

RYTHME DE DEVELOPPEMENT DES VARIETES CONTRASTEES DE BLE DUR (*TRITICUM DURUM* DESF.).

I - ANALYSE DE LA CROISSANCE-DEVELOPPEMENT

L. BENSEMANE (1), H. BOUZERZOUR (2)

(1) - INRAA, Unité de Sétif

(2) - Faculté des Sciences. Université de Sétif

RÉSUMÉ

L'étude, conduite sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif, au cours de la campagne 2002/03, s'est fixée pour objectif de la comparaison du rythme de croissance-développement de 4 variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mohammed Ben Bachir et Adamillo/Duillio/Semito ont une lente croissance au début de cycle comparativement à Waha et Heider/Martes/Huevos de Oro qui adoptent un rythme plus rapide. Ces types de comportement conduisent à une différence d'exploitation dans le temps des disponibilités du milieu. Le génotype, le mieux adapté à l'environnement semi-aride est celui qui se distingue par un taux de croissance élevé en début de cycle. Waha est proche de ce comportement typique, il se distingue par une meilleure assimilation nette par unité de surface foliaire et par une faible vitesse de dessèchement de la feuille étendard. Waha présente par ailleurs une faible vitesse de perte d'eau au cours de la phase stomatique. Cette variété fait intervenir le mécanisme de fermeture stomatique très tôt et pour une teneur relative en eau relativement élevée comparativement aux autres génotypes.

Mots Clés : Croissance relative, Assimilation nette, Répartition, Matière sèche, TRE, Dessèchement foliaire.

SUMMARY

This investigation conducted at the Setif ITGC experimental site during the 2002/03 cropping season, had the objective to compare rhythm of growth and development of 4 contrasted durum genotypes (*Triticum durum* Desf.). Mohammed Ben Bachir and Adamillo/Duillio/Semito have a low growth rate early in the cycle comparatively to Waha and Heider/Martes/Huevos de Oro which adopted a more rapid growth rate. These behaviors led to a different use of the environmental resources. Best adapted genotype to semi-arid growth conditions is one which had the ability to grow faster in the beginning of the cycle. Waha appeared to be closer to this type of behavior, it has a better NAR per unite of leaf area and a low leaf desiccation rate. Waha has also a low RWL during the stomatic phase. This variety closed faster its stomata and at a higher RWC compared to the other genotypes.

Key Words : Relative growth rate, Net assimilation, Repartition, Dry matter, RWC, Leaf desiccation.

INTRODUCTION

De type méditerranéen, le climat algérien se caractérise principalement par la variabilité intra et inter-annuelle des précipitations et du régime thermique. Les stress climatiques, déficit hydrique, températures extrêmes, deviennent très communs à mesure qu'on pénètre à l'intérieur du pays. Ils affectent le développement et la production des céréales (BOUZERZOUR *et al.* 1994). Parmi les stratégies déployées pour améliorer la production du blé dur figure la restriction de cette culture aux zones où le milieu est relativement moins stressant (FELIACHI, 2002). Pour les zones défavorables, la stratégie reste basée d'une part sur la recherche de variétés tolérantes aux stress et d'autre part sur la gestion de la culture et de l'inter-culture pour une meilleure valorisation des eaux pluviales (KRIBAA *et al.* 2001). La tolérance génétique assure le maintien des fonctions vitales de la plante sous stress et adapte cette dernière aux changements brusques de son environnement. Cette adaptation induite s'exprime généralement sous forme d'une minimisation de la réduction de la production sous stress (ABBASSENNE *et al.* 1998, FELLAH *et al.* 2002).

Dans ce contexte, la cinétique de production et de répartition de la biomasse joue un rôle important dans l'adaptation de la variété à la variation climatique (SIDDIQUE *et al.* 1991). Partant du fait que l'eau est l'élément limitant, et que les événements pluvieux deviennent plus rares une fois l'hiver sorti, il faut que le développement de la plante soit à même de valoriser l'eau reçue. Un développement excessif en début de cycle se traduit par une surface foliaire importante qui exagère les pertes par transpiration. A l'inverse, un développement relativement lent laisse le sol nu, et augmente la part des pertes par évaporation (COPPER *et al.* 1983). Un rythme de développement approprié en début de cycle devient, de ce fait, une caracté-

ristique désirable pour les milieux variables où la plante doit compter entièrement sur les réserves d'eau stockées dans le sol pour faire une production acceptable (SIMANE *et al.* 1993). La présente contribution se fixe comme objectif d'étudier la cinétique d'accumulation et de répartition de la matière sèche des génotypes contrastés de blé dur (*Triticum durum*. Desf.) sous climat de type méditerranéen.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été menée à la Station de la Recherche Agronomique de l'Institut technique des grandes cultures de Sétif. La zone appartient au domaine semi-aride caractérisé par un climat continental typiquement méditerranéen. Les sols du site expérimental sont de type argilo-limoneux, de pH alcalin (8,2), une teneur en calcaire actif de 18,4%, la matière organique de 2,6% et le phosphore assimilable de 36.0 ppm (KRIBAA *et al.* 2001). L'expérimentation a été mise en place au cours de la campagne 2002/03.

Les variétés de blé dur (*Triticum durum*. Desf) étudiées ont été semées sur des parcelles élémentaires de six rangs de 5 m de long dans un dispositif en blocs complètement randomisés avec trois répétitions. Les techniques culturales mises en œuvres sont similaires à celles décrites par (BOUZERZOUR *et al.* 2002).

Les variétés étudiées sont Mohamed Ben Bachir (MBB), sélection issue d'une population de la région de Ain Roua, Sétif. Variété tardive, à paille haute, elle présente des besoins modérés en températures vernalles et en photopériode. Ce qui retarde sa montée en épi, positionnant la phase de remplissage, le plus souvent, en pleine période de stress de fin de cycle. Waha (W) est une sélection ITGC des années quatre vingt. Variété à paille et phase végétative

courtes, très sensible au gel, elle déploie une longue phase de remplissage du grain, tout en gardant un cycle de développement plus court, d'une dizaine de jours, que celui de MBB (MEKHLOUF *et al.* 2004). Heider/Martes// Huevos de Oro (HMHo) est une sélection ITGC des années quatre vingt dix. Lignée avancée ressemblant plus à Mohammed Ben Bachir pour la durée du cycle et la hauteur du chaume, elle se rapproche plus de Waha pour la capacité de rendement en grains. Adamillo/Duillio// Semito 439-97 (ADS) est une sélection INRA Sétif. Elle se distingue principalement par une longue durée de vie de la feuille étendard (stay green).

Suivi et notations

La typologie variétale a été basée sur un ensemble de paramètres liés à la phénologie, la morphologie et la physiologique de la plante, mesurés tout le long du cycle. La matière sèche accumulée par le feuillage, les tiges et les épis a été mesurée aux stades épi-1cm, épiaison et maturité sur un segment de rang de 1m de long. Le poids de la matière sèche est déterminé après passage à l'étuve à une température de 85 °C pendant 24 heures. De cette matière sèche on a déduit

- le poids relatif du feuillage, **PRF (g/g)** = PsFv/BIO , avec PsFv = Poids de matière sèche du feuillage vert (g/m^2) et BIO = Poids de la matière sèche totale (g/m^2).
- le poids relatif des tiges, **PRT (g/g)** = PT/BIO , avec PT = poids de la matière sèche des tiges (g/m^2).
- le ratio de la surface foliaire totale, **SFR (m^2/kg)** = SFT/BIO .
- le taux de croissance relative, **TCR ($\text{mg}/\text{g}/\text{jour}$)** = $(1/\text{BIO})(\Delta\text{BIO}/\Delta\text{T})$, avec BIO = différence de matière sèche totale produite entre deux dates (mg), ΔT = durée au cours de laquelle est produite ΔBIO .
- le taux d'assimilation nette, **TAN ($\text{mg}/\text{j}/\text{m}^2$)** = $(1/\text{SF})(\Delta\text{BIO}/\Delta\text{T})$

- la surface foliaire (SF, cm^2) de la feuille est estimée par le produit de la longueur (L) par la largeur (l) par le coefficient 0.709 (Spagnoletti et Qualset, 1990), **SF= 0.709 (L x l)**.

La vitesse de sénescence est estimée par régression de la surface verte sur le temps, comptés en jours calendaire à partir de la date d'épiaison :

$$V (\text{cm}^2/\text{jour}) = [(\sum XY - (\sum X \cdot \sum Y)/n) / [\sum X^2 - (\sum X)^2/n]]$$

avec Y= valeurs de la surface foliaire verte au temps t, X = nombre de jours écoulés après le stade épiaison.

- la durée de vie (D) de la surface verte de la feuille étendard est calculée par le ratio de la surface verte (SF, cm^2) au stade épiaison divisée par la vitesse de dessèchement (V, cm^2/j), **D (j)** = SF/V .

Le statut hydrique foliaire est déterminé au stade épiaison selon la méthode décrite par SERRIEYS (1992). La teneur relative foliaire est estimée sur un échantillon de 10 feuilles étendards par variété. Le poids frais (PF) est obtenu par pesage, immédiatement de retour au laboratoire, puis les feuilles sont placées dans des tubes à essai mi-remplis d'eau et mis à l'ombre pendant 4 heures pour ré-hydrater les tissus du limbe foliaire. Les feuilles sont ensuite retirées des tubes, débarrassées de l'excès d'eau et pesées pour avoir le poids turgide à saturation hydrique (PT).

Les feuilles sont ensuite exposées à l'air ambiant du laboratoire et pesées toutes les 5 minutes durant les 30 premières minutes puis toutes les 15 minutes jusqu'à 120 minutes. Au terme des deux heures de temps, les feuilles sont passées à l'étuve pendant 24 heures à une température de 85°C, puis pesées pour obtenir le poids de la matière sèche (PS). De ces données on détermine :

- la teneur relative en eau de la feuille étendard, **TRE (%)** = $100[(\text{PF}-\text{PS}) / (\text{PT}-\text{PS})]$.

- la teneur relative correspondant à la fermeture des stomates est estimée par l'ordonnée du point de rencontre des droites de régression décrivant respectivement la perte d'eau par les stomates et par la cuticule (SERRIEYS, 1992).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Accumulation et répartition de la matière sèche aérienne

Du point climat, la campagne 2002/03 s'est distinguée par un cumul pluviométrique, septembre-juin inclus, de 526 mm, soit 150% de la moyenne des cinq dernières campagnes. La pluie a été abondante au cours des mois de l'hiver avec des moyennes mensuelles supérieures à 80 mm et un maximum de 115.4 mm enregistré en janvier 2003. Le printemps a été comparativement moins pluvieux, quoique les quantités reçues restent supérieures aux moyennes mensuelles de la période quinquennale. Les pluies abondantes de l'hiver ont été accompagnées par de basses températures, perceptibles surtout au cours des mois de décembre à mars

où la température moyenne mensuelle restait voisine des 5.0°C. Elle augmente, ensuite, brusquement pour atteindre 24.4°C au mois de juin.

L'analyse de la variance des quantités de matière sèche accumulées par les différentes parties de la plante montre des effets génotype, date et interaction génotype x date significatifs. Ces effets suggèrent que le rythme d'accumulation de la matière sèche change dans le temps en fonction des génotypes et des différentes parties de la plante concernées. Le suivi de la répartition de la matière sèche laisse apparaître que W présente un poids des tiges au stade épi-1cm significativement plus élevé que celui de MBB et ADS. Au stade épiaison, MBB et ADS produisent autant que W, alors que HMHo se distingue par le plus faible poids des tiges. A maturité, MBB et ADS produisent significativement plus que W qui se maintient en second position devant HMHo (Tableau I, Figure 1).

HMHo et W ont un poids du feuillage significativement plus élevé que celui de MBB et ADS, au stade épi-1cm. A l'épiaison ces deux génotypes

Tableau I : Dates de réalisation des stades végétatifs et moyennes de la matière accumulée au cours du cycle par les tiges, le feuillage et les épis en fonction de la variété et du stade de développement.

Stade	Génotype	date	MST	PRT	MSF	PRF	MSépi	Bio	Msépi/Bio
Epi-1cm	HMHo	26/3	38.4	41.9	53.1	58.0	--	91.5	--
	W	27/3	62.5	49.6	63.5	50.4	--	126.0	--
	MBB	29/3	26.5	38.5	42.3	61.5	--	68.8	--
	ADS	27/3	35.2	50.4	34.7	49.6	--	69.8	--
Epiaison	HMHo	29/4	348.9	51.4	144.1	21.2	185.6	678.6	--
	W	30/4	461.6	60.2	133.9	17.5	172.1	767.3	--
	MBB	3/5	461.9	65.7	120.4	17.1	120.8	703.1	--
	ADS	3/5	481.0	58.4	175.5	21.3	167.5	824.0	--
Maturité	HMHo	6/6	386.2	48.1	144.0	17.9	273.8	804.0	34.1
	W	6/6	469.3	49.3	135.7	14.3	346.7	951.7	36.4
	MBB	6/6	500.3	54.3	124.0	13.5	296.5	920.8	32.2
	ADS	6/6	505.6	53.8	176.8	18.8	257.3	939.7	27.4
	Ppds5%		25.7	--	9.5	--	11.7	44.5	--

MST= matière sèche des tiges g/m², MSF= matière sèche du feuillage g/m², MS épi = matière sèche des épis g/m², Bio = matière sèche totale g/m², PRF= poids relatif du feuillage %, PRT= Poids relatif des tiges.

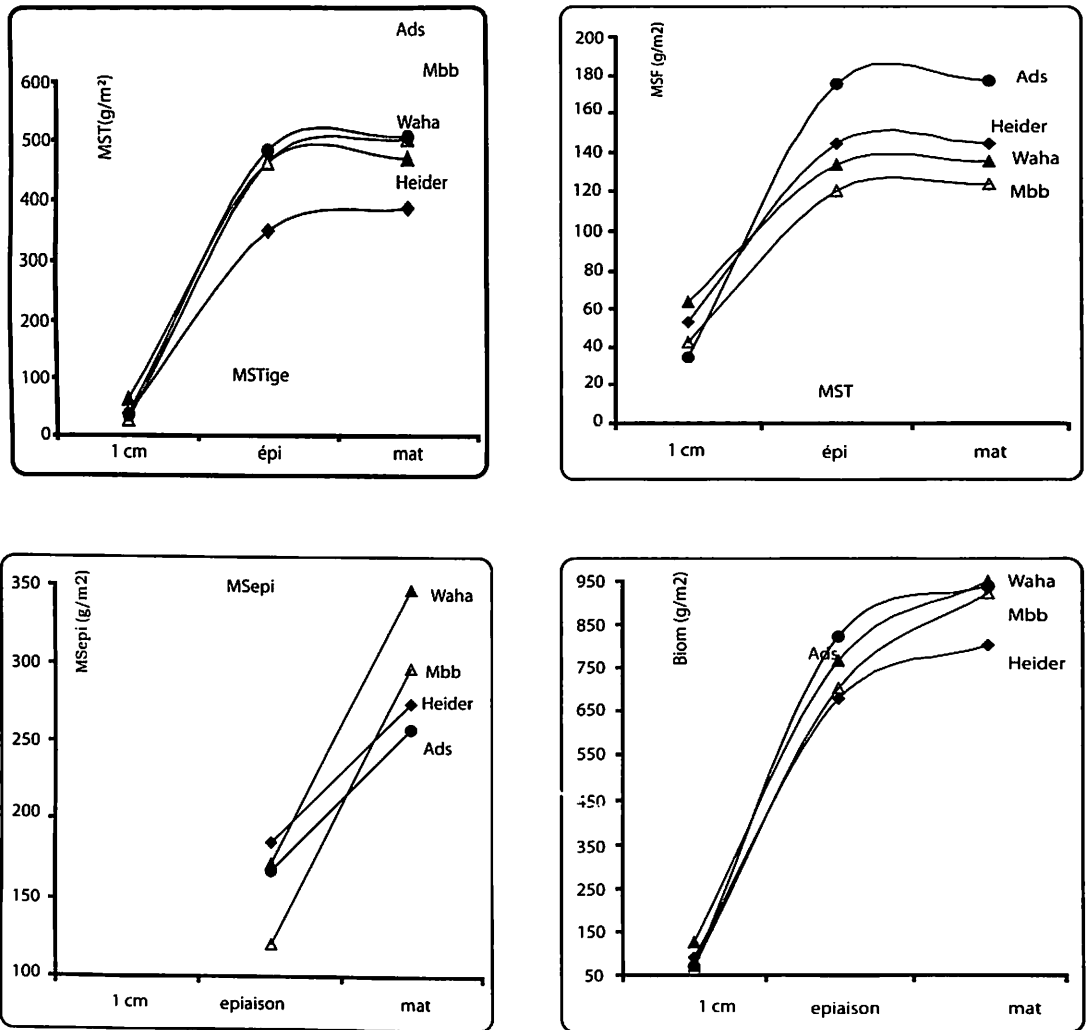


Figure 1 : Evolution des la matière sèche et sa répartition selon les génotypes évalués.

sont dépassés par ADS alors que MBB présente le feuillage le moins lourd (Tableau I). Les différences entre génotypes se maintiennent jusqu'à maturité pour cette variable. ADS et W, au stade épi-1cm, repartissent de manière égale la matière sèche produite entre les tiges et le feuillage. MBB et HMHo investissent, par contre, près de 60% dans la formation du

feuillage comparativement à ce qui est dérivé vers les tiges (Tableau I, Figure 1).

Au stade épiaison, la part prise par les tiges est plus importante que celle allouée au feuillage pour l'ensemble des variétés étudiées. La part du feuillage varie de 17.5% à 21.3% alors que celle prise par les tiges varie de 51.4% pour

HMHo à 65,7% pour MBB (Tableau I). A maturité le poids du feuillage est inférieur à 19%, et celui des tiges se stabilise à une valeur de 50%. Les 30% restant sont alloués aux épis (Tableau I). A l'épiaison HMHo a un poids des épis le plus élevé, suivi de W et ADS qui se ressemblent pour cette caractéristique, alors que MBB a le poids des épis le plus faible. A maturité on note un changement dans l'ordre des génotypes, puisque W surclasse les trois autres génotypes, il est suivi par MBB, HMHo et enfin ADS. Du point de vue biomasse aérienne totale W, ADS et MBB produisent plus que HMHo (Tableau I, Figure 1).

Le taux de croissance relative diminue en valeur à mesure que la plante se développe. Entre les stades levée et épi-1cm, W présente le taux le plus élevé, avec une valeur moyenne de 1183.0 mg/g/j. Les autres génotypes ne diffèrent pas significativement pour cette caractéristique qui varie de 620.1 à 846.0 mg/g/j (Tableau II). Entre les stades épi-1cm et épiaison, c'est ADS et MBB qui présentent des valeurs élevées pour le taux de croissance relative comparativement au comportement de W et HMHo qui se démarquent par des moyennes relativement plus modestes. Il n'y a pas de différences significatives entre génotypes pour le taux de croissance relative, une fois le stade épiaison passé (Tableau II).

MBB, ADS et à un degré moindre HMHo se distinguent par un rythme de développement relativement lente en début du cycle. W adopte, par contre, un rythme de croissance plus rapide. Lors de la seconde période de croissance, MBB et ADS présentent un rythme de croissance relativement plus élevé que celui qui caractérise W et HMHo dont le développement devient relativement moins rapide (Tableau II). MBB présente la plus faible surface foliaire alors que ADS développe une surface foliaire significativement plus élevée tout le long du cycle (Tableau II).

Relativement à la matière sèche totale produite, HMHo suivi de ADS développent une surface foliaire par unité de matière sèche totale significativement plus élevée, alors que MBB développe la surface foliaire la plus faible, entre les stades épi-1cm et épiaison. Les différences génotypiques ne sont pas significatives après le stade épiaison (Tableau II). MBB et W assimilent significativement plus, entre les stades épi-1cm et épiaison, alors que HMHo et ADS assimilent significativement moins par unité de surface foliaire. Après l'épiaison ADS présente le plus faible taux d'assimilation nette par unité de surface foliaire développée (Tableau II).

Tableau II : Moyennes du taux de croissance relative (TCR), de la surface foliaire (SF), du ratio de la surface foliaire (SFR) et de l'assimilation nette (TAN).

Stade	Paramètres	TCR	SF	SFR	TAN
	Génotype	(mg/g/j)	(m ²)	(m ² /kg)	(g/j/m ²)
Epi-1cm	HMHo	846.0	--	--	--
	W	1183.0	--	--	--
	MBB	620.1	--	--	--
	ADS	636.3	--	--	--
Epiaison	HMHo	158.2	3.4	5.7	4.2
	W	150.1	3.1	4.0	5.7
	MBB	263.0	2.2	3.2	7.6
	ADS	296.0	4.0	4.9	4.9
Maturité	HMHo	10.3	2.4	3.0	2.1
	W	6.6	2.1	2.2	2.0
	MBB	9.2	1.9	2.2	2.9
	ADS	4.1	3.6	3.8	0.7
	Ppds5%	37.0	0.55	0.83	0.78

Les événements pluvieux sous climat semi-aride deviennent moins fréquents une fois l'hiver sorti. Sous de telles conditions, il est souhaitable que la plante adopte un rythme de croissance qui lui permet de valoriser les pluies hivernales. Un développement excessif en début de cycle se traduit par une production élevée de matière sèche

au stade épiaison. Cette production induit une surface foliaire importante qui exagère les pertes par transpiration, entamant fortement le stock d'eau du sol et laissant peu pour assurer un bon remplissage du grain. En effet dans ce type d'environnement, la plante doit compter, à la fin de son cycle, sur les réserves en eau du sol pour faire une production acceptable. A l'opposé, une croissance lente en début du cycle est indicatrice d'une moins bonne utilisation des disponibilités du milieu. Le sol, laissé nu, contribue substantiellement à la perte de l'humidité du sol par évaporation. Le rythme de croissance-développement en début de cycle devient donc un facteur d'adaptation au milieu.

Les résultats de la présente étude montrent qu'entre les stades levée et épi-1cm MBB et ADS adoptent un rythme de croissance relativement lent. W et HMHo adoptent un rythme de croissance plus rapide. Entre les stades épi-1cm et épiaison, on note par contre le phénomène inverse, MBB et ADS accélèrent le rythme de croissance alors que W et HMHo ralentissent. De la levée au stade épi-1cm, c'est surtout la croissance foliaire qui prime. Elle est, (Selon BLUM 1996), inhibée par l'avènement des stress abiotiques, alors que la photosynthèse, moins sensible, produit des assimilats qui sont détournés en priorité vers la croissance racinaire et/ou utilisés pour l'ajustement osmotique. Dans la présente étude l'inhibition de la croissance est notée chez MBB et ADS. Le stress, le plus probable pour une telle période de l'année, est celui des basses températures. MBB est réputée comme étant une variété tolérante des basses températures. De plus Waha, réputée plus sensible, se développe au cours de cette période.

La faible croissance de MBB et ADS est donc due à des besoins en températures vernalles et/ou de photopériode qui ne sont pas encore complètement satisfaits. MBB et ADS se comportent donc comme des variétés de type demi-

hiver, alors que Waha et HMHo tirent plus vers le type printemps. Les variétés qui expriment des besoins plus ou prononcés pour la vernalisation et/ou la photopériode se développent donc relativement moins vite tant que leurs besoins physiologiques ne sont pas totalement satisfaits. Cependant une fois ces besoins sont satisfaits, leur croissance devient plus rapide pour faire une meilleure utilisation des disponibilités du milieu non encore exploitées. Ceci explique le comportement inverse, du point de vue croissance, entre les deux groupes de variétés au cours des deux périodes végétatives levée-épi 1cm et épi 1cm - épiaison.

La biomasse accumulée au stade épiaison reste le plus souvent un déterminant du niveau du rendement en grains attendu à maturité. Dans la présente étude les deux types de génotypes réussissent à faire des niveaux équivalents de matière sèche accumulée au stade épiaison, avec des combinaisons de vitesse de croissance variables selon les périodes végétatives considérées. Sur cette seule base il est difficile d'identifier le type de génotype le mieux adapté à l'environnement en question, dans le sens où adaptation signifie un haut rendement en grains. Cependant, dans la mesure où selon (MEKHLOUF *et al.* 2004), la fréquence des stress abiotiques augmente de plus en plus une fois l'hiver sorti, il est moins risqué de faire le choix des génotypes de type printemps. Ceci est aussi renforcé par le fait que réchauffement global de la planète raccourcirait la période hivernale et rendrait certainement les types demi-hiver moins adaptés aux zones semi- arides.

(Selon SIMANE *et al.* 1993) le génotype adapté est celui qui accumule de la matière sèche, assez vite tôt en début du cycle, puis se développe lentement pour arriver à épier après que le risque de gel tardif devient acceptable et avant que les risques de la sécheresse et des hautes températures ne deviennent assez conséquent.

De tels génotypes sont de type tardif à l'épiaison et précoce à maturité. (BOUZERZOUR *et al.* 2000) trouvent que la sélection de génotypes qui accumulent rapidement plus de matière sèche, tôt en début du cycle, réussissent à donner de hauts rendements en grains. (TURNER et NICOLAS 1987) suggèrent qu'un taux de croissance élevé, en début de cycle, est un déterminant du rendement grains, en zones où l'eau en fin de cycle est un facteur limitant de la production. (WHAN *et al.*, 1991) trouvent une corrélation significative entre la biomasse aérienne produite tôt en début de cycle et celle produite au stade épiaison.

L'utilisation optimale des disponibilités du milieu est directement liée à l'indice foliaire qui s'établit au cours du cycle de la culture et à sa modulation en fonction des stress qui prévalent. Parmi les génotypes étudiés MBB présente la plus faible surface foliaire et ADS la surface foliaire la plus élevée. HMHo et ADS développent une surface foliaire par unité de matière sèche totale significativement plus élevée que MBB. MBB et Waha assimilent cependant nettement plus, par unité de surface foliaire, que HMHo et ADS. Pour un stock d'eau du sol donné, le cultivar adapté et économe en eau est celui qui ne fait pas de consommation de luxe ni une sous-utilisation au cours de la phase post-épiaison. Il est capable de moduler l'indice foliaire pour réguler la transpiration en fonction de l'approvisionnement en eau du sol et se distingue par une assimilation nette élevée. Dans le cadre de la présente étude le cultivar Waha est le plus proche de ce comportement typique.

Senescence et statut hydrique foliaires

La feuille étendard est le dernier organe, en plus des glumes et des enveloppes de l'épi, dont le produit de la photosynthèse est dirigé directement vers le grain. Dans la mesure où le remplissage du grain est directement lié à l'activité photosynthétique après le stade épiaison.

Il est intéressant d'identifier les génotypes qui possèdent la capacité de maintenir, le plus longtemps possible, la feuille étendard en activité. Le rythme de sénescence de la feuille étendard apporte des informations utiles pour la sélection. A l'épiaison ADS développe une feuille étendard de grande surface avec une moyenne de 16.5cm², alors que W avec 11.5 cm² présente une feuille de faible surface. MBB et HMHo ont des feuilles de dimensions proches de celles de Waha (Tableau 3). 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% et 14.7% respectivement pour ADS, MBB, HMHo et Waha. Après 20 jours, la réduction relative est de 70.3%, 47.0%, 54.3% et 57.3% pour les mêmes génotypes dans l'ordre cité ci-dessus (Tableau 3). Ces résultats indiquent que la feuille étendard de ADS se dessèche plus vite à l'opposé de celle de la variété MBB qui se dessèche à un rythme relativement plus lent après épiaison.

Tableau III : Sénescence de la feuille étendard après le stade épiaison : surface verte en cm² au stade épiaison (E), E+10jours et E+20jours, durée de vie de la feuille étendard, modèle explicatif et vitesse de sénescence.

Variété	439/ Ads-97	MBB	Heid/ Mtes/Ho	Waha
E	16.5	13.6	12.7	11.5
E+10j	10.9	12.0	10.9	9.8
E+20j	4.9	7.2	5.8	4.9
Modèle	-0.5957t	-0.0159t ²	-0.0170t ²	-0.0163t ²
E.T	0.06	0.001	00.002	0.003
Cte	+16.9	+13.59	+12.69	+11.49
R ²	0.96	0.99	0.94	0.91
Vitesse (cm ² /j)	-0.5957	-0.0318t	-0.0340t	-0.0326t
Durée (j)	28.4	29.2	27.3	26.5

Le modèle descriptif de la cinétique de sénescence de la feuille étendard est de type linéaire pour ADS et quadratique pour les trois autres génotypes (Tableau III et Figure 2). Le modèle linéaire indique une vitesse de dessèchement foliaire de $-0.5957 \text{ cm}^2/\text{j}$ pour ADS. La vitesse des trois autres variétés est variable dans le temps, suite à la nature quadratique du modèle (Figure 2, Tableau III). Elle est modeste du stade épiaison jusqu'à l'épiaison + 15 jours, puis elle devient plus élevée après ce stade (Figure 2). La durée de vie de la feuille étendard varie de 26.5 jours pour le cultivar Waha à 29.2 jours pour MBB (Tableau 3). La persistance de la chlorophylle de la feuille étendard, celle des glumes et des barbes contribue au remplissage du grain (WARDLAW et MONCUR, 1995 ; RICHARDS *et al.* 1997). (Selon AL HAKIM *et al.* 1995) une plus grande persistance de la chlorophylle et donc de l'activité photosynthétique, est le plus souvent notée chez les génotypes précoces qui sont relativement moins agressés par les stress de fin de cycle qu'ils arrivent plus ou moins à esquisser.

Les cultivars MBB et ADS, de même degré de tardiveté au stade épiaison, se caractérisent par des cinétiques de sénescence foliaire très différentes. Ainsi après 14.0 jours, en pleine phase active de remplissage du grain, ADS réduit de 50% de la surface verte de la feuille étendard alors que celle des autres variétés n'est réduite que de 25%, 28 et 29% respectivement pour MBB, HMHo et Waha. La durée de vie de la feuille étendard de ADS se montre donc relativement plus sensible aux stress abiotiques de fin de cycle. L'effet du stress hydrique ou thermique se manifeste par une accélération de la sénescence foliaire suivi de l'arrêt de la croissance du grain. (Selon LAWLOR 1994) l'intensité lumineuse supra-optimale des zones semi-arides réduit de l'activité des photo-systèmes, par photo-inhibition et accélération de la sénescence foliaire.

Le suivi de la déperdition d'eau par les feuilles étendards excisées et soumises aux conditions ambiantes du laboratoire laissent apparaître deux phases relativement bien distinctes.

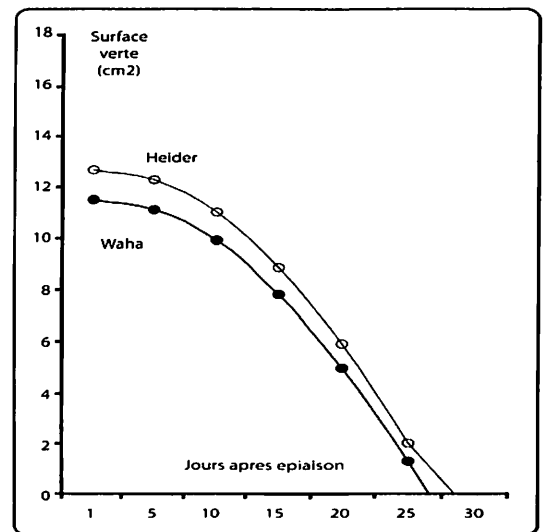
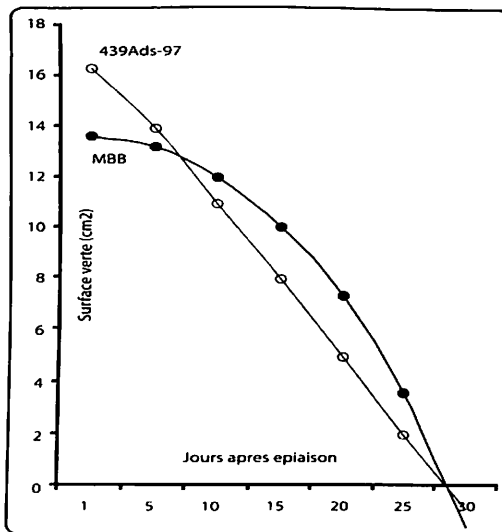


Figure 2 : Evolution de la sénescence de la feuille étendard chez les quatre génotypes étudiés.

La première se caractérise par une vitesse de perte d'eau relativement importante, c'est celle correspondant à la perte d'eau par les stomates. La seconde se caractérise par une vitesse de perte d'eau relativement plus lente et correspondant à la phase où l'eau foliaire est perdue par les orifices cuticulaires (transpiration résiduelle). En plein champs et après 15mn du début de l'expérience, les génotypes ADS et MBB présentent une TRE relativement plus faible que celles des variétés Waha et HMHo (Tableau 4). Au cours de la phase stomatique ADS et MBB gardent une vitesse de perte d'eau plus élevée, prenant les valeurs -1.15 et -1.22% TRE/mn, comparativement à la vitesse de perte d'eau de Waha, et de HMHo qui sont de - 1.01 et - 0.98% TRE/mn (Tableau 4). Au cours de la phase cuticulaire, on note une inversion du comportement des deux groupes de génotypes étudiés. ADS et MBB réduisent la vitesse de perte d'eau, qui prend les valeurs -0.37 et -0.36% TRE/mn, par contre Waha, et HMHo présentent des vitesses plus élevées de -0.54 et -0.52% TRE/mn (Tableau IV). Les variétés étudiées présentent aussi des diffé-

rences assez marquées du point de vue temps et TRE correspondants à la fermeture des stomates. Waha malgré sa faible vitesse de perte d'eau au cours de la première phase passe à la seconde phase au terme de 49 minutes et pour une teneur relative en eau de 50%. Par contre les trois autres variétés passent à la seconde phase à une teneur relative en eau variant entre 27.2 et 30.4%. Ces teneurs relatives en eau sont atteintes à des temps très variables, allant de 54.9 mn pour MBB à 72.4 mn pour HMHo (Tableau IV). Ces résultats indiquent que Waha est très sensible au dessèchement vu qu'elle fait intervenir le mécanisme de fermeture stomatique très tôt et pour une teneur relative en eau relativement élevée. Par contre les autres génotypes se montrent plus tolérants et ferment probablement leurs stomates partiellement pour pouvoir atteindre des teneurs relatives en eau assez basses.

Il est généralement admis que lorsque le déficit hydrique devient intense, la plante entre dans la phase au cours de laquelle les stomates se ferment complètement, annulant toutes activités

Tableau IV : Evolution de la TRE (%) de la feuille étendard excisée au stade épiaison sous conditions ambiantes du laboratoire durant 120 minutes, modèles descriptifs des phases stomatique (MSt) et cuticulaire (MCu), temps (T) et TRE correspondant à la fermeture des stomates.

temps	ADS	MBB	HMHo	Waha
TRE(%)				
15'	80.95	78.50	84.91	83.50
30'	65.70	60.20	69.80	68.80
45'	46.45	41.90	54.73	54.10
60'	29.00	23.70	39.64	39.40
75'	23.86	22.60	25.80	36.10*
90'	18.30	17.20	18.00	28.00
105'	12.75	11.80	10.20	19.90
120'	7.20	6.40	2.40	11.80
Modèles de perte d'eau des phases stomatique et cuticulaire				
M.St	-1.15t+98.2	-1.22t+96.8	-0.98t+98.2	-1.01t+100
M.Cu	-0.37t+51.6	-0.36t+49.6	-0.52t+64.8	-0.54t+76.6
Temps et TRE de fermeture des stomates				
T (min)	60.0	54.9	72.4	49.1
TRE.st (%)	30.4	30.0	27.2	50.0

photosynthétiques. Toutes les pertes hydriques de la plante se font alors à travers les voies non stomatiques (cuticule). (Selon BLUM 1996), dans ce cas, il n'y a plus de gain de matière sèche, la respiration consomme les hydrates de carbone stockés et la plante passe au stade de survie qui dépend du rythme de la transpiration résiduelle et de la tolérance à la dessiccation des tissus vivants restants. L'évitement de la déshydratation permet aux génotypes, soumis à un déficit hydrique du sol, de maintenir un potentiel hydrique foliaire élevé. Chez les plantes économes en eau, ce mécanisme est lié à la réduction des pertes d'eau s'effectuant par la cuticule et les stomates. La transpiration résiduelle ou cuticulaire représente, sous stress hydrique, plus de 50% de la transpiration totale.

(Selon MUCHOW et SINCLAIR 1989) le test de la TRE est considéré comme le meilleur indicateur de l'état hydrique et du potentiel hydrique foliaires. En accord avec ces affirmations, les résultats de la présente étude indiquent que les génotypes Waha et HMHo présentent des TRE élevées en plein champs. Ils sont donc plus tolérants à la sécheresse. Les résultats du suivi de la cinétique de perte d'eau foliaire montre que Waha est plus sensible dans le cas où les stress hydrique et thermique deviennent plus intenses, vu que ce cultivar a tendance à aborder la phase cuticulaire pour une TRE plus élevée et au bout d'un temps relativement plus court.

CONCLUSION

Les variétés MBB et ADS adoptent un rythme de croissance relativement lent en début de cycle comparativement à Waha et HMHo qui adoptent un rythme de croissance plus rapide. La faible croissance de MBB et ADS est expliquée par les besoins plus prononcés en températures vernalles et de photopériode. Ces deux variétés ont un comportement type demi-hiver,

alors que celui Waha et HMHo est de type printemps. Ces deux groupes de variétés exploitent différemment les disponibilités du milieu. L'un en fait une utilisable plus précoce alors que l'autre est plus tardif, aboutissant cependant à des niveaux équivalents de matière sèche accumulée à l'épiaison. Le génotype le mieux adapté à l'environnement en question vu la fréquence des stress abiotiques, plus importante en fin de cycle, est le type printemps qui se distingue par un taux de croissance élevé, en début de cycle.

Waha est proche de ce comportement typique, il se distingue aussi avec MBB par une meilleure assimilation nette par unité de surface foliaire. Waha se caractérise avec MBB et HMHo par une vitesse de dessèchement de la feuille étandard relativement plus lente comparativement au cultivar ADS. Waha présente aussi une faible vitesse de perte d'eau au cours de la phase stomatique et se montre très sensible au stress hydrique vu qu'elle fait intervenir le mécanisme de fermeture stomatique très tôt et pour une teneur relative en eau relativement élevée. Par contre les autres génotypes se montrent plus tolérants et ferment probablement leurs stomates partiellement pour pouvoir atteindre des teneurs relatives en eau assez basses, sous stress hydrique.

Références 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. REKIKI D., ZAHARIEVA M., DJEKKOUN A. (1994) : Utilisation des ressources génétiques apparentées pour l'amélioration de la tolérance à la sécheresse du blé dur : Résultats préliminaires et essai d'analyse. in: Facteurs abiotiques et production du blé en zones méditerranéennes. Deuxièmes journées scientifiques sur le blé, Constantine, Algérie.

- BLUM A. (1996) : Crop responses to drought and interpretation of adaptation. *Plant Growth Regulation*, 20 : 135-148.
- BOUZERZOUR H., ZERARGUI H. DEKHELI M. (1994) : Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat. *Awamia*, 75: 15-23.
- BOUZERZOUR H., F. BAHLOULI, A. BENMAHAMMED, A. DJEKOUN (2000) : Cinétique d'accumulation et de répartition de la biomasse aérienne chez des génotypes contrastés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Revue Sciences & Technologie, Université de Constantine*, 13 : 59-64.
- BOUZERZOUR H., A. BENMAHAMMED, N. BENKHARBACHE, KL. HASSOUS (2002) : Contribution des nouvelles obtentions à l'amélioration et à la stabilité de rendement de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi aride. *Revue de la Recherche Agronomique (INRAA)* 10, 45-58.
- COOPER PJM, GREGORY PJ., KEATINGE JDG., BROWN SC. (1985) : 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
- FELLAH A., H. BOUZERZOUR, A. BENMAHAMMED, A. DJEKOUN (2002) : Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Actes IAV (Maroc)* 22, 161-168.
- FELIACHI K. (2002) PNDA : Intensification et Développement des filières, cas de la céréali-culture. *Actes des 3^{èmes} journées scientifiques sur le blé*. 12 et 13 fev. 2002. Université Mentouri, Constantine.
- KRIBAA M, HALLAIRE S, CURMI J. (2001) : Effects of tillage methods on soil hydraulic conductivity and durum wheat grain yield in semi-arid area. *Soil and Tillage* 37: 17-28.
- LAWLOR, D.W. (1994) : Physiological and biochemical criteria for evaluating genotypic responses to heat and related stresses. In: Saunders, D. A. and G. P. Hettel EDS, *Wheat in heat stressed environments, irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, Mexico, DF*, Cimmyt, 127- 142.
- MEKHOLOUF, A. ; BOUZERZOUR H. ; BENMAHAMMED A. ; HADJ SAHRAOUI A. et HARKATI N. (2004) : Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. sécheresse (sous presse).
- MUCHOW RC., TR. SINCLAIR (1989) : Epidermal conductance, stomatal density and stomatal size among genotypes of sorghum bicolor L. *Plant cell environ.* 12, 423-431.
- RICHARDS RA., REBTZKE GJ., HERWEARDLEN V., DUGGAN BL., CODON AG. (1997) : Improving dryland yield in rainfed environments through physiological plant breeding. *Dryland agriculture* 362: 254-266.
- SERRIEYS H. (1992) : Agrophysiological consequences of a divergent selection based on foliar desiccation in sunflower. *Les Colloques* 55, 211-224.
- SIDDIQUE KHM. BELFORD MW., 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 JM., STRUIK PC. (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.

SPAGNOLETTI ZEULLI PL., CO. QUALSET (1990) : Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. Plant Breeding 105, 189-202.

TURNER NC., ME. NICOLAS (1987) : Drought resistance of wheat for light-textured soils in a mediterranean climate. In: JP. Srivastava Eds, Drought tolerance of winter cereals. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 203-216.

WARDLAW IF. and MONCUR L. (1995) : The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. Aust. J. Plant phys. 22 : 391-397.

WHAN BR., GP. CARLTON, WK. ANDERSON (1991) : Potential for increasing early vigour and total biomass in spring wheat. Aust. J. Agric. Res. 42, 347-361.