

VARIATION DE LA TENEUR RELATIVE EN EAU, L'INTEGRITE CELLULAIRE, LA BIOMASSE ET L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU DES VARIETES DE BLE DUR (*TRITICUM TURGIDUM* L. VAR *DURUM*) CONDUITES SOUS CONTRAINTE HYDRIQUE*

A. Benmahammed (1), H. Bouzerzour (1), A. Mekhlouf (2), A. Benbelkacem (3)

(1) - Département de biologie, faculté des sciences, université de Sétif, Algérie

(2) - Département d'agronomie, faculté des sciences, université de Sétif, Algérie

(3) - Maître de recherche, INRA Algérie

Email : benahammeda@yahoo.com

*Travail réalisé dans le cadre d'un projet MESRS Code F. 1901/02/06.

RÉSUMÉ

L'expérimentation a été conduite à l'Institut de Technologie Moyen Agricole (ITMA) de Sétif, du mois de février au mois d'avril 2005, sous abri plastique pour contrôler le facteur eau. Cinq variétés de blé dur, Waha, Mohammed Ben Bachir, Boussalam, Cyprus et Boussalam/Ofanto, dont les semences sont fournies par la Station de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, ont été testées. Les traitements hydriques étudiés comportent un témoin irrigué à 100% de la capacité du pot, et deux traitements stressés, l'un à 60% et l'autre à 40% de la capacité du pot. Le stress hydrique a été imposé en début de la quatrième semaine, lorsque les plantes ont atteint, en moyenne, le stade 4 à 5 feuilles. Il a été imposé pour une durée de 4 semaines. Les variables mesurées sont la matière sèche aérienne accumulée, le taux de croissance relative, la surface foliaire, la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire et l'efficacité d'utilisation de l'eau. Les données collectées ont été analysées avec le logiciel Irristat version 5.0 (IRRISTAT, 2005). Les résultats indiquent que les génotypes étudiés montrent des différences spécifiques. Waha réagit par une réduction significative de la surface de la feuille et une sensibilité membranaire élevée, en réponse au stress, tout en maintenant une capacité élevée de production de biomasse aérienne. Boussalam/Ofanto réagit par une réduction de la teneur relative en eau, une tolérance membranaire élevée, associée à une bonne capacité d'accumulation de la biomasse. Les variétés testées diffèrent peu pour l'efficacité d'utilisation de l'eau.

Mots Clés : *Triticum durum* Desf, stress hydrique, réponse, stratégie, efficacité utilisation de l'eau.

ملخص :

أجريت التجربة في المعهد التكنولوجي المتوسط الفلاحي بسطيف من شهر فيفري إلى شهر أفريل 2005، تحت بيت بلاستيكي لمراقبة عامل الماء. تم اختبار خمسة أصناف من القمح الصلب و هي واحة، محمد بن بشير، بوسلام، سيبروس و بوسلام/أوفنتو، و كان مصدر البذور من محطة البحوث التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الحقلية. المعاملات المائية المدروسة تحتوي على شاهد مروي عند السعة الحقلية للأصيص و معامل يمثل إجهاد مائي متوسط من 60% من السعة الحقلية للأصيص و معامل ثالث يظهر إجهاد مائي قاسي من 40% من السعة الحقلية للأصيص. فرض الإجهاد المائي لمدة أربعة أسابيع و ذلك من بداية الأسبوع الرابع حينما بلغت النباتات مرحلة 4 إلى 5 أوراق. المتغيرات المقاسة هي المادة الجافة المتراكمة، النمو النسبي، المساحة الورقية، المحتوى المائي النسبي، التحطم الخلوي و فعالية استغلال الماء. تشير النتائج أن الأنماط الوراثية المدروسة تظهر اختلافات نوعية، الصنف واحة يتميز بنقص معنوي للمساحة الورقية و حساسية مرتفعة للغشاء للاستجابة للإجهاد المائي، مع الاحتفاظ بقدرة مرتفعة لإنتاج المادة الجافة. بينما الصنف بوسلام/أوفنتو يتميز بنقص معنوي للمحتوى المائي النسبي و مقاومة مرتفعة للغشاء مصحوبة بقدرة عالية لتراكم المادة الجافة. لا تختلف الأصناف المدروسة من حيث فعالية استغلالها للماء.

الكلمات المفتاحية : *Triticum durum* Desf ، إجهاد مائي، الاستجابة، الإستراتيجية، فعالية استغلال الماء.

INTRODUCTION

Sous climat semi-aride, l'amélioration des techniques de production est centrée, de plus en plus, autour de l'efficacité d'utilisation de l'eau (RICHARDS *et al.*, 2002; CHENAFFI *et al.*, 2006). La pluviométrie diminuera de 15% à 20% dans les années à venir, suite aux effets des changements climatiques, incitant à protéger les ressources d'eau existantes et à valoriser la ressource renouvelable (RIJSBERMAN et MOHAMED, 2003 ; DEBAEKE et ABOUDRARE, 2004). Parmi les alternatives permettant d'améliorer les rendements en grains, des régions arides et semi-arides où les ressources en eau sont rares, figurent le développement et la sélection de variétés plus économes en eau (RICHARDS *et al.*, 2002; TARDIEU, 2003 ; PASSIOURA, 2004). Des augmentations significatives des rendements sont possibles, dans les milieux contraignants, si la sélection est faite pour l'adaptation spécifique,

mettant ainsi en valeur les différents terroirs (ARAUS *et al.*, 1998; ANNICHIARICO *et al.*, 2002). La sélection pour la tolérance induit, certes, une baisse des rendements sous contrainte, mais cette baisse est cependant moins importante chez les génotypes tolérants comparativement à celle notée chez les génotypes sensibles (FELLAH *et al.*, 2002 ; BAHLOULI *et al.*, 2005).

L'utilisation optimale de l'humidité du sol, par la culture, est liée à l'indice foliaire qui s'établit au cours du cycle et à sa modulation en fonction de l'intensité des stress prévalants (SIMANE *et al.*, 1993 ; TARDIEU, 2003). Pour un stock donné d'eau du sol, le cultivar adapté et économe en eau est celui qui ne fait pas de consommation de luxe au cours de la préanthese (SIDDIQUE *et al.*, 1989 ; PASSIOURA, 2004). Il module son indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction du degré de son approvisionnement en eau (SIMANE *et al.*, 1993 ; SLAFER *et al.*, 1999 ; RICHARDS *et al.*, 2002). Chez les plantes écono-

mes en eau, l'évitement de la déshydratation est lié à la réduction des pertes d'eau par les voies cuticulaires et stomatiques. La recherche d'indicateurs de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation de l'eau, sous stress hydrique, est un préalable à la réalisation de progrès en matière d'amélioration du rendement sous contrainte hydrique (BLUM *et al.*, 1999 ; ARAUS *et al.*, 2002). La présente expérimentation a pour objectif de caractériser un jeu de variétés de blé dur, testées en pots de végétation et sous différents niveaux de la contrainte hydrique, pour l'expression de la surface de la feuille, la teneur relative en eau, l'intégrité cellulaire, la biomasse et l'efficacité d'utilisation de l'eau.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel végétal et dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite à l'Institut de Technologie Moyen Agricole (ITMA) de Sétif, du mois de février au mois d'avril 2005, sous abri plastique pour contrôler le facteur eau. Cinq variétés de blé dur, Waha, Mohammed Ben Bachir (MBB), Bousselam, Cyprus et Bousselam/Ofanto (BO), dont les semences sont fournies par la Station de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif, ont été testées. Ces variétés ont été semées à raison de 10 graines par pot de 5 kg de contenance (\emptyset supérieur = 22, \emptyset inférieur = 15 et profondeur = 18 cm). Le sol utilisé se caractérise par une capacité au champ de 25%, un point de flétrissement de 12% et une densité apparente de 1.35g/cm³ (CHENAFFI *et al.*, 2006). Les traitements hydriques étudiés comportent un témoin irrigué à 100% de la capacité du pot (100%CP), un traitement représentant un stress hydrique modéré de 60% de la capacité du pot (60%CP) et un troisième traitement simulant un stress sévère de 40% de la capacité du pot

(40%CP). La surface du sol des pots, entre les plantes, est couverte par des perlites en plastiques pour limiter l'évaporation directe.

L'expérimentation est irriguée à 100% de la capacité, au cours des trois premières semaines après le semis. Le stress hydrique a été imposé en début de la quatrième semaine, lorsque les plantes ont atteint, en moyenne, le stade 4 à 5 feuilles selon les génotypes. Le stress a été imposé pour une durée de 4 semaines. L'expérience a été arrêtée une fois le traitement sévèrement stressé développe un dessèchement assez prononcé, soit 50 jours après semis (du 15 février au 5 avril). L'évolution de l'humidité du sol est suivie, périodiquement tous les dimanche et mercredi de la semaine, par pesée des pots. Les pots étaient ventilés selon un dispositif en split plot avec 4 répétitions. Le stress hydrique occupe le niveau principal (main plot) et les variétés le niveau secondaire (sub plot).

Notations et mesures

La quantité d'eau évapo transpirée au bout de 3 à 4 jours est déterminée par pesée des pots et elle est rajoutée à chaque pot, en fonction des différents traitements imposés. La biomasse aérienne accumulée à la fin de l'expérience (BIO, g/pot) a été estimée à partir de la récolte de toute la végétation. La végétation est passée à l'étuve à 85°C pendant 24 heures pour avoir la matière sèche. La vitesse de croissance végétative (RGR) est estimée par le rapport de la biomasse aérienne accumulée à la fin de l'expérience sur la durée de l'expérience :

$$RGR \text{ (mg/j)} = 1000(BIO)/50$$

La longueur et la plus grande largeur de la dernière feuille entièrement développée ont été mesurées sur un échantillon de 5 feuilles prises

au hasard. La surface moyenne de la dernière feuille entièrement développée a été estimée par le produit :

$$SF(\text{cm}^2) = 0,607 (L \times l),$$

où SF est la surface moyenne de la feuille, L est la longueur moyenne de la feuille exprimée en cm et l est la largeur moyenne de la feuille exprimée en cm, 0.607 est le coefficient de régression de la surface estimée à partir du papier grammage sur celle déduite par le produit (L x l).

La teneur relative en eau (TRE) a été déterminée sur un échantillon de cinq feuilles échantillonnées. Les cinq feuilles échantillonnées par génotype sont directement pesées pour avoir le poids frais. Elles sont ensuite mises dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, à l'abri de la lumière et à température ambiante du laboratoire, pour atteindre l'état turgide. 4 heures après, les feuilles sont pesées, après avoir pris soin de les essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide. L'échantillon de feuilles est mis à sécher dans une étuve, à 65°C pendant 16 heures, pour obtenir le poids sec. La teneur relative en eau est calculée par :

$$TRE (\%) = 100[(PF-PS) / (PT-PS)]$$

avec TRE est la teneur relative en eau foliaire, PF, PT et PS sont respectivement le Poids (mg) Frais, Turgide et Sec des échantillons foliaires.

Le test de l'intégrité cellulaire (IC) est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées, prises au hasard par génotype et traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en seg-

ments de 1 cm de long. Un échantillon de 10 segments du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé par trois avec de l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui influent sur les résultats du test. Trois tubes sont utilisés par génotype et traitement. A Chaque tube on ajoute 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et laissés à la température ambiante du laboratoire. Une première lecture est faite (EC₁) avec le conductimètre 24 heures après. Les tubes sont ensuite mis au bain marie, dont la température est portée à 100°C, pendant 60 minutes. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après le passage des échantillons dans le bain marie (EC₂). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est estimée, selon la procédure décrite par BAJJI *et al.*, (2001), comme suit :

$$IC (\%) = 100 (EC_1 / EC_2)$$

L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) est calculée par le rapport de la biomasse aérienne accumulée sur la quantité d'eau consommée pour produire cette biomasse déduite de l'eau restante à la fin de l'expérience dans le pot :

$$EUE (\text{mg BIO/g H}_2\text{O}) = \text{BIO (mg)} / Q_{\text{eau}} (\text{g})$$

Les données collectées ont été analysées avec le logiciel Irristat version 5.0 (IRRISTAT, 2005). La réduction des moyennes des variables mesurées sous l'effet de la contrainte hydrique est déduite sous la forme d'un indice de sensibilité :

$$\% \text{ de réduction} = 100(1 - S/T), \text{ avec}$$

S = moyenne mesurée sous contrainte hydrique (60%CP ou 40%CP)

T = moyenne mesurée en l'absence de la contrainte hydrique.

RÉSULTATS

1- L'effet moyen du stress hydrique

Mise à part l'efficacité d'utilisation de l'eau, le stress hydrique affecte significativement toutes les variables mesurées. Le stress hydrique sévère de 40% CP réduire la surface de la dernière feuille développée de 38.5%, la teneur relative en eau de 23.4%, la biomasse aérienne accumulée de 47.9% et la croissance relative de 47.9%. Les dommages subis par la membrane cellulaire augmentent de 22.6% comparativement au témoin non stressé (Figure 1, Tableau I). Le stress modéré de 60% de la capacité au champ affecte aussi significativement mais à un taux relativement plus faible comparativement au stress sévère, la biomasse accumulée, la vitesse de croissance et l'intégrité cellulaire. La biomasse accumulée et la vitesse de croissance relative sont réduites de 26.45% et l'intégrité cellulaire augmente de 14.1% (Tableau I, figure 1). La surface moyenne de la dernière feuille développée, la teneur relative en eau et l'utilisation efficiente de l'eau ne sont pas affectées significativement. Ces variables se montrent relativement moins sensibles au stress hydrique d'intensité moyenne comparativement à la biomasse accumulée, la vitesse de croissance relative et l'intégrité cellulaire.

2- L'effet moyen génotype

Les génotypes étudiés montrent des différences spécifiques pour les variables mesurées. Waha se distingue par une faible surface moyenne de la dernière feuille développée, alors que la surface moyenne de la feuille la plus élevée est présente chez BO (Tableau I). BO présente le statut hydrique foliaire le plus faible comparativement aux valeurs moyennes mesurées sur Waha, Cyprus1 et Bousselam. Ces dernières

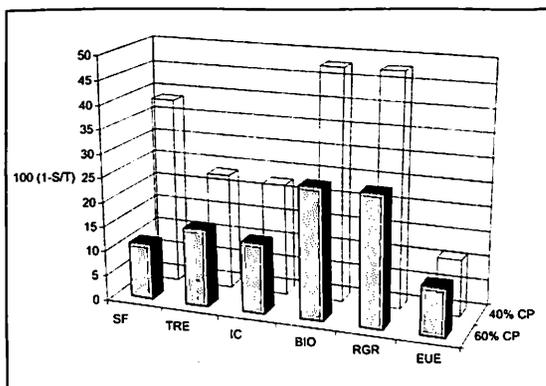


Figure 1 : Réduction, dû à l'effet du stress hydrique, de la valeur moyenne des variables mesurées relativement à la valeur prise par le témoin irrigué.

maintiennent un statut hydrique élevé. La membrane cellulaire de BO est moins endommagée par le stress hydrique, comparativement à celle de Waha qui montre une valeur moyenne de dommages significativement plus élevée (Tableau I). Waha, Cyprus 1 et BO se caractérisent par une meilleure capacité de production de matière sèche. Bousselam et BO présentent les valeurs extrêmes pour le taux de la croissance relative. Bousselam est le moins efficace pour l'eau (Tableau I).

Tableau I : Moyennes des variables mesurées.

Stress Génotype	SF cm ²	TRE %	IC %	BIO g/pot	RGR mg/j	EUE mgBIO/gH ₂ O
Effet moyen du stress hydrique						
100% CP	28.3*	82.4	--	36.3	0.726	8.64
60% CP	25.1	69.6	14.1	26.7	0.534	7.79
40% CP	17.4	63.1	22.6	18.9	0.378	7.66
Effet moyen du génotype						
Waha	17.3	75.3	26.6	28.5	0.570	8.90
MBB	24.9	68.3	16.2	25.2	0.504	7.80
Cyprus	23.5	74.1	19.3	27.9	0.558	8.00
Bousselam	26.1	74.5	16.0	23.7	0.474	7.30
Bous xOfonto	26.5	66.2	13.9	31.5	0.630	8.18
Interaction stress x génotype						
100% CP						
Waha	23.1	85.3	--	39.3	0.786	9.89
MBB	30.4	80.7	--	35.7	0.714	9.08
Cyprus	28.0	82.6	--	38.4	0.768	8.51
Bousselam	30.6	80.1	--	31.8	0.636	7.48
Bous xOfonto	29.5	83.5	--	36.3	0.726	8.28
60% CP						
Waha	16.5	73.9	14.9	24.3	0.486	7.81
MBB	27.5	62.3	13.2	24.6	0.492	7.78
Cyprus	25.9	80.9	15.8	29.1	0.582	8.07
Bousselam	26.6	72.6	13.8	22.8	0.456	7.24
Bous xOfonto	29.2	58.2	13.0	32.7	0.654	8.08
40% CP						
Waha	12.3	66.7	38.3	21.6	0.432	9.02
MBB	16.8	61.6	19.2	15.0	0.300	6.53
Cyprus	16.5	58.6	22.7	16.2	0.324	7.36
Bousselam	21.0	71.6	18.1	16.5	0.330	7.22
Bous xOfonto	20.8	56.9	14.7	24.9	0.498	8.18
Moyenne générale	23.6	71.7	18.4	27.3	0.545	8.04
Ppds 5%	5.1	8.3	2.5	5.3	0.125	1.1

SF = surface moyenne de la dernière feuille développée, TRE = teneur relative en eau, IC = intégrité cellulaire, BIO = biomasse aérienne accumulée, RGR = vitesse de croissance relative, EUE = efficacité d'utilisation de l'eau. * Toute différence entre deux moyennes qui est égale ou supérieure à la PPDS est déclarée significative au seuil de 5%.

3- L'interaction stress hydrique x génotype

3.1. La surface moyenne de la dernière feuille développée, la teneur en eau relative et l'intégrité cellulaire

En l'absence de la contrainte hydrique, et prenant les moyennes des caractères mesurés sur le cultivar Waha comme indice 100, on note que les variétés évaluées se subdivisent en deux groupes qui diffèrent principalement pour la surface moyenne de la feuille. Waha se distingue par une feuille aux dimensions plus réduites comparativement aux autres génotypes (Figure 2). Pour les valeurs moyennes prises par la teneur relative en eau, la biomasse accumulée et l'efficacité d'utilisation de l'eau, Waha présente des valeurs plus élevées, mais des différences existent aussi entre les autres variétés. Les génotypes testés réagissent différemment au stress hydrique imposé. Waha réduit de la surface moyenne de la feuille de 28.7% et 48.8% respectivement sous stress modéré et sévère. Les autres génotypes ne réagissent qu'au stress intense, où ils accusent des réductions variant de 29.5% pour BO à 44.7% pour MBB (Tableau I, figure 3). BO et MBB réduisent significativement de 30.3 et 22.8%, la teneur relative en eau du feuillage sous stress modéré. Cyprus 1 est relativement le moins affecté sous ces conditions, il présente une réduction de 2.0% (Tableau I, figure 3). Sous stress sévère, la

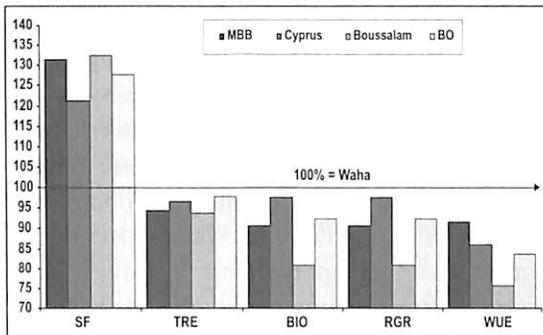


Figure 2 : Expression des variables mesurées chez les différents génotypes en % des variables du cultivar Waha en l'absence de la contrainte hydrique.

réduction de la teneur relative en eau est plus importante. Elle varie de 10.6%, valeur mesurée sur Boussalam à 31.9% chez BO (Tableau I, figure 3).

Les dommages causés à la membrane cellulaire sont moins évidents sous stress modéré pour les cinq génotypes, mais elles deviennent conséquentes sous stress sévère où Waha se détache des autres variétés et exprime le plus de dégâts, avec une augmentation relative des dommages de 38.3%. BO se montre le moins sensible et présente 14.7% de dégâts, il est suivi de près par les trois autres variétés (Tableau I, figure 3). Le stress modéré discrimine plus entre les génotypes évalués pour la réduction de la surface de la feuille et la teneur relative en eau, alors que le stress sévère révèle mieux les différences entre génotypes pour l'intégrité cellulaire. A ce niveau de l'analyse deux comportements variétaux apparaissent. Celui de la variété Waha qui réagit au stress hydrique d'intensité moyenne en réduisant sa surface foliaire. Par opposition BO et à un degré moindre MBB, sous les mêmes conditions de déficit hydrique, utilisent la teneur relative en eau comme signal de perception du stress hydrique qu'elles endurent. Le test

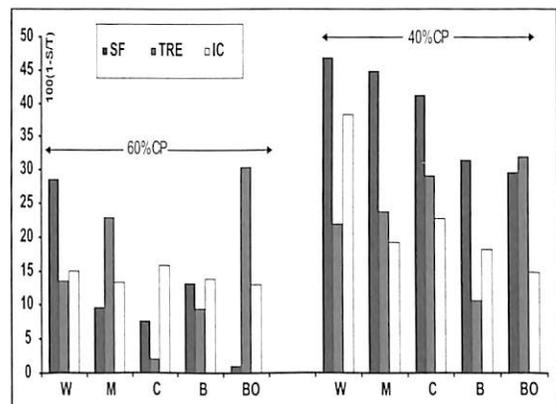


Figure 3 : Réduction, dû à l'effet du stress hydrique, des moyennes de la surface de la dernière feuille développée (SF), de la teneur relative en eau (TRE) et de l'intégrité cellulaire (IC) relativement aux valeurs prises par le témoin non stressé.

de l'intégrité cellulaire, discriminant sous stress sévère, indique la forte sensibilité de la variété Waha, et la tolérance toute relative de Bousselam, MBB, BO et à un degré moindre Cyprus 1 (Figure 3).

3.2. La biomasse aérienne accumulée, la vitesse de croissance relative et l'efficacité d'utilisation de l'eau

La matière sèche accumulée apporte la même information que le taux de la croissance relative. Sous stress hydrique modéré la plus forte réduction de la matière sèche accumulée est enregistrée par Waha, avec une valeur de 38.2%. MBB occupe la seconde position avec une réduction de 31.1%. BO est le moins affecté sous stress modéré et présente une réduction de 9.9%. Sous ces conditions, Cyprus1 et BO présentent les valeurs de la biomasse accumulée les plus élevées, Waha et MBB sont intermédiaires (Figure 4, tableau I). Sous stress sévère, les plus faibles réductions de la matière sèche accumulée sont notées chez BO (31.4%) et à un degré moindre chez Waha (45.1%) et Bousselam (48.1%). Il faut remarquer que BO et Waha accumulent la biomasse aérienne la plus élevée sous ces conditions de déficit hydrique sévère (Tableau I). Les génotypes MBB et Cyprus 1 sont, par contre, classés, de par cette caractéristique, comme étant très sensibles au manque d'eau sévère. Leur capacité d'accumulation de la matière sèche est réduite

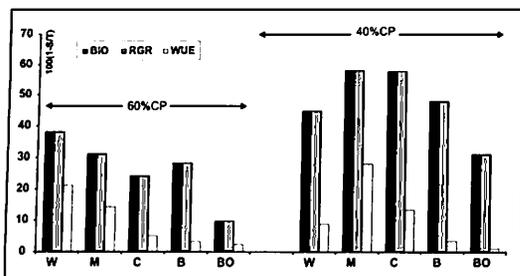


Figure 4 : Réduction, dû à l'effet du stress hydrique, des moyennes de la matière sèche accumulée (BIO), la vitesse de croissance relative (RGR), et l'efficacité d'utilisation de l'eau (WUE) relativement aux valeurs prises par le témoin non stressé.

de 57.8%. (Figure 4, tableau I). L'efficacité d'utilisation de l'eau de Waha est réduite significativement sous stress modéré plus que sous stress sévère, alors que MBB réduit plus son efficacité d'utilisation de l'eau sous stress sévère. Il présente la valeur la plus faible avec 6.5 mgMS/g H₂O, contre 8.2 mgMS/g H₂O pour BO et 9.0 mgMS/g H₂O pour Waha (Tableau I).

DISCUSSION

Cette étude a pour objectif d'identifier les différences qui apparaissent tôt en début de cycle chez des variétés contrastées de blé dur sous l'effet de la contrainte hydrique. Les résultats indiquent que le stress hydrique affecte les caractères mesurés à des degrés variables, selon l'intensité du stress et le génotype. L'effet moyen "stress hydrique" indique que la surface de la feuille, la teneur relative en eau et l'efficacité d'utilisation de l'eau sont peu sensibles au stress d'intensité modérée. Par contre la biomasse aérienne accumulée, la vitesse de croissance relative et l'intégrité cellulaire sont significativement affectées sous stress hydrique moyen et sévère. Les génotypes étudiés montrent des différences spécifiques. Waha réagit par une réduction significative de la surface de la feuille et une sensibilité membranaire élevée, en réponse au stress, tout en maintenant une capacité élevée de production de biomasse aérienne. BO réagit par une réduction significative de la teneur relative en eau, une tolérance membranaire élevée, associées à une bonne capacité d'accumulation de la biomasse aérienne. Les variétés testées diffèrent peu pour l'efficacité d'utilisation de l'eau. Waha et BO représentent deux comportements typiques pour contrer le stress hydrique: réduction de la surface foliaire associé au maintien de la teneur relative en eau, vs maintien de la surface foliaire et réduction de la teneur relative en eau.

Les deux stratégies conduisent à une production élevée de biomasse aérienne sous contrainte hydrique sévère. Comment expliquer de tels comportements apparemment contradictoires? Parmi les caractéristiques qui contribuent au maintien du rendement en grain sous stress, il y a le contrôle stomatique des pertes d'eau sous contrainte hydrique. Ce contrôle a pour conséquence de réduire aussi l'assimilation du CO₂, et donc l'accumulation de la biomasse aérienne (CONDON *et al.*, 2004). La corrélation positive entre la teneur relative en eau et la biomasse accumulée ($r = 0.678$, $n = 15$, figure 5) trouvée dans la présente étude indique, qu'en général, l'accumulation de la biomasse sous stress est dépendante du contenu foliaire en eau.

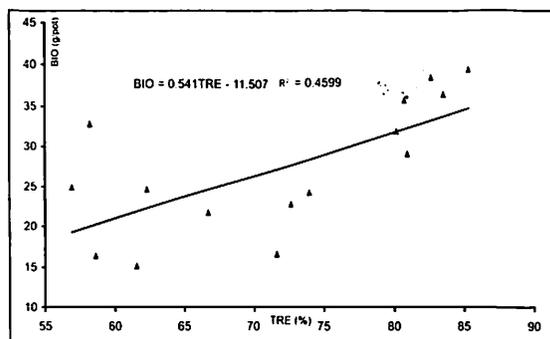


Figure 5 : Relation entre la biomasse aérienne accumulée et la teneur en eau foliaire mesurées chez les 5 génotypes testés sous trois intensités de la contrainte hydrique.

Dans la mesure où les stomates contrôlent le flux du CO₂ vers les feuilles, la réduction de la conductance stomatique pour préserver l'eau réduira de l'assimilation photosynthétique, conduisant à la réduction de la biomasse aérienne sous stress. Dans la présente étude Waha en réduisant la surface de la feuille réduit par là même le nombre de pores contribuant à la transpiration et donc réussit à maintenir un confort hydrique foliaire favorable relativement aux autres génotypes évalués. Par contre BO en maintenant la surface foliaire peu changeante

sous stress, accuse une baisse du statut hydrique foliaire, sans pour autant que ceci affecte sa capacité d'accumulation de la biomasse. Ce génotype est résistant au stress hydrique dans la mesure où il arrive à fonctionner sous stress hydrique avec une faible teneur relative en eau et à faire un rendement de matière sèche équivalent à celui de Waha qui adopte une stratégie d'évitement, gardant un statut hydrique favorable. REKIKI *et al.*, (1997) notent que le cultivar Waha maintient une teneur relative en eau élevée sous stress suite à sa capacité d'ajustement osmotique, et sa conductance élevée qui se traduit par une augmentation du ratio du pi/pa du CO₂ et une discrimination isotopique élevée. YKHFLEF et DJEKOUNE (1998) notent que Waha présente une faible réduction de la photosynthèse sous stress hydrique due au maintien d'une efficacité photochimique importante.

CONCLUSION

Cette étude, conduite en pot de culture et au cours de la phase végétative seulement, montre que le stress hydrique, d'intensité modérée aussi bien que sévère, induit une réduction de toutes les variables mesurés. Cette réduction est variable selon les génotypes étudiés. Tous les génotypes perdent de leur capacité d'accumulation de la matière sèche, sous stress sévère, avec cependant une variation de la réduction induite par le stress. Deux stratégies sont mises en oeuvre pour contrer la contrainte hydrique, celle adoptée par le cultivar Waha qui adopte une stratégie d'évitement, gardant un statut hydrique favorable sous contrainte en réduisant la surface foliaire par là même le nombre de pores contribuant à la transpiration. Par contre Bousselam/Ofanto maintient une surface foliaire peu changeante sous stress, accuse une baisse du statut hydrique foliaire, sans pour autant que ceci affecte sa capacité d'accumulation de la biomasse. Suite à la variabilité climatique de la zone ciblée, celle

des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie adoptée par Waha est théoriquement la plus intéressante, car elle évite le stress au lieu de le contrer.

Références bibliographiques

- ANNICCHIARICO P., CHIARI T., BELLAH F., DOUCENE S., YALLAOUI-YAICI N., BAZZANI F., ABDELLAOUI Z., BELLOULA B., BOUAZZA L., BOUREMEL L., HAMOU M., HAZMOUN T., KELKOULI M., OULD-SAID H., ZERARGUI H., 2002. Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. II. Adaptative traits. *J. Agric. Environ. Int. Develop.*, 96 : 189-208.
- ARAUS J.L., AMARO T., CASADESUS J., ASBATI A., NACHIT, M.M., 1998. Relationships between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 25 : 835 -842.
- ARAUS J.L., SLAFER G.A., REYNOLDS M.P., ROYO C., 2002. Plant breeding and water relations in C₃ cereals. What should we breed for? *Ann. Botany.* 89 : 925-940.
- BAHLOULI F., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., HASSOUS K.L., 2005. Selection of high yielding and risk efficient Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Pak. J. Agro.*, 4 : 360-365.
- BAJI M., LUTTS S., KINET J.M. 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci* 160 :669-681.
- BLUM A., ZHANG J., NGUYEN H.T., 1999. Consistent differences among wheat cultivars in osmotic adjustment and their relationship to plant production. *FCResearch* 64 : 287-291.
- CHENNAFI H., AIDAOUY A., BOUZERZOUR H., SACI A., 2006. Yield response for Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, 5 : 854-860.
- COOPER P.J.M., GREGORY P.J., KEATINGE J.D. G., BROWN S.C., 1983. Effects of fertilizer, variety and location on barley production under Rainfed condition in North Syria. II : Sol water dynamics and crop Water use. *Field Crop Research*, 16 : 67-72.
- CONDON A.G., RICHARDS R.A., REBETZKE G.J., FARQUHAR G.D., 2004. Breeding for high water-use efficiency. *J. Exp. Botany*, 55 : 2447-2460.
- DEBAEKE P., ABOUDRARE A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *Europ. J. Agronomy* 21 : 433-446.
- FELLAH A., BENMAHAMMED A., DJEKOUN A., BOUZERZOUR H., 2002. Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum). Actes de l'IAV, Hassan II (Maroc) 22 : 161-170.
- IRRISTAT, 2005. Irristat Software version 5.0. IIRI release, Manila, Philippines.
- PASSIOURA J., 2004. Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12 pages, www.regional.org-au/au/cs.
- REKIKI D., MONNEVEUX P., HAVAUX M., 1997. The in vivo tolerance of photosynthetic membranes to high and low temperatures in cultivated and wild wheats of the *Triticum* and *Aegilop* genera. *J. Plant Physiol.* 150 : 734-738.

RICHARDS R.A., REBETZKE G.J., CONDON A.G., VAN HERWAAR-DEN A.F., 2002. Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.* 42 :111-121.

RIJSBERMAN F.R., MOHAMED A., 2003. Water, food and environment : conflict or dialogue? *Water Science and Technology* 47 : 53-62.

SIDDIQUE K.H.M., BELFORD M.W., PERRY D., TENNANT D., 1991. Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in Mediterranean environment. *Aust. J. Agri. Res.* 40 : 473-487.

SIMANE B., PEACOCK J.M., STRUIK P.C., 1993. Differences in development plasticity growth rate among drought resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum). *Plant and Soil*, 157 : 155-166.

SLAFER G., ARAUS J.L., RICHARDS R.A., 1999. Physiological traits that increase the yield potential of wheat. In : Satorre E.H. Slafer G.A. eds. Wheat, Ecology and physiology of yield determination. New York, Foods products Press, 379-415.

TARDIEU F., 2003. Virtual plants : modeling as a tool for the genomics of tolerance to water deficit. *Trends in Plant Science* 8, 9-14.

YKHLIF N., DJEKOUN A., 1998. Adaptation photosynthétique et résistance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. durum) : Analyse de la variabilité génotypique. *Options Médit.* 327-330.