

**ETUDE DES LIAISONS ENTRE LE RENDEMENT, LA DUREE DE VIE DE LA FEUILLE ETENDARD, LA VITESSE DE REMPLISSAGE ET LA REMOBILISATION DES ASSIMILATS DE LA TIGE DU BLE DUR (*Triticum durum* Desf.) SOUS CLIMAT MEDITERRANEEN**

Par

BAHLOULI F.<sup>(1)</sup>, BOUZERZOUR H.<sup>(2)</sup>,  
BENMAHAMMED A.<sup>(2)</sup>, et ASSOUS K.L.<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Faculté des Sciences, Université Mohamed Boudiaf, M'sila.

[Faycal.bahlouli@caramail.com](mailto:Faycal.bahlouli@caramail.com)

<sup>(2)</sup> Faculté des Sciences, Université Ferhat Abbas, Sétif

<sup>(3)</sup> Station Expérimentale Agricole ITGC, BP 03, Sétif

## RESUME

La zone des hauts plateaux dont le climat est de type continental va limiter largement l'expression du rendement en grain, défavorisé par les pluies rares et irrégulières, des gelées printanières et de la sécheresse de fin de cycle. La capacité d'adaptation des variétés aux stress hydrique peut être liée à une amélioration du taux de remplissage des grains, la contribution des hydrates de carbones stockés dans les tiges ou la persistance de la chlorophylle par une longue durée de la vie de la feuille étendard. La présente contribution se propose d'étudier les liaisons entre le rendement en grain, la persistance de la chlorophylle de la feuille étendard, la vitesse de remplissage des grains et la translocation des assimilats de la tige du blé dur. L'expérimentation est conduite à la station ITGC de Sétif, sur 3 campagnes 2000/2001, 2001/2002 et 2002/2003 sur 5 géotypes de blé dur. La campagne 2000/2001 a été la plus favorable à l'expression du rendement en grain, du nombre d'épis/m<sup>2</sup>, du grain/m<sup>2</sup> et de la fertilité des épis. La campagne 2001/2002 a été la plus défavorable. Heider présente le meilleur rendement en grain au cours de la 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> campagne associé à une bonne capacité de translocation. Le rendement en grain ne présente pas de liaison significative avec la durée et la vitesse de remplissage des grains, cependant, il est significativement corrélé à la vitesse de remplissage des

grains/m<sup>2</sup> et la quantité des assimilats transloqués. La vitesse de remplissage du grain est négativement liée à la durée de remplissage. La part des assimilats venant des tiges participe de moins en moins à mesure que le milieu permet l'expression d'un meilleur rendement en grain, la participation des assimilats transférables des tiges vers les grains devient plus importante lorsque le milieu est contraignant. Par contre, lorsque les conditions du milieu le permettent, le remplissage des grains se fait essentiellement à base des assimilats venant de l'activité photosynthétique des feuilles.

**Mots clés :** Rendement en grain, assimilats, translocation, blé dur, photosynthèse.

## ملخص

إن منطقة المضاب العليا المتميزة بمناخ قاري تعدد بصفحة واضحة المردود الحبي للقمح، وهذا يرجع لكمية الأمطار القليلة والمتغيرة، للجليد الربيعي وكذلك للجفاف في نهاية دورة النبتة. إن قدرة تآكل الأصناف للجفاف يمكن أن يعود إلى تدعيم خصبة ملا البذور، دور هيدرات الكربون المخزونة في السيقان أو ديمومة مادة الكلوروفيل في الورقة المعلم. إن الدراسة الحالية تقترح دراسة العلاقات بين المراتود الحبي، ديمومة مانو الكلوروفيل وقدرة انتقال المغذوات من الساق، التجريبية أنجزت في محطة المعهد التقني للمحاصيل الحقلية بسطيف، على امتداد ثلاث مواسم زراعية 2000/2001، 2001/2002 و2002/2003 على 5 أصناف من القمح الصلب. الموسم 2001/2002 كان الأكثر ملائمة لإنتاج مردود حبي عالي إضافة إلى عدد السنايل في  $M^2$ ، عدد الحبوب في  $M^2$  وعدد الحبوب، في السنبلة. الموسم 2001/2002 كان الأكثر سوءا. الصنف Heider يسجل المردود الأعلى على امتداد الموسمين الثاني والثالث مقرونا بقدرة كبيرة على نقل المغذوات، المردود الحبي لا يبدي علاقة إيجابية مع مدة وسرعة ملا البذور، ولكن بالمقابل علاقته بدرجة ملا البذور في  $M^2$  إيجابية وكذلك كمية المخزونات المنقلة. سرعة ملا البذور لها علاقة سلبية مع مدة الملا. دور المخزونات الموجودة في المساق في تناقص كلما سمح المناخ بمراد حبي عالي، تصبح مشاركة المخزونات المنقولة من السيقان نحو البذور أكثر أهمية كلما كان المناخ صعب. ولكن بالمقابل لما يصبح المناخ مناسبا، فإن ملا البذور لا يكون إلا بالمخزونات التي مصدرها نشاط التركيب الضوئي للأوراق.

كلمات مفتاح : المردود الحبي، المخزونات، الاتقال، القمح الصلب، التركيب القوي.

## SUMMARY

The experiment had the objective to analyse the relationships between grain yield, flag leaf duration, grain filling rate and remobilization of stem assimilates to the kernel of durum wheat (*triticum durum* Desf.) genotypes. The experiment has been conducted on the experimental site of the agricultural research station of the Institute of field crop located near Sétif (Algéria) during three cropping seasons 2000/01 to 2002/03 with 5 contrasted genotypes. The results indicated that grain yield did not show significant relationships with grain filling rate and grain filling duration, it is however significantly correlated with filling rate of the number of kernels/m<sup>2</sup> and with the quantity of transferred assimilates. Grain filling rate was negatively correlated with grain fill duration. Assimilates translocation from the stem participated less to grain yield under favorable growth conditions. This contribution is however relatively more important under stress.

**Key words** : Grain yield, assimilates, translocation, durum wheat, photosynthesis.

## INTRODUCTION

Conduite en pluviale, dans un environnement contraignant, la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) occupe une importante partie de la surface agricole utile réservée à la céréaliculture. Les emblavures s'étendent sur plus de 50% des 3.000.000 d'ha annuellement semés (FELIACHI, 2002). Près de 800.000 ha sont mis en place sur les hauts plateaux de l'intérieur du pays dont le climat de type continental limite largement l'expression du rendement en grain (BALDY, 1974). Les pluies de nature irrégulière se limitent à l'hiver. Les basses températures de cette saison réduisent l'utilisation précoce de l'humidité du sol par la plante.

L'avènement des hautes températures dès le printemps, le plus souvent associé au déficit hydrique, accélère le développement de la plante au détriment de la croissance. La phase de remplissage du grain se réalise sous contraintes climatiques. La contribution au rendement de la dernière composante à se former est donc largement sous la dépendance des conditions environnementales qui influent sur la durée, la vitesse de remplissage et la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige (GUINTA *et al.*, 1995). La durée de remplissage, et par conséquent, le poids final du grain atteignent rarement leurs potentiels, d'où les faibles rendements en grain observés sous un tel climat (ABBASSENNE *et al.*, 1998).

La capacité d'adaptation des variétés est liée à l'amélioration du taux de remplissage pour compenser la réduction de la durée induite par le stress (HOUSLEY *et al.*, 1982, TRIBOI *et al.*, 1985, TRIBOI, 1990, WARDLAW et MONCUR, 1995). L'adaptation prend aussi la forme de la contribution des hydrates de carbones produits en pré-anthèse et stockés sous forme non structurale dans les tiges (PHELOUNG et SIDDIQUE 1991, GEBBING et SCHNYDER, 1999, YANG *et al.*, 2000). Les dimensions de ce puit sont liées à la hauteur du chaume chez les variétés anciennes, et au nombre de tiges produites par unité de surface de sol chez les génotypes modernes (SIDDIQUE *et al.*, 1989, AMOKRANE *et al.*, 2002).

Selon WARDLAW (2002) l'activité photosynthétique de la post-anthèse, sous stress hydrique et thermique sévères, est souvent la seule source d'assimilats utilisables pour le remplissage du grain. La persistance de la chlorophylle qui se matérialise par une plus longue durée de vie de la feuille étendard est une forme d'adaptation aux stress abiotiques de fin de cycle. Elle favorise la durée plus que la vitesse de remplissage du grain (RICHARDS *et al.*, 1997, WARDLAW, 2002). Une plus grande persistance de la chlorophylle, donc de l'activité photosynthétique, est souvent notée chez les génotypes précoces qui sont relativement moins agressés par les

stress de fin de cycle qu'ils arrivent à plus ou moins esquisser (AL HAKIMI *et al.*, 1995). La présente contribution se propose d'étudier les liaisons entre le rendement en grain, la persistance de la chlorophylle de la feuille étendue, la vitesse de remplissage et la translocation des assimilats de la tige du blé dur (*Triticum durum* Desf.).

## MATERIEL ET METHODES

### *Mise en place de l'expérimentation*

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif (Algérie). Mise en place dans un dispositif en blocs randomisés, avec quatre répétitions, elle a duré trois campagnes consécutives, de 2000/01 à 2002/03. La parcelle élémentaire est constituée de 6 rangs de 5 m de long, avec un espace inter-rangs de 20 cm et inter-blocs de 1,0 m. Le semis est effectué à la mi-novembre et la récolte est faite la troisième décennie du mois de juin. Le précédent cultural est une jachère intégrale qui a reçu juste avant le semis une fertilisation phosphatée de 100 kg/ha de superphosphate à 46% et au stade tallage de la culture 80 kg/ha d'azote sous forme d'urée à 46%. Le désherbage a été réalisé au GranStar [ *Tribunéron méthyle* ] à raison de 12 g/ha mélangés à 250 l d'eau.

Les cinq variétés étudiées sont Mohammed Ben Bachir, Waha, Derraa, Heider et Adamillo/Duillio//Semito 439-97. Elles sont désignées par les abréviations respectives MBB, Waha, Derraa, Heider et ADS. MBB est une lignée issue d'une variété population locale de la région de Sétif (LAUMONT et ERROUX, 1961). Waha est une sélection du début des années 1980, faite conjointement par l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) et l'Icarda. Elle est précoce à l'épiaison, de paille courte et relativement plus productive comparativement à MBB (MEKHLLOUF *et al.*, 2004). Derraa et Heider sont des lignées avancées issues de sélections faites en 1997 à l'intérieur de pépinières elles sont reçues de l'Icarda. ADS est une lignée fixée introduite d'Italie (BOUZERZOUR *et al.*, 1998).

### *Notation, mesures et analyse des données*

Elles sont faites une fois par semaine, à partir de la réalisation du stade épiaison qui a été daté pour estimer la durée de la phase végétative (PVG). Un échantillon de la végétation est prélevé sur une ligne d'un mètre de long par parcelle élémentaire. La matière sèche est obtenue après passage à l'étuve à 85°C pendant 24 heures. Après détermination du poids

de la matière sèche totale de l'échantillon, les épis sont comptés puis décortiqués pour en extraire les grains dont le poids est déterminé.

La différence entre le poids de la matière sèche totale de l'échantillon et celle des grains produits est considérée comme étant de la matière sèche accumulée par les tiges. La vitesse de croissance végétative (VCV) est déterminée par le rapport entre la biomasse accumulée au stade épiaison et la durée de la phase végétative. A maturité on détermine le rendement en grain, les composantes du rendement, la biomasse totale produite, l'indice de récolte et la hauteur du chaume à partir de l'échantillon ci-dessus.

La vitesse de remplissage par grain ( $V$  en mg/j) est estimée par régression linéaire. Elle est prise comme étant égale au coefficient de régression linéaire de la phase active de remplissage. La durée de remplissage ( $D$  en j) est déterminée par le rapport de 95% du poids du grain ( $0.95P1G$ ) atteint à maturité sur la vitesse de remplissage ( $V$ ):

$$D = 0.95 P1G / V \quad (\text{GEBBING T., et SCHNYDER H., 1999})$$

Avec

$D$  = durée de remplissage en jours

$0.95P1G$  = 95% du poids moyen du grain atteint au stade maturité (mg)

$V$  = vitesse de remplissage (mg/j)

La vitesse de remplissage ramenée au nombre de grains produits par  $m^2$  ( $VRG$  en  $g/m^2$ ) est obtenue par le produit:

$$VRG = (V \times NGM^2) / 1000$$

Le poids de la matière sèche accumulée dans les tiges a été déterminé à l'épiaison, à son maximum et à maturité. La quantité de matière sèche des tiges transférée vers le grain est estimée par la différence:

$$T = MST_{Max} - MST_{Min}$$

Avec

$T$  = Quantité de la matière sèche des tiges transférée vers le grain ( $g/m^2$ )

$MST_{Max}$  = Poids maximal de la matière sèche accumulée dans les tiges ( $g/m^2$ )

$MST_{Min}$  = Poids de la matière sèche des tiges mesurée à maturité ( $g/m^2$ )

Elle est ensuite relativisée par rapport au rendement en grain/ $m^2$  et au poids moyen d'un grain

$$T (\%) = 100(T/RDT)$$

$$T (\%) = 100 [ (1000T/NGM^2) / P1G ]$$

La vitesse de la sénescence foliaire ( $V_{sf}$  en  $\text{cm}^2/\text{j}$ ) a été déterminée lors de la campagne 2002/03. Elle est estimée par régression de la surface verte sur le temps, comptés en jours calendaire à partir de la date d'épiaison. La durée de vie ( $D_{sf}$ ) de la surface verte de la feuille étendard est calculée par le ratio de la surface verte ( $SF$  en  $\text{cm}^2$ ) au stade épiaison divisée par la vitesse de dessèchement ( $V_{sf}$  en  $\text{cm}^2/\text{j}$ ) :

$$D_{sf} (\text{j}) = SF/V_{sf}$$

Un analyse de la variance inter-années est réalisée avec les données du rendement et des composantes. L'étude des liaisons entre les différentes variables mesurées est faite sur le base du calcul du coefficient de simple corrélation. Les calculs statistiques ont été faits avec le logiciel Statitcf (1991)

## RESULTATS ET DISCUSSION

L'analyse de la variance des variables mesurées indique un effet année significatif qui explique une importante partie de la variation disponible dans les données soumises à l'analyse (Tableau 1). Cet effet met en relief l'influence des fluctuations des conditions de croissance d'une campagne à l'autre et les différences de sensibilité vis à vis de ces fluctuations extériorisées par les génotypes évalués. La campagne 2000/01 a été plus favorable à l'expression du rendement en grain, du nombre d'épis/ $\text{m}^2$ , des grains/ $\text{m}^2$  et de la fertilité des épis mais pas du poids de 1000 grains. Il y a eu une plus grande quantité d'assimilats transférés associés à une plus courte durée de la phase végétative, une vitesse de croissance végétative plus réduite et un meilleur indice de récolte. Peu de différences pour la hauteur du chaume apparaissent entre les années (Tableau 2).

En comparaison, l'année 2001/02 a été la plus défavorable, notamment pour le rendement en grain. La vitesse de croissance végétative a été plus élevée mais la faiblesse de l'indice de récolte laisse penser que la biomasse accumulée au stade épiaison n'a pas bien été valorisée sous forme de grains suite à des stress intenses agissant en post-anthèse et qui ont surtout affecté le nombre de grains par épi (Tableau 2). La réponse moyenne des génotypes aux conditions de croissance de la campagne 2002/03 a été proche de celle de la campagne 2001/02. Les moyennes observées sont très similaires sauf pour la durée de la phase végétative qui a été plus longue de 5 jours (Tableau 2).



**Tableau 1** : Analyse de la variance du rendement, de ses composantes et des quantités de matière sèche transloquées:

Source de variation	ddl	RDT	NE	NGE	PMG	NGM <sup>2</sup> x10 <sup>3</sup>
Année	2	156303.8**	32951.2**	517.8**	276.1**	127243.5**
Génotype	4	3385.0ns	20230.9ns	47.6ns	72.2*	2474.6ns
G x A	8	4876.2**	10630.9**	33.9**	13.8ns	3186.7**
Erreur	28	1021.1	1863.0	6.3	12.9	237.3

Source de variation	ddl	T	PVG	HT	VCV	HI
Année	2	7235.8**	111.8**	16.5ns	26.3**	1846.9**
Génotype	4	297.0ns	75.6**	121.9ns	1.4ns	25.4ns
G x A	8	276.9**	46.5ns	102.3**	1.2**	56.9**
Erreur	28	66.1	35.8	26.8	0.8	12.6

RDT = rendement en grain (g/m<sup>2</sup>),

NE = nombre d'épis/m<sup>2</sup>,

NGE = nombre de grains/épi,

PMG = poids de 1000 grains,

NGM<sup>2</sup> = nombre de grains/m<sup>2</sup>,

T = quantité de matière sèche transférées des tiges (g/m<sup>2</sup>),

PVG = durée de la phase végétative (j),

HT = hauteur du chaume (cm),

VCV = vitesse de croissance au cours de la phase végétative (g/j/m<sup>2</sup>),

HI = indice de récolte.

**Tableau 2 :** Effet moyen année et interaction Génotype x année du rendement, des composantes et des quantités de matière sèche transloquées

Effet	RDT	NE	NGE	PMG	NGM <sup>2</sup>	T	PVG	HT	VCV	HI
<b>Effet moyen année</b>										
2000/01	352.1	416.7	22.7	38.4	9197.0	98.9	118.0	65.5	5.1	36.9
2001/02	168.6	359.6	12.3	38.8	4344.4	59.0	117.4	63.5	7.7	15.8
2002/03	182.7	323.8	12.8	46.0	3980.2	62.7	122.4	64.5	6.0	20.5
<b>Interaction Génotype x Année</b>										
<b>2000/01</b>										
<b>ADS</b>	359.0	325.0	30.8	35.8	0014.3	89.8	114.7	56.0	4.9	38.7
<b>Waha</b>	431.7	533.7	21.6	37.5	11512.4	100.8	114.3	66.6	4.6	44.9
<b>Derraa</b>	284.3	391.7	19.2	37.8	7513.7	90.1	119.7	65.0	5.2	31.8
<b>Heider</b>	356.3	351.7	25.0	40.9	8784.9	101.8	120.0	66.7	5.6	34.9
<b>MBB</b>	326.0	481.6	17.0	39.9	8160.1	111.9	121.3	73.3	5.2	34.4
<b>2001/02</b>										
<b>ADS</b>	161.3	293.3	13.6	40.4	3993.1	59.1	115.3	59.0	6.4	17.9
<b>Waha</b>	149.7	350.0	12.5	34.6	4318.9	58.9	115.0	61.3	7.9	14.2
<b>Derraa</b>	179.9	370.0	13.4	36.9	4867.2	62.9	116.3	58.8	7.4	16.7
<b>Heider</b>	204.6	428.3	11.0	43.6	4695.5	60.1	120.3	64.6	8.2	17.7
<b>MBB</b>	147.4	356.6	10.9	38.4	3846.9	53.8	120.3	73.3	8.7	12.5
<b>2002/03</b>										
<b>ADS</b>	140.5	295.2	11.5	42.3	3322.7	45.9	120.0	53.3	6.3	15.5
<b>Waha</b>	180.9	390.4	10.9	42.7	4244.1	60.9	120.0	57.6	6.4	20.1
<b>Derraa</b>	216.2	347.6	13.2	47.1	4593.9	71.3	123.0	64.5	5.1	25.7
<b>Heider</b>	204.9	233.3	17.4	52.6	3967.6	80.7	124.0	67.3	5.5	22.6
<b>MBB</b>	171.4	352.4	11.1	45.4	3967.6	54.9	124.0	70.6	6.7	18.6
<b>MG</b>	234.5	366.7	15.9	41.1	3772.5	75.5	119.3	64.5	6.3	24.4
<b>Ppds5%</b>	30.1	40.7	2.3	3.4	459.3	7.7	4.7	4.8	0.8	3.3

**RDT** = rendement en grain (g/m<sup>2</sup>), **NE** = nombre d'épis/m<sup>2</sup>, **NGE** = nombre de grains/épi, **PMG** = poids de 1000 grains, **NGM<sup>2</sup>** = nombre de grains/m<sup>2</sup>, **T** = quantité de matière sèche transférées des tiges (g/m<sup>2</sup>), **PVG** = durée de la phase végétative (j), **HT** = hauteur du chaume (cm), **VCV** = vitesse de croissance au cours de la phase végétative (g/j/m<sup>2</sup>), **HI** = indice de récolte.

L'effet moyen génotype testé par rapport à la variance d'interaction n'est significatif que pour le poids de 1000 grains et la durée de la phase végétative. Pour les autres caractères l'importance de la variance d'interaction rend non significatif l'effet moyen génotype, les différences entre génotypes doivent, donc, être étudiées par campagne (Tableau 1). Waha présente le meilleur rendement en grain en 2000/01. Cette performance est associée à la montée d'un grand nombre d'épis/m<sup>2</sup> conduisant à un nombre de grains/m<sup>2</sup> et un indice de récolte élevés, ADS réussit une bonne fertilité épi, Heider le meilleur poids de 1000 grains et MBB la plus grande quantité d'assimilats transloqués (Tableau 2).

Heider présente le meilleur rendement en grain au cours de la deuxième et troisième année consécutives. Ces performances sont associées à une amélioration des trois composantes, épis/m<sup>2</sup>, grains/épi, poids de 1000 grains et la capacité de translocation mais avec un indice de récolte qui est similaire à celui des autres génotypes (Tableau 2). L'augmentation du rendement en grain chez ce génotype semble concomitante à celle de la biomasse aérienne conduisant à peu de variation de l'indice de récolte.

Du point de vue durée de la phase végétative et pour les trois campagnes, ADS et Waha sont plus précoces, Derraa est intermédiaire et Heider et MBB sont plus tardifs. La hauteur du chaume est à l'avantage de MBB et Heider. ADS et Waha sont plus courtes et Derraa est de taille intermédiaire. Les valeurs prises par le taux de croissance végétative et la vitesse de remplissage du grain varient en fonction des génotypes et années (Tableaux 2 et 3). Waha présente la meilleure vitesse de remplissage du grain en 2000/01, Heider en 2001/02 et Derraa en 2002/03. MBB remplit moins vite le grain en 2000/01 et ADS en 2001/02 et 2002/03 (Tableau 3). La cinétique de remplissage du grain des deux années contrastées est donnée par la figure 1.

Ramenées au nombre de grains produit par unité de surface de sol, les différences du point de vue vitesse de remplissage deviennent plus évidentes entre génotypes. Elles sont plus élevées en 2000/01 et moins élevées au cours des deux années suivantes. La durée de remplissage du grain suit l'évolution inverse (Tableau 3). Les différences entre génotypes sont peu marquées pour la durée de remplissage. Au stade épiaison ADS et Derraa développent une feuille étendard de grande surface avec une moyenne de 15.5 et 16.5 cm<sup>2</sup>, alors que Waha avec 11.5 cm<sup>2</sup> présente une feuille de faible surface. MBB et Heider ont des feuilles de dimensions proches de celles de Waha (Tableau 4).

**Tableau 3** Durée et vitesses de remplissage du grain (V) et des grains/m<sup>2</sup> (VRG)

Campagne	2000/01			2001/02			2002/03		
	V±ET	VRG	D	V±ET	VRG	D	V±ET	VRG	D
<b>Génotype</b>									
<b>ADS</b>	1.84± 0.05	21.18	19.4	1.59± 0.10	6.87	20.7	1.44± 0.08	6.16	28.2
<b>Waha</b>	1.94± 0.04	15.83	19.6	1.83± 0.07	7.04	19.9	1.57± 0.04	5.92	27.5
<b>Derraa</b>	1.90± 0.10	16.69	20.4	1.89± 0.08	8.87	21.9	1.84± 0.07	7.30	27.2
<b>Heider</b>	1.73± 0.07	17.32	19.6	1.94± 0.05	7.75	19.8	1.60± 0.05	5.32	25.1
<b>MBB</b>	1.77± 0.08	13.30	20.3	1.84± 0.06	8.96	19.1	1.70± 0.07	7.81	26.3

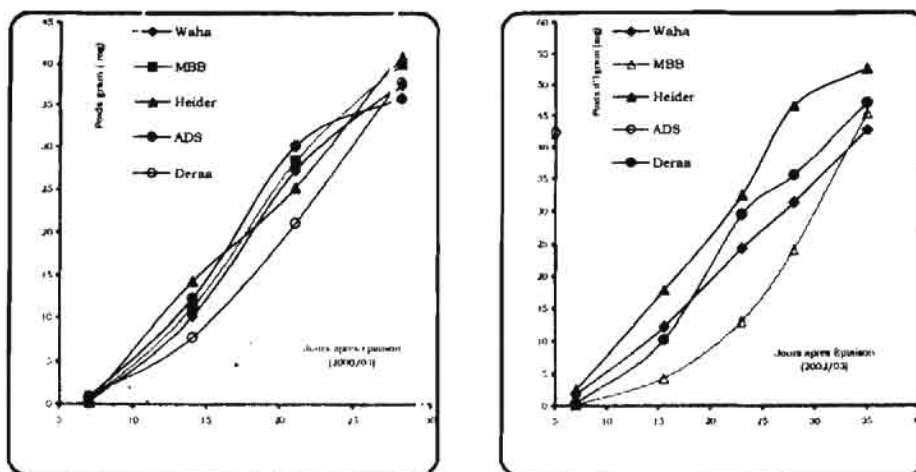
V= vitesse de remplissage d'un grains (mg/j), VRG = vitesse de remplissage des grains/m<sup>2</sup> (g/j/m<sup>2</sup>) D = durée de remplissage (j). ET : écart type.

**Tableau 4** : Surface verte en cm<sup>2</sup> au stade épiaison (E), E+10jours et E+20jours, durée de vie de la feuille étendard, modèle explicatif et vitesse de sénescence

Variété	Ads	MBB	Heider	Waha	Derraa
E	16.5	13.6	12.7	11.5	15.5
E+10j	10.9	12.0	10.9	9.8	12.8
E+20j	4.9	7.2	5.8	4.9	6.5
Modèle	-0.5957t	-0.0159t <sup>2</sup>	-0.0170t <sup>2</sup>	-0.0163t <sup>2</sup>	-0.0154t <sup>2</sup>
E.T	±0.06	±0.001	±0.002	±0.003	±0.001
Cte	+16.9	+13.59	+12.69	+11.49	+15.7
R <sup>2</sup>	0.96	0.99	0.94	0.91	0.99
Vitesse (cm <sup>2</sup> /j)	-0.5957	-0.0318t	-0.0340t	-0.0326t	0.0308t
Durée (j)	28.4	29.2	27.3	26.5	31.9

Dix jours après l'épiaison, dès le début de la phase active de remplissage du grain, la surface verte de la feuille étendard est réduite de 33.9%, 11.7%, 14.1%, 14.7% et 17.4% respectivement pour ADS, MBB, Heider, Waha et Derraa. Après 20 jours, la réduction relative est de 70.3%, 47.0%, 54.3%, 57.3% et 58.0% pour les mêmes génotypes dans l'ordre cité ci-dessus (Tableau 4). ADS dessèche plus vite la feuille étendard à l'opposé de MBB qui développe un rythme de dessèchement relativement plus lent (Figure 2).

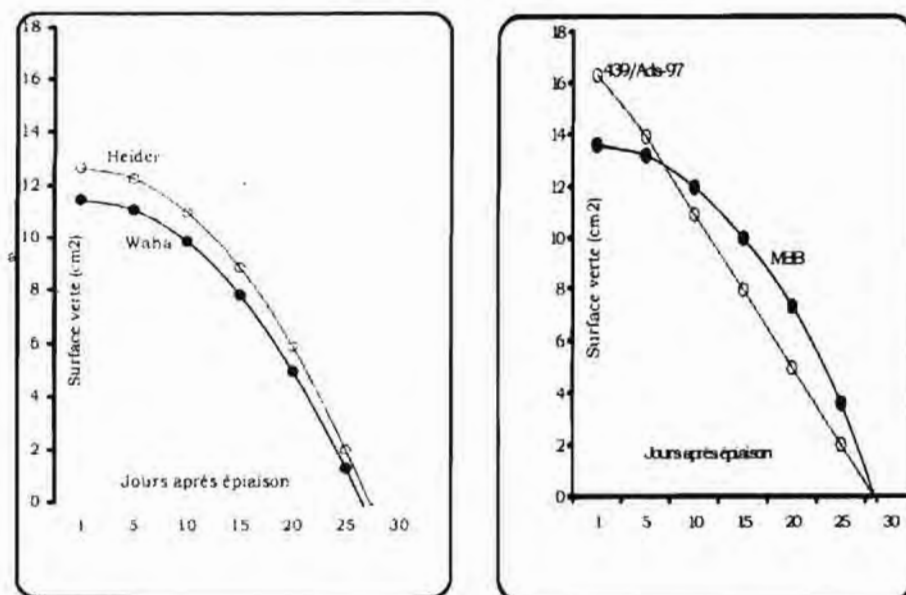
La vitesse de dessèchement foliaire est de  $-0.5957 \text{ cm}^2/\text{j}$  pour Ads, celle des autres variétés est variable dans le temps, suite à la nature quadratique du modèle (Figure 2, Tableau 4). Elle est modeste du stade épiaison jusqu'à l'épiaison + 15 jours, puis elle devient plus rapide après ce stade (Figure 2). La durée de vie de la feuille étendard varie de 26.5 jours pour le cultivar Waha à 31.9 jours pour Derraa (Tableau 2).



**Figure 1 :** Evolution du remplissage du grain (mg) des cinq génotypes durant les deux campagnes extrêmes

L'étude des liaisons entre le rendement en grain, la quantité d'assimilats transférés, la vitesse et la durée de remplissage du grain et les différentes variables analysées indique que le rendement en grain ne présente pas de liaisons significatives avec la durée et la vitesse de remplissage du grain, le poids de 1000 grains, la durée de la phase végétative et la hauteur du chaume (Tableau 5). Il est cependant

significativement corrélé aux nombre d'épis/m<sup>2</sup>, au nombre de grains/m<sup>2</sup>, au nombre de grains/épi, à la vitesse de remplissage des grain/m<sup>2</sup> (Figure 3) et à la quantité des assimilats transloqués. Il est négativement corrélé à la quantité relative (T en %RDT) d'assimilats transloqués (Figure 3), à la quantité transférée par grain, à la quantité traduite en % du poids moyen d'un grain et au taux de croissance végétative (Tableau 5).



**Figure 2 :** Evolution de la sénescence de la feuille étendard des génotypes étudiés.

La vitesse de remplissage du grain est négativement liée à la durée de remplissage. Cette dernière variable est positivement liée au poids de 1000 grains et à la durée de la phase végétative, elle est liée négativement au nombre de grains/m<sup>2</sup> et à la vitesse de remplissage des grains/m<sup>2</sup> (Tableau 5). En outre, la quantité d'assimilats transloqués montre des liaisons négatives avec les variables positivement corrélées avec le rendement en grain, dont entre autres le nombre d'épis/m<sup>2</sup>, les grains/m<sup>2</sup>, le nombre de grains/épi, la vitesse de remplissage des grains/m<sup>2</sup> et l'indice de récolte. Elle est positivement corrélée avec la part des assimilats transférés par grain et en % du poids du grain (Tableau 5).

**Tableau 5** : Coefficient de corrélation entre le rendement, la capacité de translocation des assimilats, la vitesse et la durée de remplissage du grain ( n =15)

	RDT	V	D	T(g)
RDT	1.0	0.39	-0.43	-0.76**
V	0.39	1.0	-0.65**	-0.35
PVG	-0.25	-0.41	0.67**	0.37
D	-0.43	-0.65**	1.0	0.21
T (g)	0.74**	0.35	-0.44	-0.45
T% <sub>RDT</sub>	-0.76**	-0.35	0.21	1.0
T/NGM <sup>2</sup>	-0.63*	-0.21	0.40	0.58*
T% <sub>PIG</sub>	-0.60*	-0.21	0.09	0.63*
NE	0.58*	0.18	-0.39	-0.48
NGM <sup>2</sup>	0.97**	0.35	-0.56*	-0.71**
NGE	0.84**	0.31	-0.42	-0.58**
VRG	0.98**	0.47	-0.60*	-0.73**
PMG	-0.26	-0.06	0.80**	0.46
HT	0.02	-0.07	-0.13	0.09
VCV	-0.63*	0.08	-0.13	0.49
HI	0.86**	0.34	-0.34	-0.74**

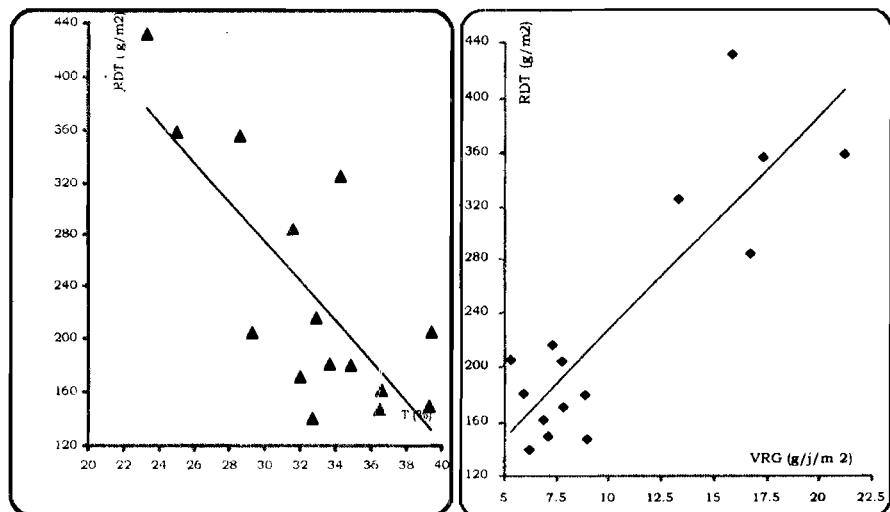
r5% =0.56, r1% =0.65,\* et \*\* coefficient significatif au seuil de 5 et 1% respectivement

Ces résultats indiquent que lorsque les conditions de croissance et la capacité génotypique conduisent à la réalisation d'un nombre de grains/m<sup>2</sup> élevé via les épis/m<sup>2</sup> ou les grains /épi, elles aboutissent à l'extériorisation d'une vitesse de remplissage des grains/m<sup>2</sup> et d'un indice de récolte élevé dont la résultante est l'expression de haut rendement en grain. Ces mêmes conditions sont associées à un transfert de grandes quantités d'assimilats stockés dans les tiges. La part des assimilats venant des tiges participe, cependant, de moins en moins à mesure que le milieu permet l'expression d'un meilleur rendement en grain.

Chez l'échantillon de génotypes étudiés, la participation des assimilats transférables des tiges au remplissage du grain devient donc relativement plus importante à mesure que le milieu est contraignant.

Par contre, lorsque les conditions du milieu le permettent, le remplissage du grain est essentiellement fait des assimilats venant de l'activité photosynthétique lors de la période de remplissage du grain. La part des assimilats transférés est relativement marginale en bonnes années pour devenir importante lors des années défavorables, lorsque le stress affecte fortement l'appareil photosynthétique. A ce sujet les résultats du suivi de la sénescence foliaire fait sur une seule année ne montrent pas d'effet significatif de la durée de vie de la feuille étendard sur l'expression du rendement en grain.

La phase de remplissage est la continuité du processus de production mis en place dès la levée et dont la finalité est le rendement en grains, qui est lui même la résultante de la matérialisation des sites du nombre de grains/m<sup>2</sup> (épis/m<sup>2</sup> et grains/épi) et de leur remplissage (poids moyen d'un grain). Au cours du déroulement de la phase de remplissage, la cinétique d'accumulation de la matière sèche du grain est sous la dépendance de deux sources principales d'assimilats qui sont la photosynthèse de la feuille étendard et la part des réserves produites lors de la période pré-anthèse et stockées dans les tiges qui est transloquée.



**Figure 3 :** Relations entre le rendement en grain, la vitesse de remplissage des grains/m<sup>2</sup> et la quantité relative des assimilats transloqués vers le grain.



L'importance relative de ces assimilats est dépendante de la quantité de matière sèche accumulée au stade épiaison qui détermine le potentiel des assimilats stockés et celui des sites à remplir. Elle est dépendante aussi des conditions de croissance de la post-anthèse qui favorisent ou non une activité photosynthétique optimale. Une longue durée de remplissage est souvent indicatrice d'une activité photosynthétique optimale. Par contre, une vitesse de remplissage élevée est indicatrice des effets de stress (SOFIELD *et al.*, 1977).

La quantité des assimilats transloqués dépend de l'état de fonctionnement des vaisseaux conducteurs, de la capacité du génotype à utiliser les réserves pour le remplissage du grain et de l'écart du poids du grain et de son potentiel suite au déficit de l'activité de photosynthèse de la post-anthèse (WARDLAW, 2002). Ainsi, lorsque les conditions climatiques sont moins contraignantes lors de la phase de remplissage, la plante fait moins appel aux réserves d'assimilats et arrive à assurer le remplissage du grain avec le produit de l'activité de photosynthèse de la post-anthèse.

Par contre, lorsque les conditions climatiques lors de cette phase sont contraignantes, l'activité photosynthétique de la post-anthèse est réduite ou devient nulle, la plante fait alors appel aux assimilats stockés dans les tiges. Dans ce cas de figure le rendement obtenu dépend du degré de réduction de la durée de remplissage, de celui de l'inhibition de la photosynthèse, de l'augmentation du taux de remplissage et de la quantité des assimilats transloqués. Ces caractéristiques sont dépendantes du génotype.

Pour un environnement variable le génotype désirable est celui qui évite le stress grâce à la modulation de son cycle de développement. Il doit être capable de maintenir l'activité photosynthétique sous stress le plus longtemps possible, apte à augmenter son taux de remplissage dans le cas où la durée est fortement réduite et utiliser les assimilats stockés si son potentiel du poids du grain est affecté.

Des résultats contradictoires sont rapportés dans la littérature en ce qui concerne la contribution de la vitesse et de la durée de remplissage au rendement en grain. GEBEYEHOU *et al.*, (1982) trouvent que la durée contribue beaucoup plus que la vitesse au rendement en grain alors que NASS et REISER (1975) ainsi que TRIBOLI *et al.*, (1985) rapportent par contre que l'effet de la vitesse sur le rendement en grain est plus important que celui de la durée de remplissage. Ces résultats corroborent ceux de la présente étude.

GEBEHEYOU *et al.*, (1982) rapportent que sous climat semi-aride des hautes plaines intérieures des états unies, les valeurs de la vitesse de

remplissage variait de 12,4 à 15,5 g/j/m<sup>2</sup> pour deux années consécutives et 11 génotypes de blé dur différents, alors que la durée de remplissage variait de 33,0 à 40,3 jours. Ces résultats sont assez similaires à ceux de cette étude où la durée est plus courte. Ils notent une corrélation phénotypique non significative entre la vitesse et la durée et une corrélation environnementale significative et négative qui explique que les conditions de croissance qui favorisent la vitesse de remplissage défavorisent la durée de remplissage.

SOFIELD *et al.*, (1977) mentionnent que la vitesse de remplissage est plus élevée sous haute température et que la durée est plus longue sous température modérée. BIDINGER *et al.*, (1977) rapportent que la contribution des tiges au rendement variait de 10 à 70% selon les génotypes et les environnements. GIUNTA *et al.*, (1995) rapportent que les assimilats accumulés dans les tiges représentent 10% du rendement et que leur translocation est fonction des conditions de croissance en post-anthèse. Ils notent également que sous stress hydrique et thermique sévères la capacité de translocation est fortement réduite.

Ces stress réduisent les assimilats stockés dans les tiges après l'épiaison et affectent l'appareil photosynthétique au cours de la phase de remplissage. Sous de telles conditions, le rendement est la résultante de l'activité photosynthétique de la post-anthèse. Les résultats de la présente étude montrent plutôt que les assimilats participent au remplissage du grain mais que cette participation est relativement moindre au cours des années favorables. Ceci corrobore ce qui est rapporté par TRIBOI *et al.*, (1985) qui mentionnent que le flux des assimilats vers le grain dépend d'une part de la quantité d'assimilats stockés dans les tiges, et d'autre part de l'assimilation post-anthèse. La quantité est fonction du nombre de tiges produits par m<sup>2</sup>, du type de variété, de la hauteur du chaume et des conditions climatiques spécifiques à l'année (TRIBOI *et al.*, 1985).

## C O N C L U S I O N

Les résultats de la présente étude indiquent que chez l'échantillon restreint de géotypes étudiés la vitesse de remplissage contribue au rendement via le nombre de grains/m<sup>2</sup>, alors que la durée affecte le poids de 1000 grains. Ces deux variables se compensent mutuellement. La contribution relative des assimilats au rendement en grain ne devient importante que lorsque le rendement est faible parce que l'activité photosynthétique de la post-anthèse est affectée par les stress, ou lorsque les conditions de croissance de la pré-anthèse sont telles que la plante aborde la phase de remplissage fortement affectée par le stress. La sénescence de la feuille étendard ne montre pas de liaisons significatives avec les principaux paramètres analysés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABBASSENNE F., BOUZERZOUR H., HACHEMI L., 1998.-** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Ann. Agron. INA*, 18: 24-36.
- AL HAKIMI A., MONNEVEUX P., GALIBA G., 1995.-** Soluble sugars, proline, and relative water content as traits for improving drought tolerance in *Triticum durum*. *J. Gen. Breed.* 49 : 234-244.
- AMOKRANE A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., DJEKOUN A., MEKHLLOUF A., 2002.-** Etude comparative des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) d'origine Algérienne, Syrienne et Européenne sous climat méditerranéen. *Science et Technologie* Vol Spécial D : 33-38.
- BALDY G., 1974.-** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières (ITGC). *Document du Projet céréale*, 170 pages.
- BIDINGER F., MUSCRAVE R.B., FISHER R.A., 1977.-** Contribution of stored pre-anthesis assimilate to grain yield in wheat and barley. *Nature* 270 : 431-433.
- BOUZERZOUR H., DJEKOUNE A., BENMAHAMMED A., HASSOUS L.K., 1998.-** Contribution de la biomasse aérienne, de l'indice de récolte et de la précocité à l'épiaison au rendement grain de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride d'altitude. *Cahiers d'Agriculture* 8 : 133- 137.
- FELIACHI K., 2002.-** PNDA, Intensification et développement des filières: cas de la céréaliculture. Actes 3<sup>ième</sup> Journées Scientifiques sur le Blé Université de Constantine, pp33-38.
- Gebbing T., Schnyder H., (1999).** Pre-anthesis reserve utilisation for protein and carbohydrate synthesis in grains of wheat. *Plant physiol.* 121: 871-878.
- GEBEYEHOU G., KNOTT D.R., BAKER R.J., 1982.-** Relationships among duration of vegetative and grain filling phases, yield components and grain yield in durum wheat cultivars. *Crop Sci.* 22 : 287-290.
- GIUNTA F., MOTZO R., DEIDDA M., 1995.-** Effects of drought on leaf area development, bioproduction and uptake of durum wheat grown in a Mediterranean environment. *Aust.J.Agr.Res.* 46 : 99-111.

- HOUSLEY T.L., KIRLEIS A.W., OHM H.W., PATTERSON F.L., 1982.-** Dry matter accumulation in soft red winter wheat seeds. *Crop Sci.* 22 : 290-294.
- LAUMONT G., ERROUX J., 1961.-** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. *Mémoire de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord.* 5: 5-94.
- MEKHLOUF, A., BOUZERZOUR H., BENMAHAMMED A., HADJ SAHRAOUI A., HARKATI N., 2004.-** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse* ( sous presse).
- NASS H.G., RESIER B., 1975.-** Grain filling period and grain yield relationships in spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 55: 673-678.
- PHELOUNG P.C., SIDDIQUE K.H.M., 1991.-** Contribution of stem dry matter to grain yield in wheat cultivars. *Aust. J. Plant. Physiol.* 18: 53-64.
- RICHARDS R.A., REBTZKE G.J., VAN HERWAARDLEN A.F., DUGGAN B.L., CONDON A.G., 1997.-** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland Agriculture* 36 : 254 - 266.
- SIDDIQUE K.H., BELFORT R.K., PERRY M.W., TENNANT D., 1989.-** Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in Mediterranean environment. *Aust. J. Agri. Res.* 40 : 473-487.
- SOFIELD T., EVANS J., COOK M.G., WARDLAW I.F., 1977.-** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 4: 785-797.
- STATITCF 1991.-** Logiciel statistique version 5.0, Eds Institut Technique des Céréales et Fourrages. France.
- TRIBOI E., 1990.-** Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Agronomie* 1 : 1911-200.
- TRIBOI E., PLANCHON J., MAGNE J., 1985.-** Déterminisme du poids moyen du grain chez le blé. Effet sur la variation du rendement. *CR Acad. Agri de France.* 71 : 871-886.
- WARDLAW I.F., 2002.-** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Annals of Botany.* 90 : 469-476.

**WARDLAW I.F., MONCUR L., 1995.-** The response of wheat to high temperature following anthesis. I : the rate and duration of grain filling. *Aust J. Plant. Physiol.* 22 : 391-397.

**YANG J., ZHANG J., ZHU Q., WANG L., 2000.-** Remobilization of carbon reserves is improved by controlled soil drying during grain filling of wheat. *Crop Sci* 40: 1645-1665.