

IMPACT DE LA CONTRAINTE HYDRIQUE SUR LE METABOLISME AZOTE ET CARBONE DU HARICOT DOLIQUE (*VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP.

A. AÏD-HOUCHI et D. MEDJBEUR

Laboratoire de Recherches des Ressources Naturelles, Faculté des sciences biologiques et agronomiques, Université Mouloud MAMMERY de Tizi Ouzou, 15000, Algérie. Email : houchiaini@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Deux cultivars de haricot dolique (haricot à hile noir et Tadelaght noire d'Aoulef) d'origine bioclimatique différente, sont soumis à la contrainte hydrique durant le cycle de développement aux stades croissance, floraison et maturation. Les résultats obtenus indiquent que le déficit en eau imposé aux plantes, engendre une réduction du nombre de fleurs et de gousses par plant. Le rendement, la matière sèche et la teneur en azote total sont également affectés contrairement à la teneur en sucres solubles qui augmente dans les organes des plants stressés par rapport aux témoins. La phase la plus sensible à la restriction hydrique, est celle de la floraison-fructification. Le rendement est plus réduit chez le haricot cultivé au nord de l'Algérie par rapport à celui des zones sahariennes. Les organes aériens plus sensibles au déficit hydrique, contiennent moins d'azote total par rapport aux racines. Ces dernières accumulent plus de glucides solubles que les tiges et les feuilles d'où l'importance du rôle qu'elles jouent dans l'ajustement osmotique. Le cultivar Tadelaght, plus tolérant à la sécheresse, posséderait des propriétés lui procurant une aptitude à limiter l'intensité transpiratoire afin de maintenir un bilan hydrique favorable au déroulement des processus physiologiques.

Mots Clés : *vigna unguiculata* (L.) Walp., phénologie, rendement, contrainte hydrique, métabolisme azoté et carboné.

SUMMARY

The influence of the water constraint on cowpea was followed on 2 cultivars which are black hilum and Aoulef black Tadelaght at 3 development stages (growth, flowering and maturation). The results indicate that the lack of water generates a reduction in the number of flowers and the pods/plant. It appeared that the flowering is more sensible to the drought situation. The dry matter and total nitrogen are most reduced in the aerian organs that root system. Perhaps, it's a consequence of the water deficit effect on carbon and nitrogen metabolism. The yield and its components are also affected. The water restriction induced a decrease for the flowering stage. These observations show that the cultivar Tadelaght is more tolerant to the water stress compared with the black bean hilum. This difference would be caused to properties of Tadelaght cultivar which procuring him the faculty to limit the degree of transpiration and to maintain thus in the plant a water potential sustaining the physiological and metabolic process in conditions of drought. On the other hand, roots show a more accumulation of carbohydrates than stems and leaves in the dry conditions. The osmotic adjustment is a one aspect which permits to maintain a sufficient turgidor to induce a good absorption of water in the solution of soil in the stress conditions.

Key Words : *vigna unguiculata* (L.) Walp., water constraint, phenology, yield, nitrogen and carbon metabolism.

INTRODUCTION

Le haricot dolique (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., $2n=2x=22ch$), légumineuse répandue en Afrique, présente un intérêt certain sur le plan économique et alimentaire. Il est cultivé aussi bien pour l'alimentation humaine qu'animale (Borget, 1989). La teneur élevée en protéines (25% en moyenne) lui confère un rôle important dans l'équilibre nutritionnel des populations rurales et défavorisées. Aussi, il enrichit le sol en azote grâce à sa symbiose avec les bactéries du genre *Rhizobium*.

Le genre *Vigna* auquel il appartient, présente un potentiel de gènes considérable pouvant être exploité dans les programmes d'amélioration génétique, cas de la tolérance à la sécheresse, obstacle majeur au développement de l'agriculture (Kouadio *et al.*, 2007 ; Nagalakshmi *et al.*, 2010).

Les travaux menés sur la réponse physiologique de cette espèce soumise à un déficit hydrique ont porté essentiellement, sur la mesure des paramètres physiologiques (potentiel hydrique foliaire, teneur en eau, potentiel osmotique, conductance stomatique). L'objectif de cette expérimentation est d'évaluer l'impact de la contrainte hydrique sur la productivité des cultures en liaison avec l'évaluation du rendement et la distribution des composés azotés et carbonés dans les organes de 2 cultivars qui sont le haricot à hile noir et Tadelaght noire d'Aoulef ; le premier étant cultivé au nord de l'Algérie et le second dans les régions du sud. La croissance, la floraison et la maturation sont les stades retenus pour l'application des traitements hydriques.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1-Présentation du site expérimental

Climat

L'expérimentation est réalisée à l'ITMAS de Boukhalfa (étage subhumide) situé à 8 km de la ville de Tizi Ouzou. Les températures moyennes relevées sont de 18,92°C. Le mois de janvier le plus froid, indique 8,2°C. Les mois de juillet et août les plus chauds de l'année, enregistrent respectivement 28,9°C et 29,9°C. Quant aux précipitations, la somme est égale à 382,32 mm. Pour les périodes intéressant la culture (d'avril à septembre), elles sont respectivement de 38,3 mm et 56,6 mm pour les mois d'avril et mai.

Sol

Les analyses physiques et chimiques montrent que le sol est limono-argileux, non salé (CE < 4 mmhos) avec un pH alcalin (8) et une CEC moyenne (22,7 meq/100). Le bilan minéral indique 0,34% de calcaire actif, 0,13% d'N, 2,79% MO et un C/N de 4,50 ; les résultats en K₂O et P₂O₅ sont respectivement 0,62% et 17,2 ppm.

Le protocole expérimental adopté (randomisation) comprend 2 blocs avec 1 cultivar chacun et 8 micro parcelles mesurant 4 m de long et 0,8 m de large. La distance entre les plants est de 30 cm sur les rangs et 0,80 m entre les lignes.

Matériel végétal

La croissance des cultivars est indéterminée pour le haricot à hile noir et déterminée pour Tadelaght noire d'Aoulef.

L'essai est mené de manière à suspendre l'arrosage pendant 10 jours durant chaque stade

phénologique. Des plants irrigués régulièrement tout au long du cycle ont servi de témoins. Le but est de mettre en évidence l'impact de la contrainte hydrique sur le développement du matériel végétal considéré.

2- Conduite de la culture

Avant le semis, une fumure de fond NPK (15-15-15) est apportée et enfouie avec le labour du sol. L'écartement adopté est de 30 cm entre les plants et 80 cm entre les lignes (Sinha, 1980 et Borget, 1989). Après la levée, la culture a été entretenue par des binages, buttages, désherbages et palissages. Quant à l'irrigation, elle est apportée à raison de 2 fois/semaine pendant la croissance et 4 à 6 fois par semaine aux stades floraison et maturation.

Paramètres étudiés

Les paramètres de développement (organes fructifères et composantes du rendement) sont appréciés par des dénombrements ainsi que par des mesures biométriques. La matière sèche révélatrice de la croissance végétale, est suivie sur les différents organes de la plante au cours des stades phénologiques retenus et évaluée par des mesures

pondérales. Quant à l'azote total et les sucres solubles, ils sont déterminés selon les méthodes suivantes.

Dosage de l'azote total et des sucres solubles

Les dosages sont réalisés sur de la poudre végétale obtenue après broyage des organes séchés à l'étuve à une température de 70°C pendant 24 heures jusqu'à stabilisation du poids.

L'azote total est déterminé par la méthode de KJELDAHL (Savouré, 1980). Quant aux sucres solubles, la technique utilisée a pour principe la transformation des sucres en dérivés furfuraux en milieu acide et chaud en présence du réactif d'antrone (Irigoyen *et al.*, 1992).

Pour chaque paramètre étudié, une analyse de la variance est réalisée afin d'apprécier les différences observées entre les traitements.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Formation des organes fructifères et des composantes du rendement

Les résultats obtenus montrent une chute des organes fructifères qui est toutefois plus accentuée chez le haricot à hile noir comparé au cultivar Tadelaght (figure 1).

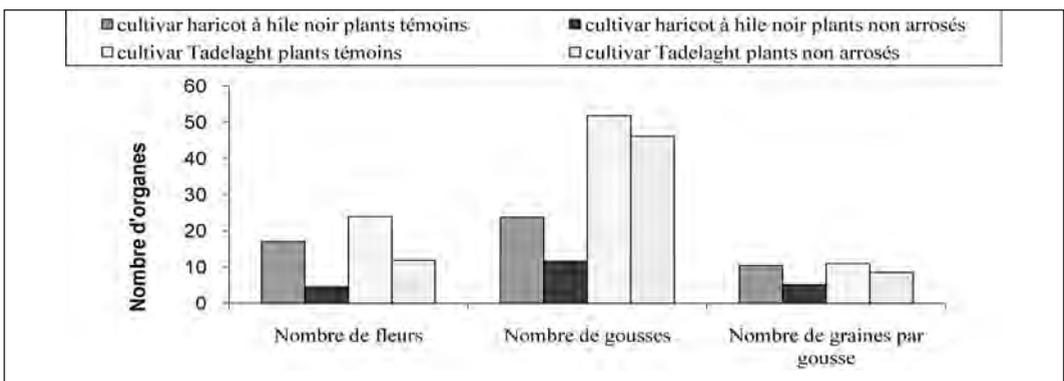


Figure 1 : Effet comparatif des réponses de développement des 2 cultivars étudiés.

Les taux de réductions sont chez le haricot à hile noir de 73% pour les fleurs, 50,84% pour les gousses, 49,85% pour le nombre de graines par gousse et 53,27% pour la taille des gousses. Pour le cultivar Tadelaght, ils sont respectivement de 50,41%, 11%, 22,18% et 21,49% pour les fleurs, les gousses, le nombre de graines par gousse et la taille des gousses. Le tableau 1 indique les moyennes et écarts-types des paramètres mesurés.

L'analyse de la variance révèle un effet hautement significatif pour le facteur régime hydrique (1) (arrosé et non arrosé) et le facteur variétal (2) pour les variables nombre de fleurs par plante ($F=56,65$; $p=0,000$ pour le premier facteur (1) et $F=16,4$; $0,003$ pour le second (2)) ; cependant, il est très hautement significatif pour le nombre de gousses ($F=48,55$; $p=0,0000$ (1) et $F=579,75$; $p=0,0000$ (2)), le nombre de graines par gousse ($F=27,32$; $p=0,0000$ (1) et $F=107,38$; $p=0,0000$ (2)) ainsi que pour la taille d'une gousse ($F=146,75$; $p=0,0000$ (1) et $F=422$; $p=0,0000$ (2)).

Les rendements obtenus sont de 58,48 qx/ha pour le haricot à œil noir et 69,44 qx/ha dans le cas de Tadelaght. La réduction

enregistrée lors de l'arrêt d'arrosage est plus élevée chez le premier cultivar (63,45%) par rapport au second (30,74%). Les chutes sont plus prononcées quand la contrainte hydrique survient durant le stade floraison et ce, quel que soit le matériel végétal. Le stade critique à la restriction hydrique, pour l'élaboration du bon rendement, est bien le stade floraison ce qui confirme les travaux de Hamidou *et al.*, (2005).

La floraison des plants coïncide avec les hautes températures estivales. Ceci pourrait accentuer l'effet de la sécheresse durant ce stade tel qu'il a été signalé par Ismaïli et Hall (1998) ; Vara *et al.*, (1999). L'effet cumulé de la sécheresse et des hautes températures affecte la production et la viabilité du pollen et le taux de fécondation réduisant ainsi le nombre de gousses par plant et le nombre de graines par gousse (Craufurd *et al.*, 1998).

Pour tous les paramètres, l'impact est plus marqué chez le haricot à hile noir par rapport au cultivar Tadelaght. Ceci s'expliquerait par la tolérance de ce dernier vis-à-vis d'un déficit hydrique. L'origine bioclimatique de ces deux cultivars pourrait être une source de différence quant à la réponse au

Tableau I : Moyennes, écarts-types et coefficients de variation des variables mesurées (organes fructifères).

Paramètres	Moyenne	ET	CV (%)
Nombre de fleurs par plant	14,39	5,19	35,5
Nombre de gousses par plant	33,35	4,08	12,2
Nombre de graines par gousse	8,80	2,03	23
Taille d'une gousse	17,14	2,32	15,5

manque d'eau. Cette adaptation serait d'ordre morphologique (port buissonnant, tige lignifiée, anatomie des stomates,...) et/ou physiologique (ajustement osmotique).

La matière sèche

Le suivi de l'évolution de la matière végétale sèche au cours des stades phénologiques (figure 2) révèle une diminution de

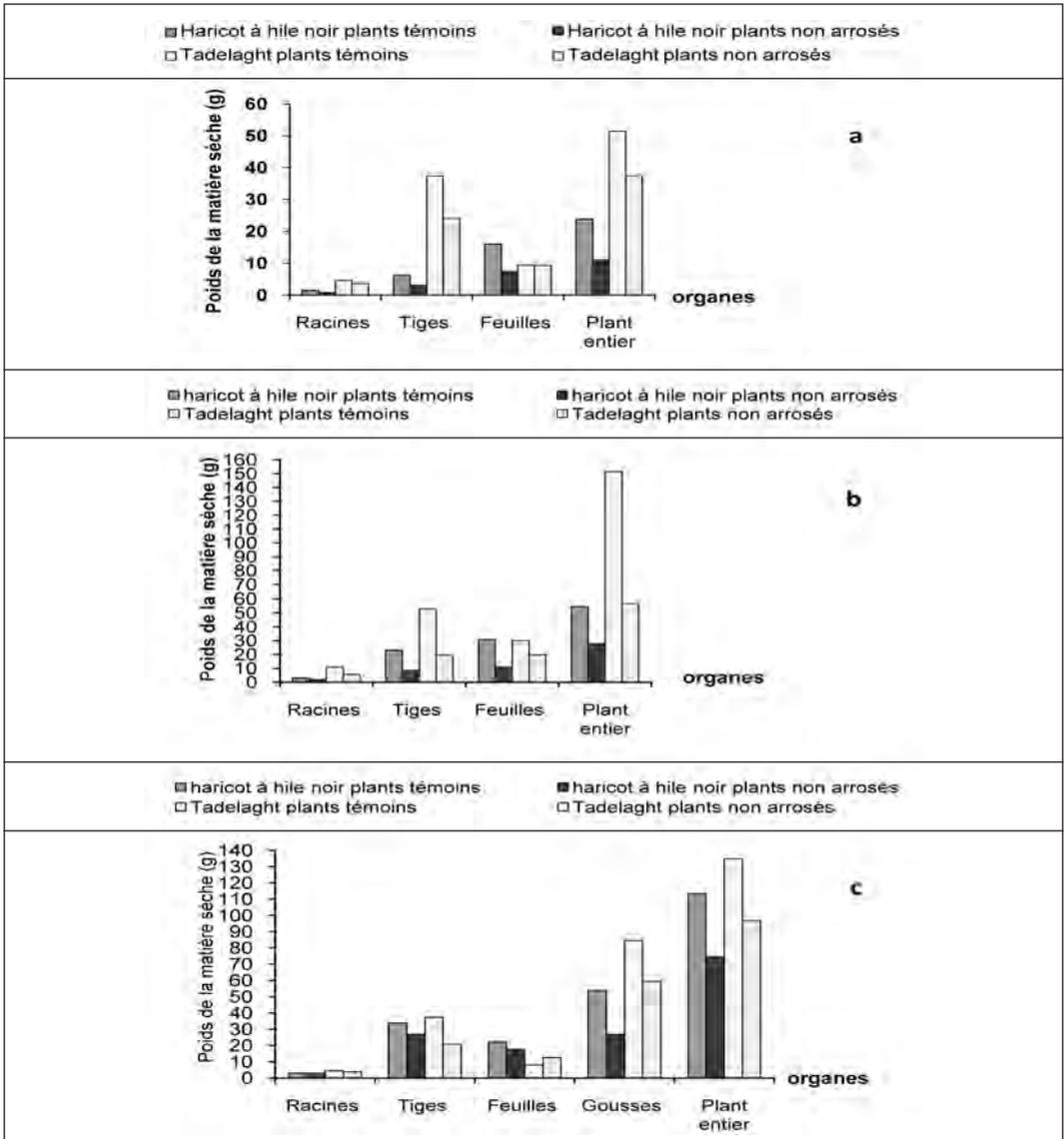


Figure 2 : Répartition de la matière sèche dans les organes des plants soumis à 2 niveaux hydriques aux stades croissance (a) floraison (b) et maturation (c).

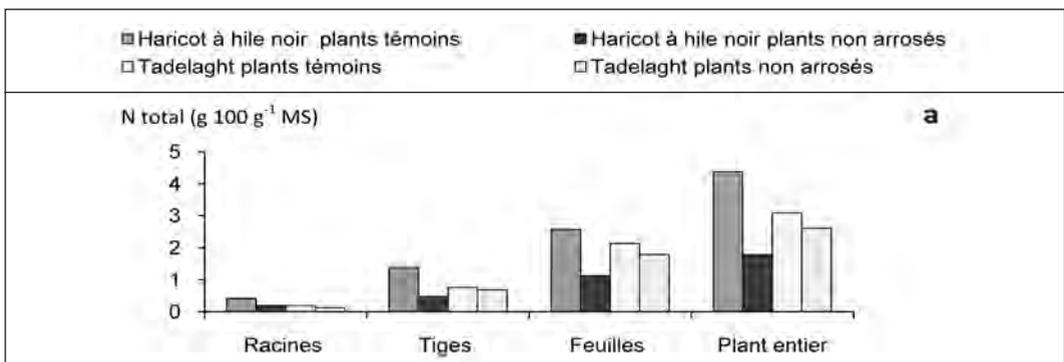
celle-ci chez les 2 cultivars en réponse à l'arrêt d'arrosage imposé aux plants. Ce dernier engendre des conditions de sécheresse qui conduiraient à la fermeture des stomates limitant ainsi l'assimilation du dioxyde de carbone (Bate et Hall, 1982). Chez le haricot dolique, la résistance stomatique serait une voie de réduction de la transpiration lors d'une contrainte hydrique (Bate et Hall, 1982 ; Hopkins, 2003). Cependant, nous avons noté une stabilité du taux de production de matière végétale sèche du système racinaire (réduction floraison = 37,85% et 48,31% tandis qu'au stade maturation, la réduction est respectivement de 0,66% et 17,9% pour le haricot à hile noir) par rapport aux organes aériens (notamment les tiges et les ramifications) ; ceci pourrait s'expliquer par un maintien d'une pression osmotique lui permettant d'assurer une alimentation hydrique adéquate durant les conditions contraignantes. L'analyse de la variance montre une différence significative pour les facteurs étudiés (variété, régime hydrique et organe) à l'exception du stade maturation où l'organe ne présente aucune signification. Cette dernière n'est apparente que pour les facteurs variétés et régime hydrique ($F=2,68$;

$p=0,0000$ pour le premier et $F=8,68$; $p=0,0041$ pour le second).

L'arrêt d'arrosage engendre une baisse (50%) de la production de la matière sèche plus importante chez le haricot à œil noir par rapport à Tadelaght. Ceci pourrait s'expliquer par une plus grande tolérance de ce dernier par rapport au premier. Il est indiqué que la différence dans les taux de production de matière sèche est en relation étroite avec la morphologie de la plante (caractères anatomiques) et sa capacité à adopter une stratégie à éviter le stress (Calmes *et al.*, 1985). Chez le cultivar Tadelaght, nous avons observé une orientation parallèle des folioles aux rayons solaires au milieu des journées chaudes d'été (~ 30 °C) ce qui traduirait un évitement d'une intense transpiration notamment en conditions de sécheresse.

Influence de la contrainte hydrique sur l'accumulation de l'azote total

Les variations du taux d'azote total, avec les 2 régimes hydriques, évoluent parallèlement à la production de matière sèche. Les différences sont notées selon le stade, l'organe et la variété (figure 3).



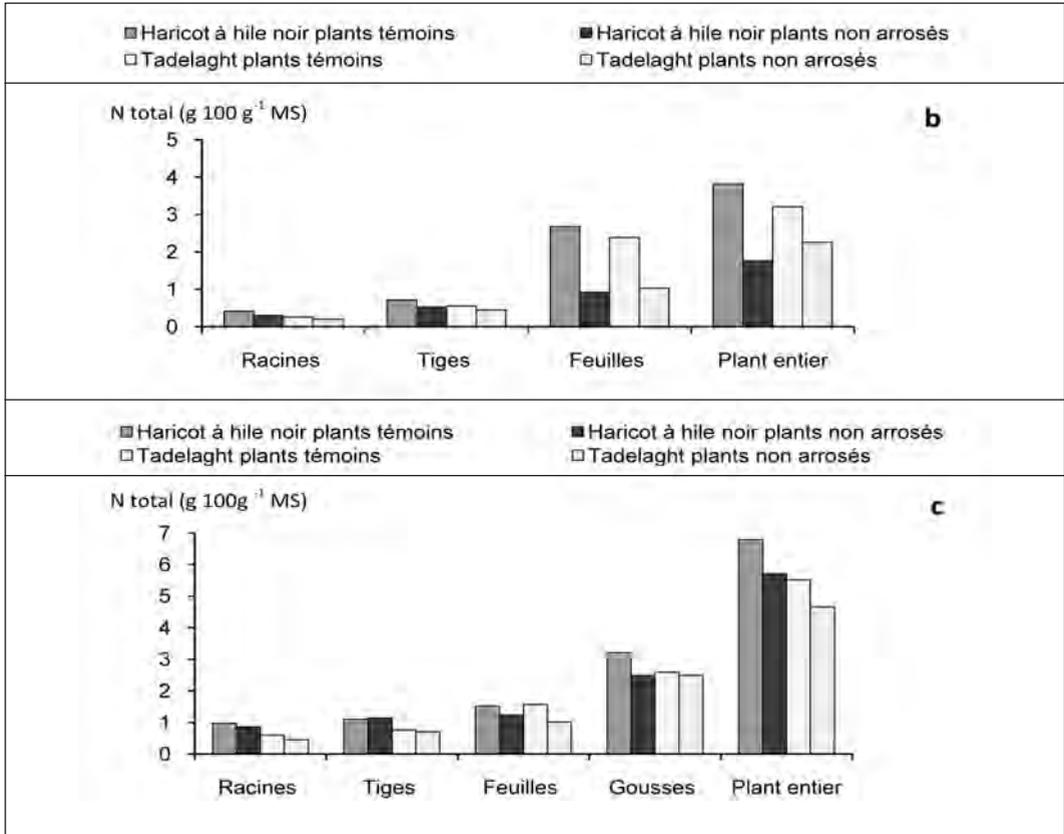


Figure 3 : Répartition de l'azote total ($\text{g } 100\text{g}^{-1} \text{MS}$) dans les organes des plants soumis à 2 régimes hydriques aux stades croissance (a), floraison (b) et maturation (c).

Au stade croissance, le haricot à hile noir montre une réduction plus élevée pour les tiges (66,18%) comparativement aux racines (51,21%). Dans le cas du cultivar Tadelaght, c'est la racine qui est plus affectée par l'arrêt d'arrosage avec un taux de réduction de 31,57%.

Au stade floraison, l'arrêt de l'irrigation a un impact direct sur les feuilles pour les deux cultivars ; la diminution étant de 65,42% pour le haricot à œil noir et de 56,48% pour Tadelaght. Le taux moyen

observé chez la plante entière dans le cas de ce dernier représente la moitié de celui enregistré chez le premier

Durant le stade maturation, se déroulent la formation et le grossissement des gousses avec une accumulation en azote total plus élevée dans ces dernières (3,21 $\text{g}/100 \text{g}$ de MS) par rapport aux organes végétatifs. Néanmoins, les gousses semblent plus affectées par le manque d'eau. La teneur en azote total est également nettement plus réduite chez le haricot à hile noir (22,74%) par rapport à Tadelaght (3,86%).

Le rôle de la feuille est fondamental dans la synthèse des composés azotés nécessaires au remplissage des gousses. La translocation des composés organiques des organes végétatifs notamment des feuilles vers les organes puits pourrait expliquer la chute du taux d'azote dans les feuilles à la fin de la phase floraison. La privation d'eau durant la période floraison-remplissage des gousses est à l'origine de la baisse de la teneur en protéines et en matière sèche accumulée dans les gousses.

La contrainte hydrique pourrait provoquer des perturbations au niveau des systèmes enzymatiques tels que la nitrogénase et ceux intervenant dans l'assimilation des nitrates : la nitrate réductase (Figueredo *et al.*, 1999).

La différence de la teneur enregistrée s'expliquerait par des voies d'esquive que présente le cultivar Tadelaght comme un développement racinaire et une nodulation plus importants ainsi qu'une différence de sensibilité de certaines enzymes liées au métabolisme azoté telles que la glutamine synthétase et la NADH glutamine α -cétoglutarate aminotransférase (NADH-GOGAT), ce qui a été déjà signalé sur cette espèce (Frechilla *et al.*, 1994).

Influence de la contrainte hydrique sur l'accumulation des sucres solubles

Les résultats obtenus montrent une augmentation du taux de sucres solubles chez les organes des plants non arrosés par rapport à ceux des plants témoins (figure 4).

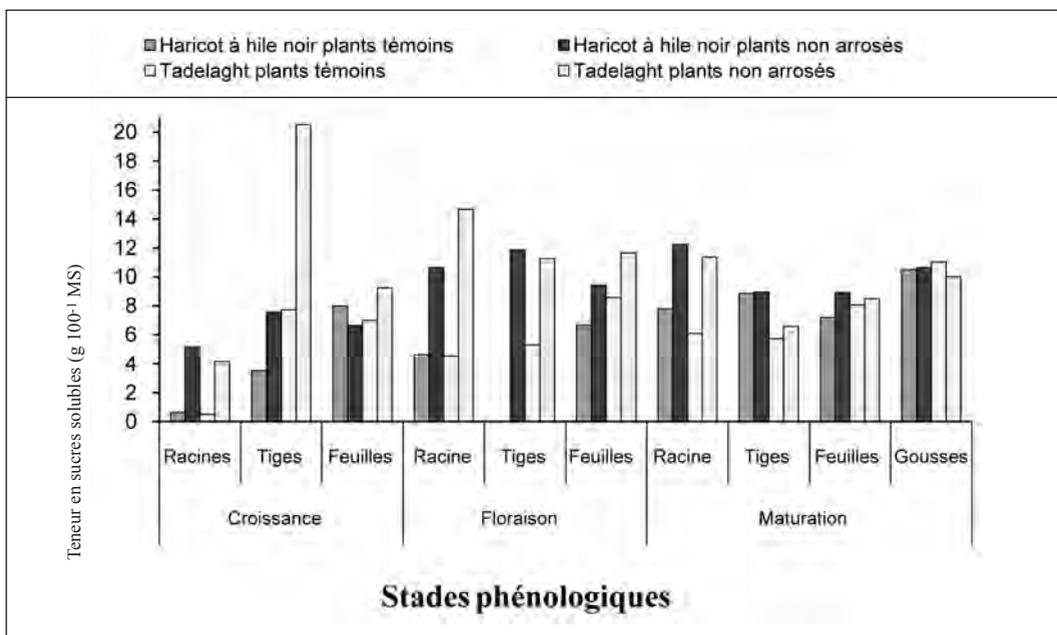


Figure 4 : Accumulation des sucres solubles dans les organes des plantes soumises à l'effet 2 niveaux de traitement hydrique au cours des principaux stade de développement.

Au stade croissance, l'accumulation de sucres solubles engendrée par le déficit hydrique est plus prononcée dans les racines par rapport aux autres organes. La teneur obtenue pour les témoins (haricot à hile noir = $(0,65 \pm 0,08)$ g pour 100g de matière sèche et Tadelaght = $(0,48 \pm 0,15)$ g pour 100g de MS) est augmentée respectivement d'un facteur de 8 pour le premier cultivar et de 8,6 pour le second. L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif pour les facteurs variété, régime hydrique et organe.

Au stade floraison, il y a une augmentation de sucres solubles par rapport au stade croissance dans les deux conditions d'irrigation. Toutefois, cette teneur en situation de contrainte hydrique est moins marquée comparativement au stade précédent. Celle-ci varie selon l'organe considéré de 1,41g pour 100g de MS (cas des feuilles) à 2,29g pour 100g de MS (racines) chez le haricot kabyle alors qu'il est de 1,35g (feuilles) à 3,24g (racines) pour 100g de MS chez Tadelaght.

Au stade maturation, les organes végétatifs ne montrent pas de variation significative en situation d'arrêt d'arrosage. La gousse présente la plus grande part dans la répartition des sucres solubles aussi bien chez les plantes arrosées que chez celles ayant subi un arrêt d'arrosage. L'effet d'un stress hydrique sur l'accumulation des sucres solubles s'avère moins marqué pour tous les organes des deux cultivars.

L'accumulation des sucres solubles enregistrée en conditions de sécheresse confirme la capacité d'ajustement osmotique du haricot dolique observée chez plusieurs espèces telles que la luzerne (Irigoyen *et al.*, 1992), le pois (Koppelaar *et al.*, 1991) et chez le haricot (Zegaoui, 1999). Au cours de cette expérimentation, les racines présentent un fort taux d'accumulation de sucres solubles par rapport aux autres organes en période de sécheresse ce qui permet un maintien d'une turgescence suffisante afin d'assurer une bonne absorption hydrique dans la solution du sol lors d'un abaissement du potentiel hydrique.

La meilleure accumulation de sucres est observée chez Tadelaght comparativement au haricot à hile noir.

CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent que la contrainte hydrique engendre une chute des organes fructifères, une altération de la matière sèche et une baisse du rendement. Aussi, il a été observé une réduction du taux d'azote dans les organes notamment chez le haricot à hile noir par rapport à Tadelaght. Il apparaît également que l'accumulation de sucres solubles est plus accentuée au sein des racines par rapport aux autres organes et plus apparente chez Tadelaght.

La plupart des paramètres étudiés sont affectés lorsque la contrainte est imposée à

la floraison ce qui révèle la sensibilité de ce stade au manque d'eau. La différence de réponse vis-à-vis du déficit hydrique indique que le cultivar du Sud algérien est plus tolérant que celui cultivé au Nord du pays. Ceci se confirme par le rendement de ce dernier qui est réduit de moitié comparé à celui de Tadelaght.

Pour une meilleure maîtrise des réactions de cette espèce présentant un pool génétique intéressant, des études en conditions contrôlées sont à recommander. Cela permettra une plus fine exploitation des résultats obtenus en vue de leur intégration dans des programmes d'amélioration variétale des pays à ressources hydriques limitées.

Références bibliographiques

- AID-HOUCHI A., ACHOUR, Z. et BALEH, Z. (1999) Caractérisation morphologique, biométrique et phénologique de 3 variétés algériennes de haricot dolique (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., Journées d'Agronomie, Université de Mostaganem, octobre 1999.
- BATE, L.M., HALL, A.E. (1982) Relations between leaf water status and transpiration of Cowpea with progressive soil drying. *Oecologia* 53 : 285-289.
- BORGET, M. (1989) Les légumineuses vivrières. Paris : Maisonneuve et Larose, 161p.
- CALMES, J., VIALA, G., GELFIN, et BLANCHET, R. (1985) Influence du déficit hydrique sur trois variétés de soja : effet sur la protéogénèse des graines. *Agronomie* 3 : 169-176.
- CRAUFURD, P.D., POJANG, M., WHEELER, T.R. et SUMMERFIELD, R.J. (1998) Heat tolerance in Cowpea : effect of timing and duration of heat stress. *Ann Appl Biol.* 133 : 257-67.
- FIGUIREDO, M.V.B., BURITY, H.A. et DEFRANÇA, F.P. (1999) Drought stress responses in Enzymatic activities of Cowpea nodules. *J. Plant Physiol.* 155 : 262-268.
- FRECHILLA, S.M., ROYUELA, C., ARRESE-IGOR, M. et APARICIO-TEJO, M. (1994) Réponse de *Pisum sativum* L. à la sécheresse selon la source d'azote et la façon d'imposer le stress In : colloque INRA Paris : les facteurs limitant la fixation symbiotique de l'azote dans le bassin méditerranéen 77 : 49-55.
- HAMIDOU, F., DICKO, M.H., ZAMBRE, G., TRAORE, A.S. et GUINKO, S. (2005) Réponse adaptative de 2 variétés de niébé à un stress hydrique. *Cahiers d'Agriculture*, 14 : 6, 561-567.
- HOPKINS, W.G. (2003) Physiologie végétale, 2^{ème} édition S. Rambour : 61-121.

- IRIGOYEN, J.J., EMERICH, D.W. et SANCHEZ-DIAZ, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologia plantarum* 84 : 55-60.
- ISMAÏLI, A.M. et HALL, A.E. (1998) Positive and potential negative effects of heat-tolerance genes in cowpea. *Crop science* 38 : 381-390.
- KOPPENAAL, R.S., TCHAPLINSKI, T.J. et COLOMBO, S.J. (1991) Carbohydrate accumulation turgor maintenance in seedling shoots and roots of two boreal conifers subjected to water stress. *Can. J. Bot.* 69 : 2522-2528.
- KOUADIO, D., ECHIKH, N., TOUSSAINT, A., PASQUET, R.S. et BAUDOIN, J.P. (2007) Organisation du pool génique de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. : croisements entre les formes sauvages et cultivées, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (1) : 47-57.
- NAGALAKSHMI, R.M., USHA KUMARI, R., et BORANAYAKA, M.B. (2010) Assessment of genetic diversity in cowpea (*Vigna unguiculata*). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1 (4) : 543-461.
- SAVOURE, B. (1980) Manipulations pratiques en physiologie végétale. Ed. Masson 259p.
- SINHA, S.K. (1980) Légumineuses alimentaires, répartition, adaptation, biologie du rendement. FAO, 365p.
- VARA, P.V., PRASAD, CRAUFURD, P.Q. et SUMMERIELD, R.J. (1999) Fruit number in relation to pollen production and viability in groundnut. Exposed to short episodes of heat stress. *Annales of botany* 84 : 381-386.
- ZEGAOUI, Z. (1999) Contribution à l'étude de la nutrition azotée chez *Phaseolus vulgaris* L. : effets du stress osmotique. Thèse de Magister, USTHB, 132p.