	16,14 $\pm 0,01$ a	14,93 $\pm 0,33$ b
T4	71,69 $\pm 0,45$ a	41,17 $\pm 1,21$ a	0,84 $\pm 0,08$ a	0,46 $\pm 0,05$ a	1,22 $\pm 0,01$ a	0,45 $\pm 0,04$ a	16,0 $\pm 0,20$ a	17,41 $\pm 1,22$ a

m : 25 jours après repiquage **n** : 37 jours après semis **p** : 55 jours après repiquage **q** : 67 jours après semis

solutions. La comparaison de ces deux séries de solutions permet de conclure que, chez la tomate, les traitements solutions nutritives provoquent les accroissements de hauteurs finales élevés mais le nombre de feuilles par plant est plus faible comparativement à celui du haricot.

La période d'apparition des fleurs et des fruits varie avec les traitements. Une différence est observée entre les eaux naturelles et les eaux ou solutions corrigées (tableau 6). A l'inverse, cette différence s'estompe entre les eaux corrigées et le témoin.

Les différents traitements n'ont pas d'influence significative sur la date de pleine floraison et de pleine nouaison du bouquet 1. Par contre la correction des eaux exerce un effet significatif sur la pleine floraison et la pleine nouaison du bou-

quet 2. Les plants ayant poussé avec des eaux corrigées forment leur deuxième bouquet floral en un laps de temps plus court qu'avec les eaux naturelles. La présence du phosphore à un niveau suffisant dans les solutions corrigées peut expliquer ce résultat puisque cet élément nutritif est, on le sait, un stimulateur de la floraison (Eliard, 1987).

Après un cycle végétatif moyen de $78,83 \pm 2,69$ jours, la salinité provoque un effet négatif sur la nouaison du bouquet 2 de la tomate notamment avec les eaux non corrigées, alors qu'elle se poursuit activement avec les eaux corrigées. De ce fait, avec les eaux non corrigées, on peut dire que le déficit en phosphore se fait plus ressentir juste après la nouaison du bouquet floral soit à $64 \pm 1,58$ jours après le semis.

Tableau 6 - Floraison et nouaison des plantes (jours après semis) de tomate

Table 6 - Tomato flowering (days after sowing)

	Pleine floraison		Pleine nouaison	
	Bouquet 1	Bouquet 2	Bouquet 1	Bouquet 2
T1	51,0 ± 2,53 a	81,0 ± 2,93 a	64,0 ± 3,33 a	absent c
T1C	51,0 ± 3,13 a	58,5 ± 0,81 c	62,5 ± 3,03 a	69,5 ± 0,10 a
T2	50,5 ± 3,23 a	73,0 ± 2,93 b	63,5 ± 0,20 a	absent c
T2C	47,5 ± 1,01 a	60,5 ± 3,43 c	60,0 ± 0,51 a	70,0 ± 0,61 a
T3	50,0 ± 1,72 a	82,5 ± 2,22 a	64,5 ± 1,21 a	absent c
T3C	49,5 ± 2,53 a	62,0 ± 2,73 c	59,0 ± 1,92 a	69,5 ± 1,52 b
T4	51,0 ± 2,53 a	54,0 ± 2,73 c	59,0 ± 3,74 a	64,0 ± 0,81 b

Les résultats obtenus concernant les paramètres de production (tableau 7) montrent bien que l'addition des éléments majeurs N, P, K et le réajustement de l'équilibre ionique des eaux salines ont permis un accroissement significatif du nombre de fruits et de la production totale de fruits récoltés par plant, mais aussi de la biomasse sèche totale produite, ce qui est conforme aux résultats de Nicklow et Downes (1971).

Ainsi le poids de 100 graines est réduit significativement lorsque la salinité augmente. Mais la salinité ne saurait à elle seule expliquer les résultats. Il faut aussi faire intervenir le phosphore qui est totalement absent des eaux non corrigées. Cet élément est d'ailleurs reconnu comme étant un régulateur de la mise à fleur et de la formation des graines (Eliard, 1987). Les concentrations élevées en calcium (16,9 Cmol⁺/l) et en sodium (30,45 Cmol⁺/l) sont aussi susceptibles d'inhiber l'absorption du potassium par la plante et contribuent sans doute à limiter la production de grains.

Si la correction des eaux naturelles augmente de manière significative la production de grains de haricots (22,99 % pour T1C, 40,72 % pour T2C et 24,74 % pour T3C), les effets de la correction des eaux sont plus marqués pour la tomate que pour le haricot. Seuls les plants de tomate dans le milieu T2C, le plus fortement salé, manifestent un faible accroissement de production par rapport au traitement naturel correspondant. La comparaison des résultats obtenus entre les traitements corrigés et la solution nutritive de base (témoin) indique que les solutions corrigées T1C et T3C permettent une forte production de tomate et de haricot. Cependant avec le traitement T2C on doit s'interroger sur l'importance de teneurs élevées en potassium (9,10 Cmol⁺/l) qui peuvent inhiber l'absorption de magnésium, élément indispensable à la photosynthèse, et en conséquence la fécondation, la fructification et le développement des grains.

On sait en effet que la toxicité des ions Mg⁺⁺ compagnons du chlore serait plus élevée que celle du Mg lié aux sulfates (Szabolcs et Darab, 1979).

Effet de la qualité de la solution d'irrigation sur les caractéristiques organoleptiques de la tomate

Le tableau 8 permet de montrer que la correction de la qualité de l'eau a aussi un effet sur la qualité des fruits, notamment sur leur acidité, qui on le sait, peut largement être reliée à leur saveur. L'écart par rapport aux fruits issus des solutions naturelles est de 49,51 % (T1C), 70,28 % (T2C) et 60 % (T3C). En outre, l'acidité dans les fruits est maximale pour T2C et peut être attribuée à la concentration élevée en potassium. En revanche, la quantité de sucres totaux (sucres simples et sucres réducteurs) est légèrement plus élevée dans les fruits issus des solutions naturelles à l'exception du T3C où l'on observe une augmentation plus sensible.

DISCUSSION ET CONCLUSION

Ces expérimentations ont été entreprises afin d'obtenir des informations sur la physiologie des plantes avec en perspective une application pratique pour des cultures hors sol. Les apports des eaux salines naturelles (T1, T2 et T3) et des eaux salines corrigées (T1C, T2C et T3C) ont été effectuées sur des plants de tomate et de haricot afin d'évaluer leur croissance et leur développement, ainsi que la qualité des fruits obtenus.

Les résultats expérimentaux illustrent les effets très positifs de la correction des eaux naturelles sur la production de la tomate, variété Marmande (espèce moyennement sensible) et du haricot, variété Contender (espèce sensible à la salinité). Il n'existe aucune différence significative pour la majorité des

Tableau 7 - Production de fruits et biomasse totale sèche (g/plante)

Table 7 - Fruit production and total dry biomass (g/plant)

	Nombre de fruits		Production fruit g/plant		Biomasse sèche totale *		Poids 100 graines
	Tomate	Haricot	Tomate	Haricot	Tomate	Haricot	Haricot
T1	2,00 ± 0,42 b	2,25 ± 0,77 c	90,47 ± 17,60 d	9,76 ± 2,31 c	12,12 ± 2,29 c	4,64 ± 1,21 c	67,10 ± 1,60 c
T1C	20,78 ± 3,72 a	16,13 ± 0,15 a	1215,13 ± 151,87 b	46,07 ± 4,87a	172,91 ± 8,37 a	16,57 ± 1,03 b	87,14 ± 0,49 b
T2	3,78 ± 0,69 b	1,54 ± 0,71 c	117,50 ± 28,56 d	6,14 ± 1,58 c	12,55 ± 2,41 c	2,24 ± 1,35 c	46,46 ± 9,07 d
T2C	17,21 ± 1,30 a	12,50 ± 0,48 b	786,72 ± 33,70 c	32,75 ± 2,80 b	122,51 ± 4,54 b	13,91 ± 1,40 b	78,68 ± 1,26 bc
T3	2,14 ± 0,62 b	3,08 ± 0,45 c	80,39 ± 15,60d	7,80 ± 0,63 c	9,68 ± 1,73 c	4,01 ± 0,55 c	68,79 ± 2,49 c
T3C	20,28 ± 4,05 a	17,51 ± 0,36 a	1031,70 ± 173,31 bc	50,87 ± 4,66 a	154,80 ± 20,55 a	21,17 ± 2,56 a	91,41 ± 6,43 b
T4	23,57 ± 0,62 a	19,24 ± 2,93 a	1803,60 ± 50,73 a	51,72 ± 0,66 a	172,02 ± 7,08 a	21,97 ± 0,17 a	111,43 ± 0,01 a

* Biomasse sèche totale = MS Feuille + MS tige + MS fruit (g/plant)

paramètres mesurés entre les résultats obtenus avec les eaux naturelles (T1, T2, et T3), ni entre les traitements corrigés entre eux (T1C, T2C et T3C) avec le témoin (T4).

Dans les eaux naturelles, la diminution de la taille des plantes, de la vitesse d'apparition du nombre de feuilles, du nombre de fruits, de la production de fruits et de la biomasse sèche totale est en relation directe avec la concentration des sels. En effet, les plants de tomate et de haricot irrigués avec les eaux naturelles T1 et T3 sont de taille et de poids frais supérieurs à ceux irrigués avec une eau très fortement salée (T2). La taille des plants issus du T2 est réduite de 35,63 % pour la tomate et de 22,73 % pour le haricot et ce par rapport au témoin (T4).

L'addition d'éléments nutritifs majeurs et mineurs dans les eaux salines a conduit à une augmentation de la croissance des plantes. Cet accroissement pour la tomate et le haricot a été respectivement de 23,97 % et 6,25 % pour T1C, de 29,34 % et de 15,01 % pour T2C et de 19,05 % et 2,5 % pour T3C. La correction de la qualité de l'eau change le schéma morphogénétique des plantes, puisque le nombre de feuilles des plantes issues des eaux corrigées est statistiquement différent de celui des plantes alimentées par des eaux naturelles. En revanche, la salinité naturelle réduit la production de biomasse totale et fait chuter le nombre de feuilles. Ceci peut être attribué à une forte accumulation en ions Na⁺ toxiques (Lachaâl et al., 1996). Cette évolution

Tableau 8 - Acidité (g d'acide citrique, 100 g⁻¹ de Jus) et sucres totaux en % de la tomateTable 8 - Tomato acidity (g of citric acid, 100 g⁻¹ of juice) and total sugars(%)

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Acidité ₍₁₎	0,52 ± 0,02 d	1,03 ± 0,04 b	0,41 ± 0,03 d	1,38 ± 0,05 a	0,40 ± 0,01 d	1,0 ± 0,03 b	0,81 ± 0,05 c
Sucres totaux %	2,03 ± 0,02 b	1,92 ± 0,01 c	1,94 ± 0,03 c	1,84 ± 0,03 d	1,92 ± 0,01 c	2,08 ± 0,08 a	1,92 ± 0,01 c

(1) : g acide citrique 100 g⁻¹ jus

qui est observée pour les eaux naturelles (T1, T2, et T3) pourrait aussi être associée à des rapports $\text{Ca}^{++}/\text{K}^+$ très élevés (tableau 3), susceptibles d'aboutir à un état de sénescence foliaire (Yéo et Fliwwers, 1986).

La faiblesse de production de fruit enregistrée au niveau des traitements du T2 et T2C peut tout d'abord attribuée à une forte pression osmotique qui inhibe l'absorption de l'eau. Elle peut aussi être expliquée par une concentration élevée des chlorures par rapport aux sulfates ($\text{Cl}/\text{SO}_4 = 2,43$) et par une concentration anormalement élevée en ion Na^+ ($30,45 \text{ Cmol}^+/l$) qui a des effets défavorables sur le développement de certaines cultures, en particulier du haricot. Il est en effet admis que les plantes peuvent tolérer entre 10 et $20 \text{ Cmol}^+/l$ de Na^+ . En conséquence, la concentration de $30,45 \text{ Cmol}^+/l$ dans les milieux T2 et T2C induit indubitablement des phénomènes de toxicité. Néanmoins la présence marquée de l'élément Ca^{++} à raison de $16,9 \text{ Cmol}^+/l$ dans ces deux traitements, intervient en limitant l'entrée de sodium, de potassium et de magnésium lorsqu'ils sont en excès (Lesaint et Coïc, 1982). Selon ces mêmes auteurs, des troubles de l'assimilation des éléments minéraux engendrent en même temps un déséquilibre dans l'absorption d'autres éléments tels que Mg, Bo, Zn, Fe et Mn et aboutissent ainsi au phénomène de chlorose avec ralentissement de la photosynthèse et par voie de conséquence réduction de la vitesse de croissance. Par contre, dans le traitement T2C, la présence de potassium à raison de $9,1 \text{ Cmol}^+/l$, dans le milieu, accroît l'efficacité de la fumure azotée, en favorisant la régulation de la synthèse des protéines de la plante.

Au terme de cette expérience, on peut conclure que la transformation des eaux salines naturelles en solutions nutritives permet d'entrevoir des perspectives intéressantes pour la croissance végétale en milieu salé. L'accroissement de la production végétale dans les zones arides, caractérisées par des potentialités hydriques importantes mais salées et la présence de sols sableux, pourrait être un terrain d'application d'une telle technique.

Toutes ces expériences ont été réalisées sur du gravier quartzes. Dans de telles conditions, il n'y a pas d'interaction importante entre la solution d'irrigation et le substrat support des plantes. Ces résultats peuvent donc, dans certaines conditions, être transposés à des milieux inertes chimiquement. Ils doivent cependant être utilisés avec précaution dans le cas de cultures en plein champ, c'est à dire sur des sols « réels ». En effet, dans ce cas, l'ion Na^+ fixé à la surface des argiles pourrait avoir un rôle néfaste sur le comportement des sols, pouvant notamment entraîner lors de l'irrigation une anoxie du milieu. Il serait alors important de s'assurer, avant toute mise en culture et irrigation, des interactions spécifiques entre le sol et les solutés pour raisonner le comportement des sols en même temps que l'alimentation minérale des plantes.

BIBLIOGRAPHIE

- Bizid E. Zid E. et Grignon C., 1988 - Tolérance à NaCl et sélectivité K^+/Na^+ chez les triticales. *Agronomie*; 8(1) : 23-7.
- Daoud Y., Halitim A., 1994 - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse*; 3 (5) : 151-60
- Diehl R., 1975 - *Agriculture Générale*. J.B.Baillièrè éd., 396p.
- Eliard J.L., 1987 - *Manuel d'Agriculture Générale*. J.B.Baillièrè éd., 415p.
- Hajji M. 1983 - Mécanismes des effets du milieu salé sur la nutrition minérale d'une plante ripicole : interaction des transports d'ions et d'eau chez le laurier rose. Thèse Doctorat d'Etat. Tunis, 278p.
- Heller R., 1977 - Nutrition. Abrégé de physiologie végétale. Tome 1. Ed. Masson et Ci. Paris, 244p.
- Katerji N., 1995 - Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline : approches empiriques et mécanistes. *C. R Acad. Agric. Fr.*, 81(2):73-86.
- Lachaâl M., Abdelly C., Grignon C., Soltani A. et Hajji M. 1996 - Variation de la sensibilité au sel en fonction du stade de développement chez la Lentille (*Lens culinaris* L). *Agronomie*, 16 : 381-390
- Lesaint C. et Coïc Y., 1983 - Cultures hydroponiques. La Maison Rustique, 119p.
- Mengel K, Kirkby E. A., 1982 - Principles of plant nutrition. Potash Inst 3e ed. Worblanfen Bern Switzerland, 655p.
- Morard P. 1995 - Les cultures végétales hors-sol. SARL Publications Agricoles, 301p.
- Nicklow C. H. et Downes J. D., 1971 - Influence of nitrogen, potassium and plant-population on the maturity of field seeded tomatoes for once-over harvest. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 96 : 46-49.
- Rains D. W., 1972 - Salt transport by plants in relation to salinity. *Ann. Rev. Plant Physiology*; 23:367-388.
- Slama F., 1982 - Effet du chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale : étude comparative des espèces cultivées. Thèse Doctorat d'Etat. Tunis, 214p.
- Slama F., 1991 - Transport de Na^+ dans les feuilles et sensibilité des plants à NaCl . Evaluation d'un effet piège au niveau des tiges. *Agronomie*, 11 : 275-81.
- Sutcliffe J.B., 1962 - Mineral salts absorption in plants. Pergamon Press Oxford London New York, 194p.
- Szabolcs I. et Darab K., 1979 - Water quality for irrigation and salinisation problems. Proceedings 3. Symposium of CIEC Benghazi Libya, 51-69p.
- World Resources, 1987 - World Ressources Institute and the International Institute for Environment and Development. Basic Books, New York.
- Yeo A.R. et Fliwwers T.J., 1986 - Salinity resistance in rice (*Oryza sativa* L) and pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. *Aust J Plant Physiol.*, 13 : 163-173
- Zuang H., 1987 - Les cultures légumières sur substrat. Installation et conduite CTIFL Paris, 276p

