

## EFFET DE LA SELECTION DE LA BIOMASSE ET DES EPIS SUR LE RENDEMENT DU BLE DUR (*Triticum durum* Desf) SOUS CONDITIONS SEMI-ARIDES

Zahra LAALA<sup>1</sup>, Abdelmalek OULMI<sup>2</sup>, Tahar SARAOUÏ<sup>3</sup>, Leila HADDAD<sup>2</sup>,  
Hind NOUAR<sup>2</sup>, Amar BENMAHAMMED<sup>2</sup>, Hamenna BOUZERZOUR<sup>2\*</sup>,

<sup>1</sup>Département d'Agronomie, Fac. Sci., Université Ferhat Abbés, Sétif, 19000

<sup>2</sup>LVRBN, Université Ferhat Abbés, Sétif, 19000

<sup>3</sup>Département d'Agronomie, Fac. Sci. & Sci Ing, Université El-Hadj Lakhdar, Batna, 05000

\*E-mail : bouzerzourh@yahoo.fr

**ملخص-** الانتخاب التقليدي بهدف تحسين الغلة الحبيبة توصل إلى نتائج غير معنوية نتيجة ضعف درجة التوريث والتفاعلات بين التراكيب الوراثية والبيئة. تقترح الطريقة التحليلية استخدام الصفات المرتبطة بالغلة الحبيبة والتي تساعد على التكيف مع التغيرات البيئية. تدرس هذه المساهمة أثر الانتخاب غير المباشر في الجيل الثاني و القائم على أساس الكتلة الإحيائية، وزن السنابل وإدماج هاتين الصفتين على شكل مؤشر و الانتخاب المباشر على أساس الغلة الحبيبة في الجيل الثالث لثلاثة عشائر من القمح القاسي (*Triticum durum* Desf.): وفتنو/م.ب.ب، وفتنو/وحه و وفتنو/أم الربيع، في بيئة ذات مناخ شبه جاف للهضاب العليا السطافية. تشير النتائج إلى استجابات إيجابية و معنوية للصفات المنتخبة متنوعة باستجابات مرافقة للغلة الحبيبة و الاقتصادية (حب + تبن) و وزن 1000 حبة. يتغير أثر الانتخاب على الغلة الحبيبة حسب القدرة الإنتاجية للعشيرة المنتخبة، كما توجد فروقات ضعيفة بين الصفات المنتخبة الثلاثة في عشيرة وفتنو/م.ب.ب و وفتنو/وحه، بينما في وفتنو/أم الربيع، انتخاب وزن السنابل يؤدي إلى أحسن ربح في الغلة الحبيبة. نضرا للتغيرات المناخية لمنطقة الهضاب العليا، ينصح بالانتخاب على أساس المؤشر للربط بين التأقلم و قدرة الإنتاج.

**كلمات دالة:** شبه جافة، انتخاب، الكتلة الحيوية، ربح الغلة، المؤشر.

### RESUME

La sélection classique pour la performance de rendement dans les milieux variables a fait peu de progrès à cause de la faible héritabilité et aux interactions génotypes x milieux du rendement. L'approche analytique suggère l'utilisation des caractères liés au rendement et qui confèrent l'adaptation à la variation environnementale. La présente contribution analyse l'effet de la sélection indirecte, pratiquée en F<sub>2</sub>, sur la base de la biomasse, du poids des épis et de leur combinaison, sous forme d'un indice, et la sélection directe sur la base du rendement grain, mesuré en F<sub>3</sub> de trois populations de blé dur (*Triticum durum* Desf.) Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, sous conditions semi arides des hauts plateaux Sétifiens. Les résultats indiquent des réponses positives et significatives pour les caractères sélectionnés, suivies de réponses corrélatives pour le rendement grain, le rendement économique (grain + paille) et le poids de 1000 grains. L'effet de la sélection, sur le rendement grain varie en fonction du potentiel de la population, sous sélection. Peu de différences existent entre les trois critères chez Ofanto/MBB et Ofanto/Waha; alors que chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, la sélection du poids des épis engendre le meilleur gain de rendement. Suite à la variabilité climatique de la région des hauts plateaux, il est suggéré d'utiliser la sélection sur indice pour cumuler adaptation et potentiel de rendement.

**MOTS CLES :** *Triticum durum*, semi-aride, sélection, biomasse, gain de rendement, indice.

### ABSTRACT

Traditional selection for yield performance under variable environments made little progress due to the low heritability and genotype x environment interaction of grain yield. Analytical approach suggested the use of correlated traits with yield which confer adaptation to unfavorable environments. The present contribution analyses the effect of indirect selection practiced on F<sub>2</sub>, on above ground biomass, spikes weight and their combination in an index, and direct selection on grain yield, measured in the F<sub>3</sub> generation of three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) populations: Ofanto/MBB, Ofanto/Waha and Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, under semi-arid conditions of the high land of Sétif. The results indicated positive and significant responses for the selected traits, followed by positive correlated responses for grain yield, economical yield (grain + straw) and 1000- kernel weight. The selection effect on grain yield varied according to the population yield potential. No differences were observed among the three criteria within Ofanto/MBB and Ofanto/Waha populations; while in Ofanto/Mrb<sub>5</sub> population, selection based on spikes weight showed the best yield gain. Due to the climatic variability of the target region of the high plateaus, it is suggested to apply selection index to cumulate adaptation and yield potential.

**KEY WORDS:** *Triticum durum*, semi-arid, selection, biomass, yield gain, index

## 1. Introduction

La culture des céréales est la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne. Elle s'étend sur près de trois millions d'hectares dans un système biennal dominant jachère -céréale. La production nationale de blé dur (*Triticum durum* Desf) est faible, ne permettant de satisfaire les besoins d'une population sans cesse croissante [1]. Le pays figure parmi les plus grands importateurs mondiaux de blé dur, et s'accapare chaque année jusqu'à 50 % de l'offre mondiale de blé dur [2]. La faiblesse des performances de la céréaliculture algérienne a plusieurs origines dont le manque d'eau est le principal facteur limitant [3]. A cette contrainte climatique, s'ajoutent des contraintes d'ordre technique qui relèvent de l'application d'itinéraires techniques souvent peu ambitieux et de l'utilisation de variétés non adaptées [4]. Jusqu'à présent, la sélection du blé dur s'est faite à partir des introductions des centres internationaux de la recherche agronomique : Cimmyt et Icarda. Les variétés sélectionnées réussissent, généralement, bien sur les plaines intérieures et le littoral, mais leurs performances restent très variables sur les hautes plaines. Le progrès génétique réalisé n'est pas valorisé suite aux faibles taux d'adoption des nouvelles variétés [5]. Les nouvelles variétés sont sélectionnées sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte des caractères adaptatifs qui sont des régulateurs de la production en milieux variables. De plus, dans ces milieux, la présence d'interaction génotype x environnement réduit de l'efficacité d'utilisation du rendement comme seul critère de sélection [6]. Les sélectionneurs se tournent vers d'autres caractères potentiels qui peuvent être utilisés en parallèle ou indépendamment du rendement dans une approche multi caractères [7]. Parmi la multitude de caractères morphologiques possibles figurent la précocité d'épiaison, la biomasse aérienne, la hauteur du chaume, le nombre et le poids des épis et l'indice de récolte [8, 9]. La présente contribution se fixe pour objectif de déterminer l'effet de la sélection de la biomasse, du poids des épis et de leur combinaison sous forme d'indice sur le rendement grain de la F<sub>3</sub> de trois populations de blé dur.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Conduite de l'expérimentation

L'expérimentation a été conduite sur le site expérimental de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures de Sétif. La station est située à une altitude de 1023 m, aux coordonnées géographiques 36° 12' N et 5° 24' E. Les terres sont caractérisées par un relief plat, de pente inférieure à 2%. Les sols, appartenant à la classe des sols bruns steppiques, sont majoritairement carbonatés. Les carbonates de calcium sont présents en surface sous forme d'individualisations calcaires souvent continues, formant des dalles calcaires [10]. La texture est argileuse à limono- argileuse. Le taux de calcaire total est de 31.3 % et celui de la matière organique est de 1.87%. La densité apparente est de 1.35. La capacité au champ est de 2.5 mm/cm, le point de flétrissement se situe à 1.2 mm/cm [3]. Le climat de la région est caractérisé par des hivers froids, des gels tardifs fréquents et des siroccos précoces. L'indice d'aridité est de 0.33, la température moyenne hivernale est de 6°C et celle de l'été est de 24.4°C [11]. L'expérimentation comporte la réalisation des croisements au cours de la campagne 2005/2006, le suivi des parents et des hybrides F<sub>1</sub> au cours de la campagne 2006/07, celui de la génération F<sub>2</sub>, en 2007/08 et la génération F<sub>3</sub>, en 2008/09.

Les croisements réalisés sont Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. Mrb<sub>5</sub> et Waha sont des sélections provenant du matériel de Cimmyt- Icarda, et dont les pedigrees sont Jori<sub>C69</sub>/Haurani et Plc/Rff//Gta/3/Rtte [12]. Ofanto est une variété italienne dont le pedigree est Appulo/Valnova [13]. Mohammed Ben Bachir est une sélection généalogique faite à l'intérieur d'une population locale de blé dur de la région de Ain Roua, portant le même nom [14]. Mohammed Ben Bachir (MBB) est une variété historique pour la céréaliculture de la région de Sétif. Cette variété occupe encore une grande partie de la sole réservée au blé dur dans les wilayas de Sétif et Tiaret L'attachement à cette variété, exprimé par les agriculteurs, reste une énigme. En effet plusieurs études montrent les faibles performances de MBB, à cause de la longue durée de sa phase végétative, qui lui fait subir les effets

des stress de fin de cycle [5,15]; à cause de la répartition inégale de la matière sèche produite entre le grain et la biomasse aérienne accumulée [4], et à cause de sa faible valorisation des apports d'eau [3]. Waha est une nouvelle variété censée remplacer MBB, dans les plaines intérieures et les hauts plateaux. Elle se caractérise par un haut potentiel de rendement grain, une forte capacité de translocation des hydrates de carbone stockés dans le col de l'épi [16] et une précocité de floraison qui la rend sensible au gel tardif [5]. Mrb5 et Ofanto sont des génotypes exotiques à haut potentiel de rendement. Le croisement de ces génotypes génère une descendance où il est possible de sélectionner des lignées à haut potentiel de rendement, de précocité optimale pour esquiver le gel et la sécheresse de fin de cycle de la culture, et répartissant mieux la biomasse produite entre le grain et la paille.

15 épis de la variété Ofanto ont été castrés au stade début épiaison (stade méiose), selon la méthode adoptée par l'ITGC. Les épis castrés sont protégés du pollen extérieur par des sachets de cellophanes. Trois jours après castration, la pollinisation est réalisée avec des épis des parents mâles (MBB, Waha et Mrb<sub>5</sub>) venant de la pépinière de croisement. Cinq épis d'Ofanto sont fertilisés avec 5 épis de chaque parent mâle. Vingt graines F<sub>0</sub> ont été semées par croisement, au milieu des lignées parentales, sur un rang de 5 m de long. Quinze plantes F<sub>1</sub> ont été récoltées à maturité, par croisement, pour produire la semence F<sub>2</sub>. La génération F<sub>2</sub> a été mise en place, sur le même site expérimental, le 9 du mois de novembre 2007. Cette génération a été semée sur des rangs de 5 m de long par 20 cm d'écartement entre rangs successifs. Dix rangs ont été semés par croisement, avec un espace entre graines (plantes) de 10 cm. Les lignées parentales : Ofanto, Waha, Mrb<sub>5</sub> et Mohammed Ben Bachir, ont été semées sur 6 rangs de mêmes dimensions au début et à la fin de chaque croisement et répétées trois fois (parcelle de 6 m<sup>2</sup>) à une densité de 250 graines/m<sup>2</sup>. La génération F<sub>3</sub> a été mise en place le 18 du mois de novembre 2008. Elle a été semée sur 2 rangs de 5 m de long par 20 cm d'écartement entre rangs successifs, par lignée. 120 lignées par croisement ont été mises en place (1 lignée F<sub>3</sub> est le produit d'une plante F<sub>2</sub>). Les lignées parentales Ofanto, Waha, Mrb<sub>5</sub> et MBB ont été semées sur des rangs de mêmes dimensions, et répétées tous les 40 lignées F<sub>3</sub>. La densité de semis adoptée était de 200 graines m<sup>2</sup> (Schéma). L'expérimentation est fertilisée avec 100kg ha<sup>-1</sup> de superphosphate avant le semis et 100 kg ha<sup>-1</sup> d'urée à 35% au stade tallage. Le contrôle des adventices est réalisé avec du GrandStar [*Méthyle tribénuron*] à raison de 12 g dans 250 l d'eau ha<sup>-1</sup>.

## 2.2. Suivi et notation

Sur les plantes F<sub>2</sub>, les mesures effectuées au stade maturité, concernent la biomasse aérienne, le nombre d'épis, le poids des épis et la hauteur de la plante. Les mêmes notations ont été faites sur des plantes des lignées parentales. Sur les lignées de la génération F<sub>3</sub> ainsi que les parents, les notations ont porté sur la durée de la phase végétative, comptée en jours calendaires du 1<sup>er</sup> janvier à la date de réalisation de l'épiaison. La hauteur du chaume, en cm, est prise à maturité, du sol au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses. La biomasse aérienne est mesurée sur le bottillon de végétation récolté sur un rang de 1 m de long. Le même bottillon a servi à la détermination du nombre et du poids des épis. Les épis comptés sont passés à la batteuse à gerbe pour obtenir le grain qui est utilisé pour la détermination du rendement, sans tenir compte de la variation du taux d'humidité du grain qui est faible entre génotypes sous les conditions climatiques de fin de cycle sur le site expérimental de la station de Sétif [17]. Le poids de 1000 est déterminé par comptage et pesage de 200 graines par lignée. Les nombres de grains par épi (NGE) et m<sup>2</sup> (NGM<sup>2</sup>), sont déterminés par calcul :

$$NGM^2 = 1000RDT/PMG \quad (1)$$

$$NGE = NGM^2/NE \quad (2)$$

où RDT = rendement en g m<sup>2</sup>, PMG = poids de 1000 grains en g, NE = nombre d'épis m<sup>2</sup>, et NGE = nombre de grains par épi.

### 2.3. Analyse des données

Les variables mesurées par plante, sur les F<sub>2</sub>, sont traitées par l'analyse des statistiques descriptives pour obtenir les moyennes ( $\mu$ ), les valeurs minimales et maximales, l'amplitude et les variances phénotypiques ( $\sigma^2_P$ ), environnementales ( $\sigma^2_e$ ) et génotypiques ( $\sigma^2_G$ ), selon la méthode décrite par Falconer [18]. Les variables mesurées sur les parents sont traitées par l'analyse de la variance selon un dispositif aléatoire. Les relations entre variables mesurées, chez les parents et les lignées F<sub>2</sub>, sont étudiées aussi par l'analyse de la régression et des corrélations phénotypiques. Le degré d'héritabilité au sens large est déduit par:

$$h^2_{bs} = \sigma^2_G / \sigma^2_P \tag{3}$$

avec  $\sigma^2_P = \sigma^2_G + \sigma^2_e$ . Les coefficients de la variabilité phénotypique ( $CV_P$ ) et génotypique ( $CV_G$ ) sont calculés par caractère, par le rapport des variances phénotypique et génotypique sur la moyenne du caractère. La différentielle de sélection (S) est déduite par la différence entre la moyenne de la fraction sélectionnée ( $\mu_S$ ) et la moyenne de la génération F<sub>2</sub> ( $\mu_{F2}$ ):

$$S = \mu_S - \mu_{F2} \tag{4}$$

La réponse à la sélection, attendue en F<sub>3</sub>, est estimée par :

$$RS = ih^2 \sqrt{\sigma^2_P} \tag{5}$$

où i est la différentielle de la sélection standardisée en unité d'écart type, au seuil de 10% ( $i = 1.76$ ),  $\sigma^2_P$  est la variance phénotypique de la population F<sub>2</sub> concernée [18]. La réponse observée en F<sub>3</sub> ( $R_{obs}$ ) est déduite par la différence entre la moyenne de la fraction sélectionnée mesurée en F<sub>3</sub> ( $\mu'$ ) et la moyenne de la population F<sub>3</sub> ( $\mu_{F3}$ ):

$$R_{obs} = \mu' - \mu_{F3} \tag{6}$$

La sélection multi caractères est pratiquée sur la base de l'indice de Wehner [19], dit Simple-Weighted Index (SWI) qui est calculé comme suit:

$$SWI = \sum a_i (X_i / \sigma_p) \tag{7}$$

où  $a_i$  = fraction de 1 indiquant l'importance du caractère i dans l'équation de l'index et  $X_i$  = la valeur du caractère i, prise par la lignée, standardisée en unité d'écart type. Dans le cas de la présente étude, les valeurs  $a_i$  sont les suivantes  $a_1 = 0.4$ ,  $a_2 = 0.1$ ,  $a_3 = 0.2$  et  $a_4 = 0.3$  respectivement pour la biomasse ( $X_1$ ), la hauteur ( $X_2$ ), le nombre d'épis ( $X_3$ ) et le poids des épis ( $X_4$ ). Les analyses statistiques sont faites avec les logiciels CropStat7.2.3 [20].

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Variabilité de la génération F<sub>2</sub>

L'analyse de la variance des caractères mesurés chez les lignées parentales indique un effet génotype significatif, suggérant que des différences d'ordre génotypique existent entre variétés. Ofanto et Waha enregistrent les meilleurs rendements, avec des valeurs au dessus de 4.0 t/ha. Cette performance est associée chez Ofanto avec la plus faible hauteur du chaume et chez Waha avec la meilleure biomasse accumulée à maturité, le plus grand nombre d'épis m<sup>2</sup> et le poids des épis. MBB se distingue par la meilleure hauteur du chaume, la plus longue durée de la phase végétative et le plus faible rendement grain (Tableau 1).

**Tableau 1 : Valeurs moyennes des caractères mesurés sur les parents**

Génotype	PREC	BIO	NE	PE	HT	PMG	RDT
Ofanto	124.6 <sup>b</sup>	17.5 <sup>b</sup>	436.6 <sup>b</sup>	9.2 <sup>b</sup>	55.0 <sup>bc</sup>	50.1 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>
Waha	121.0 <sup>bc</sup>	19.1 <sup>a</sup>	460.0 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	57.6 <sup>bc</sup>	47.1 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>
Mrb <sub>5</sub>	119.3 <sup>bc</sup>	16.2 <sup>b</sup>	470.0 <sup>a</sup>	9.2 <sup>b</sup>	70.0 <sup>b</sup>	46.8 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>
MBB	129.6 <sup>a</sup>	16.6 <sup>b</sup>	370.0 <sup>c</sup>	7.9 <sup>bc</sup>	97.6 <sup>a</sup>	46.3 <sup>b</sup>	3.6 <sup>b</sup>
MG	123.4	17.4	440.5	9.4	65.9	49.1	3.9
Ppds <sub>5%</sub>	1.93	1.46	30.01	1.01	7.31	2.88	0.58

a = moyennes suivies par la même lettre ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%; PREC= durée à l'épiaison (j); BIO= biomasse aérienne accumulée à maturité (t/ha); NE= nombre d'épis/m<sup>2</sup>; PE= poids des épis (t/ha); HT= hauteur des plantes (cm); PMG= poids de 1000 grains (g); RDT= rendement grain (t/ha).

Parmi les F<sub>2</sub>, la population Ofanto/Waha se distingue par la plus faible biomasse aérienne par plante, alors qu'Ofanto/Mrb<sub>5</sub> se caractérise par la plus grande variabilité et pour l'ensemble des variables mesurées, comment l'indiquent les valeurs prises par la variance phénotypique et l'amplitude (Tableau 2). La hauteur, la plus élevée, est exprimée par le croisement Ofanto/MBB, ce qui suggère que la dominance agit dans le sens de l'augmentation des valeurs de cette variable, suite à l'importante hauteur du parent MBB. Au vu des valeurs maximales exprimées, pour sélectionner sur la base de la biomasse, le croisement Ofanto/Mrb<sub>5</sub> est le plus indiqué. Ofanto/MBB est tout indiqué pour la sélection sur la base de la hauteur du chaume (Tableau 2).

**Tableau 2 : Moyennes ( $\mu_{F_2}$ ), variances ( $\sigma^2$ ), coefficients de variation phénotypique ( $CV_P$ , %) et génotypique ( $CV_G$ , %) et héritabilité au sens large ( $h^2_{bs}$ ) des caractères mesurés des F<sub>2</sub> des 4 croisements**

Croisement	Caractère	$\mu_{F_2}$	Mini	Maxi	Ampl	$\sigma^2_{F_2}$	$CV_P$	$CV_G$	$h^2_{bs}$
OF/MBB	BIO	21.6	7.6	52.5	44.9	79.0	41.1	35.2	73.3
	HT	79.5	45.0	107.0	62.4	234.8	19.2	17.8	85.6
	NE	3.4	1.0	9.0	8.0	1.7	38.4	31.1	65.7
	PE	10.3	2.5	24.6	22.1	19.5	42.7	36.3	72.1
OF/Waha	BIO	16.6	4.3	45.7	41.4	64.7	48.2	40.3	69.8
	HT	60.3	45.0	70.0	25.0	31.1	9.2	7.2	60.7
	NE	3.0	1.0	8.0	7.0	1.6	42.0	34.1	65.9
	PE	9.2	1.9	30.9	29.0	25.8	55.1	45.1	67.0
OF/Mrb <sub>5</sub>	BIO	19.6	5.7	80.7	75.0	188.7	69.8	66.7	91.2
	HT	65.8	37.0	105.0	68.0	186.0	20.7	19.4	88.1
	NE	3.2	1.0	15.0	14.0	4.2	63.3	58.7	86.1
	PE	9.3	1.7	44.2	42.4	52.03	77.23	72.11	87.18

BIO= biomasse aérienne accumulée à maturité, NE= nombre d'épis, PE= poids des épis, HT= hauteur des plantes (cm), par plante.

Les différences entre croisements pour le nombre d'épis par plante sont faibles ; alors que pour le poids des épis, c'est Ofanto/Mrb<sub>5</sub> qui présente les meilleures valeurs moyennes. Les coefficients de variation sont moyens à faibles, étant inférieure à 50% ; l'héritabilité au sens large est élevée chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> et juste moyenne chez les deux autres croisements et pour les 4 variables mesurées (Tableau 2). L'étude des corrélations indique que la biomasse est corrélée avec le nombre des épis et avec le poids des épis. Le nombre d'épis est corrélé avec le poids des épis. La hauteur présente une faible corrélation avec les autres variables (Tableau 3). Ces résultats rejoignent ceux De Vita *et al.*, [13] qui mentionnent que le gain génétique obtenu sur blé dur, en Italie, était associé à une augmentation du nombre de grains m<sup>2</sup>, à une biomasse aérienne et à un nombre d'épis élevés et à une réduction de la hauteur du chaume.

**Tableau 3 : Coefficients de corrélation entre les variables mesurées chez les F<sub>2</sub> des 3 populations**

Croisement	caractère	HT	NE	PE	
Ofanto/MBB	BIO	0.282*	0.814**	0.917**	HT
	1.000	0.107 <sup>ns</sup>	0.184 <sup>ns</sup>		
	NE		1.000	0.778**	
Ofanto/Waha	BIO	0.431**	0.891**	0.973**	
	HT	1.000	0.373**	0.464**	
	NE		1.000	0.898**	
Ofanto/Mrb <sub>5</sub>	BIO	0.549**	0.914**	0.973**	HT
	1.000	0.418**	0.508**		
	1.000	0.926**		NE	

n= 120 plantes,  $r_{5\%}$ = 0.1946 et  $r_{1\%}$ = 0.2540

### 3.2. Différentielle et réponse à la sélection de la biomasse, du poids des épis et sur indice

#### 3.2.1. Sélection de la biomasse

L'étude de la variabilité des caractères mesurés en  $F_2$  des 3 populations indique une variation phénotypique relativement importante. Les valeurs prises par la variance phénotypique et l'héritabilité sont moyennes à fortes pour la biomasse, le nombre d'épis et le poids des épis. Ce qui suggère que la sélection sur la base de ces caractères serait efficace. Golabadi *et al.*, [21] mentionnent que la sélection sur la base de la biomasse doit être faite sous conditions favorables, alors que sous conditions défavorables, la sélection doit être faite sur la base du poids des épis et du poids de 1000 grains. Cooper *et al.*, [22] rapportent, par contre, que la sélection précoce, directe ou indirecte, est peu efficace sous stress, et ils suggèrent que la sélection doit être conduite sous conditions favorables. Brancourt- Hulmel *et al.*, [23] proposent de pratiquer la sélection alternée ou navette sous conditions favorables et défavorables à la fois. La différentielle de la sélection (S) de la biomasse varie de 18.4 à 32.4 g par plante (Tableau 4). La moyenne de la biomasse aérienne de la fraction sélectionnée, la plus élevée, est mesurée chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, avec respectivement 52.1 g, contre 35.1 g chez Ofanto/Waha et 39.9 g chez Ofanto/MBB (Tableau 4).

**Tableau 4 : Réponse attendue (R) de la sélection sur la base de la biomasse aérienne et du poids des épis, moyenne de la génération  $F_2$  ( $\mu_{F_2}$ ), moyenne de la fraction sélectionnée ( $\mu_s$ ), différentielle de sélection (S) et moyenne attendue de la descendance de la fraction sélectionnée ( $\mu'$ ).**

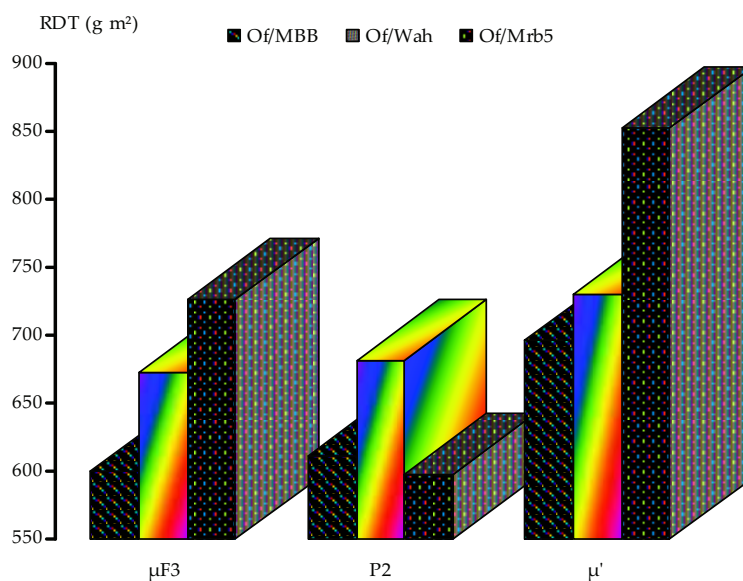
Croisement	critère	$\mu_s$	$\mu_{F_2}$	S	R	$\mu'$
Ofanto/MBB	BIO	39.9	21.6	18.4	0.53	22.1
Ofanto/Waha	BIO	35.1	16.7	18.5	0.59	17.3
Ofanto/Mrb <sub>5</sub>	BIO	52.1	19.7	32.4	1.12	20.7
Ofanto/MBB	PE	19.1	10.3	8.7	0.54	10.9
Ofanto/Waha	PE	20.7	9.2	11.5	0.65	9.8
Ofanto/Mrb <sub>5</sub>	PE	40.7	9.3	31.3	1.18	10.5

La réponse attendue à la sélection de la biomasse est plus élevée chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. Elle prend les valeurs 1.12 g par plante, ce qui représente le double de la réponse attendue chez Ofanto/MBB et Ofanto/Waha. La moyenne de la fraction sélectionnée, attendue en  $F_3$ , est plus élevée chez Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, comparativement à la valeur du croisement Ofanto/Waha (Tableau 4). Mesurée en  $F_3$ , la réponse à la sélection de la biomasse aérienne est positive et significative, chez les trois populations. Les valeurs prises par la réponse à la sélection sont de 341.8, 268.4 et 516.0 g m<sup>-2</sup>, respectivement chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. Les moyennes de la génération  $F_3$  de ces populations sont égales à 1956.2, 1881.6 et 2119.5 g m<sup>-2</sup> (Tableau 5). Ces résultats indiquent que la meilleure réponse et la meilleure moyenne sont observées chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>.

**Tableau 5 : Moyennes de la génération F<sub>3</sub> et des parents pour les variables mesurées, réponses directes et corrélatives à la sélection de la biomasse aérienne et du poids des épis pour les trois croisements.**

Paramètre	BIO	PE	RDT	HT	NE	PREC	PMG	NGE	NGM <sup>2</sup>
Ofanto/MBB									
$\mu_{F3}$	1956.2	950.8	600.4	99.7	454.0	131.0	40.8	33.2	15.0
$X_{Ofanto}$	1759.1	986.3	652.3	76.8	469.8	129.0	37.9	37.0	17.3
$X_{MBB}$	2637.5	840.9	611.6	118.0	587.1	132.8	39.2	26.7	15.7
$\mu'$ (BIO)	2298.0	1060.0	696.4	108.5	526.3	131.2	40.9	32.6	17.1
$r_{obs}$	341.8	109.2	96.0	8.8	72.3	0.2	0.1	-0.6	2.1
$r(\%)$	17.5	11.5	16.0	8.9	15.9	0.2	0.2	-1.9	13.9
$\mu'$ (PE)	2399.2	1148.2	758.3	104.5	542.7	130.9	40.9	34.7	18.6
$r_{obs}$	443.0	197.4	158.0	4.8	88.7	-0.1	0.1	1.5	3.7
$r(\%)$	22.6	20.8	26.3	4.9	19.5	-0.1	0.2	4.5	24.4
Ofanto/Waha									
$\mu_{F3}$	1881.6	1086.3	672.9	77.6	501.4	130.4	36.2	38.5	18.8
$X_{Waha}$	2222.0	913.8	681.5	80.6	710.1	128.9	31.6	30.6	21.7
$\mu'$ (BIO)	2150.0	1160.0	730.3	80.5	520.0	130.5	37.5	37.8	19.5
$r_{obs}$	268.4	73.7	57.4	2.9	18.6	0.1	1.3	-0.7	0.7
$r(\%)$	14.3	6.8	8.5	3.7	3.7	0.1	3.7	-1.8	3.5
$\mu'$ (PE)	2161.8	1162.7	737.7	80.6	517.7	130.5	37.3	38.5	19.8
$r_{obs}$	280.2	76.5	64.8	3.0	16.4	0.1	1.2	0.0	1.0
$r(\%)$	14.9	7.0	9.6	3.8	3.3	0.1	3.2	0.1	5.1
Ofanto/Mrb <sub>5</sub>									
$\mu_{F3}$	2119.5	1119.6	726.5	93.4	535.0	129.5	39.4	35.5	18.5
$X_{Mrb5}$	1941.1	846.0	598.0	95.9	724.1	128.1	36.5	22.7	16.4
$\mu'$ (BIO)	2635.5	1289.1	852.0	111.0	577.7	129.4	44.8	33.2	19.2
$r_{obs}$	516.0	169.5	125.5	17.6	42.7	-0.1	5.4	-2.3	0.6
$r(\%)$	24.3	15.1	17.3	18.9	8.0	-0.1	13.8	-6.3	3.4
$\mu'$ (PE)	2539.1	1261.8	832.0	106.7	550.5	129.4	44.5	35.4	18.8
$r_{obs}$	419.6	142.2	105.5	13.3	15.5	-0.1	5.2	0.0	0.3
$r(\%)$	19.8	12.7	14.5	14.2	2.9	-0.1	13.2	-0.1	1.4
$Ppd_{5\%}$	116.7	51.4	35.5	2.6	32.8	1.3	1.0	2.3	1.1

Relativement à la moyenne de la population F<sub>3</sub>, la réponse de la biomasse représente 17.5, 14.3 et 24.3%, chez les trois populations, ce qui suggère que Ofanto/Mrb<sub>5</sub> est la population la plus intéressante pour des suivis futurs, confirmant ainsi les résultats de l'analyse de la génération F<sub>2</sub> (Tableaux 4 et 5). La réponse à la sélection de la biomasse aérienne engendre des réponses corrélatives positives et significatives pour le poids et le nombre des épis m<sup>2</sup>, le rendement grain, la hauteur du chaume et le nombre de grains m<sup>2</sup>. L'amélioration obtenue indirectement pour le poids des épis, en réponse à la sélection de la biomasse aérienne, est significative et prend les valeurs de 109.2, 73.7 et 169.5 g m<sup>-2</sup> chez les trois populations. Ces gains du poids des épis représentent 11.5, 6.8 et 15.1% de la moyenne de la génération F<sub>3</sub> des trois populations (Tableau 5). Pour le rendement grain, qui est le caractère d'intérêt le plus important dans le processus de sélection, le gain est de 96.0 (16.0%), 57.4 (8.5%) et 125.5 g m<sup>-2</sup> (17.3%) chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (Tableau 5, Figure 1). Le nombre d'épis augmente significativement uniquement chez Ofanto/MBB (72.3 épis m<sup>-2</sup>, soit 15.9%) et chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (42.7 épis m<sup>-2</sup> soit 8.0%). La population Ofanto/Waha ne montre pas d'augmentation significative pour le nombre d'épis m<sup>-2</sup> (Tableau 5). La hauteur change significativement de 2.9 cm chez Ofanto/Waha à 17.6 cm chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. La durée de la phase végétative et le nombre de grains par épi ne montrent pas de changements suite à la sélection de la biomasse aérienne. Le changement du poids de 1000 grains est absent chez Ofanto/MBB et Ofanto/Waha, il est par contre significatif chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> où le gain observé est de 5.4 g pour 1000 grains, soit 13.8% de la moyenne de la génération F<sub>3</sub>. Le nombre de grains m<sup>2</sup> ne change significativement que chez Ofanto/MBB, où on note un gain de 2100 graines. La réponse corrélative, notée chez les deux autres croisements, est non significative (Tableau 5).

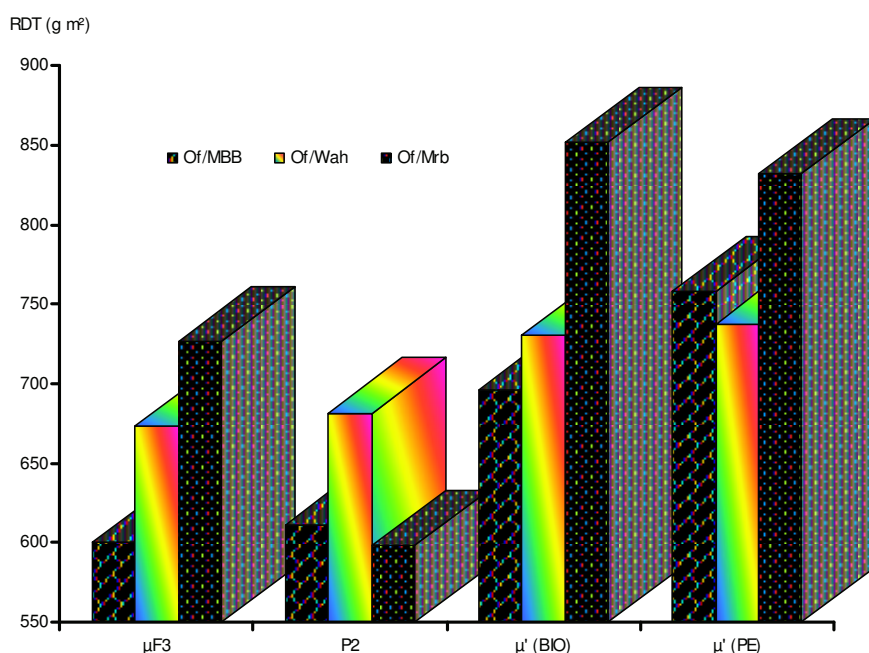


**Figure 1 : Moyennes du rendement grain de la génération F<sub>3</sub>, du parent variable et de la fraction sélectionnée pour la biomasse aérienne des trois populations.**

### 3.2.2. Sélection du poids des épis

La différentielle de la sélection du poids des épis (S) varie de 8.7 à 31.3 g par plante (Tableau 4). La meilleure moyenne de la fraction sélectionnée est notée chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, avec 40.6 g, contre 20.7 chez Ofanto/Waha et 18.1 chez Ofanto/MBB (Tableau 4). Suite au fait que le poids des épis présente une liaison très étroite avec la biomasse aérienne (Tableau 3), 67 à 92% des individus sélectionnés sur la base de la biomasse se retrouvent re-sélectionnés aussi sur la base du poids des épis. La réponse attendue à la sélection du poids des épis est plus élevée chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. Elle prend la valeur 1.18 g par plante, valeur plus élevée que celles notées pour les deux autres populations (Tableau 4). La sélection du poids des épis par plante engendre une réponse positive en F<sub>3</sub>. Elle prend les valeurs de 197.4, 76.5 et 142.2 g m<sup>-2</sup>, pour des moyennes de la fraction sélectionnée de 1148.2, 1162.7 et 1261.8 g m<sup>-2</sup>, respectivement chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (Tableau 5). Ces moyennes sont significativement supérieures à celles des parents, dont les moyennes sont 950.8, 986.3, 913.8 et 846.0 g m<sup>-2</sup>, respectivement pour Ofanto, MBB, Waha et Mrb<sub>5</sub>. Ces résultats suggèrent une forte proportion de transgresseurs. Relativement à la moyenne de la population F<sub>3</sub>, le gain génétique obtenu pour le poids des épis varie de 7.0% chez Ofanto/Waha à 20.8% chez Ofanto/MBB. Le gain observé chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> est de 12.7%. La réponse corrélative est positive et significative pour la biomasse aérienne, le rendement grain et la hauteur du chaume. La réponse corrélative de la biomasse est de 22.3, 14.9 et 19.8% ; celle du rendement est de 26.3, 9.3 et 14.5 ; alors que celle de la hauteur est de 4.9, 3.8 et 14.2%, respectivement chez Ofanto/MBB, Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (Tableau 5). Ces résultats indiquent que la meilleure réponse corrélative du rendement grain est notée chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> qui montre aussi la meilleure réponse corrélative du rendement sous sélection de la biomasse aérienne (Figure 2). La réponse corrélative du nombre d'épis n'est significative que chez Ofanto/MBB. La réponse corrélative du poids de 1000 grains est significative chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, alors que le nombre de grains par épi ne répond pas significativement à la sélection du poids des épis, chez les trois populations. Le nombre de grains m<sup>2</sup> change positivement et significativement chez Ofanto/MBB (Tableau 5)





**Figure 2 : Moyennes du rendement grain de la génération F<sub>3</sub>, du parent variable et de la fraction sélectionnée pour la biomasse aérienne ( $\mu'_{BIO}$ ) et pour le poids des épis ( $\mu'_{PE}$ ) des trois populations.**

### 3.2.3. Sélection sur indice

La sélection sur indice engendre une différentielle de sélection de la biomasse aérienne ( $S_{BIO}$ ) qui est égale à 17.8, 18.5 et 31.9 g plant<sup>-1</sup>, chez les trois populations. En valeur relative,  $S_{BIO}$  varie de 82.5% chez Ofanto/MBB à 162.3% chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. La différentielle de la hauteur varie de 4.7 cm chez Ofanto/Waha à 16.3 cm chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>. Celle des épis plant<sup>-1</sup> varie de 2.2 à 4.1 épis et celle du poids des épis de 8.4 à 17.1 g plant<sup>-1</sup>. Exprimée en % de la moyenne de la génération F<sub>2</sub>, les différentielles de sélection les plus élevées sont notées chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (Tableau 6). La réponse à la sélection sur indice est significative et positive pour la biomasse aérienne, le poids des épis, le rendement grain, le poids de 1000 grains et le rendement économique. La réponse varie selon le croisement pour les épis, la hauteur, le nombre de grains m<sup>2</sup> et l'indice de récolte. La précocité ne change pas suite à la sélection sur indice (Tableau 7).

**Tableau 6 : Moyennes de la génération F<sub>2</sub> ( $\mu_{F2}$ ), de la fraction sélectionnée sur la base l'indice SWI ( $\mu_s$ ) et différentielles de sélection en valeurs réelles (S) et relatives ( $S_{(%)}$ ) des trois populations**

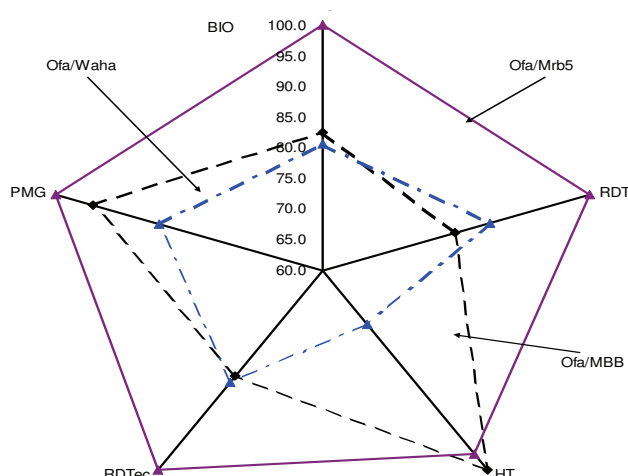
Population/indice	Moy	BIO	HT	NE	PE	
Ofanto/MBB	$\mu_{F2}$		21.6	79.6	3.5	10.4
	$\mu_s$		39.5	91.8	5.7	18.8
	S		17.8	12.3	2.2	8.4
	$S_{(%)}$		82.5	15.4	64.3	80.5
Ofanto/Waha	$\mu_{F2}$		16.7	60.4	3	9.2
	$\mu_s$		35.2	65.1	5.6	20.7
	S		18.5	4.7	2.6	11.4
	$S_{(%)}$		110.7	7.8	85.1	124
Ofanto/Mrb <sub>5</sub>	$\mu_{F2}$		19.7	65.8	3.3	9.3
	$\mu_s$		51.6	82.3	7.3	26.4
	S		31.9	16.4	4.1	17.1
	$S_{(%)}$		162.3	24.9	125.1	182.9

BIO = biomasse aérienne, HT = hauteur du chaume, NE= nombre d'épis, PE = poids des épis.

**Tableau 7 : Moyennes de la génération F<sub>3</sub>, de la fraction sélectionnée sur la base de l'indice SWI et réponses directes et corrélatives en valeurs réelles et relatives chez les trois populations**

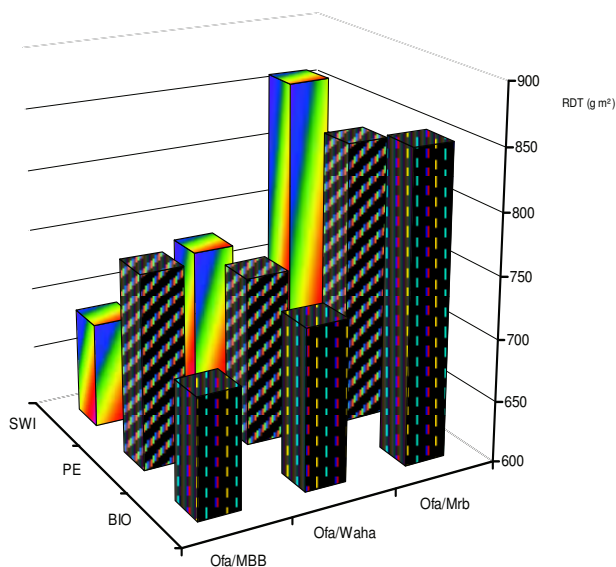
Moy.	PREC	BIO	NE	PE	RDT	HT	PMG	NGE	NGM <sup>2</sup>	HI	RDTec
Ofanto/MBB											
$\mu'$	130.6	2200.8	505.0	1029.6	686.1	113.6	42.0	32.5	16.5	31.0	1140.5
$\mu_{F3}$	130.9	1966.1	462.4	949.7	602.8	99.3	40.6	33.0	15.1	31.2	1011.8
R	-0.3	234.7	42.6	79.9	83.3	14.3	1.4	-0.5	1.3	-0.2	128.7
R(%)	-0.3	11.9	9.2	8.4	13.8	14.4	3.4	-1.7	8.7	-0.6	12.7
Ppds5%	0.4	116.7	32.8	51.4	35.5	2.6	0.9	2.3	1.1	2.2	45.1
Ofanto/Waha											
$\mu'$	130.5	2150.0	520.0	1160.0	730.3	80.5	37.5	37.8	19.5	34.3	1156.2
$\mu_{F3}$	130.4	1894.3	507.6	1079.5	672.2	78.0	36.2	38.1	18.8	36.6	1038.9
R	0.1	255.7	12.4	80.5	58.1	2.5	1.3	-0.3	0.7	-2.3	117.4
R(%)	0.10	13.50	2.45	7.46	8.64	3.23	3.70	-0.77	3.59	-6.36	11.30
Ofanto/Mrb <sub>5</sub>											
$\mu'$	129.4	2669.1	588.2	1304.5	859.3	110.0	44.4	33.2	19.6	32.4	1402.2
$\mu_{F3}$	129.5	2122.3	540.0	1110.9	723.4	93.3	39.2	35.2	18.5	34.9	1143.1
R	-0.1	546.8	48.2	193.6	135.8	16.7	5.2	-1.9	1.0	-2.4	259.1
R(%)	-0.1	25.8	8.9	17.4	18.8	17.9	13.2	-5.5	5.6	-7.0	22.7

Cette sélection induit un gain de biomasse qui varie de 11.9 à 25.8% de la moyenne de la génération F<sub>3</sub>, selon le croisement. Le gain du poids des épis varie 7.46 à 17.4 %, celui du rendement grain, de 8.64% à 18.8%, celui du poids de 1000 grains de 3.4 à 13.2% et celui du rendement économique de 11.3 à 22.7% de la moyenne de la génération F<sub>3</sub> (Tableau 7). Le nombre d'épis change de 9.2 et 8.9% et la hauteur de 14.4 et 17.9 chez Ofanto/MBB et Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, alors que l'indice de récolte est réduit chez Ofanto/Waha et Ofanto/Mrb<sub>5</sub> de 6.36 et 7.0% (Tableau 7). Les meilleures réponses sont observées chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (Figure 3). En comparant l'efficacité des trois critères de sélection utilisés (biomasse, poids des épis et l'indice) à améliorer indirectement le rendement grain, on note que quelque soit le critère de sélection utilisé, les plus hauts rendements sont observés chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub>, parce que ce croisement possède un potentiel génétique plus élevé, comparativement aux deux autres populations (Figure 4). De ce fait, c'est le croisement sur lequel les efforts futurs doivent porter.

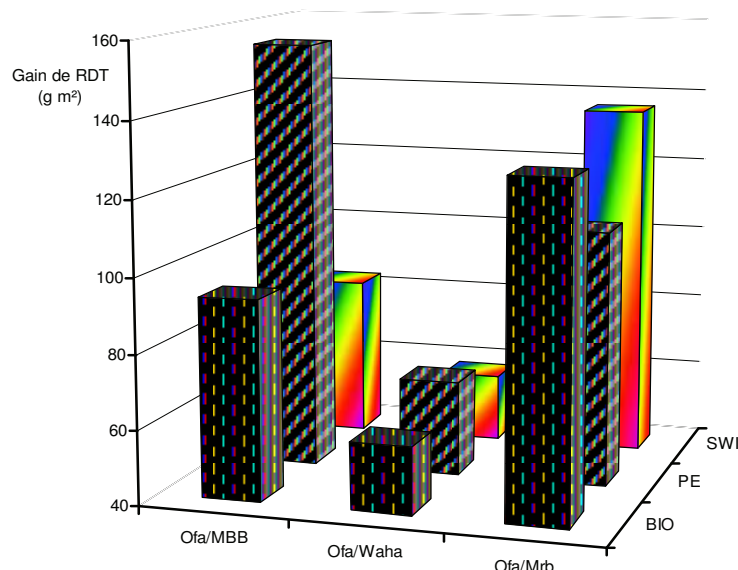


**Figure 3 : Moyennes (% de la valeur maximale) des réponses directes et corrélatives de la sélection sur indice chez les trois populations.**

Selon Diers *et al.*, [24] les lignées parentales de bonne aptitude générale à la combinaison et distantes génétiquement produisent une descendance plus performante. La différence de rendement grain entre les trois critères de sélection n'est pas évidente chez Ofanto/Waha qui prend une position intermédiaire. Par contre chez Ofanto/MBB, la sélection du poids des épis se montre relativement plus efficace (Figure 4). L'étude du gain de rendement obtenu par critère de sélection relativement à la moyenne de la population montre que le meilleur gain de rendement est réalisé suite à la sélection du poids des épis chez Ofanto/MBB et sur la base de la biomasse et de l'indice chez Ofanto/Mrb<sub>5</sub> (Figure 5). Le rendement grain du blé dur est un caractère complexe présentant une faible héritabilité et une forte interaction avec l'environnement. Ceci rend la sélection classique, basée directement sur le rendement inefficace [25]. Dans une approche analytique, Reynolds *et al.*, [26] suggèrent l'utilisation des caractères morpho- physiologiques pour compléter la sélection directe. Babar *et al.*, [27] montrent l'efficacité de l'indice de la réfraction de la lumière de la canopée dans l'identification des lignées performantes et tolérantes aux stress. Elliott et Regan [28] montrent l'efficacité de la biomasse aérienne dans l'identification de lignées supérieures.



**Figure 4 : Moyennes de rendement de la sélection de la biomasse (BIO), du poids des épis (PE) et de l'indice SWI des 3 populations**



**Figure 5 : Gain de rendement de la sélection de la biomasse (BIO), du poids des épis (PE) et de l'indice SWI des 3 populations**

Selon Falconer [18], l'efficacité de la sélection indirecte comparativement à la sélection directe est dépendante de l'héritabilité du rendement et du caractère utilisé en sélection indirecte et du coefficient de corrélation génétique entre les deux variables. La supériorité des nouvelles variétés est attribuée à l'amélioration de l'indice de récolte avec peu ou pas de changement de la biomasse aérienne et du nombre de grains m<sup>2</sup> [29]. La sélection de l'indice de récolte n'est suivie de l'amélioration du rendement, alors que la biomasse aérienne se montre plus indicatrice des capacités de rendement [31]. McVetty et Evans [31] mentionnent que c'est la combinaison de la biomasse et de l'indice de récolte qui améliore le rendement. L'utilisation de ces caractères en sélection, sur du matériel végétal homogène pour la hauteur du chaume est prometteuse pour allier performance et adaptation. Les résultats montrent que la sélection de la biomasse, du poids des épis, et de leur combinaison avec la hauteur du chaume et le nombre d'épis, sous forme d'un indice, est efficace. Elle améliore significativement le rendement grain comparativement à la moyenne de la population. En plus des caractères sélectionnés et du rendement grain, cette sélection s'accompagne de changements positifs et significatifs pour le rendement économique et le poids de 1000 grains. Le nombre de grains par épi et la durée de la phase végétative ne changent pas significativement. La comparaison de l'effet des trois critères utilisés en sélection sur le rendement grain montre qu'il n'y a pas de différences entre les trois critères chez deux croisements, et une nette supériorité de la sélection du poids des épis chez le troisième croisement. Les trois populations diffèrent du point de vue potentiel de rendement, de ce fait il est conseillé de pratiquer la sélection sur indice chez la population la plus performante, en l'occurrence le croisement Ofanto/Mrb<sub>5</sub>.

#### 4. Conclusion

La nature variable du climat des hautes plaines semi-arides, impose que la sélection soit faite pour la performance et l'adaptabilité. Parmi les caractères qui jouent un rôle dans l'adaptation figurent la biomasse aérienne et la hauteur du chaume. Le poids des épis représente la part de la biomasse aérienne qui est traduite sous forme de grain. Les résultats de la présente étude montrent que la sélection sur la base de la biomasse, du poids des épis et de leur combinaison, sous la forme d'un indice, chez trois populations F<sub>2</sub> de blé dur aboutit à des effets positifs sur le rendement grain de la descendance en F<sub>3</sub>. Ces effets varient, en valeur, selon le potentiel de la population sous sélection.

Parmi les trois critères de sélection employés et vu la nature variable du milieu de production ciblé qui est la région des hauts plateaux, il est suggéré de pratiquer la sélection sur indice pour avoir un contrôle sur l'ensemble des variables qui affectent le potentiel de rendement et l'adaptabilité.

## Références

- [1] Hervieu B., Capone R. et Abis S. ; The challenge posed by the cereals sector in the Mediterranean ; *Ciheim analytical note*, N°9, p14, (2006)
- [2] CIC ; International Grains Council ; *World Grains Statistics*, pp 13-17 (2007).
- [3] Chennafi H., Aidaoui A., Bouzerzour H. et Saci A. ; Yield response of durum wheat cultivar Waha to deficit irrigation under semi arid growth conditions ; *Asian J. Plant Sci.*, **5**, 854-860 (2006).
- [4] Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Hassous K.L.; Selection of high yielding and risk efficient durum wheat cultivars under semi arid conditions ; *Pak. J. Agron.* **4**, 360-365 (2005).
- [5] Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Hadj Sahraoui A.; Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride ; *Sécheresse* **17**, 507-513 (2006).
- [6] Benmahammed A., Kribaa M., Bouzerzour H. et Djekoune A. ; Relationships between F2, F3 and F4 derived lines for biomass and harvest index in three barley crosses in a Mediterranean type environment ; *Agricultural Journal* **3**, 313-318 (2008).
- [7] Annicchiarico P. et Iannucci A. ; Adaptation strategy, germplasm type and adaptive traits for field pea improvement in Italy based on variety responses across climatically contrasting environments ; *Field Crops Res.* **108**, 133–142 (2008).
- [8] Reynolds M.P., Pellegrineschi A. et Skovmand B. ; Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat ; *Ann. Appl. Biol.* **146**, 39–49 (2005).
- [9] Slafer G.A., Araus J.L., Royo C. et Del Moral L.G. ; Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments ; *J. Appl. Biology* **146**, 61-79 (2005).
- [10] Kribaa M., Hallaire V., Curmi P. et Lahmar R. ; Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate ; *Soil Till. Res.* **60**, 43-53 (2001).
- [11] Annicchiarico P., Chiari T., Bazzani F. et Bellah F. ; Response of durum wheat cultivars to Algerian environments: Adaptive traits ; *J. Environ. Intern. Develop.* **96**, 261-271 (2002).
- [12] Garcia del Moral L.F., Rharrabi Y., Villegas D. et Royo C. ; Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenic approach ; *Agron. J.* **95**, 266–274 (2003).
- [13] De Vita P., Nicosia O.L. D., Nigro F., Platani C., Riefolo C., Fonzo N.D. et Cattivelli L. ; Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century ; *Europ. J. Agronomy* **26**, 39–53 (2007).
- [14] Laumont P. et Erroux J. ; Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie ; *Mémoires de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord* **5**, 1- 96 (1961).
- [15] Abbassenne F., Bouzerzour H. et Hachemi L. ; Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi aride ; *Ann. Agron. INA*, **18**, 24-36 (1997).
- [16] Belkherchouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Chellal N. ; Vigueur de la croissance, translocation et rendement grain du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides ; *Courrier du savoir*, **9**, 17-24 (2009).
- [17] Bouzerzour H., Zerargui H. et Dekhili M. ; Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat ; *Awamia*, **75**, 15-23 (1994).
- [18] Falconer D.S. ; *Introduction to Quantitative Genetics* ; Longman, Harlow ; 3<sup>rd</sup> edition (1989).
- [19] Wehner T.C. ; Weighted selection indices for trials and segregating populations ; *Cucurbit Genet. Coop. Rpt.* **5**, 18-20 (1982).
- [20] Cropstat 7.2.3. ; Software package for windows, IRRI, Manila (2008).
- [21] Golabadi M., Arzani A. et Maibody S. M. M. ; Evaluation of variation among durum wheat F3 families for grain yield and its components under normal and water-stress field conditions ; *Czech J. Genet. Plant Breed.* **41**, 263-267 (2005).
- [22] Cooper M., Stucker R.E., DeLacy I.H. et Harch B.D. ; Wheat breeding nurseries, target environments, and indirect selection for grain yield ; *Crop Sci.* **37**, 1168–1176 (1997).
- [23] Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Pluchard P., Beghin D., Depatureaux C., Giraud A. et Le Gouis J. ; Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels ; *Crop Sci.* **45**, 1427–1431 (2005).
- [24] Diers B.W., McVetty P.B.E. et Osborn T.C. ; Relationships between heterosis and genetic distance based on RFLP markers in oilseed rape ; *Crop Sci.* **36**, 79–83 (1996).

- [25] Jackson R.D., Idso S.B., Reginato R.J. et Pinter P.J. ; Canopy temperature as a crop water stress index ; *Water Resour. Res.* **17**, 1133–1138 (1996).
- [26] Reynolds M.P., Singh R.P., Ibrahim A., Ageeb O.A.A. et Quick J.S. ; Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments ; *Euphytica* **100**, 84–95 (1998).
- [27] Babar M.A., Reynolds M.P., Klatt A.R., Raun W.R. et Stone M.L. ; Spectral reflectance indices as potential indirect selection criteria for wheat yield under irrigation ; *Crop Sci.* **46**, 578–588 (2006).
- [28] Elliott G.A. et Regan K.L. ; Use of reflectance measurements to estimate early cereal biomass production on sand plain soils ; *Aust. J. Exp. Agric.* **33**, 179–183 (1993).
- [29] Brancourt-Hulmel M., Doussinault G., Lecomte C., Berard P., Le Buanec V. et Trotte M. ; Genetic improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992 ; *Crop Sci.* **43**, 37–45 (2003).
- [30] Donald C.M. et Hamblin J. ; The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria ; *Adv. Agron.* **28**, 361-405 (1976).
- [31] McVetty B.E. et Evans L.E. ; Breeding methodology in wheat. II. Productivity, harvest index, and height measured on F2 spaced plants for yield selection in spring wheat ; *Crop Sci.* **20**, 287-589 (1980).