

ETUDE DE L'INFLUENCE DU STRESS HYDRIQUE SUR DEUX LIGNEES DE NIEBE

Mawuli Aziadekey

Ayayi Atayi

Département de Génétique et Amélioration des plantes,
Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé, Lomé, Togo

Komi Odah

Laboratoire de Physiologie et Biotechnologie Végétales,
Faculté des Sciences, Université de Lomé.

Abalo-Esso Magamana

Département de Génétique et Amélioration des plantes,
Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé

Abstract

Drought is a major limiting factor for cowpea production in tropical countries. Therefore, the effects of water stress applied 8 and 16 days after flowering have been studied on two lines (V_1 and V_2) of cowpea for a double purpose use for seed and forage production. Parameters related to yield components, aerial and underground biomasses as well as total N and P contents of leaves and seeds were evaluated. The effects of 8 days of water stress after flowering were low on some yield components such as 100 seed weight and pods length for both lines. But, 16 days of water stress had greatly reduced all the agronomic and morphological traits, with a greater impact on V_1 for the number of pods and total seed weight per plant. Consequently, this line was more sensitive for seed production under water stress condition because of a high sensibility index (1,20). However, this line could be better forage because of a higher production of aerial biomass. On the other hand, yield components such as the number of pods and total seed weight per plant were less reduced for V_2 . The index of sensibility for this line was 0,80 ($S < 1$) indicating that it was less sensitive or tolerant to water stress for seed production. Both lines had a tendency to accumulate total N in their leaves with similar P content in their seeds. This study showed that line V_2 had the best response under drought conditions, especially for seed production.

Keywords: Cowpea, seed, forage, water stress, biochemical composition

Resume

La sécheresse est un important facteur limitant pour la production du niébé dans les pays tropicaux. Les effets d'un déficit hydrique induit par l'arrêt de l'arrosage en début de floraison pendant 8 et 16 jours ont donc été étudiés chez deux lignées de niébé (V_1 et V_2) à double usage pour la production de fourrages et de graines. Les paramètres tels que les composantes du rendement, la biomasse aérienne et souterraine ainsi que les teneurs en N et P total des graines et des feuilles ont été évalués. L'effet de 8 jours de déficit hydrique appliqué en début de floraison n'est pas significatif sur certaines composantes de rendement telles que la masse de 100 graines et la taille des gousses chez les deux lignées. Par contre, un déficit hydrique prolongé de 16 jours a réduit considérablement tous les caractères agro morphologiques. Cette réduction a été plus importante chez V_1 pour le nombre de gousses et la masse de graines par plante. La lignée V_1 a été très sensible pour la production de graines en condition de stress ce qui justifie son indice de sensibilité variétale très élevé (1,20) ; mais elle peut être un meilleur fourrage grâce à sa biomasse aérienne plus élevée. En revanche, la lignée V_2 a produit plus de gousses avec une masse de graines par plante plus élevée ; son indice de sensibilité variétale 0,80 ($S < 1$) indique qu'elle est peu sensible ou tolérante en condition de stress hydrique pour la production de graines. En situation de stress hydrique, les deux lignées ont tendance à accumuler le N total dans les feuilles avec des teneurs en P similaires dans les graines. Dans cette étude, la lignée V_2 a présenté la meilleure réponse adaptative en condition de sécheresse, surtout pour la production de graines.

Mots clés : Niébé, déficit hydrique, graines, fourrage, composition biochimique

Introduction

Le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) est la légumineuse la plus importante des régions tropicales d'Afrique (Jakai et Adalla, 1997). Sa culture joue un rôle très important dans l'équilibre nutritionnel et dans l'économie des populations rurales. Le niébé se caractérise par sa richesse en protéine ; sur le plan alimentaire, il occupe une place de choix du fait qu'il constitue une importante source de protéines et d'énergie pour les hommes et les animaux dans les pays en développement où l'accès aux protéines d'origines animales est difficile, voire impossible pour les populations.

Parmi les contraintes à la production du niébé, la sécheresse est l'un des facteurs limitant. En effet, la culture du niébé 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 (Yuan *et al.*, 2004, Luquet *et al.*, 2004, Hamidou *et al.*, 2005). Le stress hydrique affecte

plusieurs variables de fonctionnement de la plante, telles que la température foliaire (Patel *et al.*, 2001; Luquet *et al.*, 2004), 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 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).

La recherche agronomique contribue pour une large part à la capacité du monde à produire plus de vivres sur des superficies limitées depuis une quarantaine d'années, grâce à la production de variétés à haut rendement et plus résistantes à la sécheresse et aux ravageurs (FAO, 2007). L'amélioration des rendements dans les pays tropicaux arides passe donc par la sélection de variétés résistantes au stress hydrique. Dans certains pays d'Afrique subsaharienne comme le Togo, les sécheresses sont fréquentes et presque prévisibles. Elles ne doivent plus être considérées comme des problèmes d'urgence, mais comme un phénomène à prendre en compte dans les stratégies nationales de développement (FAO, 2004). C'est dans cette optique que deux lignées de niébé à double usage sélectionnées à la fois pour la production de graines et de fourrages ont été testées pour leur réponse en condition de stress hydrique. L'objectif de ce travail est d'analyser l'impact du stress hydrique sur les composantes de rendement et sur la composition biochimique des feuilles et des graines de deux lignées de niébé à double usage afin d'apprécier leur réponse adaptative.

Materiel et methodes

Cadre et matériel d'étude

L'essai a été conduit à la station d'expérimentation agronomique de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé qui se trouve dans la préfecture du Golfe (Région Maritime). Cette région jouit d'un climat guinéen caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Les précipitations sont irrégulières avec une moyenne annuelle de 860 mm et une température moyenne annuelle de 31° C.

Le matériel végétal est constitué de deux lignées de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp), «IT 98K-412-13 (V₁)» et «IT 98K-589-2 (V₂)» créées par l'IITA – Nigeria pour la production de graines et de fourrages.

Méthodes de culture

L'essai a été réalisé de mai à août 2011. Le semis a été fait dans des pots en plastique de 10 litres et ayant un diamètre de 30 cm, contenant un sol bien homogénéisé. Le fond de ces pots a été troué pour laisser égoutter l'eau après arrosage. Ce type de culture permet de simuler parfaitement la contrainte hydrique progressive, reproduisant ainsi parfaitement celle d'un stress hydrique en plein champ, là où il est très souvent difficile de réaliser des situations vraies de sécheresse (Bravdo, 2005).

L'expérimentation a été conduite sous serre, abri grillagé au toit transparent et a comporté deux facteurs. Le facteur « variété » correspondant aux deux lignées (V_1 et V_2) et le second facteur qui est le régime hydrique a trois niveaux : témoin régulièrement arrosé (T_0) ; plantes soumises à 8 jours de stress hydrique (T_1) et plantes soumises à 16 jours de stress hydrique (T_2) à partir de la floraison.

Chaque lignée a été semée dans des pots en plastique contenant 14 kg de sol dont la teneur en azote est de 1,57‰ et dont la composition en granulométrie est 83,3 % de sable, 9,50 % d'argile et 5,78 % de limon.

Le dispositif expérimental adopté est celui en split-plot à 4 répétitions. Les graines des deux lignées ont été directement semées dans les pots à raison de 4 graines par pot. Chaque pot est considéré comme une répétition. Le démariage a été fait en laissant deux plants par pot qui ont été régulièrement arrosés. Au stade de la floraison, les pots sont repartis en trois lots constitués des plants à stresser pendant 8 jours, des plants à stresser pendant 16 jours et des plants témoins.

Avant l'application de la contrainte hydrique par interruption de l'arrosage, les feuilles ont été prélevées à raison d'une feuille (3^{ème} feuille du rang 3) sur un plant de chaque pot pour le dosage de l'azote total. Ce prélèvement a été répété au 8^{ème} et au 16^{ème} jour après floraison afin de suivre l'évolution de la teneur en azote des feuilles pour chaque traitement. Les plantes stressées ont été ensuite réarrosées afin de déterminer les composantes du rendement à la fin du cycle.

Collecte des données

Les composantes de rendement ont été déterminées sur les plants qui n'ont subi aucun prélèvement de feuilles. Les feuilles ont été mélangées par variété et par régime hydrique. Les graines récoltées à la fin de l'essai ont subi le même traitement. Les échantillons ainsi obtenus ont été séchés à l'étuve à 65°C pendant trois jours en vue de déterminer leur taux de matière sèche puis broyées. Ce broyat a servi au dosage de l'azote (N) et du phosphore (P). Trois déterminations ont été réalisées sur chaque traitement pour le dosage des éléments N et P.

A la récolte, les composantes de rendement dont le nombre de graines par gousses, la masse de graines par plante, la masse de 100 graines ont été déterminées à l'aide d'une balance à précision de marque DENVER. D'autres paramètres tels que la masse sèche des tiges et la masse fraîche des racines ont été également déterminés.

L'indice de sensibilité variétale à la sécheresse (drought susceptibility index) a été calculé selon la formule d'Acevedo (1991):

$$S=(1-Rs/Rt)/Is$$

Où

Rs = rendement en graines en conditions de sécheresse

Rt = rendement en graines en conditions témoins (sans stress hydrique)

Is = « intensité de sécheresse » = $1-R_{sm}/R_{tm}$ où

Rsm = moyenne de rendement de l'essai, en conditions de sécheresse

Rtm = moyenne de rendement de l'essai, en conditions témoins.

Le dosage de l'azote total (N) dans les graines et dans les feuilles a été déterminé par la méthode de Kjeldahl, tandis que celui du phosphore (P) a été réalisé grâce à la méthode au Molybdique-Métavanadate.

Analyse statistique

Les données collectées sur les caractéristiques agronomiques ont été analysées à l'aide du logiciel « MSTAT-C ». Le test de Student Newman-Keuls a été utilisé pour la discrimination des moyennes au seuil de 5%.

Resultats

Les caractères agro morphologiques

Tous les caractères agro morphologiques ont été affectés par le stress hydrique, mais avec des différences selon la lignée et la durée du stress. Le tableau 1 présente le niveau de signification des deux facteurs et leurs interactions pour les caractères mesurés. Un effet variétal significatif ($P < 0,05$) existe entre les deux lignées pour le nombre de gousses par plante, la masse de graines par plant, la masse de 100 graines, la masse de tige sèche et de racine fraîche. Chez les témoins, la lignée V₂ a produit plus de gousses par plante (en moyenne 10) avec une meilleure masse de graines par plante (9,66 g) contre 7,50 gousses par plante avec une masse de graines de 7,60 g chez V₁. La lignée V₁, par contre, développe plus de biomasse aérienne et souterraine. Les masses de tige sèches et de racine fraîches sont respectivement 14,68 g et 17,40 g chez V₁ contre 9,14 et 15,54 chez V₂ pour les témoins. La masse de 100 graines est également plus élevée chez V₁ (17,92 g) contre 13,0 g pour V₂ (Tableau 2).

Le régime hydrique a eu un effet négatif significatif sur l'ensemble des caractères étudiés. Le stress hydrique de 8 jours (T₁) n'a eu aucun effet

significatif ($P < 0,05$) sur la taille des gousses et la masse de 100 graines chez les deux lignées (Tableau 1). L'effet négatif du stress hydrique de 8 jours a été significatif ($P < 0,05$) pour la masse de graines par plante, le nombre de gousses par plant et le nombre de graines par plante chez V_1 et V_2 , avec un taux de réduction de la masse de graines par plante plus élevée chez V_1 (38%) contre 30 % chez V_2 . Une augmentation de la masse des racines en fonction de la durée du stress hydrique a été observée chez les deux lignées. Cette masse des racines a plus augmenté chez V_1 (27 %) que chez V_2 (12,2 %). L'effet négatif du stress à 8 jours a été par contre plus faible au niveau des tiges chez V_2 (17%) que chez V_1 (22,6 %). En revanche, tous les caractères mesurés ont été plus affectés par rapport aux témoins lorsque le stress hydrique a été prolongé à 16 jours. Le nombre de gousses par plante et la masse de graines par plante ont été significativement plus réduits par rapport au stress de 8 jours chez V_1 lorsque le stress est prolongé jusqu'à 16 jours. Une interaction significative a été observée pour le nombre de gousses par plante et la masse de graines par plante, indiquant que l'effet du stress hydrique sur ces caractères dépend des lignées.

D'une façon générale, les réductions des caractères agronomiques par rapport aux témoins ont été plus élevées chez V_1 dont le nombre de gousses par plante et la masse de graines par plante ont été plus affectés. L'indice de sensibilité variétale de V_1 est de 1,20. Cette lignée a été très sensible aux conditions de stress hydrique pour la production de graines, mais par rapport à sa masse en tige sèche relativement plus élevée, elle peut être un meilleur fourrage. En revanche, la lignée V_2 a produit plus de gousses avec une masse de graines par plante plus élevée en condition de stress hydrique. Son indice de sensibilité variétale de 0,80 ($S < 1$) indique qu'elle est peu sensible (tolérante) en condition de stress hydrique.

Composition biochimique des lignées

Les teneurs en N et P varient selon les régimes hydriques et selon la lignée. Chez V_1 , les teneurs en N augmentent dans les graines en fonction de la durée du stress hydrique (3,88% pour T_0 à 3,99% pour T_2), tandis que le phénomène inverse a été observé chez V_2 dont la teneur en N total dans la graine baisse après 16 jours de stress. Elle est passée de 3,53% pour le témoin à 3,33% pour les 16 jours de stress (Figure 1).

Les teneurs en P dans les graines ont varié de 0,55% (T_0) à 0,61% (T_2) pour V_1 et de 0,61 (T_0) à 0,64 (T_2) pour V_2 (Figures 2). En situation de stress hydrique, les deux lignées ont tendance à accumuler le N total dans les feuilles (Figure 3).

Discussion

Les composantes de rendement telles que la taille des gousses et la masse de 100 graines n'ont pas été négativement affectées par le stress hydrique de 8 jours chez les deux lignées. Ces résultats sont similaires à ceux de Falalou *et al.*, (2005) sur deux variétés de niébé (Goram et KN1) qui sont cultivées essentiellement pour la production de graines. Par contre, les autres composantes du rendement (la masse de graines par plante, le nombre de gousse par plante et le nombre de graines par gousse) ont été significativement réduites par les stress hydriques de 8 et 16 jours chez les deux lignées. Selon Kramer (1999), la période du remplissage de gousses est la phase dont le stress hydrique a le plus grand impact sur le rendement. Une contrainte hydrique sévère touche les facteurs en rapport avec la formation des graines dont la photosynthèse et la translocation des assimilats. En effet, la photosynthèse, facteur primaire de la production totale, est souvent perturbée par le déficit hydrique qui induit la fermeture des stomates. L'impact est fonction de l'intensité du déficit, du stade phénologique durant lequel il intervient, mais aussi du génotype de la plante (Sawadogo *et al.*, 2000). La translocation des assimilats des feuilles vers les graines se ferait plus facilement chez V₂ qui produit plus de graines par gousse, avec une masse de graines par plante plus élevée que chez V₁. L'alimentation hydrique insuffisante a eu pour conséquence une réduction du nombre de gousses chez les deux lignées qui s'explique par une chute des organes floraux.

La réduction de la masse sèche des tiges à 16 jours de stress par rapport aux témoins a été relativement importante chez les deux lignées. Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par Kimani *et al.*, (1994) qui ont montré qu'un stress hydrique sévère réduisait la biomasse chez *Cajanus cajan* de 34 à 54%. Albouchi *et al.*, (2003) ont rapporté chez *Cassuarina glauca*, une baisse de poids sec des tiges liée à une réduction de la croissance en hauteur. Cette réduction peut s'expliquer à la fois par la réduction des surfaces assimilatrices et par un ralentissement de la photosynthèse lié au déficit hydrique (Scotti *et al.*, 1999).

La masse fraîche des racines est le seul paramètre qui a connu une augmentation en fonction de la durée du stress hydrique. Bajji (1999) a montré que le système racinaire est moins affecté par le stress hydrique par rapport au système aérien entraînant une augmentation du rapport système racinaire/partie aérienne. La croissance soutenue du système racinaire en condition de stress serait un facteur de résistance au stress hydrique selon (Monneveux, 1997). Ce phénomène s'explique par le fait que le sol s'asséchant à la surface, les racines s'enfoncent plus dans le sol à la recherche de l'eau.

Au niveau des feuilles et des graines, la teneur en azote est relativement plus élevée chez les plantes stressées. Selon Falalou *et al.*

(2005), cette augmentation de la teneur en N peut s'expliquer par la protéolyse qui s'opère dans les feuilles pendant la période de manque d'eau entraînant la formation des composés azotés. Les teneurs en phosphore suivent presque la même évolution chez les deux lignées. Les masses de tige et de racine ainsi que la composition biochimique des graines sont affectées par le déficit hydrique, mais pas de façon identique pour les deux lignées.

Conclusion

Cette étude a révélé que le déficit hydrique appliqué en début de floraison peut être faible sur certaines composantes de rendement. Cependant, un déficit hydrique prolongé en début de floraison réduit considérablement toutes les composantes du rendement. Les résultats obtenus montrent une importante variation intra-spécifique entre les deux lignées sur l'ensemble de leurs caractères agro morphologiques et leur composition biochimique pour la production de graines et de fourrages sous l'influence du stress hydrique. La lignée V2 a présenté la meilleure réponse adaptative en condition de stress hydrique, surtout pour la production des graines, mais cette étude mérite d'être poursuivie sur le niébé et sur d'autres légumineuses cultivées au Togo et dans la sous région d'Afrique de l'Ouest.

References:

- Acevedo E. 1991. Improvement of winter cereal crops in Mediterranean environment. Use of yield, morphological and physiological traits. Coll. Physiological breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environment, 55. Paris: Inra editions.
- Albouchi A., Bejaoui Z., EL Aouni M. H., 2003. Influence d'un stress hydrique modéré ou sévère sur la croissance de jeunes plants de *Cassuarina glauca* sied. *Sécheresse* ; 14 (3) : 137- 142.
- Amigues , J.P., 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). 12 p.
- Bajji M., 1999. La résistance au stress hydrique chez le blé dur : comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante entière, université catholique de Louvain, Belgique. pp.78-82.
- Bravdo B., 2005. Physiological. Mechanisms involved in the production of non-hydraulic root signals by partial rootzone drying. pp. 267-275.
- FAO, 2007. Système d'information des ressources en alimentation animale. 52 p.
- FAO, 2004. Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. 45 p.

- Falalou H., Dicko MH, Zombré G, Traoré AS, Guinko S. 2005. Réponse adaptative de deux variétés de niébé à un stress hydrique. *Cahiers Agricultures*; 14 (6): 651 – 567.
- Lowlor D, Cornic W., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plant cell. *Environ*; 25: 275-294.
- Jakai L. E. N. & Adalla C. B., 1997. Pest management practices in cowpea. In Singh B. B., Mohan Raj, D. R., Dashiell K. E., Jakai L. E. N. (eds). *Advances in cowpea Research*. Copublication of International Institute of tropical agriculture (IITA) and Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), Publishing Devron. UK. pp. 240-257.
- Kimani P P.M. 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.
- Lowlor D., Cornic W., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher *Plant cell*. *Environ*; 25 : 275-294
- Monneveux P., Sécheresse, 1997. La génétique face aux problèmes de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: Espoirs et difficultés. pp.29-3
- 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.
- Scotti C.P., Ramalho J.C, Lauriano J.A., Silva L J., Matos D.M., 1999. Effect of drought of photosynthetic performance and water relations of four vigna genotype. *Photosynthetica*; 36 :79-87.
- Tartieu F. and Simoneau T., 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demande : modeling isohydric behaviours. *J. Exp. Bot*; 49-432.
- Turner, N.C., Wright GC, Siddique K.H.M. 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.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats de l'analyse de variance des caractères agro morphologiques.

Effet	Nombre gses/plant	Taille des gousses	Nombre grn /gses	Masse grn/plant	Masse 100 graines	Masse tige sèche	Masse racine
RH	0,033	0,049	0,011	0,021	0,045	0,033	0,023
Lignées	0,041	ns	ns	0,011	0,023	0,018	0,037
RH.Lignées	0,023	ns	ns	0,05	ns	ns	ns

RH = régime hydrique ; gses/plant = nombre de gousses par plante ; grn/gses= graines par gousse ; grn/plant = graine par plante ; ns = non significatif au seuil p = 0,05.

Tableau 2. Comparaison des caractéristiques agronomiques et morphologiques des 2 lignées de niébé.

Paramètres	V1 (IT 98K-412-13)			V2 (IT 98K-589-2)		
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₀	T ₁	T ₂
Nombre de gousses/plant	7,50±1,20 a	5,00±0,82 b	2,20±0,51c	10,00±1,6 0a	6,20±1,02 b	4,10±1,21 b
Taille gousses (cm)	14,40±2,1 8a	13,31±2,2 0a	10,55±1,7 1b	15,20±1,8 0a	13,60±2,0 7a	11,14±1,7 5b
Nombre de graines/gousse	6,08±1,53 a	3,60±1,88 b	2,20±1,43 b	8,80±1,62 a	5,25±1,72 b	4,10±2,62 b
Masse graines par plante (g)	7,49±0,59 a	4,65±1,88 b	2,20±0,90c	9,40±2,21 a	6,51±1,90 b	3,18±1,78 b
Masse de 100 graines (g)	17,62±2,0 8a	16,80±2,1 8a	14,12±1,8 1b	12,79±2,1 0a	12,42±1,8 0a	10,02±2,0 2b
Masse de tige sèche (g)	14,68±1,6 0a	11,35±1,7 5b	8,80±1,18 b	9,14±1,20 a	7,56±1,71 a	4,05±2,78 b
Masse racine fraîche (g)	17,40±2,0 1b	22,22±2,8 6a	23,41±2,3 2a	15,14±1,9 8b	17,39±2,1 2a	18,78±2,5 1a

T₀ = plant non stressé ; T₁ = stressé par arrêt de l'arrosage pendant 8 jours en début de floraison; T₂ = stressé pendant 16 jours par arrêt de l'arrosage en début de floraison.

Liste des figures

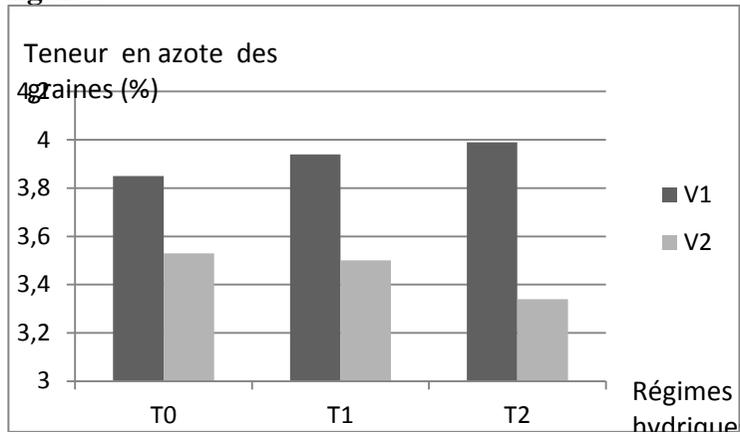


Figure 1. Teneur en N total dans les grains.

T₀ = Témoins régulièrement arrosés, T₁ = 8 jours de stress
T₂ = 16 jours de stress hydrique

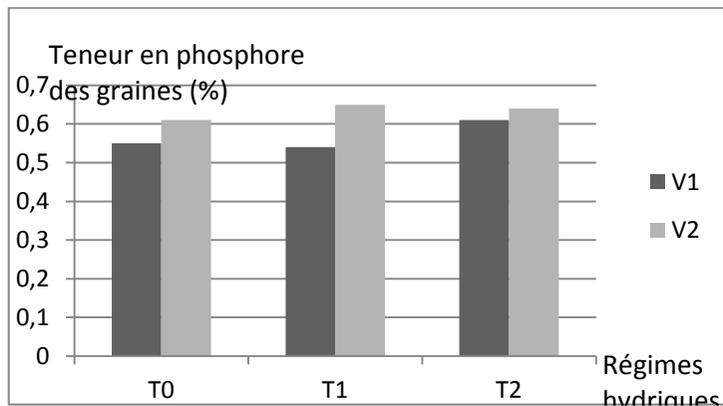


Figure 2. Teneur de P total dans les graines.

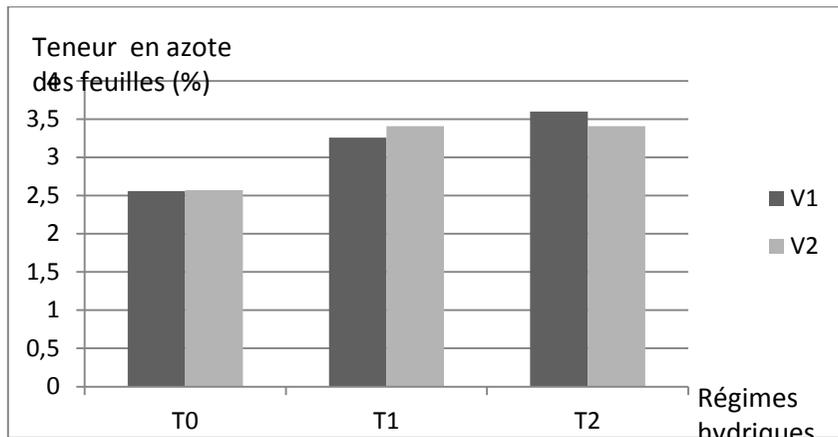


Figure 3. Teneur en N total des feuilles.