

## REPONSES MORPHO-PHYSIOLOGIQUES ET BIOCHIMIQUES DE LA SYMBIOSE RHIZOBIA-ARACHIDE AU STRESS HYDRIQUE

LAZALI Mohamed<sup>1,2\*</sup>, OUNANE Sidi Mohamed<sup>1</sup>, CHAKER-HADDADJ Assia<sup>3</sup>,  
ALKAMA Nora<sup>4</sup>, NOUAR Samia<sup>1</sup>

<sup>(1)</sup>Département de phytotechnie, Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA)  
El-Harrach, Alger, Algérie

<sup>(2)</sup>Faculté des Sciences de la Nature et la Vie et des Sciences de la Terre  
Université de Khemis Miliana, Ain Defla, Algérie

<sup>(3)</sup>Faculté des Sciences Biologiques, Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene  
(USTHB), Bab Ezzaour, Alger, Algérie

<sup>(4)</sup>Faculté des Sciences Biologiques et Agronomiques, Département d'Agronomie  
Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie  
E-mail: [m.lazali@yahoo.fr](mailto:m.lazali@yahoo.fr)

**Résumé.-** En dépit du niveau de résistance assez important développé par l'arachide (*Arachis hypogaea* L.), sa production dans les écosystèmes secs est affectée par des périodes de déficit hydrique survenant au cours du cycle de croissance. La présente étude recherche à mettre en évidence les réponses au déficit hydrique faible, modéré puis sévère de cinq populations d'arachides, d'origine locale et étrangère inoculées par trois souches rhizobiennes, en vue d'identifier des critères pour la sélection des interactions symbiotiques mieux adaptées à la sécheresse. Les mécanismes étudiés portent principalement sur les aspects morpho-physiologiques (hauteur de la tige et surface foliaire), aspects biochimiques (fixation symbiotique de l'azote et accumulation de la proline), aspects hydriques de la plante (teneur relative en eau et potentiel hydrique foliaire) et agronomiques (rendement et composantes). Les résultats laissent remarquer que les effets du stress hydrique se manifestent par une diminution de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire et une augmentation de la résistance stomatique et de la température du couvert végétal. Ces effets de la contrainte hydrique se répercutent négativement sur la croissance végétative ainsi que sur l'assimilation et la fixation de l'azote et enfin sur le rendement et ses composantes. Les interactions symbiotiques étudiées se comportent différemment en fonction de la sévérité du stress. Cependant, les couples symbiotiques SA<sub>3</sub>-BER, SA<sub>3</sub>-OUM, SA<sub>3</sub>-TON, SA<sub>3</sub>-TIM, SA<sub>1</sub>-BER, SA<sub>1</sub>-TON et SA<sub>1</sub>-OUM se sont avérés les plus tolérants aux différents degrés du déficit hydrique. Par contre, les interactions symbiotiques SA<sub>2</sub>-TIM et SA<sub>2</sub>-NIG, montrent une sensibilité importante face au manque d'eau. Le comportement des autres couples symbiotiques varie en fonction de la sévérité de la contrainte hydrique. De plus, la variabilité génétique du matériel végétal vis-à-vis du stress hydrique ne semble pas liée à l'origine géographique des populations d'arachides, mais plutôt à leur phénologie et à leur morphologie.

**Mots clés:** Stress hydrique, symbiose, arachide, tolérance, sélection.

### MORPHO-PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSES OF THE RHIZOBIA-PEANUT SYMBIOSIS UNDER WATER STRESS

**Abstract.-** Despite the level of resistance sizable developed by peanut (*Arachis hypogaea* L.) production in the dry ecosystems is affected by periods of water deficit occurring during the growth cycle. The purpose of this work was to highlight the responses to water deficit low, moderate and severe of five peanut populations of local and foreign origin were inoculated by three rhizobium strains, to identify criteria for selecting symbiotic interactions better adapted to drought. Water stress was imposed by withholding water at the floral initiation stage. The mechanisms studied focused on the morpho-physiological aspects (height of the stem, leaf area, content of proline and soluble sugar, relative water content, leaf water potential, stomatal resistance and leaf temperature), biochemical aspects (fixation and assimilation of nitrogen) and agronomical aspects (yield and its components). During the stress treatment, relative water content and leaf water potential decreased and stomatal resistance, leaf temperature increased in all symbiotic interactions. Water

*stress also increased sugar and proline concentrations and decreased the assimilation and fixation of nitrogen. All these effects of water impact negatively on the vegetative growth and on yield and its components. The symbiotic interactions studied behave differently depending on the severity of water stress. However, symbiotic interactions SA3-BER, SA3-OUM, SA3-TON, SA3-TIM, SA1-BER, SA1-TON and SA1-OUM proved the most tolerant to different degrees of water stress applied. As against the symbiotic interactions SA2-TIM and SA2-NIG showed a significant sensitivity over the lack of water. The behavior of other symbiotic interactions varied depending on the severity of stress applied. Moreover, the genetic variability of plant material in relation to water stress does not appear related to the geographical origin of populations of peanut, but rather to their phenology and morphology. This study could serve to define criteria for resistance to drought used in breeding.*

**Key words:** Water stress, symbiosis, peanut, tolerance, selection.

## **Introduction**

Dans les régions arides et semi arides, la production agricole et les rendements des cultures sont largement tributaires de la disponibilité en eau et en azote pendant les stades critiques de développement des plantes. Ces deux éléments constituent les facteurs limitants essentiels de la production végétale du fait de la fréquence des déficits hydriques et de la rapidité de dégradation de la matière organique dans le sol.

La recherche des couples tolérants capables de fonctionner dans ces conditions constitue un objectif à atteindre, afin de comprendre les paramètres et les mécanismes physiologiques liés à ce caractère, et pouvant servir de base à l'établissement de critères de sélection de cette association.

La présente étude recherche les couples symbiotiques arachide-rhizobia les plus performants, ayant la capacité de tolérer les déficits hydriques qui peuvent se produire à un stade critique de développement de cette espèce.

## **1.- Matériels et méthodes**

### **1.1.- Site expérimental**

L'expérimentation est réalisée au niveau de la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique (ENSA) à El Harrach (Algérie), dans une serre en verre orientée dans le sens Nord-Sud.

### **1.2.- Matériel végétal**

Le matériel végétal consacré à cette étude est composé de cinq populations d'arachides (Berrihane, Tonga-Ouest, Oum-Tboul, Timimoun et Niger). Ces dernières ont été fournies par l'ITCMI. La dénomination de ces populations correspond au nom des localités d'où elles ont été prélevées.

### **1.3.- Isolats rhizobiens**

Trois isolats rhizobiens ont été retenus au cours de cette étude, dont deux isolats à croissance lente (SA<sub>1</sub> et SA<sub>3</sub>) et un à croissance rapide (SA<sub>2</sub>).

## 1.4.- Inoculation

Les graines d'arachide de chaque population ont été inoculées avant le semis par immersion pendant trois heures dans un mélange contenant l'inoculum et la tourbe stérile. Elles sont semées par la suite à raison de deux graines par pot à une profondeur de 3 cm. Juste avant le semis tous les pots sont irrigués avec l'eau de robinet jusqu'au drainage (à la capacité en pot). Après la levée, il est effectué un éclaircissage dont le meilleur plant est choisi.

## 1.5.- Gestion de l'essai

### 1.5.1.- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est une randomisation totale avec trois répétitions. Chaque répétition comprend trois facteurs:

- Facteur 1: représente la durée du stress hydrique avec quatre niveaux dont le témoin (i); cinq jours de stress (ii); dix jours de stress (iii); quinze jours de stress (iv).
- Facteur 2: représente les cinq populations d'arachides.
- Facteur 3: représente les trois isolats rhizobiens.

### 1.5.2.- Mesures réalisées

#### - Hauteur de la tige

La hauteur de la tige principale est la distance entre le collet jusqu'à la dernière feuille. Ce paramètre a été mesuré à l'aide d'une règle graduée.

#### - Surface foliaire

La surface foliaire est calculée comme suit : 1 cm<sup>2</sup> d'un papier glace est pris, puis pesé à l'aide d'une balance de précision. La forme de la feuille est dessinée sur le même type de papier, découpée puis pesée. La surface foliaire est déduite par la formule suivante:

$$SF = MF / MP$$

MF: masse du papier découpé,

MP: masse de 1 cm<sup>2</sup> du papier [1].

#### - Dosage de la proline

La technique utilisée pour le dosage de la proline est celle de Troll et Lindsay (1955) simplifiée et mise au point par Dreier et Goring (1974) citée par Monneveux et Nemmar [2].

#### - Mesure de l'activité réductrice d'acétylène

Le dispositif utilisé pour cette mesure est une adaptation de la méthode «*in situ*» de Balandreau et Dommergues [3].

### - Teneur relative en eau

La teneur relative en eau est calculée selon la formule suivante:

$$TRE = (PF - PS) / (PT - PS) \times 100$$

PF: poids frais de la foliole,

PT: poids de la turgescence de la foliole,

PS: poids sec de la foliole.

Le poids frais est déterminé par pesée de la feuille immédiatement après son prélèvement. Le poids à la saturation est obtenu en plaçant la feuille dans l'eau distillée pendant 24 heures à 4°C à l'obscurité. Le poids sec est obtenu en plaçant la feuille à l'étuve à 80°C pendant 24 heures.

### - Potentiel hydrique foliaire

Ce paramètre a été mesuré sur la dernière feuille du sommet entièrement formée par la technique de la chambre à pression [4].

### - Rendement

Ce caractère étant la finalité de tout travail de production, il est également le premier paramètre sur lequel se répercutent tous les changements qui affectent la plante. Le rendement en gousses est obtenu à partir de chaque plante récolté au niveau de chaque pot.

### - Matière sèche

C'est le poids sec des parties aériennes, évalué après passage à l'étuve à une température de 72°C pendant 48 heures.

## 1.6.- Etude statistique

Les données recueillies pour l'ensemble des caractères étudiés ont été soumises à une analyse de la variance avec le logiciel XLSTAT. Les moyennes sont comparées à l'aide du test de Newman-Keuls, lorsque cela est nécessaire (différences au moins significatives).

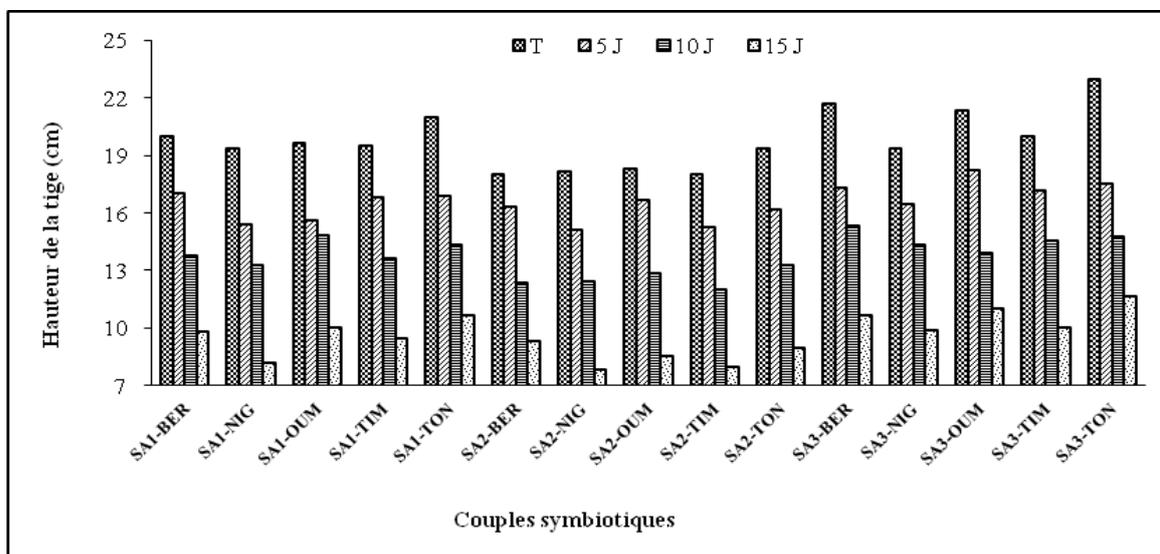
## 2.- Résultats et discussion

### 2.1.- Variation de la hauteur de la tige sous stress hydrique

Les résultats des variations de la hauteur de la tige en fonction des couples symbiotiques et des traitements hydriques sont présentés dans la figure 1. Cette figure montre que chez toutes les associations symbiotiques, l'augmentation de la durée du stress s'accompagne d'une diminution de la hauteur de la tige.

L'effet dépressif du stress hydrique sur la hauteur de la tige est signalé par plusieurs auteurs chez différentes espèces notamment *Vicia faba* L. [5], *Medicago sativa* L. [6] et *Cicer arietinum* L. [7].

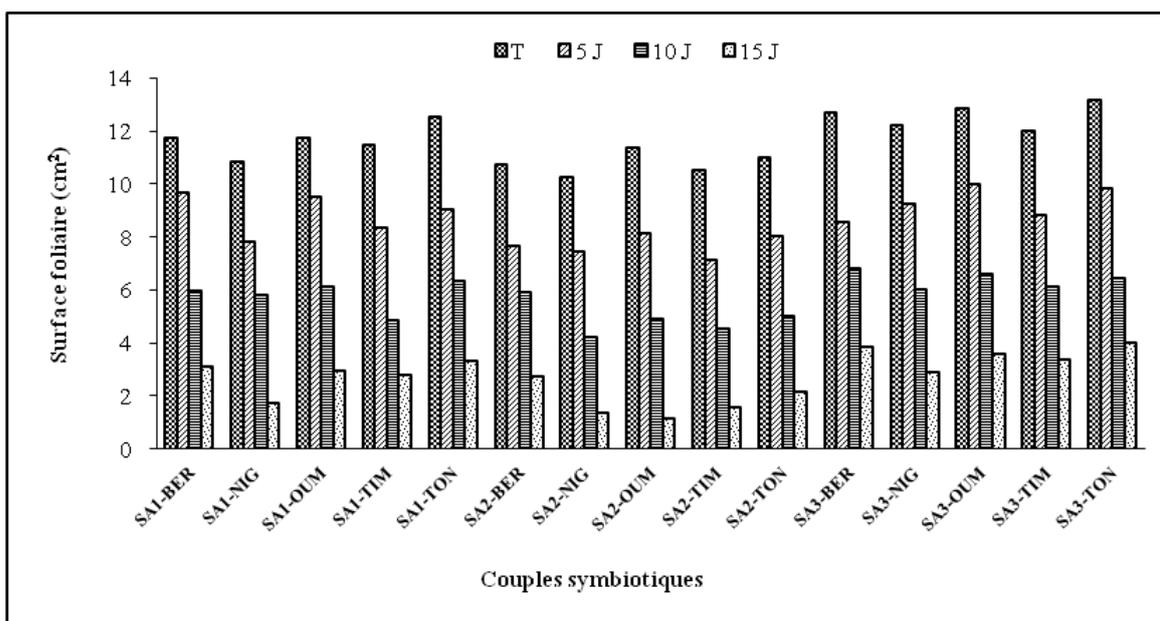
La réduction de la hauteur de la tige sous contrainte hydrique est expliquée par un retard dans la croissance végétative (i); une diminution du nombre des feuilles et du diamètre du collet (ii) [8].



**Figure 1.-** Variation de la hauteur de la tige chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

**2.2.- Variation de la surface foliaire sous stress hydrique**

Les stress hydriques appliqués ont induit une diminution notable de la surface foliaire chez tous les couples symbiotiques qui s'accroît avec l'augmentation de la durée du stress (fig. 2).

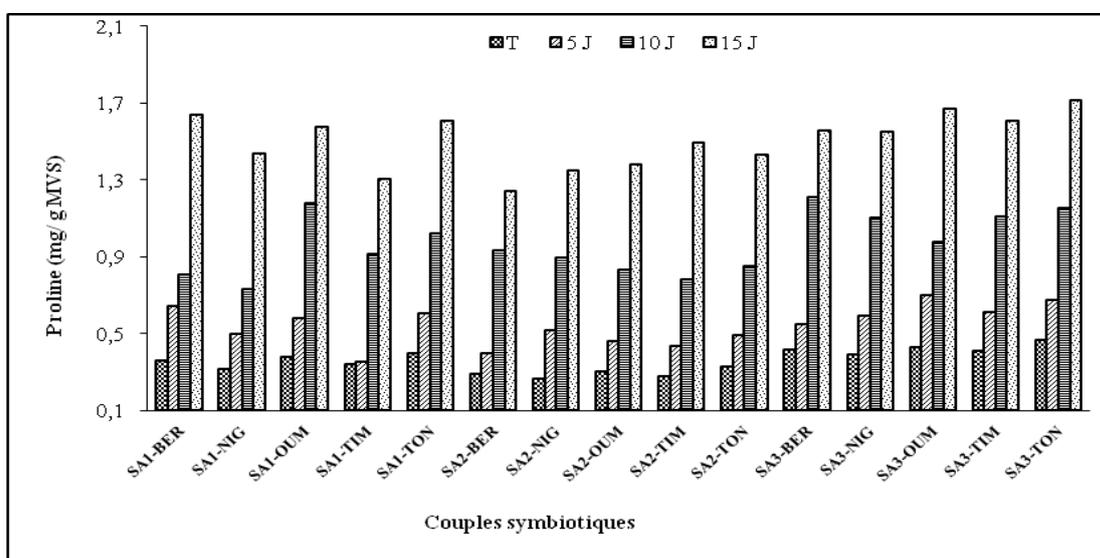


**Figure 2.-** Variation de la surface foliaire chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

La réduction de la surface foliaire semble être une réponse immédiate à la sécheresse, puisque les pertes ont été enregistrées dès l'application de la contrainte hydrique faible. Cette perte de la surface du limbe peut résulter d'un ralentissement de la croissance des jeunes feuilles, comme elle peut être également causée par l'accélération de la sénescence des feuilles. Ces modifications morphologiques des feuilles ont pour rôle de limiter les pertes d'eau par transpiration [9,10].

### 2.3.- Variations de la teneur de la proline sous stress hydrique

La durée du stress hydrique induit une augmentation notable des teneurs en proline dans les feuilles des différentes associations symbiotiques (fig. 3). En effet, plus la durée de la contrainte hydrique augmente, plus les teneurs en proline accumulées sont importantes.



**Figure 3.-** Variations de la teneur en proline chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

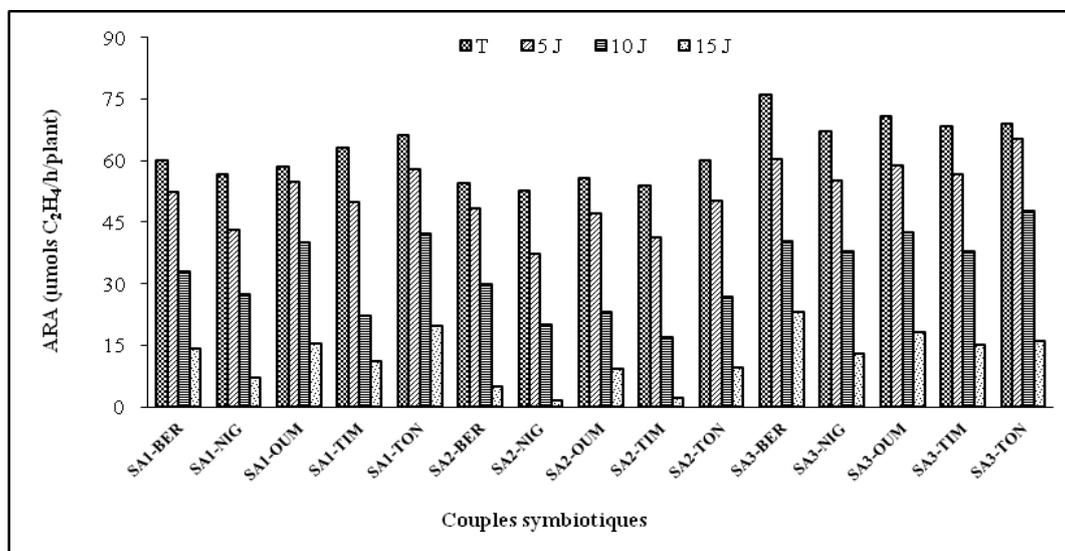
La synthèse de la proline sous stress abiotique chez plusieurs espèces est corrélée positivement avec la tolérance à cette contrainte. Elle est généralement plus élevée dans les plantes tolérantes que dans les plantes sensibles [11]. En outre, la synthèse de l'acide abscissique (ABA) sous l'effet d'un stress hydrique joue un rôle déterminant dans la régulation de l'expression du gène P5CS impliqué dans la synthèse de la proline [12].

### 2.4.- Effet du stress hydrique sur l'activité réductrice d'acétylène

Les résultats de la figure 4 montrent l'effet dépressif de la contrainte hydrique sur l'activité fixatrice d'azote qui s'annule pratiquement quand les plantes sont soumises à un stress sévère.

Plusieurs causes peuvent expliquer la sensibilité de la fixation de l'azote au déficit hydrique. Certains auteurs considèrent que la diminution de l'activité nitrogénasique est due à l'inhibition de la photosynthèse par le stress hydrique [13]. Ultérieurement FINN et BRUN [14] ont montré que la nitrogénase était plus sensible au déficit hydrique que la

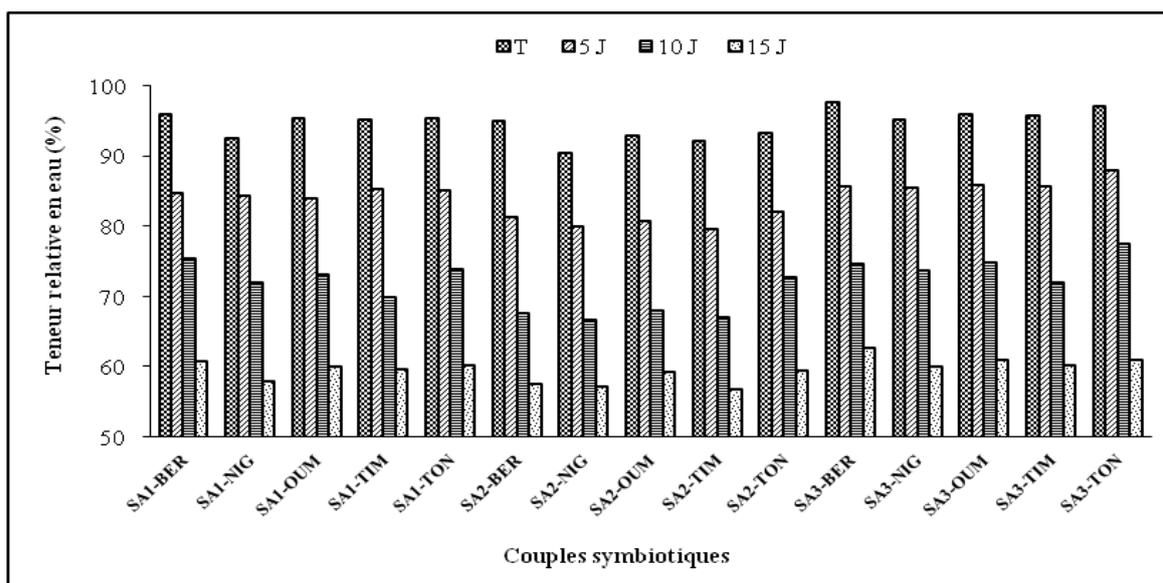
photosynthèse. Par ailleurs DURAND *et al* [15]; SERRAJ et SINCLAIR [16] notent cette sensibilité comme étant la perte du contenu en eau des nodules avec un rétrécissement et une diminution de la porosité de leur épiderme qui provoquerait une augmentation de la résistance à la diffusion de l'eau et de l'oxygène nécessaires aux bactéroïdes.



**Figure 4.-** Variations de l'ARA chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

## 2.5.- Variations de la teneur relative en eau sous stress hydrique

L'état hydrique des feuilles chez les différentes associations symbiotiques rhizobium-arachide soumises à un déficit hydrique est illustré sur la figure 5. L'allure générale des histogrammes montre que la TRE diminue proportionnellement à la durée du stress hydrique.



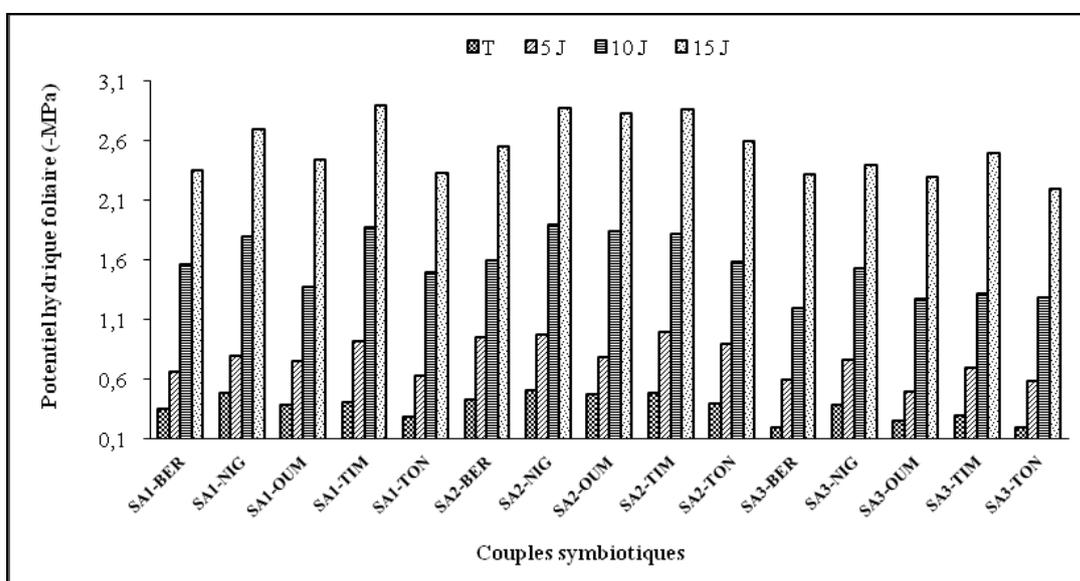
**Figure 5.-** Variations de la TRE chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

Les travaux de BABU et RAO [17], effectués sur l'arachide, montrent que le stress hydrique diminue la TRE jusqu'à 29%, alors que le témoin non stressé garde une TRE de l'ordre de 85 à 90%.

Le maintien de l'état hydrique de la plante est considéré comme un mécanisme adaptatif important pour conserver l'activité physiologique au cours du déficit hydrique [18].

## 2.6.- Variations du potentiel hydrique foliaire sous stress hydrique

Les résultats de la variation du potentiel hydrique foliaire en fonction des couples symbiotiques et des traitements hydriques sont présentés dans la figure 6. Cette figure montre que chez tous les couples symbiotiques, l'augmentation de la durée de stress s'accompagne d'un abaissement du potentiel hydrique foliaire. Cet abaissement est d'autant plus accentué que la durée de la contrainte hydrique est plus sévère.



**Figure 6.-** Variations du potentiel hydrique foliaire chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

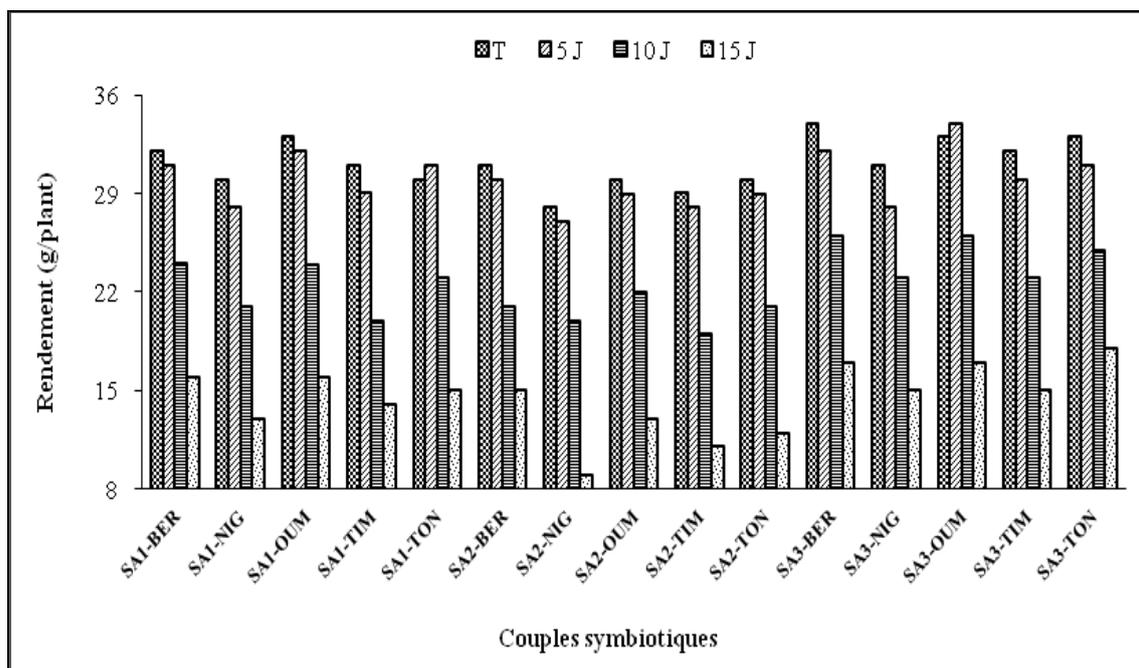
Selon SINCLAIR et LUDLOW [19], la valeur du potentiel hydrique que peut atteindre la dernière feuille viable (capable de récupérer après réhydratation de la plante) représente une mesure clef de la capacité de tolérance d'une plante. Cette valeur varie selon les espèces. TURNER *et al.* [20] signalent que la valeur du potentiel hydrique foliaire létale pour l'arachide varie entre -3,4 et -8,2 MPa. BAJJI *et al.* [21] expliquent la diminution du potentiel hydrique par l'abaissement du potentiel osmotique.

En conditions de sécheresse, la baisse du potentiel hydrique des plantes induit une importante perte de turgescence au niveau des feuilles [22]. Le maintien d'un potentiel hydrique élevé est lié à l'aptitude de la plante à extraire l'eau du sol et à la capacité de limiter les pertes d'eau par transpiration [23].

## 2.7.- Variations du rendement sous stress hydrique

La durée du stress induit une diminution du rendement chez toutes les associations

symbiotiques (fig. 7). En effet, cette diminution s'accompagne d'une augmentation de la sévérité du stress.



**Figure 7.-** Variations du rendement chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

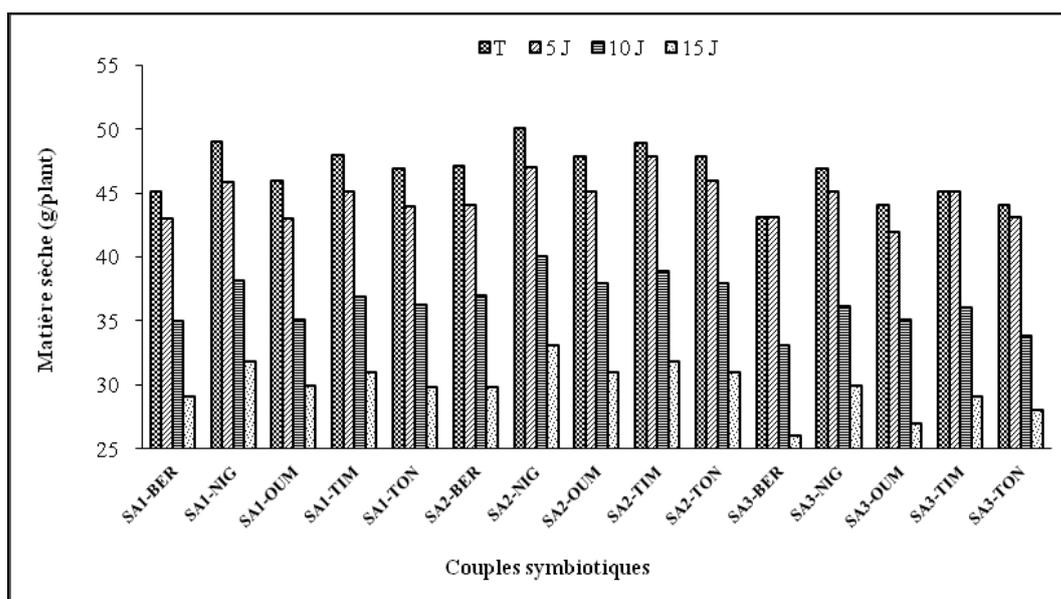
La diminution du rendement est due à la réduction du taux de photoassimilats disponible pour le remplissage de la gousse au cours du stress hydrique [12]. SINCLAIR ET LUDLOW l'expliquent par une augmentation de la teneur en ABA [24]. Ils attribuent à cet acide un rôle important dans la perte de rendement, car son accumulation inhibe la photosynthèse par fermeture stomatique.

## 2.8.- Variation de la matière sèche sous stress hydrique

La matière sèche chez les différents couples symbiotiques soumises à une contrainte hydrique est illustrée dans la figure 8. L'allure générale des histogrammes montre que la diminution de la matière sèche s'accompagne avec l'augmentation de la durée du stress.

La réponse des couples symbiotiques au déficit hydrique est différente. Les populations d'El-Kala (Tonga-Ouest, Oum-Tboul et Berrihane) inoculées par l'isolat SA<sub>3</sub> sont les plus affectées par le manque d'eau. Par contre la population Timimoun et la population nigérienne inoculées par l'isolat SA<sub>2</sub> paraissent plus tolérantes au déficit hydrique. Le reste des interactions symbiotiques montre une tolérance moyenne.

La production de la matière sèche est différemment affectée par les contraintes hydriques selon les souches rhizobiennes [25], et le stade phénologique de la plante [26].



**Figure 8.-** Variations de la matière sèche chez les couples symbiotiques en fonction de la durée du stress

## Conclusion

Ce travail portant sur l'étude de la symbiose arachide-rhizobia a permis d'identifier plusieurs réponses de cette association au stress hydrique qui prédisent de l'existence de divers mécanismes d'adaptation à cette contrainte.

Ces mécanismes qui peuvent être de nature morphologique, physiologique ou agronomique se déclenchent séparément ou ensemble, pour contrecarrer les effets du stress hydrique.

La nature de ces mécanismes ne semble pas être liée à l'espèce ni à l'origine des populations étudiées. La diversité des réponses au stress hydrique serait plutôt sous le contrôle de l'association de deux partenaires (plante/bactérie).

La réponse des différentes interactions symbiotiques étudiées vis-à-vis au stress hydrique révèle la présence de trois groupes de couples symbiotiques, dont le premier groupe rassemble les couples SA<sub>3</sub>-BER, SA<sub>3</sub>-OUM, SA<sub>3</sub>-TON, SA<sub>3</sub>-TIM, SA<sub>1</sub>-BER, SA<sub>1</sub>-TON et SA<sub>1</sub>-OUM qui semblent tolérants à la contrainte hydrique. Le deuxième groupe contient les couples SA<sub>2</sub>-TIM et SA<sub>2</sub>-NIG qui paraissent sensibles au stress. Le troisième groupe rassemble le reste des couples symbiotiques qui ont une réponse intermédiaire au stress.

## Références bibliographiques

- [1].- Alem C., Labhilili M., Brahmi K., Jlibene M., Nasrallah N., Filali-Maltouf A., 2002.- Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *Compte Rendu Biologies* 325: 1097-1109.
- [2].- Monneveux P., Nemmar M., 1986.- Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum*

- durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* 6: 583-590.
- [3].- Balandreau J., Dommergues Y., 1970.- Mesure *in situ* de l'activité nitrégénase. *C. R. Acad. Sci.* 273: 2020-2023.
- [4].- Scholander P. F., Hammel H. T., Hemmingsen E. A., Bradstreet E. D., 1965.- Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. *Proceeding of the National Academy of Science* 52: 119-125.
- [5].- Mwanamwenge J., Loss S. P., Siddique K. H. M., Cocks P. S., 1999.- Effect of water stress during floral initiation, flowering and podding on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy* 11: 1-11.
- [6].- Lazali M., 2006.- Etude du comportement de seize variétés de la luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.) sous deux régimes hydriques en Mitidja. Mémoire d'ingénieur d'Etat en agronomie, INA, El Harrach, Alger, 90 p.
- [7].- Slim N., Sifi B., Triki S., 2008.- Criblage de variétés de pois chiche (*Cicer arietinum* L.) pour la résistance au stress hydrique. *In Actes du séminaire international: Gestion des ressources et applications biotechnologiques en aridoculture et cultures oasisiennes: Perspectives pour la valorisation des potentialités du Sahara.* Institut des Régions Arides, Médenine 25-28 Décembre 2008, Tunisie. *Revue des régions arides* 21: 734-744.
- [8].- Thakur P. S., Rai V. K., 1982. Effect of water stress on protein content in two maize cultivars differing in drought resistance. *Biologia Plantarum* 24: 96-100.
- [9].- Noïtsakis B., Tsiouvaris C., 1990.- Seasonal changes in components of leaf water potential and leaf area growth rate in Kérmes oak. *Acta Oecologica* 11: 419-427.
- [10].- Tiercelin J. R., 1998.- *Traité d'irrigation.* Ed. Tec et Doc, Paris, 1011 p.
- [11].- Nayyar H., Walia D. P., 2003.- Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. *Biologia Plantarum* 46: 275-279.
- [12].- Xiong L., Ishitani M., Lee H., Zhu J. K., 2001.- The Arabidopsis LOS5/ABA3 locus encodes a molybdenum cofactor sulfuryase and modulates cold stress and osmotic stress responsive gene expression. *Plant Cell*, 13: 2063–2083.
- [13].- Huang J. C., Boyer J. S., Vanderhoff L. N., 1979.- Acetylene reduction (nitrogen fixation) and metabolic activities of soybean having various leaf and nodule water potential. *Plant physiology* 56: 222-227.
- [14].- Finn G.A., Brun W., 1980.- Water stress effects on CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthate partitioning, stomatal resistance and nodule activity in soybean. *Crop Science* 20: 431-434.
- [15].- Durand J. L., Sheehy J. E., Minchin F. R., 1987.- Nitrogenase activity

- photosynthesis and nodule water potential in soybean plants experiencing water deprivation. *Journal of Experimental Botany* 38: 311-321.
- [16].- Serraj R., Sinclair T. R., 1998.- Soybean cultivars variability for nodule formation and growth under drought. *Plant and Soil*, 202: 159-166.
- [17].- Babu V. R., Rao D. V. M., 1983.- Water stress adaptations in the groundnut (*Arachis hypogaea* L.) foliar characteristics and adaptations to moisture stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 10: 64-80.
- [18].- Conory J. P., Virgona J. M., Smillie R. M., Barlow E. W., 1988.- Influence of drought acclimation and CO<sub>2</sub> enrichment on osmotic adjustment and chlorophyll a fluorescence of sunflower during drought. *Plant Physiology* 86: 1108-1115.
- [19].- Sinclair T. R., Ludlow M. M., 1985.- Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled plant water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, 12: 213-217.
- [20].- Turner N. C., Wright G. C., Siddique K. H. M., 2001.- Adaptation of grain legume to water limited environments. *Adv. Agron.*, 71: 193-231.
- [21].- Bajji M., Lutts S., Kinet J. M., 2001.- Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Science* 160: 669-681.
- [22].- Boyer J. S., 1982.- Relationships of water potential to growth of leaves. *Plant physiology* 43: 1056-1062.
- [23].- Turner N. C., 1997.- Further progress in crop water relation. *Adv. Agron.* 58: 293-338.
- [24].- Setter T. L., Flannigan B. A., Melkonian J., 2001.- Loss of kernel due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid, and cytokinins. *Crop Science* 41: 1530-1540.
- [25].- Saxena N. P., Johansen M. C., Saxena M. C., Silim S. N. 1993.- Selection for drought and salinity tolerance in cool-season food legumes. *In* Breeding for Tolerance in cool-season Food Legumes. Ed. Singh K. B., Saxena M.C.: 245-270.
- [26].- Roy S. K., Rahamans S. M. L., Salahudin A. B. M. 1995.- Effect of rhizobium inoculation and nitrogen on nodulation, growth and seed yield of gram (*Cicer arietinum* L.). *Indian J. Agric. Sci.* 65: 853-857.