

Available online at <http://ajol.info/index.php/ijbcs>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 7(4): 1515-1523, August 2013

 International Journal
 of Biological and
 Chemical Sciences

ISSN 1991-8631

Original Paper<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effet de différentes modalités de stress hydrique sur la production et la teneur en éléments minéraux du gombo [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench]

Mawuli AZIADEKEY^{1*}, Komi ODAH² et Ayayi ATAYI¹

¹Département de Production Végétale, Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé,
BP : 1515, Lomé, Togo.

²Laboratoire de Physiologie et Biotechnologie Végétales, Faculté des Sciences, Université de Lomé,
BP : 1515 Lomé, Togo.

*Auteur correspondant, E-mail: guido_aziadek@yahoo.com ; komiodah@hotmail.com; Tél : (+228) 90204859

RESUME

Dans le but de tester diverses modalités de gestion de l'eau dans la production du gombo [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench], des plants ont été soumis après 20 jours de culture irriguée à des périodes de stress hydrique de durée variable (10, 25 jours et 5 cycles de stress de 3 jours et de réhydratation de 3 jours). La production de la biomasse des tiges et des feuilles, le rendement en fruits ainsi que la teneur en éléments minéraux (N P K) des plants ont été déterminés. Les résultats obtenus indiquent qu'un stress de courte durée stimule la production de la biomasse des parties aériennes après réhydratation et n'affecte pas le rendement en fruits. Un stress prolongé réduit la biomasse des parties aériennes mais accélère la floraison, tandis que le rendement en fruits reste particulièrement bas après réhydratation. Les plantes périodiquement stressées ont une biomasse élevée mais leur rendement en fruits est faible. La teneur des fruits en azote est élevée chez toutes les plantes soumises au stress hydrique.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Gombo, déficit hydrique, réhydratation, biomasse, rendement.

INTRODUCTION

Le gombo [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] est une plante légumière, de la famille des Malvaceae, qui joue un rôle important dans l'alimentation des populations locales. Plante annuelle, sa culture est souvent perturbée par la sécheresse comme la plupart des plantes tropicales. De nombreux travaux ont été consacrés aux effets de la sécheresse sur les plantes (Hamidou et al., 2005 ; Luquet et al., 2004 ; Yuan et al., 2004). Le stress hydrique affecte plusieurs variables de fonctionnement de la plante, telles que la température foliaire (Luquet et al., 2004 ;

Patel et al., 2001), la conductance stomatique et la surface foliaire (Lowlor et Cornic, 2002), ainsi que la photosynthèse (Yuan et al., 2004). Une diminution de la teneur en eau de la plante se traduit immédiatement par une réduction de la croissance des différents organes avant même que la photosynthèse ne soit affectée (Turner et al., 2001). D'après Amigues et al. (2006), à l'échelle annuelle, les conséquences d'une sécheresse dépendent de sa période de démarrage par rapport au stade cultural de la plante et de sa durée d'action.

Lors d'un stress hydrique, l'activité physiologique de la feuille, et plus

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i4.18>

particulièrement la photosynthèse et la conductance stomatique sont affectées avec pour conséquence une limitation biochimique des chloroplastes à fixer le dioxyde de carbone (Tartieu et Simoneau, 1998).

Peu d'études, cependant, se rapportent aux effets de la réhydratation des plantes après une sécheresse temporaire ou occasionnelle. Les rares travaux effectués dans ce domaine ont montré que les plantes cultivées en milieu sec peuvent, dans certaines conditions compenser leur retard après réhydratation, et même dépasser les plantes témoins régulièrement arrosées quant à leur production de matière sèche. Ces résultats peuvent s'expliquer par une accumulation d'hydrates de carbone au niveau des racines pendant la période du manque d'eau (Albouchi et al., 2003). Les hydrates favoriseraient un meilleur déroulement des processus contrôlant la croissance et le développement lorsque les conditions hydriques normales sont rétablies. La reprise de croissance après un stress hydrique varie selon les espèces et pour un déficit hydrique donné, de son intensité et du moment de son application (Karam et al., 2002).

Le présent travail est un aspect pratique de l'adaptation des plantes au changement climatique. Il permet d'évaluer le niveau de réaction d'une plante cultivée, le gombo, au stress hydrique et de prévoir ensuite un programme d'amélioration de la culture de cette plante en milieu tropical. L'objectif est de rechercher une méthode de culture qui permettrait d'économiser l'eau d'irrigation et favoriserait un bon rendement et une meilleure qualité nutritionnelle du gombo.

MATERIEL ET METHODES

Cadre et matériel d'étude

Les travaux ont été menés à la Station d'Expérimentation de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé. Le climat y est de type subéquatorial à quatre saisons. Les précipitations sont irrégulières. La moyenne annuelle est de 860 mm et la température moyenne annuelle de 31 °C. Le substrat d'étude est un sol argilo- sableux dont

la réserve facilement utilisable est de 8,60 mm à 30 cm et 24 mm à 70 cm.

Le matériel végétal est le gombo [*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench] de la famille des Malvaceae. Il est abondamment cultivé en Afrique tropicale pour son importance agroalimentaire. La variété choisie, Pya Hodo, est un écotype cultivé au Togo pendant la saison pluvieuse et dont le cycle biologique est d'environ 90 jours. Elle est appréciée par les paysans pour ses jeunes fruits très mucilagineux, de forme allongée et de couleur verte. Ses feuilles sont parfois consommées comme épinard dans les sauces.

Méthodes d'étude et observations

Les cultures ont été faites en plein champ pendant la grande saison sèche de novembre 2005. L'essai a été conduit selon un dispositif en blocs de Fisher à 4 répétitions. Chaque bloc comprend 4 planches de 8 m de long sur 4 m de large séparées par des allées de 1 m. Les graines de gombo de la variété Pya Hodo ont été semées le 5 novembre 2005 à raison de 3 par poquet selon le schéma cultural de 80 cm x 50 cm avec 5 lignes par planche. Les plantules âgées de 9 jours ont été démarriées en maintenant une plante par poquet.

Une couverture d'engrais chimique N-P-K (15-15-15) a été appliquée 25 jours après le semis à la dose de 100 kg/ha. Pour protéger les plants contre les ravageurs, trois traitements phytosanitaires ont eu lieu pendant la durée de l'expérimentation, par pulvérisation d'un mélange constitué d'un insecticide, le D6 C₂ (un pyrèthroïde), à raison de 1 litre/ha et d'un fongicide, le Dithane 45 (dont le principe actif est le mancozèbe 80%), à la dose de 1 kg/ha.

Les plantes sont arrosées deux fois par jour à raison de 26 litres par arrosage et par planche le matin et le soir.

Le stress hydrique est provoqué par l'arrêt des arrosages. Après 20 jours de culture irriguée, les planches ont été réparties selon les traitements suivants :

- T₀ : planches régulièrement arrosées (témoins) ;
- T₁ : planches arrosées 20 jours et soumises à une alternance de 5 cycles de diète

hydrique de 5 jours et de réhumectation de 3 jours ;

- T₂ : planches arrosées 20 jours et progressivement soumises à une diète hydrique de courte durée (10 jours) ;
- T₃ : planches arrosées 20 jours et progressivement soumises à un stress hydrique prolongé de 25 jours.

Les plantes soumises au stress hydrique reçoivent lors de la réhumectation, la même quantité d'eau que les témoins régulièrement arrosés.

Les observations et mesures ont été effectuées de la façon suivante:

- la biomasse moyenne des tiges et des feuilles obtenues par la pesée d'un lot de 5 plantes après dessiccation au four à 100 °C pendant 48 heures.
- la profondeur racinaire : déterminée sur 5 plantes âgées de 45 jours. L'opération a consisté à creuser autour de chaque plante jusqu'à atteindre la profondeur maximale des racines de la plante.
- la date de floraison : moment à partir duquel 50% des plants sur deux des lignes centrales ont donné des fleurs épanouies.
- le rendement en fruits sur les plants des deux lignes ayant servi à la détermination des dates de floraison par planche.

La récolte des fruits est faite tous les deux jours à partir du 45^{ème} jour de semis. Elle a duré 60 jours chez les plantes longuement asséchées et 45 jours chez les autres.

La composition chimique des fruits est déterminée par la méthode de Kjeldahl pour l'azote (N) et par la méthode crénulomolybdique pour le phosphore (P) et le potassium (K). Pour chaque traitement, deux déterminations des éléments N, P et K ont été effectuées sur des échantillons de fruits broyés provenant des quatre répétitions.

Les résultats ont été traités par l'analyse de variance et complétés par le test de Duncan pour le rendement en fruits.

RESULTATS

Biomasse des tiges et feuilles

Les biomasses des tiges dans tous les traitements effectués évoluent progressivement jusqu'au 30^{ème} jour (Figure

1). Les plants soumis au stress ont le même poids sec que les témoins. A partir du 40^{ème} jour, nous notons une baisse légère de la biomasse des tiges au niveau des plantes du lot témoin et une baisse plus importante au niveau des plantes du lot soumis à une longue période de stress. Chez les témoins, la biomasse des tiges est moins importante à partir du 40^{ème} jour du semis mais elle reste cependant croissante par rapport au lot soumis à un stress permanent. La faible augmentation observée entre le 30^{ème} et le 35^{ème} jours après semis par rapport aux témoins serait due aux précipitations intervenues pendant la période de l'essai. Après la reprise des arrosages, la production des tiges des plantes soumises à un assèchement de courte durée (T₂) évolue lentement par rapport aux témoins. Au niveau de la biomasse aérienne, le stress prolongé réduit de 56% la biomasse de tiges des T₃ par rapport au témoin.

Quant à la biomasse foliaire, elle évolue progressivement dans l'ensemble des lots jusqu'au 30^{ème} jour. Nous notons une baisse du poids sec du lot soumis à une longue période de stress (T₃) après 30 jours et une légère baisse du poids du lot soumis au stress périodique (T₁) suivi d'une reprise avec une évolution en dents de scie au 35^{ème} jour (Figure 2). Celle des plantes soumises à un stress de courte durée (T₂) atteint le niveau des témoins après la reprise des arrosages.

Les effets du stress hydrique prolongé se traduisent par une baisse importante de la biomasse chez les T₃. La production de matière sèche foliaire est élevée chez les plantes périodiquement asséchées et dépasse celle des témoins vers la fin de l'expérimentation.

Dates de floraison

L'observation du Tableau 1 montre que la floraison a lieu au 43^{ème} jour après le semis chez les témoins et les plantes soumises à un stress hydrique de courte durée, tandis qu'elle a lieu un peu plutôt, c'est-à-dire au 41^{ème} jour chez les plantes périodiquement asséchées.

La sécheresse prolongée accélère la floraison qui se produit 2 ou 3 jours plus tôt par rapport au lot témoin.

Longueur des racines

L'elongation racinaire atteint 70 cm et 80 cm chez T₁ et T₂. On observe par contre une forte réduction de cette elongation racinaire chez les plants soumis à un stress hydrique prolongé (T₃) par rapport aux témoins To (Tableau 1).

Rendements en fruits

Le rendement moyen des témoins atteint 11.51 t/ha. Le rendement des témoins est statistiquement identique à celui des plantes soumises à un assèchement de courte durée et diffère très significativement ($p < 0,001$) de ceux obtenus avec les plantes périodiquement stressées. Les plantes

longuement stressées ont un rendement très bas par rapport aux témoins (Tableau 2).

Teneur en éléments minéraux

La teneur des fruits en azote a été évaluée. Elle est faible chez les témoins (2,80%) et très élevée chez les plantes stressées (> 5%) (Tableau 3). La forte concentration en phosphore est observée chez les plantes soumises à une longue période de stress hydrique. Les témoins et les plantes modérément stressées (T₂) ont les mêmes teneurs en phosphore (0,40%) avec des teneurs identiques et plus élevées en potassium (2%) que chez les autres plantes.

Tableau 1 : Les dates de floraison et profondeur racinaire des diverses modalités du stress hydrique.

Traitements	Date de floraison	Age de la plante (jours après semis)	Profondeur racinaire à 45 jours (cm)
T0 : Témoins	18/12/ 05	43	50±1,85
T1 : Plantes périodiquement stressées	16/12/05	41	70±2,42
T2 : Plantes soumises à un stress de courte durée	18/ 12/05	43	80±2,80
T3 : Plantes soumises à un stress prolongé	15 /12/05	40	30±1,63

Tableau 2 : Rendement moyen du gombo suivant les différents traitements.

Traitements	Rendement (t/ha)
T0 : Témoins	11.51 a
T1 : Plantes périodiquement stressées	05.32 b
T2 : Plantes soumises à un stress de courte durée	10.99 a
T3 : Plantes soumises à un stress prolongé	03.15 c

Les moyennes suivies de même lettre ne sont pas significativement différentes $p < 0,001$.

Tableau 3 : Teneur (%) en éléments minéraux (N, P, K) des fruits du gombo suivant les différents traitements.

Traitements	Teneur (%)		
	N	P	K
T0 : Témoins	2,82±0,22	0,40±0,26	2,00±0,21
T1 : Plantes périodiquement stressées	5,52±0,32	0,30±0,16	1,60±0,11
T2 : Plantes soumises à un stress de courte durée	5,43±0,39	0,40±0,21	2,01±0,17
T3 : Plantes soumises à un stress prolongé	5,37±0,37	3,34±0,48	1,90±0,19

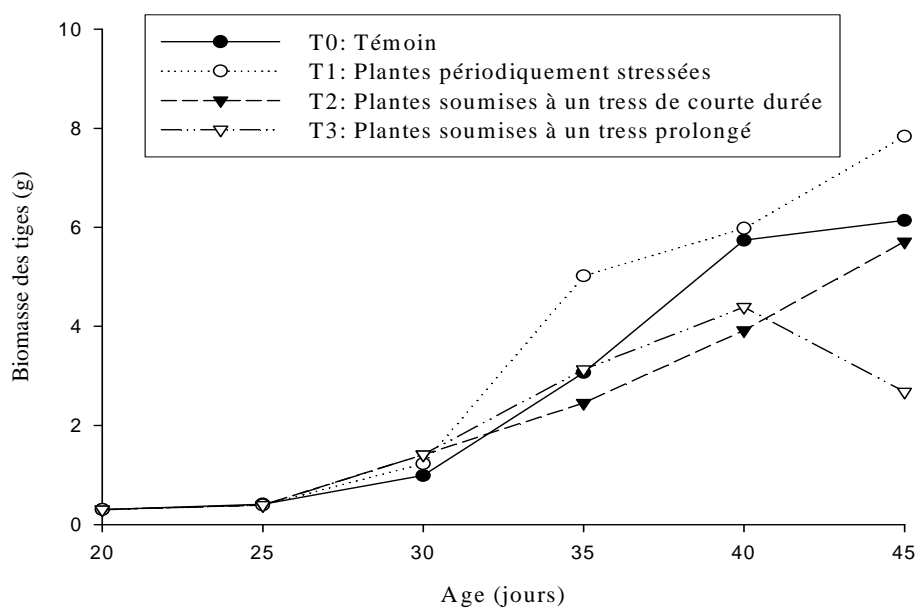


Figure 1 : Biomasse des tiges des différents traitements.

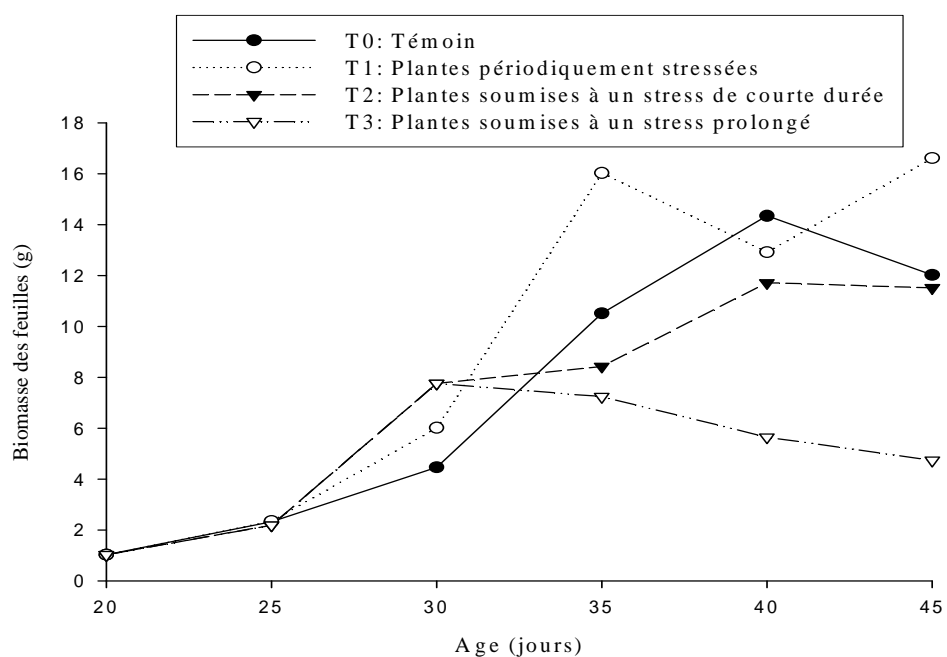


Figure 2: Biomasse des feuilles des différents traitements.

DISCUSSION

Plusieurs travaux ont montré que le stress hydrique affecte l'expansion des organes aériens des plantes. Nos résultats montrent qu'au niveau de la biomasse aérienne, le stress prolongé réduit de 56% la biomasse de tiges par rapport au témoin. Kimani et al. (1994) ont montré que chez le *Cajanus cajan*, un stress modéré ou sévère réduisait la biomasse des tiges de 34 ou 54%. De même, Albouci et al. (2003) ont trouvé chez *Cassuarina glauca*, une baisse du poids sec des tiges liée à une réduction conjointe de la croissance en hauteur d'autant plus importante que le déficit hydrique est sévère. Ces résultats sont similaires à ceux de Hussain et al. (2006), de Durand (2007), et de Raham et al. (2012).

La biomasse des témoins montre un ralentissement vers la fin de l'expérimentation. Un stress modéré ou périodique de courte durée, ne dépassant pas la phase florale, n'affecte pas la biomasse des tiges. La réhydratation entraîne une augmentation non significative de la biomasse des T₂ qui évolue lentement au niveau de celle des témoins après 15 jours de réhydratation, alors que l'alternance de courtes périodes de stress et de réhydratations induit une augmentation progressive de la biomasse des tiges qui dépasse celle des témoins, à partir du 40^{ème} jour après semis. Cette augmentation de la biomasse des tiges peut s'expliquer par une allocation d'une partie des hydrates de carbone formés au niveau des feuilles vers les tiges (Karam et al., 2002).

La production des feuilles varie en fonction de la durée du stress hydrique et du stade de développement des plantes. Un stress modéré (T₂), intervenant tôt pendant la phase végétative, n'affecte pas la biomasse foliaire. En revanche, lorsqu'il se prolonge, il induit une baisse de la matière sèche foliaire et la formation de petites feuilles qui restent réduites par rapport à celles des témoins après réhydratation. Cette baisse de la biomasse foliaire peut s'expliquer à la fois par la réduction des surfaces assimilatrices et par un ralentissement de la photosynthèse. La

réhydratation des plantes modérément stressées stimule la production foliaire qui évolue lentement au niveau des témoins après 15 jours de réhydratation puis se stabilise vers la fin de l'essai.

L'alternance de courtes périodes de stress et de réhydratation ne dépassant pas la phase florale entraîne une augmentation de la biomasse foliaire. En revanche, lorsque l'assèchement périodique de courte durée intervient pendant la phase florale entre les 38^{ème} et 41^{ème} jours après semis, il provoque une chute brutale de la biomasse des feuilles suivie d'une augmentation rapide après réhydratation. Cette chute n'a pas été observée au niveau des tiges.

La chute brutale de la biomasse foliaire pourrait être liée à une accentuation du déficit hydrique auquel les plantes ont été soumises. En effet, à ce stade, les feuilles étant plus développées, une relative élévation de la transpiration aggraverait le déficit hydrique entraînant une fermeture rapide des stomates et une intensification de la respiration. La récupération rapide et importante qui s'en est suivie, suggère que les réhydratations successives rétablissent le déficit hydrique à un niveau convenable par rapport aux témoins en favorisant une reprise plus intense des phénomènes métaboliques. Certains travaux antérieurs (Atayi, 1997) ont montré que lorsque le déficit hydrique n'est pas trop sévère, les plantes stressées puis réhydratées peuvent reprendre leur croissance et atteindre ou même dépasser celle des témoins régulièrement arrosés.

La courte période de stress appliquée entre les 38^{ème} et 41^{ème} jours après semis n'ayant pas affecté la biomasse des tiges, contrairement à celle des feuilles, l'ensemble des résultats permet de conclure à une plus grande sensibilité des feuilles que des tiges au stress hydrique.

Une baisse de la biomasse des feuilles a été également observée chez les témoins à partir du 40^{ème} jour après semis. Elle est essentiellement liée à la sénescence et à la chute rapide des feuilles âgées. Outre la formation de petites feuilles induites par le

stress prolongé, ces phénomènes de sénescence n'ont pas été observés de façon appréciable chez les plantes stressées. Le stress hydrique semble donc retarder le vieillissement des feuilles de gombo. Ces phénomènes ne sont pas observés chez la betterave sucrière lorsque le stress hydrique est appliqué en fin de période végétative (Karam *et al.*, 2002).

Le stress hydrique prolongé accélère la floraison du gombo. Ce comportement serait en partie variétal. En effet, les travaux de Sawadogo *et al.* (2006) indiquent que le stress hydrique en phase de boutonnisation conduit à une précocité de floraison chez certains génotypes de gombo et à un retard de floraison chez d'autres. Ces résultats sont similaires à ceux de Ashraf *et al.* (2006) et de Katung (2007) qui ont travaillé sur différentes variétés de gombo. La floraison rapide de certaines plantes cultivées en milieu sec peut être interprétée comme une stratégie adaptative des plants au manque d'eau. Les plantes semblent éviter leur extinction en conditions hydriques difficiles par une floraison précoce (Singh *et al.*, 1999).

Le rendement en fruits frais chez les témoins (11,5 t/ha) n'a pas été significativement différent de celui des plantes soumises à un stress de courte durée (T₂). Malgré une floraison rapide, les effets dépressifs du stress hydrique prolongé jusqu'à la phase post-florale persistent après la reprise des arrosages des T₃ et se traduisent par une réduction significative de 71% du rendement par rapport aux témoins. De même, les plantes périodiquement stressées jusqu'à la phase post-florale (T₁) qui avaient une biomasse aérienne plus élevée que les témoins, montrent une réduction significative du rendement (50%) par rapport à ces derniers, malgré la reprise normale des arrosages. Ces résultats concordent avec ceux de Hamidou *et al.* (2005) sur certaines variétés de niébé stressées pendant sept jours au cours de la maturation des gousses puis réarrosées. Sawadogo *et al.* (2006) ont travaillé sur six écotypes et ont montré que l'effet du stress hydrique en phase de boutonnisation est très néfaste pour le

gombo et se manifeste par une baisse des composantes du rendement. Les faibles rendements obtenus après réhydratation des T₁ et T₃ pouvaient s'expliquer par l'importance du déficit hydrique auquel les plantes ont été soumises et du moment de son application (Rosenow *et al.*, 1995), mais aussi par une absorption insuffisante d'eau causée par un arrêt de croissance ou un dommage du système racinaire.

En effet, l'observation du front racinaire des plantes âgées de 45 jours fait apparaître que la réhydratation stimule l'élongation racinaire qui est respectivement de 80 cm et 70 cm pour les T₂ et T₁ contre 50 cm pour les témoins. En revanche, le stress prolongé entraîne un ralentissement ou un arrêt de l'élongation racinaire qui n'est que de 30 cm chez les T₃. Cet enracinement profond pouvant assurer une meilleure absorption d'eau et de sels minéraux dans les plus basses couches du sol, aurait permis aux T₂ de produire une biomasse aérienne, mais aussi un rendement en fruit statistiquement identique à ceux des témoins.

On devait s'attendre à obtenir un rendement en fruits plus élevé chez les T₁ périodiquement stressés puis réhydratés au-delà du stade floral en raison de leur enracinement profond et de leur biomasse aérienne, la plus importante de tous les traitements. Les résultats suggèrent que la fructification chez le gombo constitue une période critique sensible à un stress prolongé et même à un stress hydrique de courte durée intervenant pendant la phase post-florale.

La teneur en azote des fruits est plus élevée chez les plantes stressées. Des résultats analogues ont été trouvés chez certaines variétés de niébé (Hamidou *et al.*, 2005). Ces résultats peuvent s'expliquer par la protéolyse qui s'opère dans les feuilles pendant la période du manque d'eau, entraînant la formation accrue de composés solubles azotés. Cette protéolyse fait sortir des feuilles les composés solubles qui vont s'accumuler dans d'autres parties de la plante. La réhydratation s'accompagne alors d'une intensification de la synthèse protéinique.

La faible teneur en azote des témoins pourrait être liée à son faible transfert vers les organes reproducteurs. Une grande partie de l'azote serait retenue dans les tiges et les feuilles pour assurer leur croissance. De même, la sénescence observée en fin de période végétative aurait entraîné la migration de l'azote vers les racines comme l'ont fait remarquer Gemtos et Lellis (1997) sur la betterave sucrière. Cette exportation d'azote expliquerait, en partie, la baisse de la croissance pondérale des feuilles et des tiges observées chez les témoins vers la fin de l'expérimentation.

Les teneurs des fruits en éléments P et K ne suivent pas celles de l'azote et semblent être liées à la périodicité et à la durée du stress hydrique. L'exploitation de cette variation d'éléments minéraux au niveau des plantes en condition de stress hydrique serait une autre piste d'investigation.

Conclusion

L'effet d'un stress hydrique, suivi de réhydratation sur la croissance ultérieure et le rendement du gombo semble dépendre de sa durée et du moment de son application au cours des phases phénologiques des plantes. Ainsi, chez le gombo, un stress prolongé réduit la biomasse aérienne et anticipe la floraison. Son effet néfaste persiste après réarrosage et entraîne une baisse du rendement en fruits. Par contre, un stress hydrique de courte durée, intervenant tôt au cours de la croissance végétative des plants, n'exerce aucun effet ni sur la biomasse des tiges, ni sur celle des feuilles. Les réhydratations ultérieures des plants modérément stressés conduisent progressivement les différents paramètres de croissance et de reproduction étudiés au niveau de ceux des témoins. L'alternance de courtes périodes de stress hydrique et de réhydratation stimule la biomasse aérienne à un niveau supérieur à celui des témoins. En revanche, un stress hydrique même de courte durée, intervenant dans la phase post-florale entraîne, dans tous les cas, une baisse du

rendement en fruits et une réduction de la biomasse des feuilles.

Les résultats de cette étude indiquent que les plantes soumises à un stress hydrique de courte durée puis réhydratées ont un rendement en fruits statistiquement identique à celui des témoins. En outre, leurs fruits renferment la même teneur en potassium et phosphore que les témoins mais avec un taux plus élevé en azote. En culture irriguée, il serait donc intéressant de soumettre les plantes de gombo à un stress modéré, ce qui aurait pour avantage non seulement d'économiser l'eau des arrosages, mais aussi d'obtenir un bon rendement tout en améliorant la qualité des fruits qui sont plus riches en azote protéinique.

REFERENCES

- Albouchi A, Béjaoui Z, El Aouni MH. 2003. Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Cassuarina glauca* sieb. *Sécheresse*, **14**(3): 137-142.
- Amigues JP, Debaeke P, Itier B, Lemaire G, Seguin B, Tardieu F, Thomas A. 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (Fr).
- Ashraful AKM, Hossain MD. 2006. Variability of Different Yield Contributing Parameters and Yield of Some Okra (*Abelmoschus esculentus* L) Accessions. *J. Agric. Rural Dev.*, **4**(1-2): 119-127.
- Atayi SA. 1997. Evolution du déficit hydrique et de la transpiration au cours de la réhumectation chez *Sinapis alba* L. (Cruciferae). *J. Rech. Sci. Univ. Bénin*, **1**(2): 22-27.
- Durand JL, 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante : aspects physiologiques. *Fourrages*, **190**: 181-195.
- Gemtos TA, Lellis T. 1997. Effects of soil compaction, water and organic matter contents on emergence and initial plant

- growth of cotton and sugar beet. *J. Agric. Eng Res.*, **66**: 121-134.
- Hamidou F, Dicko MH, Zombré G, Traoré AS, Guinko S. 2005. Réponse adaptative de deux variétés de niébé à un stress hydrique. *Cahiers Agricultures*, **16**(6): 651-667.
- Hussain S, Muhammad S, Noor A, Shah A, Iqbal Z. 2006. Response of Okra (*Abelmoschus esculentus*) Cultivars to different sowing times. *Journal of Agricultural and Biological Science*, **1**(01): 55-59.
- Karam F, Laoud RS, Hassan H. 2002. Stress hydrique et fertilisation azotée : effets sur la production de la betterave au Liban. *Sécheresse*, **13**(2): 113-119.
- Katung MD. 2007. Productivity of Okra varieties as influenced by seasonal changes in Northern Nigeria. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, **35**(01): 65-71.
- Kimani PM, Benzioni A, Ventura M. 1994. Genetic variation in pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) in response to successive cycles of water stress. *Plant and Soil*, **158**: 193-201.
- Luquet, D, Vidal A, Dauzat J, Begue A, Olioso A, Clouvel P. 2004. Using directional tir measurements and 3d simulations to assess the limitations and opportunities of water stress indices. *Remote Sensing of Environment*, **90**(1): 53-62.
- Lowlor D, Cornic W. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plant cell. *Environ.*, **25**: 275-294.
- Patel NR, Mehta AN, Shekh AM. 2001. Canopy temperature and water stress quantification in rainfed pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *Agricultural and Forest Meteorology*, **109**(3): 223-232.
- Rahman K, Waseem K, Kashif M, Jilani MS, Kiran M, Ghazanfarullah, Mamoon-Ur-Rashid M. 2012. Performance of different Okra (*Abelmoschus esculentus*) Cultivars under the agroclimatic conditions of Dera Ismail Khan. *Pakistan Journal of Science*, **64**(4): 316-319.
- Rosenow DT, Clark LE. 1995. Drought and lodging resistance for a quality sorghum crop. In *Proc. of the fiftieth Annual Corn and Sorghum Industry Research Conference*, 82-97.
- Sawadogo M, Zombre G, Balma D. 2006. Expression de différents écotypes de gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) au déficit hydrique intervenant pendant la boutonnisation et la floraison. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **10**(1): 43-54.
- Singh B, Mai-Kodomi Y, Terao TA. 1999. Sample screening method for drought tolerance in cowpea. *India J. Genet.*, **59**: 211-220.
- Tartieu F, Simoneau T. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric behaviours. *J. Exp. Bot.*, 409-432.
- Turner NC, Wright GC, Siddique KHM. 2001. Adaptation of grain legume to water-limited environments. *Adv. Agron.*, **71**: 193-231.
- Yuan G, Luo Y, Sun X, Tang D. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the north china plain. *Agricultural Water Management*, **64**(1): 29-40.