

EFFETS D'UN DEFICIT HYDRIQUE SUR CERTAINS PARAMETRES MORPHOLOGIQUES, PHYSIOLOGIQUES ET DE RENDEMENT CHEZ LE COTONNIER (*Gossypium hirsutum* L. CV STAM129A) CULTIVE AU TOGO

N.GNOFAM¹, K. TOZO², B. BONFOH¹, K. P. AKANTETOU¹, L. KOLANI³ et K. AMOUZOUVI³

¹Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA), Centre de Recherche de la Savane Humide (CRA-SH), Programme National Coton (PNC).

²Université de Lomé, Faculté des Sciences, Laboratoire de Physiologie Végétale et de Biologie Moléculaire. E-mail : Koffitozo@gmail.com

³Université de Lomé, Ecole Supérieure d'Agronomie.

RESUME

Le cotonnier est connu pour sa sensibilité au déficit hydrique. Le présent travail a été initié afin de mesurer les effets de ce facteur chez la variété STAM129A de cotonnier vulgarisée au Togo. L'étude porte sur certains paramètres tels que la hauteur des plantes, la longueur des entrenœuds, le taux de rétention des capsules, le rendement en coton graine, la teneur en protéines solubles foliaires et en chlorophylles totales ainsi que la perméabilité membranaire des cellules foliaires. Pour cela, un déficit hydrique strict a été induit entre les 45 et 75^{èmes} jours après levée. Les résultats ont montré que le déficit hydrique a entraîné une diminution de la croissance en hauteur des plantes à partir du 65^{ème} jour après levée et du taux de rétention des capsules sur certaines branches fructifères. Le rendement en coton graine a chuté de 56 %. Le déficit hydrique n'a pas affecté la teneur en protéines solubles totales mais il a partiellement diminué le taux de chlorophylles et l'intégrité membranaire cellulaire. Ces données montrent que le cotonnier STAM129A est sensible au déficit hydrique. Elles devront être prises en compte dans les futurs programmes de gestion du cotonnier en particulier dans les zones du Togo à faible pluviométrie.

Mots clés : Déficit hydrique, cotonnier, organes fructifères, rendement.

ABSTRACT

EFFECTS OF WATER DEFICIT ON SOME MORPHOLOGICAL, PHYSIOLOGICAL AND YIELD PARAMETERS IN STAM 129A COTTON GROWN IN TOGO

Cotton is known for its sensitivity to water deficit. The present study was carried to measure the effects of this factor in STAM129A cotton grown in Togo. It focused on some parameters such as plant height, length of internodes, fruitful organs retention rate, seed cotton yield, leaf soluble proteins, total chlorophyll as well as leaf cell membrane permeability. For this purpose, a severe water deficit was induced from the 45th to the 75th days after emergence. The study showed that water deficit resulted in a decrease of both the plant growth from the 20th day after the stress inducing and fruitful organs retention rate on some fruiting branches. The yield of cotton seed fell by 56 %. Water deficit did not affect the content of total soluble proteins but resulted in partially decreased content of chlorophyll and cell membrane integrity. The data show that the STAM129A cotton is sensitive to water deficit and they should be considered in future cotton management programs especially in Togo areas of lower rainfall pattern.

Key words : Water deficit, cotton, fruitful organs, yield.

INTRODUCTION

Le cotonnier est une plante textile largement répandue dans la ceinture tropicale du globe terrestre. En Afrique de l'Ouest notamment au Togo, au Bénin, au Burkina Faso et au Mali, le coton constitue 5 à 9 % du PIB et entre 30 à 40 % du revenu d'exportation (UEMOA, 2006) et les recettes issues de sa culture constituent dans beaucoup de cas, la principale source de revenus sûre pour les producteurs (Yattara, 2010). Au Togo, la production du coton n'a cessé de baisser ces dernières années passant de 187 000 tonnes en 1998/99, à 25 000 tonnes en 2006/2007. Cette baisse est liée à de multiples causes parmi lesquelles l'instabilité des facteurs environnementaux tels que la pluviométrie, n'est pas à négliger. Il est, en effet, connu que le déficit en eau est le facteur abiotique le plus limitant pour la productivité et le rendement chez plusieurs plantes cultivées (Kramer, 1983) et constitue un fléau pour l'agriculture mondiale puisque près du tiers des surfaces cultivées ne sont pas correctement arrosées (Massacci *et al.*, 2008). Le cotonnier est sensible au stress hydrique (Loka *et al.*, 2011). Sur le plan morphologique, plusieurs auteurs ont montré que ce stress affecte plus particulièrement l'étape de floraison et la formation des capsules et par voie de conséquence le rendement en fibre (Constable et Hearn, 1981 ; Cull *et al.*, 1981a ; Turner *et al.*, 1986 ; Delhover *et al.*, 1992). Kouakou *et al.*, 2008 ont montré qu'un stress hydrique provoqué *in vitro* chez le cotonnier à l'aide de polyéthylène glycol entraîne une diminution de la longueur des racines et de la croissance en hauteur, un ralentissement de la croissance des feuilles. Les mêmes résultats ont été obtenus par Pace *et al.* (1999) qui notent en plus une diminution du nombre de nœuds. Au niveau cellulaire, le stress hydrique se manifeste par une augmentation de la perméabilité membranaire se traduisant par une fuite d'électrolytes (Levitt, 1972). Sur le plan métabolique, le déficit hydrique diminue globalement chez le cotonnier la teneur en protéines. Toutefois, certaines protéines spécifiques sont au contraire néo synthétisées comme les protéines de choc thermique (Burke *et al.*, 1985 ; Kuznetsov *et al.*, 1999). Toutes ces données montrent que les effets du stress hydrique sur le cotonnier sont loin d'être négligeables et qu'il est important, afin de garantir des niveaux de rendement élevés du cotonnier dans les zones de faible pluviométrie,

que des solutions soient recherchées. Une de ces solutions est le recours à des génotypes de cotonnier tolérants ou résistants au stress hydrique mais certains présentent l'inconvénient d'être faiblement productifs (Leidi *et al.*, 1999 ; Lacape *et al.*, 1998 ; Kouakou *et al.*, 2008). Au Togo, la variété STAM129A a été introduite en 2002 pour son rendement au champ et son rendement fibre à l'égrenage et non pour sa tolérance vis-à-vis de la sécheresse. A ce jour aucune donnée n'est disponible sur les réponses morphologiques et physiologiques de la plante face à une situation de déficit hydrique. Dans un contexte où les effets du changement climatique sont perceptibles et où l'agriculture reste essentiellement pluviale, il devient impératif de disposer de données scientifiques fiables sur le comportement de cette variété de cotonnier en situation de déficit hydrique afin d'adapter l'itinéraire technique de cette culture au Togo. La présente étude a pour objectif l'identification des modifications morphologiques, physiologiques et biochimiques induites par le déficit hydrique chez la variété de cotonnier STAM129A (*G. hirsutum* L.). Plus spécifiquement, elle vise à mettre en évidence chez le cotonnier, l'effet du déficit hydrique induit sur des paramètres tels que la floraison, le rendement, l'évolution de la teneur en chlorophylles et de la concentration en protéines solubles totales des feuilles et sur la perméabilité membranaire cellulaire de celles-ci.

MATERIEL ET METHODES

SITE DE L'ETUDE

L'étude a été conduite au Centre de Recherche Agronomique de la Savane Humide du Togo, dans le cadre du Programme National Coton. Ce site, situé à 200 kms de Lomé, est caractérisé par un climat intermédiaire entre les deux principaux climats du pays (deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches dans le Sud, une saison pluvieuse et une saison sèche dans le Nord. La végétation est de type guinéen : savane arboro-arbustive à galeries forestières. Les sols dans l'ensemble de la zone sont des vertisols. Les analyses physiologiques et biochimiques sur des échantillons de feuilles de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L. variété STAM129A) ont été réalisées au Laboratoire de Physiologie et de Biologie Moléculaire Végétale de l'Université de Lomé.

MATERIEL VEGETAL

Il est constitué des graines du cotonnier *Gossypium hirsutum* variété STAM129A actuellement en vulgarisation au Togo.

Méthodologie

Conduite de l'essai

L'essai est constitué de 10 bacs, remplis d'un mélange 50 % de terre noire et de 50 % de sable de rivière. Quatre poquets ont été aménagés dans chaque bac et cinq graines de coton ont été semées par poquet. Le démariage est fait à un plant par poquet à partir du 21^{ème} jour après la levée. Au cours de l'expérimentation, la température a varié entre 29 °C et 22,8 °C. L'humidité relative a oscillé entre 95 et 58 %. Durant la période d'induction du stress nous avons enregistré 168 mm de pluies en 13 jours (dont 154 mm après 4 pluies). La récolte du coton a été effectuée entre les 120 et 135^{èmes} jours après levée.

Dispositif expérimental

Il est constitué de plantes de cotonniers auxquels est appliqué un déficit hydrique à partir du 45^{ème} JAL et de plantes témoins recevant une irrigation régulière et abondante tous les trois jours. Chaque bac a sa base percée afin de faciliter le ressuyage du sol. Le dispositif (Figure 1) est un bloc de Fischer à 5 répétitions. Chaque répétition est formée de 4 plantes par traitement correspondant à quatre dates de prélèvement et d'observation. Une fumure minérale (NPKSB 22-12-12-5-1) a été utilisée à une dose de 200 kg/ha et l'urée 45 % N à une dose de 50 kg/ha. Une protection phytosanitaire totale contre les ravageurs a été effectuée : Alphacal 318 EC pour les quatre premiers traitements effectués tous les 14 jours à partir du 40^{ème} jour après semis puis avec Indosarcab ou Denimtop (0,176l/ha) entre deux traitements d'alphacal 318 EC (1l/ha) et enfin avec Emir 88 EC (0,5l/ha) pour les quatre derniers traitements.

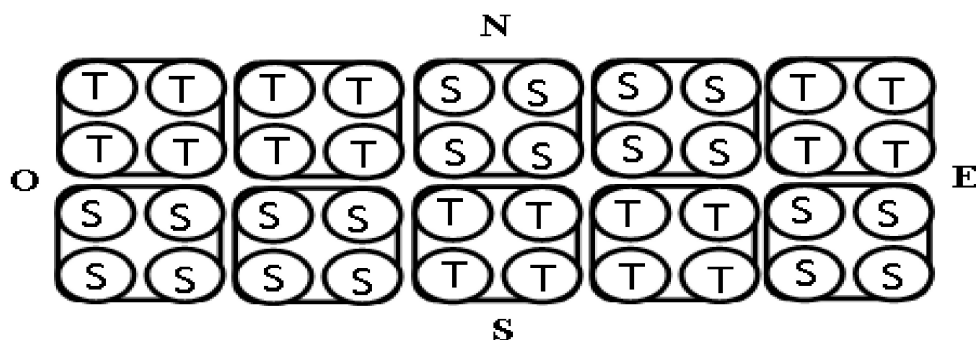


Figure 1 : Dispositif expérimental : T : Plantes témoins, S : Plantes stressées N : nord ; S : sud ; O : ouest ; E : est.

Experimental design block : T : control plants, S : stressed plants, N : north ; S : south ; O : west ; E : east.

Induction du déficit hydrique

Le déficit hydrique est induit par privation totale d'eau entre les 45 et 75^{èmes} jour après levée (JAL). A cette fin, des couvercles ont été utilisés pour fermer les bacs. Une fente est réalisée sur les couvercles pour permettre de refermer les bacs sans porter préjudice à la plante. La fente est ensuite refermée par une bande adhésive pour empêcher toute entrée d'eau dans les bacs contenant les cotonniers stressés. Au-delà du 75^{ème} jour, les plants sont de nouveau normalement arrosés tous les trois jours.

Caractérisation des paramètres morphologiques

Les observations et mesures sont réalisées sur toutes les plantes, à partir du 45^{ème} jour après la levée et sont répétées à intervalles de 10 jours jusqu'au 75^{ème} jour, puis juste avant la première récolte (60 % d'ouverture des capsules). Ces observations et mesures ont concerné la hauteur, les organes fructifères situés sur les branches de la tige principale (uniquement). Sur chaque plante, à l'aide d'une grille de répartition, un inventaire est réalisé sur les organes fructifères, le nombre de nœuds végétatifs de la

tige principale et sur la hauteur de la plante. Le taux de rétention des organes fructifères (en %) est calculé selon la formule suivante :

(Nombre d'organes fructifères présents/Nombre théorique d'organes fructifères) x 100.

Prélèvement des feuilles sur le site

Quatre feuilles correspondant aux 4, 5, 6, 7^{ème} nœuds à partir du sommet sont prélevées aux 45, 55, 65 et 75^{ème} JAL sur les cinq répétitions des deux traitements. Les feuilles ainsi récoltées sont emballées dans une feuille de papier aluminium et immédiatement placées dans un conteneur à glace et transportées directement au laboratoire pour des analyses physiologiques et biochimiques.

Mesure de l'efflux d'électrolytes foliaires

L'efflux d'électrolytes a été évalué par la méthode de Thiaw (2003) qui consiste à mesurer l'électroconductivité d'un milieu aqueux dans lequel des échantillons de feuilles ont été incubés. Dans notre cas, quinze disques foliaires provenant de cotonniers stressés ou non ont été prélevés à l'emporte-pièce sur la troisième feuille (à partir de l'apex). Ces disques sont d'abord rincés à l'eau distillée puis placés dans des tubes à essai contenant 10 ml d'eau distillée. L'ensemble est immergé dans un bain marie à 45 °C pendant 2 heures. La conductivité (C1) de la solution est alors mesurée avec un conductimètre préalablement étalonné. L'échantillon est ensuite mis au bain marie bouillant (100 °C) pendant 20 min puis refroidi à la température ambiante. La conductivité (C2) est mesurée une seconde fois. Le pourcentage de fuite d'électrolytes (FE %) est calculé suivant la formule (Tripathy *et al.*, 2000) : $FE (\%) = (C1/C2) \times 100$.

Extraction et dosage de la chlorophylle

La teneur en chlorophylles des feuilles a été déterminée par la méthode de McKinney (1941). Cinquante (50) mg (pour chaque essai) prélevés sur les tiers médians des plus jeunes feuilles, sont broyés en présence de carbonate de calcium (pour neutraliser l'acidité du suc vacuolaire dans l'acétone à 80 %). Le broyage est répété plusieurs fois afin d'extraire la totalité des pigments chlorophylliens. L'extrait obtenu est filtré. La densité optique de la totalité des filtrats obtenus est mesurée à 663 et 645 nm.

Les concentrations en chlorophylles totales (Chlorophylles a et b), exprimées en mg/g de matière fraîche (MF) sont données par la formule suivante : chlorophylles (a+b) = $20,2 (D.O. 645) + 8,02 (D.O.663)$.

Détermination de la teneur en protéines solubles totales des feuilles

Les protéines sont extraites des feuilles par broyage dans une solution tampon acétate pH 7.5 suivi de centrifugation. Le surnageant contenant les protéines solubles est utilisé pour le dosage des protéines selon la méthode de Bradford *et al.* (1976), l'albumine de sérum bovin (BSA) ayant servi à la réalisation de la courbe étalon.

Analyse des résultats

Les calculs des moyennes des répétitions par régime hydrique ont été réalisés sur un tableur Excel 2007. L'analyse statistique de l'ensemble des variables mesurées a été faite avec le logiciel STATENTO. Les données ont été soumises à l'analyse de la variance ANOVA et les moyennes ont été comparées par le test de Fischer au seuil de 5 %. Les moyennes des données exprimées en pourcentage (taux de rétention, efflux d'électrolytes foliaires) ont été transformées par ARCSIN avant l'analyse ANOVA. Enfin, les classements des moyennes ont été effectués par DUNCAN.

RESULTATS

PARAMETRES MORPHOLOGIQUES

Taille des plants

La comparaison des moyennes de la taille des cotonniers (Tableau 1) montre que cette taille varie du 45 au 75^{ème} JAL entre 33,2 cm et 62,8 cm, 35,8 cm et 47,25 cm respectivement pour les plants témoins et les plants stressés. Aucune différence significative n'est observée entre la taille des cotonniers stressés et celle des témoins aux 45 et 55^{ème} JAL. Par contre aux 65 et 75^{ème} JAL une différence significative apparaît entre les plants stressés et les témoins avec respectivement $P = 0,1 \%$ et $P < 0,01 \%$. A ces périodes, les cotonniers témoins sont plus grands en taille que ceux stressés.

Tableau 1 : Taille (cm) des cotonniers stressés (S) et témoins (T). JAL : jour après levée. F : variable de Fisher ; P : probabilité ($P > F$).*Height (cm) in stressed cotton (S) and control (T). JAL: Days after emergence. F : variable of Fisher ; P : probability ($P > F$).*

	45JAL	55JAL	65JAL	75JAL
T	33,2 a	44,55 a	56,7 a	62,8 a
S	35,8 a	40,2 a	46,8 b	47,25 a
F	1,72	2,053	12,73	30,76
P	19,7	16,0	0,1	< 0,01

Dans une même colonne, les chiffres accompagnés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($P < 5 \%$).
In the same column, means with the same letter are not significantly different ($P < 5 \%$).

Longueur des entre-nœuds

La longueur des entre-nœuds ne varie pas de manière significative entre les cotonniers stressés et les témoins aux 45, 55 et 65^{ème} JAL

(Tableau 2). Par contre au 75^{ème} JAL, soit 30 jours après le début du stress, une réduction significative ($P = 0,000$) de la longueur des entre-nœuds est observée chez les plants stressés (3,59 cm) par rapport aux témoins (4,92 cm).

Tableau 2 : Longueur des entre-nœuds des cotonniers (cm). JAL : jour après levée. F : variable de Fisher ; P : probabilité ($P > F$).*Internodes length (cm) in stressed cotton (S) and control (T). JAL : Days after emergence. F : variable of Fisher ; P : probability ($P > F$).*

	45JAL	55JAL	65JAL	75JAL
T	3,84 a	3,67 a	3,8 a	4,92 a
S	4,06 a	3,58 a	3,75 a	3,59 b
F	1,270	0,064	0,016	14,99
P	26,7	80,1	90,0	00,0

Dans une même colonne, les chiffres accompagnés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($P < 5 \%$).
In the same column, means with the same letter are not significantly different ($P < 5 \%$).

EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LES PARAMETRES DE RENDEMENT

Taux de rétention par branche fructifère

Les résultats de cette étude montrent que globalement le taux de rétention des capsules et boutons floraux varie en fonction du temps et de la branche fructifère (Tableau 3). Pour BF1 et BF2, ce taux diminue à partir du 55^{ème} JAL tandis que pour les autres, la diminution n'intervient qu'à partir du 75^{ème} JAL après une augmentation aux 55 et 65^{èmes} JAL. En considérant individuellement les branches fructifères, on remarque que ce taux ne varie pas de manière significative en fonction du régime hydrique à l'exception de BF6 au 65^{ème} JAL où il

est de 98,9 et 70,3 % respectivement pour les plantes témoins et les plantes stressées avec $P = 3,57 \%$.

Au moment de la récolte, l'étude montre que le taux de rétention des capsules a diminué pour l'ensemble des branches fructifères, comparé à celui obtenu au 75^{ème} JAL (Tableau 4). Il est encore plus bas pour les plants stressés, en dépit de la reprise de l'arrosage au 75^{ème} JAL, (en moyenne 11,97 % contre 26 %) pour l'ensemble des branches fructifères. Par branche fructifère, l'analyse de la variance du taux de rétention ne fait pas ressortir d'effet "stress" chez les plants privés d'eau à l'exception de BF2 qui fait apparaître une différence significative ($P = 3,76 \%$).

Tableau 3 : Taux de rétention (%) des organes fructifères aux 45, 55, 65 et 75^{ème} jours après levée (JAL) des cotonniers stressés (S) et témoins (T). F : variable de Fisher ; P : probabilité (P > F).

Fruitful organs retention rate (%) at 45, 55, 65 and 65th days after emergence. F : variable of Fisher ; P : probability (P > F).

Traitements	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7	
45 JAL	T	98,9 a	87,1 a	57,6 a	33,8 a	9,8 a	4,3 a	4,3 a
	S	90,4 a	79,3 a	34,5 a	4,3 a	1,1 a	1,1 a	0 a
	F	1	0,29	1,71	5,29	2,67	1	2,67
	P (%)	38,45	62,3	26	8,1	17,6	38,4	17,6
55 JAL	T	98,4 a	99,4 a	99,7 a	93,2 a	55,2 a	25 a	12,8 a
	S	85,2 a	87,7 a	83,4 a	79,3 a	70,2 a	34,8 a	4,3 a
	F	1,1	21	3,06	1	0,34	0,29	0,47
	P (%)	35,57	22,8	15,3	38,5	59,6	62,3	53,3
65 JAL	T	79 a	96,5 a	97,4 a	93,9 a	99,6 a	98,9 a	63,7 a
	S	76,9 a	84,3 a	92,3 a	87,1 a	85,8 a	70,3 b	39,6 a
	F	0,02	0,87	0,24	0,27	2,6	9,54	6,19
	P (%)	86,61	41	65	64,4	18	3,57	6,59
75 JAL	T	66 a	68 a	80,8 a	85,8 a	76,4 a	85,2 a	79,3 a
	S	52,7 a	47,6 a	56,8 a	70,1 a	58,4 a	49,9 a	39,6 a
	F	1,94	0,97	1,9	0,79	0,75	1,66	2,03
	P (%)	23,43	38,9	23,9	43	44	26,7	22,7

Dans une même colonne, les chiffres accompagnés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents (P < 5 %).

In the same column, means with the same letter are not significantly different (P < 5 %).

Tableau 4 : Taux de rétention des organes fructifères (%) par branche fructifère à la récolte. F : variable de Fisher ; P : probabilité (P > F).

Fruitful organs retention rate (%) per fruiting branch at harvest. F : variable of Fisher ; P : probability (P > F).

Traitements	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
T	37,6 a	36,7 a	37,6 a	31,8 a	27,4 a	22,1 a	29,4 a
S	21,8 a	21,3 a	18,9 a	12 a	13,3 a	9,5 a	8,3 a
F	3,85	9,22	3,24	3,5	2,45	0,9	4,7
P (%)	11,91	3,76	14,42	13,3	19,1	40,4	9,39

Dans une même colonne, les chiffres accompagnés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents (P < 5 %).

In the same column, means with the same letter are not significantly different (P < 5 %).

Taux de rétention par position sur les branches fructifères

Les résultats ont montré (Tableaux 5 et 6) que c'est sur les positions 1 et 2 que les organes se sont formés chez toutes les plantes au moment de l'application du stress. A partir du 55^{ème} JAL, ils se sont ensuite formés sur les positions 3 et 4 aussi bien chez les témoins que chez les plants stressés. Le déficit hydrique n'a donc pas

affecté la formation des organes en fonction des positions. Pour l'ensemble des 4 positions, l'analyse statistique ne révèle pas d'effet "stress" aux 45, 55, 65 et 75^{ème} JAL car aucune différence significative n'est obtenue entre les taux de rétention des plants témoins et ceux des plants stressés. A la récolte, (Tableau 6), les taux de rétention ont diminué pour toutes les positions, comparés aux taux obtenus au 75^{ème} JAL. Sur les 4 positions, 3 (P1, P3 et P4) ne révèlent aucune

différence significative entre les taux de rétention des plants témoins et ceux des plants stressées. En revanche, chez l'ensemble des plants stressés, le taux de

rétention des organes est plus bas que chez les plants témoins (6,8 contre 21,5 %) avec $P = 3,84$ %. L'effet "stress" est donc apparu tardivement chez les plants à la position P3.

Tableau 5 : Taux de rétention (%) des organes fructifères sur les différentes positions des branches fructifères aux 45, 55, 65 et 75^{ème} JAL (Jours après levée). F : variable de Fisher ; P : probabilité ($P > F$).

Fruitful organs retention rate (%) per position on the fruiting branches on 45, 55, 65 and 75th JAL (Days after emergence). F : variable of Fisher; P : probability ($P > F$).

DATE	Traitements	Position sur Branches fructifères			
		P1	P2	P3	P4
45 JAL	Témoin	96,5 a	5,1 a	00.0	00.0
	Stressées	92,9 a	3,7 a	00.0	00.0
	F	0,15	0,07		
	P (%)	71,35	79,1		
55 JAL	Témoin	100 a	42,5 a	6,4 a	0,9 a
	Stressées	93,2 a	30,5 a	4,8 a	0,2 a
	F	2,5	0,41	0,09	1,19
	P (%)	18,72	55,92	76,67	33,66
65 JAL	Témoin	99,6 a	66,3 a	21,3 a	3,4 a
	Stressées	77,2 a	49,2 a	13,7 a	0,1 a
	F	5,46	3,31	1,29	4,21
	P (%)	7,77	14,1	31,95	10,73
75 JAL	Témoin	91 a	46,5 a	13,7 a	1,8 a
	Stressées	64,6 a	37,1 a	9,5 a	2 a
	F	3,49	0,55	0,16	0
	P (%)	13,3	50,23	70,57	91,15

Dans une même colonne, les chiffres accompagnés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($P < 5$ %).
In the same column, means with the same letter are not significantly different ($P < 5$ %).

Tableau 6 : Taux de rétention (%) des organes fructifères sur les différentes positions des branches fructifères à la récolte. F : variable de Fisher ; P : probabilité ($P > F$).

Fruitful organs retention rate (%) per position on the fruiting branches at harvest. F : variable of Fisher ; P : probability ($P > F$).

Traitements	P1	P2	P3	P4
T	36,6 a	21,5 a	15,3 a	8,4 a
S	24,6 a	6,8 b	5,54 a	6 a
F	2,13	9,08	2,82	0,41
P (%)	21,69	3,84	16,6	55,82

Dans une même colonne, les chiffres accompagnés des mêmes lettres ne sont pas significativement différents ($P < 5$ %).
In the same column, means with the same letter are not significantly different ($P < 5$ %).

Production de coton graine par plant

L'étude montre une production moyenne de 271,92 g/plant chez les témoins contre 119,36 g/plant chez les plantes stressées. L'analyse ANOVA révèle une différence de production hautement significative ($P = 0,9\%$) entre les 2 catégories de plants.

EFFETS DU DEFICIT HYDRIQUE SUR CERTAINS PARAMETRES BIOCHIMIQUES ET PHYSIOLOGIQUES

Teneur en protéines solubles totales des feuilles

Les résultats (Tableau 7) révèlent chez l'ensemble des plants, une réduction de la teneur moyenne en protéines foliaires solubles au 75^{ème} JAL (3,12 - 4,98 mg.g⁻¹ MF au 45^{ème} JAL et 2,89 - 2,46 mg.g⁻¹ MF au 75^{ème} JAL). Toutefois, l'analyse de la variance ne fait apparaître aucune différence significative entre les teneurs en protéines chez les plants témoins et les plants stressés aux 45, 55, 65 et 75^{ème} JAL ($P > 5\%$).

Teneur en chlorophylles

L'étude révèle (Tableau 7) une teneur moyenne en chlorophylles totales chez les plants témoins très proche de celle des plants stressés aux 45, 65 et 75^{ème} JAL. Toutefois, au 55^{ème} JAL apparaît une différence significative (2,62 contre 1,77 mg.g⁻¹ MF) entre les témoins et les stressés avec $P = 3,4\%$.

Efflux d'électrolytes des cellules foliaires

Les résultats de la mesure de la conductivité (Tableau 7) indiquent que globalement, les feuilles des plants témoins perdent autant d'électrolytes que celles des plants stressés à l'exception des feuilles prélevées au 65^{ème} JAL. En effet l'analyse de la variance révèle que c'est seulement pour ces lots qu'une différence significative ($p = 0,1\%$) apparaît entre les pourcentages de fuite d'électrolytes enregistrés chez les plants stressés (77%) et ceux enregistrés chez les plants témoins (62,4%).

Tableau 7 : Teneur en protéines (mg.g⁻¹ MF), en chlorophylles (mg.g⁻¹ MF) et taux (%) de fuite d'électrolytes foliaires chez les cotonniers stressés (S) et témoins (T). JAL : Jours après levée. F : variable de Fisher ; P : probabilité ($P > F$).

Proteins and chlorophyll content and efflux of foliar electrolytes rate (%) in stressed (S) and control (T) cotton. JAL: Days after emergence. F : variable of Fisher ; P : probability ($P > F$).

	Traitement	Jours après levée (JAL)			
		45	55	65	75
Protéines	T	3,13 a	4,37 a	5,53 a	2,9 a
	S	4,99a	4,44 a	4,97 a	2,46 a
	F	0,971	0,05	0,276	1,84
	P (%)	38,0	94,7	62,7	69,0
Chlorophylles	T	1,62 a	2,60 a	2,5 a	2,28 a
	S	1,77 b	1,85 a	1,32 a	1,77 b
	F	0,836	1,716	0,023	0,723
	P (%)	24,9	3,4	29,5	26,2
Efflux d'électrolytes	T	80,5a	32,6 a	62,4 a	77 a
	S	85,1a	34,3 a	77 b	81,7 a
	F	1,51	0,05	59,19	0,79
	P (%)	17,9	88,6	0,1	23,6

Pour chaque grandeur et dans une même colonne, les chiffres accompagnés de la même lettre ne sont pas significativement différents ($P < 5\%$).

For each parameter, means in the same column, with the same letter are not significantly different ($P < 5\%$).

DISCUSSION

EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LA MORPHOLOGIE DU COTONNIER VARIETE STAM129A

Le déficit hydrique a entraîné un ralentissement de la croissance de la tige à partir du 65^{ème} JAL et de la longueur des entre-nœuds au 75^{ème} JAL. Ces données rappellent partiellement celles observées par Turner *et al.* (1986) et Ball *et al.* (1994). La réduction de la croissance est l'une des premières manifestations du déficit hydrique (Saab et Sharp, 1989). D'après Bewley et Black (1994), Wang *et al.* (2003), le déficit hydrique limite sérieusement la croissance des plantes ainsi que leur productivité végétative. Selon Aspinall (1986), le déficit en eau entraîne une réduction de la hauteur de la tige et de la croissance végétative, particulièrement l'expansion des feuilles.

EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LE TAUX DE RETENTION DES CAPSULES ET LE RENDEMENT EN COTON GRAINE

Les résultats ont révélé que l'effet "stress" sur le taux de rétention des capsules n'est pas généralisé pour toutes les branches fructifères. Cet effet n'apparaît que pour BF6 au 65^{ème} JAL. Par contre avant même la reprise de l'arrosage eau 75^{ème} JAL et jusqu'à la récolte, l'effet "stress" n'est plus localisé sur BF6 mais sur BF2. Concernant la position sur les branches fructifères, alors que pendant l'application du stress hydrique, aucun effet "stress" significatif n'est décelé en fonction des positions, à la récolte c'est à la position P2 que cet effet est enregistré de façon significative. Notons que la variété STAM129A du cotonnier est testée ici quasiment en conditions de champ. Ces résultats montrent donc que le taux de rétention des capsules, à l'instar d'autres variétés, est probablement influencé par d'autres facteurs au rang desquels Denys (1994) cite les temps couverts et pluvieux. La demande en hydrates de carbone et la disponibilité des assimilats influencent également la chute des organes fructifères (Guinn, 1981). Dans tous les cas, ces résultats confirment ceux évoqués par Bieloriai *et al.* (1983) et Guinn et Mauney (1984) qui mentionnent une baisse de la production chez le cotonnier soumis à un déficit hydrique. Quand à la production en coton graine, en dépit de l'absence apparente d'effet "stress" lié à

l'ensemble des branches fructifères et à l'ensemble des positions à la récolte les plants stressés montrent une plus faible production en coton graine que les plants témoins. Chez toutes les espèces, la sécheresse est un facteur majeur limitant du rendement y compris chez le cotonnier. Toutefois, les relations entre le déficit hydrique et le rendement sont plus complexes à cerner chez le cotonnier que chez les autres espèces (Loka *et al.*, 2011). En effet, l'étape du cycle végétatif à laquelle le déficit hydrique intervient est primordiale. Ainsi, le rendement est affecté si le déficit intervient au début de la floraison (Reddell *et al.*, 1987) ou au milieu de celle-ci (Orgaz *et al.*, 1992). Il est à noter que le stress hydrique n'est pas toujours négatif pour le rendement du cotonnier. Ainsi, d'après Singh (1975), une irrigation différée ou un stress hydrique modéré appliqué avant la floraison stimule la formation des organes floraux au détriment du développement végétatif. La baisse du rendement est généralement due à la réduction du nombre de capsules liée soit à la faible production d'organes floraux soit à des capsules abortives.

EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LA TENEUR EN PROTEINES SOLUBLES TOTALES

L'étude a révélé que pendant l'application du stress hydrique, la teneur en protéines solubles totales n'a pas varié de manière significative par comparaison avec les plants témoins chez la variété STAM129A du cotonnier. En effet, la teneur en protéines chez des cotonniers stressés est la résultante de processus de dégradation et de synthèse de novo de protéines et l'équilibre peut être déplacé soit vers une hausse des protéines, soit vers une baisse des protéines totales (Rai *et al.*, 1983 ; Kumar et Singh, 1991). Selon Melis (1999), Tezara *et al.* (1999), Lawlor et Cornic (2002), la baisse est due à la dégradation des principales enzymes et protéines de la photosynthèse. Par exemple, chez la luzerne, on a pu montrer que le déficit hydrique réduit fortement la teneur en certaines protéines, du fait de l'impact très fort sur la fixation symbiotique (Lemaire *et al.*, 1989). Au contraire, sous l'effet du stress hydrique, d'autres protéines spécifiques sont néo synthétisées comme les protéines de choc thermique (Burke *et al.*, 1985 ; Kuznetsov *et al.*, 1999). Il résulte de ces données bibliographiques que l'évolution de la teneur en protéines solubles totales n'est pas indicatrice de celle de toutes les protéines

prises individuellement, en particulier celles qui sont impliquées dans les réponses aux stress.

EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LA TENEUR EN CHLOROPHYLLES TOTALES DES FEUILLES

L'étude fait apparaître qu'entre les 55 et 75^{ème} JAL il y a diminution globale de la teneur en chlorophylles chez tous les plants. Toutefois, l'analyse des données entre les plants témoins et stressés montre qu'en dehors des prélèvements effectués au 55^{ème} JAL, la teneur en chlorophylles totales n'a pas été influencée de manière significative par le stress hydrique chez la variété STAM129A du cotonnier. Ce résultat diffère de celui obtenu chez plusieurs variétés de blé par Sassi *et al.* (2012) qui montrent une réduction de la teneur en chlorophylles sous l'effet d'un déficit hydrique. La réduction est expliquée par l'effet d'enzymes comme la chlorophyllase et les peroxydases (Kuroda *et al.*, 1990 ; Ashraf et Waheed (1992) ou encore à l'altération de l'état fonctionnel des membranes des thylacoïdes (Bounaqba, 1998). Impes (1989) explique la réduction de la teneur en chlorophylles chez les plants stressés par le fait que les chlorophylles sont plus dégradées que synthétisées alors que chez les plants non stressés ces pigments sont synthétisés au fur et à mesure qu'ils sont dégradés. Par ailleurs la réduction de la teneur en chlorophylles est fonction de la durée et de l'ampleur du déficit hydrique (Pukacki et Kaminska-Rozek, 2005). Le manque d'effet "stress" significatif sur la teneur en chlorophylles totales au-delà du 55^{ème} JAL, s'il était confirmé chez la variété STAM129A pourrait signifier que le stress hydrique ne modifie pas chez cette variété l'activité des enzymes de dégradation de la chlorophylle.

EFFET DU DEFICIT HYDRIQUE SUR LA PERMEABILITE MEMBRANAIRE DES CELLULES DE FEUILLES

Les résultats obtenus montrent qu'au 65^{ème} JAL, le pourcentage de fuite d'électrolytes chez les plants stressés est supérieur à celui obtenu chez les plants témoins, ce qui traduit une altération de l'intégrité membranaire des cellules à partir de cette date. Mais curieusement, au 75^{ème} JAL, avant que les plants stressés ne soient réhydratés, l'effet "stress" disparaît et le pourcentage de fuite d'électrolytes chez les plants stressés ne diffère plus de façon significative de celui des témoins. Ces données

pourraient traduire une adaptation du cotonnier STAM129A au stress hydrique après une brève désintégration membranaire. En effet, le maintien de l'intégrité de la membrane cellulaire et de sa stabilité dans des conditions de déficit hydrique est une importante composante de la tolérance à la sécheresse chez les plantes (Bajji *et al.*, 2001) car la membrane cellulaire est l'une des premières cibles de la contrainte hydrique (Levitt, 1972). Cependant, cette hypothèse d'adaptation n'est pas corroborée par les résultats de la production en coton graine chez STAM129A à la récolte qui révèlent une différence nette entre les plants témoins et les plants stressés.

CONCLUSION

Au terme de cette étude et à travers les résultats obtenus, l'on peut retenir que le déficit hydrique appliqué au 45^{ème} JAL entraîne chez la variété STAM129A de cotonnier, une diminution significative de la croissance en hauteur à partir du 65^{ème} JAL et une réduction de la longueur des entrenœuds à partir du 75^{ème} JAL. Concernant les paramètres de rendement, le déficit hydrique a conduit à une réduction significative des organes fructifères au 65^{ème} JAL sur la branche fructifère BF6 mais à la récolte, c'est la branche BF2 qui a montré le plus fort taux de réduction des organes fructifères. La position des organes fructifères sur les branches n'a pas influencé leur sensibilité vis-à-vis du stress hydrique pendant son application. Toutefois à la récolte c'est sur la position P2 que le plus faible taux de rétention a été enregistré chez les plants stressés. Quant au rendement en coton graine, il est nettement plus faible chez les plants stressés comparés aux témoins. Pendant l'application du stress hydrique, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les teneurs en protéines totales solubles des plants stressés et celles des témoins. Concernant la teneur en chlorophylles totales, elle n'a été affectée par le stress hydrique qu'au 55^{ème} JAL. Enfin, l'intégrité membranaire mesurée par l'efflux d'électrolytes est affectée de manière significative au 65^{ème} JAL par le stress hydrique mais semble être rétablie avant même la reprise de l'arrosage. Ces différentes données montrent que si le rendement en coton graine chez la variété STAM129A du cotonnier est diminué par l'application d'un déficit hydrique de 30 jours, celui-ci n'affecte pas ou n'affecte que partiellement certains paramètres

physiologiques et biochimiques mesurés chez cette variété. Il est donc important d'affiner cette étude pour identifier les paramètres réellement impactés par le déficit hydrique chez cette variété et qui conduisent à cette baisse de production. Cela devrait permettre de disposer de données scientifiques à intégrer dans l'itinéraire technique de cette variété de cotonnier comme une stratégie d'adaptation aux effets néfastes du changement climatique en Afrique de l'Ouest.

REFERENCES

- Ashraf M. and A. Waheed. 1992. Screening chickpea (*Cicer arietinum* L.) for salt tolerance. *J. Agric. Der Tropen.*, 93 : 45 - 55.
- Aspinall D. 1986. Metabolic effects of water and salinity stress in relation to expansion of the leaf surface. *Aust. J. Plant Physiol.* 13 : 59 - 73.
- Bajji M., J. M Kinet and S. Lutts. 2001. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Reg.* 00 : 1 - 10.
- Ball R. A., D. M. Oosterhuis and A. Maromoustakos. 1994. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. *Agron. J.* 86 : 788 - 795.
- Bewley J. D. and M. Black. 1994. Cellular events during germination and seedling growth. *In* : *Physiology of development and germination*. N.Y. Plenum Press. New York, USA, pp. 147 - 197.
- Bielorai H., A. Mantell and S. Moreshet. 1983. Water relations of cotton. *In* : *Water Deficits and Plant Growth*, Academic Press Inc. Vol II, pp 49 - 87.
- Bounaqba S. 1998. Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Thèse de Doctorat en physiologie végétale. Faculté des Sciences de Tunis. 230 p.
- Bradford M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram of quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Ann. Biochem.* 72 : 248 - 254.
- Burke J. J., J. L. Hatfield, R. R. Klein and J. E. Mullet. 1985. Accumulation of heat shock proteins in field grown soybean. *Plant Physiol.* 78 : 394 - 398.
- Constable G. A. and A. B. Hearn. 1981. Irrigation of crops in a subhumid climate, 6 : effects of irrigation and nitrogen fertilizer on growth, yield and quality of cotton. *Irrig. Sci.* 2 : 17 - 28
- Cull P. O., A. B. Hearn and R. C. G. Smith. 1981a. Irrigation scheduling of cotton in a climate with uncertain rainfall. I. Crop water requirements and response to irrigation. *Irrig. Sci.*, 2 : 127 - 140.
- Delhover G., N. L Malamba. and A. Drion. 1992. Maladies et ravageurs du cotonnier. *In* : *Publication Agricole*, AGCD Eds. Le cotonnier au Zaïre (volume 29), Bruxelles, Belgique. pp. 27 - 42.
- Denys S. 1994. Etude comparative du comportement de deux cultivars de cotonniers: contribution à la validation du modèle *Gossypium* dans les conditions de culture tropicale Africaine. Mémoire de diplôme d'Ingénieur d'Agronomie Tropicale. ESAT Montpellier. 46 p.
- Guinn G. 1981. Fruit age and changes in abscisic acid content, ethylene production, and abscission rate of cotton fruits. *Plant Physiol.* 69 : 349 - 352.
- Guinn G. and J. R Mauney. 1984. Fruiting of cotton. I. Effects of moisture status on flowering. *Agron. J.*, 76 : 90 - 94.
- Impes R. 1989. Les causes non parasitaires des maladies. *In* : *Traité de pathologie végétale*. Semad R. (Eds.). Les presses agronomiques de Gembloux. ASBL : 39 - 83
- Kouakou T. H., M. Koné, D. Koné, Y. J. Kouadio et M. Zouzou. 2008. Réponse physiologique au stade juvénile du génotype R405-2000 de cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au déficit hydrique induit par le polyéthylène glycol. *Sci. Nat.* 5 (1) : 81 - 87.
- Kramer P. J. 1983. Water deficits and plant growth. *In* : *Water relations of plants*. Kramer (Eds.) Academic Press, New York. 342 - 389.
- Kumar P. K. and R. A. Singh. 1991. Germination and metabolism in susceptible and tolerant mung bean genotypes under moisture stress. *Indian J. Plant Physiol.* 34 : 267 - 269.

- Kuroda M., T. Ozawa and H. Imagawa. 1990. Changes in chloroplast peroxidase activities in relation to chlorophyll loss in barley leaf segments. *Physiol. Plant.* 80 : 555 - 560.
- Kuznetsov V. V., V. Rakitin and V. N. Zholkevich. 1999. Effects of preliminary heat-shock treatment on accumulation of osmolytes and drought resistance in cotton plants during water deficiency. *Physiol. Plant.* 107 : 399 - 406.
- Lacape M. J., J. Wery and D. J. M. Annerose. 1998. Relationships between plant and soil water status in five field-grown cotton cultivars. *Field Crops Res.* 57 : 29 - 43.
- Lawlor D. W. and G. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell & Environ.* 25 : 275 - 294.
- Leidi E. O., J. M. López, J. Gorham and J. C. Gutiérrez. 1999. Variation in carbon isotope discrimination and other traits related to drought tolerance in upland cotton cultivars under dryland conditions. *Field Crops Res.* 61 : 109 - 123.
- Lemaire G., J. L. Durand and M. Lila. 1989. Effet de la sécheresse sur la valeur énergétique et azotée de la luzerne. *Agronomie*, 9 (9) : 841 - 848.
- Levitt J. 1972. Responses of plants to environmental stress. New York, USA : Academic Press, 697 p.
- Loka D. A., A. Oosterhuis and G. L. Ritchie. 2011. In Stress Physiology in cotton, N°7. Oosterhuis Ed., 160 p.
- Massaci A., S. M. Nabiev, L. Petrosanti, S. K. Nematov, T. N. Chernikova, K. Thor and J. Leipner. 2008. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol. Biochem.* 46 : 189 - 195.
- McKinney G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *J. Biol. Chem.* 140 : 315 - 322.
- Melis A., J. Neidhardt and J. R. Benemann. 1999. *Dunaliella salina* (*Chlorophyta*) with small chlorophyll antenna sizes exhibit higher photosynthetic productivities and photon use efficiencies than normally pigmented cells. *J Appl Phycol* 10 : 515 - 525.
- Orgaz F., L. Mateos and E. Fereres. 1992. Season length and cultivar determine optimum evapotranspiration deficit in cotton. *Agron. J.* 84 : 700 - 706.
- Pace P. F., H. T. Crale, S. H. M. El-Halawany, J. T. Cothren and S. A. Senseman. 1999. Drought induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. *J. Cotton Sci.* 3 : 183 - 187.
- Pukacki P. M. and E. Kaminska-Rozek. 2005. Effect of drought stress on chlorophyll a fluorescence and electrical admittance of shoots in Norway spruce seedlings. *Trees* 19 : 539 - 544.
- Rai V. K., G. Singh, P. S. Thakur and S. Banyal. 1983. Protein and amino-acid relationship during water stress in relation to drought resistance. *Plant Physiol. Biochem.*, (Suppl.), 10 : 161.
- Reddell D. L., J. F. Prochaska and A. J. Cudrak. 1987. Sequential water stress in cotton : a stress day index model. *ASAE* 87, 2080. 23 pp.
- Saab I. N. and R. E. Sharp. 1989. Non-hydraulic signals from maize roots in drying soil : inhibition of leaf elongation but not stomatal conductance. *Planta* : 179 : 466 - 474.
- Sassi K., G. Abid and L. Jemni. 2012. Etude comparative de six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) vis-à-vis du stress hydrique. *J. Anim. Plant Sci.* 15 (2) : 2157 - 2170.
- Singh S. P. 1975. Studies on the effects of soil moisture stress on the yield of cotton. *Indian J. Plant Physiol.* 18 : 49 - 55.
- Tezara W., V. J. Mitchell, S. D. Driscoll. and D. W. Lawlor. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature.* 401 : 914 - 917.
- Thiaw S. 2003. Association between slow leaf-electrolyte leakage under heat and tolerance during reproductive development in cowpea. PhD Thesis, University of California, 200 p.
- Tripathy J. N., J. Zhang, S. Robin, T. Nguyen Th., H. T. Nguyen. 2000. QTLs for cell-membrane stability mapped in rice (*Oriza sativa* L.) under drought stress. *Theor. Appl. Genet.* 100 : 1197 - 1202.
- Turner N. C., A. B. Hearn, J. E. Begg and G. A. Constable. 1986. Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) physiological and morphological responses to water deficits and their relationship to yield. *Field Crops Res.* 14 : 153 - 170.
- UEMOA. 2006. Manuel qualité pour les filières cotonnières : production de coton graine de qualité, 116 pp.

- Wang W. X., T. Brak, B. Vinocur, O. Shoseyov and A. Altman. 2003. Abiotic resistance and chaperones: possible physiological role of SP1, a stable and stabilizing protein from Populus. *In* : Vasil IK (Eds.), Plant biotechnology 2000 and beyond. Kluwer, Dordrecht, pp. 439 - 443.
- Yattara A. 2010. Contribution des programmes d'amélioration variétale de quelques pays d'Afrique de l'Ouest et du centre (Benin, Burkina Faso, Togo, Cameroun, Mali et Sénégal). Communication à l'atelier coton du CIRAD Montpellier, le 12 Juillet 2010.